

ISSN 0187-5779



Organo Científico
de la Sociedad Mexicana
de la Ciencia del Suelo, A.C.

TERRA

Volumen 10

Número Especial

1992

Suelos Volcanicos Endurecidos



CRSTOM

Primer Simposio Internacional
México 20-26 de octubre 1991



Organo Científico
de la Sociedad Mexicana
de la Ciencia del Suelo, A.C.

TERRA

Volumen 10

Número Especial

1992

Suelos Volcánicos Endurecidos

Primer Simposio Internacional
México 20-26 de octubre 1991



COMITE EDITORIAL INVITADO

CLAUDE ZEBROWSKI
CHRISTIAN PRAT
JORGE D. ETCHEVERS BARRA
HECTOR M. ARIAS R.
MA. EUGENIA MIRANDA M.

**SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA
DEL SUELO, A.C.**

LOS SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS

COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Editor
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR

COMITE EDITORIAL INVITADO

MESA DIRECTIVA 1990-1992

M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS,
Presidente
DR. CARLOS HERNANDEZ YAÑEZ,
Vicepresidente
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,
Secretario General
ING. RUBEN RODRIGUEZ GOMEZ,
Tesorero
M.C. MARIO MONTES HELU,
Secretario Técnico
M.C. MIGUEL OLGUIN ORTIZ,
Secretario de Relaciones Públicas
M.C. ARMANDO LEGASPI GUZMAN,
Secretario de Eventos Nacionales e Internacionales
DR. FERNANDO FLORES LUI,
Vocal
M.C. LEON SALVADOR COVARRUBIAS GARCIA
Vocal

CLAUDE ZEBROWSKI

CHRISTIAN PRAT

JORGE D. ETCHEVERS B.

HECTOR M. ARIAS R.

MA. EUGENIA MIRANDA M.

"TERRA", Registro en Trámite. Organó oficial de divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Volumen 10, Número Especial, 1992.

ISSN 0187-5779

Los artículos publicados son responsabilidad absoluta de los autores. Se autoriza la reproducción parcial o total del contenido de esta revista, citándola como fuente de información.

Las contribuciones a esta revista deben enviarse, en original y dos copias, redactadas conforme a las Normas para Publicación en la Revista TERRA, al Editor de la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Edo. de México, México.

Oficinas: Edificio del Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

Teléfono: (595) 4-22-00, ext. 5237.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF MEXICO

EDITORIAL BOARD

DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Editor
DR. ANDRES AGUILAR SANTELESES
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR

BOARD OF DIRECTORS 1990-1992

M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS,
President
DR. CARLOS HERNANDEZ YAÑEZ,
Vice-President
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,
General-Secretary
ING. RUBEN RODRIGUEZ GOMEZ,
Treasurer
M.C. MARIO MONTES HELU,
Technical Secretary
M.C. MIGUEL OLGUIN ORTIZ,
Secretary for Public Relations
M.C. ARMANDO LEGASPI GUZMAN,
Secretary for National and International Events
DR. FERNANDO FLORES LUI,
Member
M.C. LEON SALVADOR COVARRUBIAS GARCIA,
Member

"TERRA", Registration pending. Official publication
of the Soil Science Society of Mexico.

Volume 10, Special number, 1992.

ISSN 0187-5779

The authors take full responsibility for the
articles published. Partial or total reproduction
of the content of this journal is authorized, as
long as this publication is cited as the information
source.

When submitting articles to this journal, an
original and two copies must be sent to: Editor de
la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia
del Suelo, A.C., Apartado Postal 45, 56230 Chapingo,
Edo. de México, México.

Office address: Edificio del Departamento de Suelos,
Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado
de México.

Telephone: 52-595-42200, ext. 5237.

COMITE ORGANIZADOR DEL SIMPOSIO

CLAUDE ZEBROWSKI
PAUL QUANTIN
HECTOR M. ARIAS R.
JORGE D. ETCHEVERS B.
HERMILIO NAVARRO
GERD WERNER
MA. EUGENIA MIRANDA M.
DAVID PEÑA H.
MA. DE LA LUZ MARCELA ORTIZ S.
SERGIO GERARDO BENEDICTO V.
VICTOR M. ORDAZ CH.
CESAR MERINO B.

PATROCINADORES

C.E.E.
UNESCO
CONACYT
ORSTOM
COLEGIO DE POSTGRADUADOS
GOBIERNO DEL ESTADO DE TLAXCALA
UNIVERSIDAD DE GIESSEN

INDICE

INDICE

INAUGURACION

Palabras de Bienvenida. RAFAEL RODRIGUEZ MONTESSORO, Director General del Colegio de Postgraduados.	3
Palabras de Bienvenida. MICHEL PORTAIS, Representante de ORSTOM en México.	4
Discurso inaugural. BEATRIZ PAREDES RANJEL, Gobernadora Constitucional del Estado de Tlaxcala.	7

GENESIS, CARACTERIZACION Y LOCALIZACION

Aspectos generales

Los suelos volcánicos endurecidos en America Latina. CLAUDE ZEBROWSKI.	15
L'induration des matériaux volcaniques pyroclastiques en Amérique Latine: processus géologiques et pédologiques. PAUL QUANTIN.	24
The criteria of duripans in the U.S. soil taxonomy and the contribution of micromorphology to characterize silica indurated soils. KLAUS W. FLACH, WILEY D. NETTLETON y OLIVIER A. CHADWICK.	34
Pedogenic silicifications: structures, micromorphology, mineralogy and their interpretation. MEDARD THIRY.	46

Chile

Los suelos volcánicos endurecidos de Chile. WALTER LUZIO L. y MILITZA SAAVEDRA N.	60
Origen y propiedades del fierrillo de los suelos volcánicos de drenaje impedido en Chile. WALTER LUZIO L., SERGIO ALCAYAGA C. y CRISTIAN BARROS G.	67
Génesis de los suelos fadis, Aquands y Duraquands de la región Centro-Sur de Chile. EDUARDO BESOAIN M., ANGELICA SADZAWKA R. y GLORIA SEPULVEDA W.	74

Colombia

Suelos y formaciones piroclásticas endurecidas en los Andes de Colombia. PIERRE FAIVRE y SERGIO GAVIRIA.	89
Génesis y caracterización de formaciones volcánicas endurecidas en paleosuelos de la sabana de Bogotá, Colombia. DIMAS MALAGON CASTRO, CARLOS PULIDO ROA y RUBEN LLINAS RIVERA.	100

Ecuador

La cangahua en Equateur: le contexte paléogéographique de sa formation. ALAIN WINCKELL et CLAUDE ZEBROWSKI.	107
Tipología de la cangahua. RAMON VERA y ROCIO LOPEZ.	113

Características espectrales de la cangahua expuesta en el Ecuador. AUGUSTO GONZALEZ ARTIEDA y RICHARD V. RINGLEB.	120
México	
Distribución de los tepetates de la República Mexicana. Escala 1:4000,000. ELISEO GERARDO GUERRERO EUFRACIO, JOSE LUIS LUNA MOSQUEDA y ERNESTO CABALLERO OCHOA.	131
Formation and properties of tepetate in the Central highlands of México. GUNTER MIEHLICH.	137
Micromorfológica investigations on "tepetate" formation in the "toba" - sediments of the State of Tlaxcala (Mexico). REINER HESSMANN.	145
Los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. DAVID PEÑA H. y CLAUDE ZEBROWSKI.	151
Caracterización física y mineralógica de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. DAVID PEÑA H. y CLAUDE ZEBROWSKI.	156
Resistencia de tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. DAVID PEÑA H., MARIA EUGENIA. MIRANDA M., CLAUDE ZEBROWSKI y HECTOR M. ARIAS. R.	164
Características químicas de tepetates de referencia de los Estados de México y de Tlaxcala, México. JORGE D. ETCHEVERS B., ROSA M. LOPEZ R., CLAUDE ZEBROWSKI y DAVID PEÑA H.	171
El material original de los tepetates t2 et t3 de la region de Texcoco (México): Loess o cineritas? P. QUANTIN, C. ZEBROWSKI y M. DELAUNE C. HIDALGO.	178
Patrones morfológicos de organización de arcilla en tepetates (México). KLAUDIA OLESCHKO, CLAUDE ZEBROWSKI, PAUL QUANTIN y NICOLAS FEDOROFF.	183
La cementación de tepetates: estudio de la silicificación. CLAUDIA HIDALGO, PAUL QUANTIN y CLAUDE ZEBROWSKI.	192
Caracterización del tepetate blanco en Texcoco, México. MA. DEL CARMEN GUTIERREZ CASTORENA y CARLOS ALBERTO ORTIZ SOLORIO.	202
Las condiciones regionales de desarrollo de los tepetates de la zona Xalapa-Coatepec, Veracruz, México. JEAN-PIERRE ROSSIGNOL, ADOLFO CAMPOS C. y PAUL QUANTIN.	210
Los tepetates de Xalapa, Veracruz, México: relación con el relieve modelado actual y esquema cronológico. DANIEL GEISSERT KIENTZ.	221
Los tepetates de la región de Xalapa, Veracruz (México): estructura de la cubierta pedológica. ADOLFO CAMPOS C.	226
Los tepetates de la región de Xalapa, Veracruz (México): un endurecimiento de origen pedológico. DIDIER DUBROEUCQ.	233
Carta preliminar de unidades edafoestratigráficas y tepetates de la cuenca de México. JORGE F. CERVANTES B., MAGDALENA MEZA SANCHEZ y GLORIA ALFARO SANCHEZ.	241
Fábrica de algunos tepetates del Estado de Aguascalientes. FRANCISCO OROZCO CH., KLAUDIA OLESCHKO, GLORIA ALFARO SANCHEZ, ERNESTO CABALLERO O. y PABLO RODRIGUEZ M.	248
Rasgos micromorfológicos de los tepetates de Hueyoptla (Estado de México). GLORIA ALFARO SANCHEZ, KLAUDIA OLESCHKO y MAGDALENA MEZA SANCHEZ.	253

INDICE

Nicaragua

- Los talpetates en Nicaragua. IGNACIO RODRIGUEZ y EFRAIN ACUÑA E.. 258
- Origen y génesis del "talpetate", horizonte endurecido de los suelos volcánicos de la región Centro Pacífico de Nicaragua. CHRISTIAN PRAT y PAUL QUANTIN. 267

Perú

- Indurated volcanic ash soils in Peru. THOMAS J. NIMLOS y CARLOS ZAMORA J. 283

REHABILITACION, MANEJO Y CONSERVACION

Aspectos Generales

- Como hacer productivos a los tepetates en México. LUIS PIMENTEL BRIBIESCA 293
- Recuperación de tepetates en la vertiente oriental del valle de México. F. ALBERTO LLERENA VILLALPANDO y BENJAMIN SANCHEZ BERNAL 302
- Rehabilitación de tepetates: una alternativa para la producción agropecuaria y forestal. HECTOR M. ARIAS R. 309
- Suelos volcánicos endurecidos (tepetates) en el Estado de Tlaxcala: Distribución, rehabilitación, manejo y conservación. GERD WERNER. 318
- La cangahua en El Ecuador: caracterización morfoedafológica y comportamiento frente a la erosión. E. CUSTODE, G. DE NONI, G. TRUJILLO y M. VIENNOT 332

Erosión

- Mediciones preliminares de la erosión hídrica en el Bloque de Tlaxcala, México. JURGEN BAUMANN, GERD WERNER, HIPOLITO MUÑOZ NAVA, ANDREA VERA REYES y GUSTAVO FLORES F. 347
- Agua y talpetate - Toba palagonitizada de Masaya. CHRISTIAN PRAT, EDUARDO BLANDON SOTO, JOSE MARTIN MARTINEZ ORTEGA, MARIO HERRERA. 355
- Dinámica de la erosión en tepetates roturados. HECTOR M. ARIAS R., MA. EUGENIA MIRANDA M. y DONALD GABRIELS. 370
- Evolución estructural de la superficie de suelos con tepetate. JEAN LOUIS JANEAU, GERALDINE JEROME y MA. EUGENIA MIRANDA M. 374

Fertilidad

- Fertilidad de los tepetates.I. Fertilidad actual y potencial de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada (México). JORGE D. ETCHEVERS B., LOURDES CRUZ H., JUAN MARES A. y CLAUDE ZEBROWSKI. 379
- Fertilidad de los tepetates.II. Situación del fósforo y del potasio en tepetates de México y Tlaxcala (México). JORGE D. ETCHEVERS B., CLAUDE ZEBROWSKI, CLAUDIA HIDALGO y PAUL QUANTIN. 385

Evaluación de dos rocas fosfóricas como fuente de fósforo para dos especies cultivadas en un tepetate. FRANCISCO GAVI R., ROBERTO NUÑEZ E. y JUAN MARES A.	392
Disponibilidad de K nativo, factores Q/I y potenciales químicos en tepetates de México. JAIME CRUZ DIAZ, LENOM J. CAJUSTE, ROGELIO CARRILLO GONZALEZ, ERNESTO OSORES CARDENAS y OFELIA GRAJALES MUÑIZ	398
Microbiología	
Papel de los microorganismos en la recuperación de suelos marginales. RONALD FERRERA-CERRATO	408
<i>Azolla caroliniana</i> como biofertilizante nitrogenado sobre el desarrollo de <i>Eysenhardtia polystachya</i> en tepetate. SALVADOR MATIAS CRISOSTOMO, GUADALUPE GOMEZ CRUZ, RONALD FERRERA-CERRATO, ROBERTO QUINTERO LIZAOLA y JOSE A. SANTIZO RINCON.	415
Análisis de la microflora asociada al manejo agroecológico en la recuperación de tepetates. J. D. ALVAREZ SOLIS, RONALD FERRERA-CERRATO y CLAUDE ZEBROWSKI.	419
Respiración microbiana como un indicador de la fertilidad de los suelos agrícolas y tepetates en el Estado de Tlaxcala. SALVADOR MATIAS CRISOSTOMO, RONALD FERRERA-CERRATO y CLAUDE ZEBROWSKI.	425
Reforestación	
Evaluación de la reforestación sobre tepetates en la zona oriente de la cuenca de México. HECTOR MANUEL ARIAS ROJO y GUILLERMO GARCIA TORRES.	430
Desarrollo de tres plantaciones forestales bajo tres métodos de preparación del tepetate en el área experimental forestal "Matlalohcan", Tlaxcala. GUTIERREZ RODRIGUEZ MA. LUCILA, VIDAL GUERRA DE LA CRUZ y CARLOS E. GARZON CEBALLOS.	437
Crecimiento de cinco especies forestales y su relación con la recuperación de suelos en Tlaxcala, México. VIDAL GUERRA DE LA CRUZ y C. E. GARZON CEBALLOS.	444
Agricultura	
Análisis agronómico comparativo en tepetates. HERMILIO NAVARRO GARZA y CLAUDE ZEBROWSKI.	451
Rehabilitación del tepetate mediante el manejo tradicional, en Tlaxcala -México. VERONICA NAVA RODRIGUEZ, JESUS SANCHEZ, YOLANDA OLVERA OLIVEROS y ALMA ROSA LEYTE.	460
Alternativas agronómicas para la recuperación de tepetates. ALFONSO MARQUEZ RAMOS, CLAUDE ZEBROWSKI y HERMILIO NAVARRO GARZA.	465
Producción hortícola en tepetates de San Miguel Tlaixpan, Edo. de México, bajo agricultura bio-intensiva sostenible. JOSE FELICIANO RUIZ FIGUEROA y LUIS S. TORRES CEDILLO.	474

IMPACTOS HUMANOS Y ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

"Tepetate" in 16th century and contemporary folk terminology, valley of Mexico. BARBARA J. WILLIAMS.	483
--	-----

INDICE

Manejo del agua en condiciones de secano en Tlaxcala, México. ALBA GONZALEZ JACOME.	494
Análisis histórico, social y económico de la cangahua en Ecuador. G. DE NONI, G. TRUJILLO y M. VIENNOT.	503
Metodología para análisis de sistemas de producción, con énfasis en el manejo de tepetates. HERMILIO NAVARRO GARZA.	515
Aspectos socioeconómicos y agroecológicos de la recuperación de tepetates en San Pablo Ixayoc, Edo. de México. F. OLIVAREZ R. y A. MARQUEZ RAMOS.	524
Aspectos sociales y económicos relacionados con tepetates recuperados. MARIA DE LA LUZ MARCELA ORTIZ SOLORIO y MANUEL ANAYA GARDUÑO.	534
Sistemas agrícolas de temporal y la erosión en Hueyotlipan, Tlaxcala, México. ALEJANDRO TONATIUH ROMERO CONTRERAS.	539
Prácticas de manejo realizadas por los campesinos de Sta. Catarina del Monte para incorporar el tepetate a la producción. MARIA EUGENIA DELGADILLO P., MA. EUGENIA MIRANDA M. y BLANCA ROSA RUIZ HERNANDEZ.	545
Análisis de costos en la utilización de maquinaria para la recuperación de suelos volcánicos endurecidos. BENJAMIN SANCHEZ BERNAL.	550
Rescate de tierras tepetatosas erosionadas en Tlaxcala. DAVID CALVA ORDUÑO.	557

CONCLUSIONES

Génesis, caracterización y localización	563
Rehabilitación, manejo y conservación	569
Impactos humanos y aspectos socioeconómicos	570

INDICE DE AUTORES

Indice de autores	571
-------------------	-----

Leyenda de las fotografías

Foto 1. Piedemonte de la Sierra Nevada en México. Los suelos volcánicos endurecidos se encuentran generalmente en los piedemontes de los aparatos volcánicos.

Foto 2. Estos suelos presentan perfiles característicos con capas endurecidas intercaladas con horizontes de suelo no endurecidos.

Foto 3. La erosión del suelo superior hizo aflorar los horizontes endurecidos que forman grandes áreas estériles.

Foto 4. Estas áreas erosionadas pueden recuperarse con fines agrícolas o forestales gracias a obras que incluyen la elaboración de terrazas y subsoleo profundo con tractor potente (fotografía), fragmentación de los bloques y labranza.

Foto 5. Las primeras cosechas pueden ser buenas con un manejo adecuado, el que incluye aporte de materia orgánica y fertilización nitrogenada y fosforada adecuada. En la fotografía se nota la producción agrícola en un tepetate de primer año después de la rehabilitación.

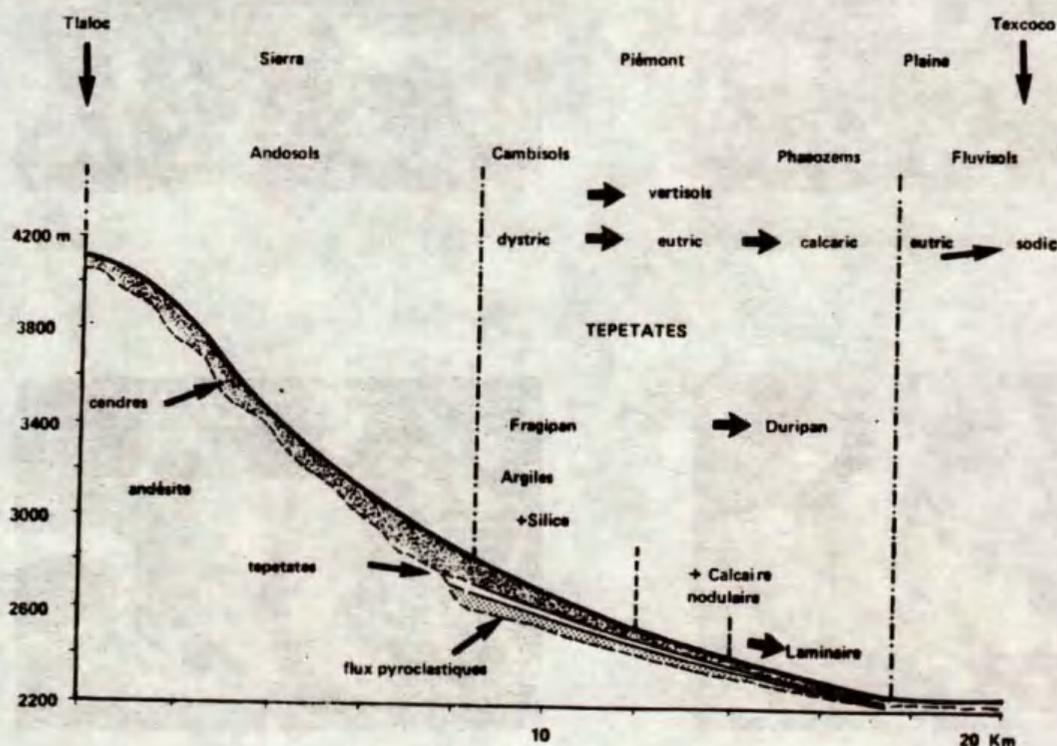


Figure 1. Climatoposéquence de sols et tepetates de Texcoco (Mexique).

D'après les travaux de Hidalgo (1991), certains horizons, près de la surface, manifestent encore les propriétés d'un tuf fin: matrice dense et cimentée, clastes volcaniques abondants et peu altérés, arrangement porphyrique du squelette, cimentation discrète (Fig. 2a, b); auxquelles se surimposent quelques traits de la pédogenèse: fissuration, tubes biologiques, quelques revêtements argileux. Dans d'autres horizons, plus en profondeur, les traits pédologiques sont plus marqués: réorganisation plasmique de la matrice, revêtements de ferri-argilanes dans les vides (Fig. 2c, d), formation de nodules (calcaires ou ferro-manganiques dans la matrice); des

silicifications y sont plus évidentes, à la surface des revêtements argileux, vers la base du profil.

La présence de silice "libre" dans la matrice argilo-limoneuse est certaine. Mais elle est peu abondante (quelques pourcent) dans la partie supérieure et moyenne du profil. Elle est plus abondante (10 à 20%) dans la partie profonde; où elle est évidente dans les revêtements argileux "éclaircis" (Fig. 2e, f); mais une part importante, sous forme d'opale-cristobalite, demeure diffuse dans la matrice. Si le rôle de la pédogenèse est certain, on peut cependant se demander si la volcanogenèse n'a pas contribué préalablement à la consolidation.

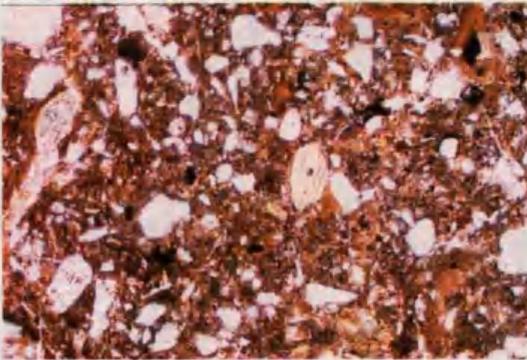


Figure 2a. Matrice dense porphyrosquetique L.N.

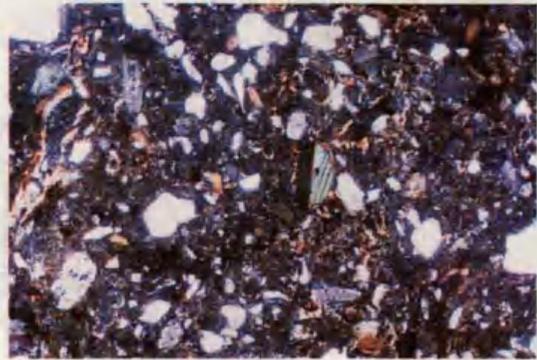


Figure 2b. Matrice dense porphyrosquetique L.P.

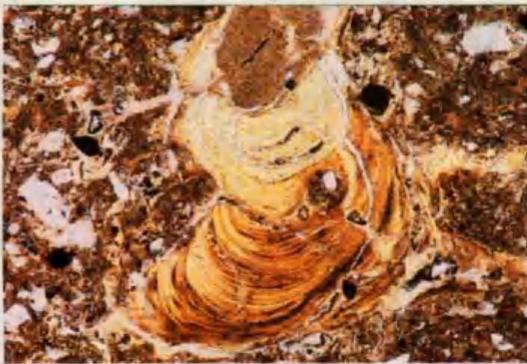


Figure 2c. Ferriargilane laminaire L.N.

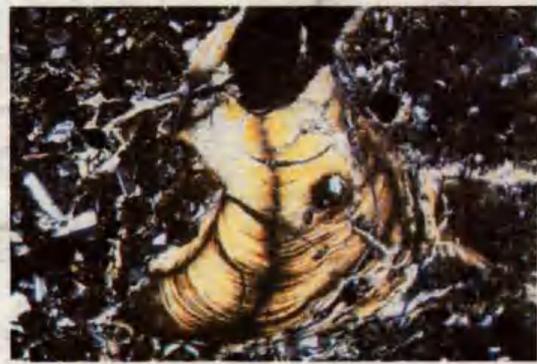


Figure 2d. Ferriargilane laminaire L.P.



Figure 2e. Revêtement argileux silicifié L.N.



Figure 2f. Revêtement argileux silicifié L.P.

Figure 2. Microscopie de tepetate faiblement silicifié (fragipan) de Texcoco (Mexico), d'après Hidalgo (1991); vues en lumière naturelle (L.N.) et polarisée (L.P.).



endurecimiento. En Nicaragua, la formación de la toba palagonitizada de Masaya, origen de los talpetates, precedió a la pedogénesis. En el valle de México, la formación de un fragipan, horizonte de suelo débilmente silicificado, llamado tepetate, pudo tal vez, empezar al momento de la formación del depósito de cenizas, para luego seguir durante la pedogénesis. Cerca de Xalapa (Veracruz, México), la degradación de un suelo arcilloso a duripan muy silíceo, es realmente un proceso pedogenético. Mientras que en Ecuador, el proceso pedológico de encostramiento calcáreo, que endurece la cangahua en la base del suelo, sería posterior a la formación de una toba. Pero en los fierrillos de Chile, ocurrió un proceso pedológico que cementó con óxidos de hierro, la base de un andosol en medio redóxico.

SUMMARY

The aim of this paper is to show that the induration of some pyroclastic materials in the soils of Latin America could be due to a process either geological or pedological, or both successively. The properties of volcanic tuff are reviewed and some examples of various induration processes are given. In Nicaragua, the formation of the Masaya palagonitized tuff, from which the talpetate is derived, preceded pedogenesis. While in the Mexico Valley, the formation of a fragipan, a weakly silicified soil horizon, known as tepetate, probably began during the ash deposition and increased during the pedogenesis. Near Xalapa (Veracruz, Mexico), the degradation of a clay soil to a highly siliceous duripan is truly pedogenetic. Whereas in Ecuador, the lime encrusting pedological process which indurated the cangahua at the bottom of soils, could be subsequent to a tuff formation. But in Chile, under redox conditions, a pedological process develops cementing by iron oxides at the lowest part of andosols profiles forming a hardpan known as fierrillo.

INTRODUCTION

Les dépôts volcano-sédimentaires de projections ou de coulées pyroclastiques sont parfois consolidés sous forme de brèches, ignimbrites, ou tufs (Fisher et Schmincke, 1984). Les sols formés sur des matériaux pyroclastiques présentent aussi parfois des horizons indurés. En Amérique Latine ces formations superficielles sont connues régionalement sous diverses appellations: fierrillo ou cangahua au Chili, cangahua au Pérou et en Equateur, hardpan en Colombie, talpetate au Nicaragua, au Salvador et au Honduras, tepetate au Mexique. Les pédologues les rencontrent plus fréquemment en climat à longue saison sèche qu'en climat humide. Ils observent une cimentation par de la silice et, ou, du calcaire, plus rarement des oxydes de fer. C'est pourquoi ils attribuent l'induration à un processus pédologique. Les géologues au contraire pensent à un processus géologique, antérieur à la pédogénèse. En fait, de nombreux cas sont ambigus, notamment en Equateur, au Nicaragua et au Mexique (Nimlos, 1987; Dubroeuq *et al.*, 1989; Prat, 1991). Ils posent le problème de l'origine du ciment: processus géologique ou pédologique? Mais, dans certains cas les deux processus se sont succédés, ajoutant ainsi à la confusion des faits. L'objet de cet exposé est de poser le problème, et d'introduire plusieurs travaux présentés dans ce même ouvrage qui apporteront des éléments de réponse à ce débat.

Nous traiterons successivement du processus géologique de formation d'un tuf pyroclastique et de son impact dans un sol au Nicaragua, puis de divers processus pédologiques de cimentation par de la silice, du calcaire ou des oxydes de fer, au Mexique, en Equateur et au Chili.

PROCESSUS GEOLOGIQUE, FORMATION D'UN TUF PYROCLASTIQUE

Les tufs pyroclastiques étant semblables à un grand nombre d'horizons indurés observés dans

les sols volcaniques, il importe d'en reconnaître les propriétés originales.

Définition et Propriétés d'un Tuf Pyroclastique

D'après Fisher et Schmincke (1984), un tuf pyroclastique est une cendre consolidée, dont le diamètre des clastes (fragments de lave, de verres ou de phénocristaux volcaniques) est < 2 mm. Il peut contenir quelques éléments grossiers (cinérite accréionnée, lapilli). Il comporte une matrice de clastes très fins ($< 0,1$ mm) de verres et microlites, cimentés entre eux, et des sables grossiers de lapilli vitreux et de phénocristaux. La matrice et les verres peuvent être altérés s'il s'agit d'une éruption hydromagmatique (éruption avec formation de vapeur d'eau), ou inaltérés s'il s'agit d'une nuée ardente (éruption avec intervention de gaz chauds).

Le ciment des tufs peut être dû à une fusion superficielle des verres au moment du dépôt, ou à leur altération pelliculaire en des produits amorphes isotropes, d'opale ou de palagonite, voire des minéraux argileux ou des zéolites. En outre, en milieu lacustre ou marin, la diagenèse forme des carbonates. La genèse de ces minéraux doit donc être distinguée de celle consécutive ultérieurement de la pédogenèse.

Exemple du Tuf Palagonitisé de Masaya, Nicaragua

Les sols volcaniques de la région de Managua présentent un ensemble d'horizons indurés, appelés localement "talpetate". Les pédologues, notamment Marin *et al.* (1971), le considéraient comme un "duripan", c'est à dire le produit d'un processus pédologique d'altération de cendres basaltiques, puis de silicification. Ensuite les géologues notamment Bice (1985), les ont rattachés à la formation du tuf basaltique de Masaya. Prat (1991) vient de montrer qu'il s'agit d'un tuf hydromagmatique, émis il y a environ 2 000 ans. Ce tuf se caractérise en effet par une matrice limoneuse et cimentée, l'abondance de clastes vitreux altérés en palagonite et la présence de nodules de "cinérites accréionnées" comme

le montrent Prat et Quantin (1991) dans leur travail intitulé "Origen y génesis del talpetate", publié dans ce même volume.

Dans ce cas il est possible de distinguer les propriétés du tuf originel des traits pédologiques qui l'ont modifié. Ceux-ci consistent surtout en une fissuration et une pénétration biologique, qui permettent à une nouvelle altération, mais superficielle, de se développer, ainsi qu'un processus d'illuviation d'argiles ou d'hydroxydes (Fe, Al, Mn). Alors que les argiles smectiques proviennent de la palagonite, il se forme de nouveaux minéraux argileux: halloysite en situation de piémont et climat semi-humide; allophane et gibbsite en amont, climat humide et dans les andosols. La palagonite héritée ne s'altère qu'en climat très humide.

PROCESSUS PEDOLOGIQUE, HORIZONS DE SOLS INDURES

Nous aurons à différencier les cas où comme précédemment la pédogenèse se surimpose à la volcanogenèse et consolide un sédiment pyroclastique partiellement altéré, de ceux où un sol se transforme et produit lui-même son ciment, siliceux, calcaire ou ferrugineux. Les pédologues distinguent selon leur degré d'induration les "fragipans" matériau dur à l'état sec mais friable à l'état humide, des "duripans" qui demeurent toujours durs.

Silicification Légère en Fragipan d'une Cinérite Altérée: Exemple de Certains Tepetates de Texcoco, Mexico

Sur le versant occidental de la Sierra Nevada, en piémont, altitude de 2 500 à 2 800 m et climat sub-humide, les sols dérivés de cendres rhyolitiques présentent des horizons indurés à consistance de fragipan (Fig. 1). Il est sûr que le matériau originel provient de projections de cendres fines. Le ciment est riche en silice; mais le problème est de savoir si la consolidation est d'origine pédogénique ou volcanogénique.

- PEÑA H., D. y C. ZEBROWSKI.** 1991. Caracterización de tepetates en la vertiente occidental de la Sierra Nevada, México. (en este volumen).
- PRAT, C.** 1991. Etude du "talpetate" de la région Centre Pacifique du Nicaragua, Thèse Univ. Paris VI, Paris, France. 320 p.
- QUANTIN, P., C. ZEBROWSKI, M. DELAUNE y C. HIDALGO.** 1991 El material original de los tepetates t2 y t3 de la región de Texcoco (México): "Loess o cineritas". En este volumen.
- REY, J.** 1979. Estimación de la erodibilidad de los tepetates en la cuenca del río Texcoco en base al factor K. Tesis M.C., Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- SAUER, W.** 1947. Geología del Ecuador.
- TOVAR, T.A.** 1987. Determinación del efecto de aplicación de estiércol de bovino semiseco y fresco sobre el rendimiento de cebada en suelos erosionados, pp. 156-171. In: J. F. Ruiz F. (ed). Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UCh. Chapingo, Méx.
- VALDEZ, L.** 1970. Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de tepetate de la cuenca de México. Tesis, Colegio de Postgraduados, Méx.
- VERA, R. y R. LOPEZ.** 1986. El origen de la cangahua. Paisajes geográficos 16: 21-28, Quito.
- WERNER, G., H. AEPPLI, G. MIEHLICH y E. SCHÖNHALS.** 1978. Los suelos de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores. Comentario a un mapa de suelos (con 4 mapas). Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala, VI: 1-95, Puebla, México.
- WILLIAMS, B.J.** 1972. Tepetate in the Valley of México. Annals of the ASSN of Am. Geog. 62 (4): 618-632.
- WOLF, T.** 1896. Géographie et Géologie de l'Equateur.
- ZEBROWSKI, C., P. QUANTIN, H. ARIAS y G. WERNER.** 1991. Les "tepetates", récupération et mise en valeur des terres volcaniques indurées au Mexique. ORSTOM Actualités n°33, Paris, France.

L'INDURATION DES MATERIAUX VOLCANIQUES PYROCLASTIQUES EN AMERIQUE LATINE: PROCESSUS GEOLOGIQUES ET PEDOLOGIQUES

**Endurecimiento de Materiales Volcánicos Piroclásticos en América Latina:
Procesos Geológicos y Edafológicos**

**The Induration of Volcanic Pyroclastic Materials in Latin America:
Geological and Pedological Processes**

Paul Quantin

ORSTOM, Bondy, Francia.

Mots clefs: Matériaux pyroclastiques, Horizons indurés, Induration, Tepetate, Talpetate, Cangahua, Fierrillo, Tuf, Fragipan, Duripan, Croûte calcaire, Processus géologique, Processus pédologique, Amérique Latine.

Palabras clave: Materiales piroclásticos, Horizontes endurecidos, Enduración, Tepetate, Talpetate, Cangahua, Fierrillo, Toba, Fragipan, Duripan, Costra calcárea, Proceso geológico, Proceso pedológico, América Latina.

Key words: Pyroclastic materials, Indurated horizons, Induration, Tepetate, Talpetate, Cangahua, Fierrillo, Tuff, Fragipan, Duripan, Lime-crust, Geological process, Pedological process, Latin America.

Masaya, à l'origine des talpetates, a précédé la pédogénèse. Dans la vallée de Mexico, la formation d'un fragipan, horizon de sol faiblement silicifié appelé tepetate, s'est peut-être initiée lors du dépôt de cendres, puis poursuivie pendant la pédogénèse. Près de Xalapa (Veracruz, Mexique), la dégradation d'un sol argileux en duripan très siliceux est vraiment pédogénétique. Tandis qu'en Equateur le processus pédologique d'encroûtement calcaire, qui indure la cangahua à la base d'un sol, serait postérieur à la formation d'un tuf. Mais au Chili, c'est un processus pédologique qui cimente par des oxydes de fer, la base d'un andosol en milieu rédoxique, formant le fierrillo.

RESUME

Cet article a pour but de montrer que l'induration de certains matériaux pyroclastiques dans des sols d'Amérique Latine peut être due à un processus, soit géologique, soit pédologique ou les deux successivement. Après un rappel sur les propriétés d'un tuf volcanique, il montre des exemples de divers processus d'induration. Au Nicaragua, la formation du tuf palagonitisé de

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo mostrar que el endurecimiento de ciertos materiales piroclásticos en los suelos de América Latina, puede deberse a un proceso geológico, o pedológico o ambos. Después de la revisión de las propiedades de una toba volcánica, se presentan ejemplos de diferentes procesos de

con un conjunto de propiedades ideal en lo que se refiere a la aireación y a la capacidad de retención de agua. Martínez y García (1990) han señalado que, en los tepetates de la región de Texcoco, el tamaño medio de los agregados debe ser alrededor de 2 mm con el objeto de que su capacidad de retención de agua sea máxima y su erodibilidad mínima. A pesar que es difícil obtener este grosor en el terreno, las lluvias y los métodos de cultivo repetidos reducen el tamaño de los agregados con el paso de los años. Esta desagregación de las partículas está acompañada de una compactación del suelo con disminución de la porosidad y de la capacidad de retención de agua. Únicamente la regeneración de una estructura mediante el aumento del contenido de materia orgánica permitiría evitar estos problemas.

Sin embargo, el beneficio obtenido con la aplicación de abonos orgánicos, bajo forma de estiércol, es, en la mayoría de los casos, incompatible con la realidad del mundo campesino. La búsqueda de un sistema de rotación de cultivos mediante incorporación de materia vegetal sería más adecuada. A pesar de que este procedimiento ha sido sugerido por algunos autores, existe, por el momento, escasa información sobre la materia. No existen tampoco trabajos relacionados con el estudio de la microfauna y de la microflora dentro de un proceso de rehabilitación de los suelos volcánicos endurecidos. En México, se han realizado únicamente algunas medidas parciales de evaluación de la actividad microbiana en tepetate no cultivado.

Finalmente, la reincorporación de las tierras erosionadas endurecidas a la agricultura implica la elaboración de terrazas con el fin de disminuir la erosión, que resulta siempre muy elevada después del subsoleo y de la labranza. Pero a pesar de que se han realizado numerosas medidas (cuantificaciones) de erosión tanto en Ecuador (De Noni *et al.*, 1986) como en México (Rey, 1979, Arias y Figueroa, 1990), ninguna norma establece con precisión la pendiente mínima que

deben tener las terrazas elaboradas sobre las formaciones endurecidas rehabilitadas.

A menudo se cuestiona la rentabilidad de las operaciones de rehabilitación de los suelos volcánicos endurecidos y erosionados. Resulta difícil cuantificarla debido a que los aspectos económicos, por una parte, y ecológicos, por la otra, están estrechamente ligados y el impacto ecológico es difícil de estimar. Aún limitándonos al aspecto puramente económico, se han realizado pocas evaluaciones.

La evaluación de los trabajos de reforestación que se llevan a cabo desde hace más de 20 años en México, en particular por la Comisión del Lago de Texcoco (ahora Plan del Lago), está actualmente en curso. Algunos resultados serán probablemente expuestos en este simposio.

En lo que se refiere a los cultivos, una experiencia de rehabilitación de los tepetates a la agricultura, por medio de irrigación, fue realizada (Camargo y Acosta, 1987) en el valle del Mezquital, al sur del estado de Hidalgo (México). Los resultados son concluyentes: la inversión, incluyendo subsoleo y labranza de preparación del suelo, se amortiza en 5 años. Sin embargo, de acuerdo con los autores una operación de esta índole sería menos rentable en zonas no irrigadas debido a los altos costos de los trabajos de rehabilitación, pero la reincorporación de los tepetates a la agricultura en zonas de temporal es un hecho indiscutible y se incrementa cada año. Es necesario conocer la rentabilidad de estas operaciones, la cual depende del contexto socio-económico del sitio en que se realizan, si se quiere generalizarlas en otras zonas. La evaluación de esta rentabilidad implica: la cuantificación de los costos de producción en diferentes sistemas agrícolas (por definir) y la identificación de los sistemas económicos familiares. Se aportarán igualmente aclaraciones en este renglón en el curso de este simposio.

LITERATURA CITADA

- AEPPLI, H.** 1973. Barrobdöden und Tepetate. Untersuchungen zur Bodenbildung in vulkanischen Aschen unter wechselfeuchtem gemäßigtem Klima im zentralen Hochland von Mexiko. Diss. Giessen.
- ARIAS, H. y B. FIGUEROA.** 1990. La ecuación universal de pérdidas de suelos en la cuenca del río Texcoco. XI Cong. Latinoamericano y II Cong. Cubano de la Ciencia del Suelo, Marzo 12-17. La Habana, Cuba.
- AVILA H., M.** 1963. Recuperación de suelos erosionados de Chapingo, Méx. con plantaciones forestales. Tesis M.C. Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- BESOAIN, E.** 1985. Los Suelos. Capítulo I: 25-95. *In:* J. Tosso (ed) Suelos Volcánicos de Chile. Inst. de Investigaciones Agropecuarias, INIA. 723 p.
- BRAUNACK, M. V. y A. R. DEXTER.** 1989. Soil aggregation in the seedbed: a Review. II Effect of aggregate sizes on plant growth. *Soil and Tillage Research*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Netherlands, 14, pp. 281-298.
- CAMARGO R., E. O. y ACOSTA, I. G.** 1987. Roturación y trituración de tepetate en el Valle del Mezquital. Su efecto en la agricultura bajo condiciones de riego, pp. 143-155. *In:* J. F. Ruiz F. (ed) Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH. Chapingo, Méx.
- CAUJOLLE-GAZET, A. y C. LUZURIAGA.** 1986. Estudio de un tipo de cangahua en el Ecuador. Posibilidades de mejoramiento mediante el cultivo. Documentos de investigación n°6, pp. 59-67, MAG. Quito, Ecuador.
- COLMET-DAAGE, F. et al.** 1975 à 1984. Cartes de sols de la Sierra équatorienne à 1/50 000. MAG-ORSTOM, Quito, Equateur.
- CREUTZBERG, D., J. H. KAUFFMAN, E. M. BRIDGES and G. DEL POSSO.** 1990. Micromorphology of "cangahua". A cemented subsurface horizon in soils from Ecuador, pp. 367-372. *In:* L. A. Douglas (ed). Soil micromorphology: a basic and applied science.
- DELGADILLO, M.E., M.E. MIRANDA y B. RUIZ** 1989. Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la cuenca de México. Tesis, UACH, Méx.
- DE NONI, G., G. TRUJILLO y M. VIENNOT.** 1986. L'érosion et la conservation des sols en Equateur. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 22 (2): 235-245.
- DUBROEUCQ, D., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI.** 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. *Terra* 7: 3-12.
- HEINE, K. y E. SCHÖNHALS.** 1973. Entstehung und Alter der "Toba" -Sedimente in Mexiko. Eiszeitalter u. Gegenwart, Band 23/24: 201-215.
- HERNANDEZ XOLOCOTZI, E.** 1987. Etnobotánica de Tlaxcala, pp. 1-8. *In:* J. F. RUIZ F. (ed). Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, Depto. Suelos, México.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS.** 1985. Cartas de suelos, Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.
- LAUGENIE, C.** 1982. La région des lacs, Chili Méridional, Recherches sur l'évolution géomorphologiques d'un piémont glaciaire Quaternaire andin. Thèse Doctorat, Bordeaux III, Bordeaux, France. 822 p.
- LEAMY, M.L., G. SMITH, F. COLMET-DAAGE, E. BESOAIN y M. DELAUNE.** 1980. The morphological characteristics of Andisols. *In:* B.K.G. Theng (ed). Soils with variable charge. New Zealand Soc. of Soil Science.
- MARTINEZ, T., M. y A. GARCIA R.** 1990. Naturaleza de los cementantes de algunos tepetates del Valle de México. Tesis de Licenciatura, UACH. Chapingo, Méx.
- MARIN, E.** 1973. Contribución al conocimiento de la génesis del Talpetate en Nicaragua. Publicaciones geológicas del ICAITI 4: 123-138.
- MIEHLICH, G.** 1984. Chronosequenzen und anthropogene Veränderungen andesitischer Vulkanischeböden in drei Klimastufen eines rantropischen Gebirges (Sierra Nevada de México). Hebil. Schrift, Fachber. Geowiss, Univ. Hamburg, BDR. 402 p.
- MIEHLICH, G.** 1991. Chronosequences of volcanic ash soils. *Hamburger Bodenkundliche Arbeiten* 15. Hamburg, BDR. 207 p.
- NIMLOS, T.J.** 1989. The density and strength of Mexican tepetate (duric materials). *Soil Sci.* 147-1: 23-27.
- NIMLOS, T.J.** 1990. Morphology, genesis and classification of soils formed over Mexican tepetate. *Soil survey horizons* 30 (3): 72-77.

Un segundo procedimiento, mencionado con mayor frecuencia, corresponde a un endurecimiento de los materiales en el momento de su depósito (es el caso de los flujos piroclásticos que se endurecen al enfriarse). Este fenómeno fue calificado de geológico por Nimlos (1989), y posteriormente por Dubroeuq *et al.* (1989). La alteración pedológica posterior al depósito contribuye, en general, a ablandar el horizonte inicialmente endurecido.

Finalmente, el endurecimiento puede obtenerse mediante procedimientos pedológicos que aporten elementos en solución, calificados de cemento.

El cemento puede ser de naturaleza ferruginosa; este es el caso de los suelos Ñadis en Chile. También puede ser calcáreo. Los suelos ricos en carbonato de calcio tienen generalmente una densidad aparente y una dureza elevadas. Su escasa porosidad se debe a una saturación de los poros por carbonato de calcio. Los cementos silíceos han sido mencionados con frecuencia. Aeppli (1973) fue probablemente el primero en tratar de demostrar que existe un enriquecimiento silíceo en ciertos horizontes, como resultado de un lavado en dicho elemento de los horizontes superiores. Ciertos autores, Miehlich (1984) en México y Creutzberg *et al.* (1990) en Ecuador, han reconsiderado esta teoría. Confirmaron que dentro de los horizontes endurecidos existe un exceso de sílice libre, pero, en vano trataron, de identificar por medio del microscopio acumulaciones silíceas. Esta sílice estaría íntimamente ligada a las arcillas. En cambio, estos autores piensan que los cutanes, que existen en gran número dentro de los horizontes endurecidos, desempeñan un papel determinante en el endurecimiento de los horizontes. La sílice, absorbida por la arcilla, no haría más que reforzar dicho endurecimiento, al secarse el suelo.

LA CLASIFICACION DE LOS SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS

Esta clasificación depende evidentemente de la naturaleza de los horizontes endurecidos al mismo grado que de su posición dentro del

perfil. Los suelos Ñadis han sido clasificados como Placaquands. La mayoría de los autores llama "petrocálcicos" a los horizontes ricos en acumulaciones calcáreas y "duripans" a los horizontes ricos en sílice.

La posición (profundidad) del horizonte endurecido dentro del suelo es determinante para la clasificación de este último. En caso de que los horizontes endurecidos estén localizados en profundidad, se clasifica el suelo superior, en función de sus características, y la presencia del horizonte endurecido aparece en un nivel inferior dentro de la clasificación, dependiendo de las diferentes taxonomías.

La clasificación de este último debe considerar su carácter de dureza más o menos reversible (se debe utilizar el término de "fragipan" solamente para los horizontes que se disgregan en el agua), y la naturaleza del cemento.

LA EROSION DE LAS TIERRAS

La extensión de las tierras volcánicas erosionadas en países como México y el Ecuador llevan al observador a cuestionarse sobre dos aspectos: la causa y la edad de esta erosión. Existen muchas hipótesis pero ninguna es completamente satisfactoria. Si bien es cierto (Williams, 1972) que las civilizaciones precolombinas conocían estas formaciones endurecidas, es poco probable que la erosión de las superficies que conocemos hoy en día corresponda a esa época. Es más probable que haya habido períodos durante los cuales la erosión haya sido más intensa y que las zonas actualmente erosionadas hayan sufrido este fenómeno en una fase reciente, probablemente a causa de una explotación inadecuada de las tierras. Pero ¿cuál es actualmente la situación? ¿La erosión persiste, como lo piensan ciertos autores en México (Werner *et al.*, 1978) y en Ecuador (De Noni *et al.*, 1986), o por el contrario se encuentra en una etapa de regresión? Aun cuando existen numerosas evaluaciones de la erosión tanto de los

suelos como de las formaciones volcánicas endurecidas, éstas han sido hechas principalmente en parcelas de erosión, y los resultados son difícilmente extrapolables, a nivel de la región, para poder lograr conclusiones confiables. La realización de trabajos complementarios resulta necesaria.

Nuestras propias observaciones efectuadas en el estado de Tlaxcala permiten pensar que la erosión es, hoy en día, mínima; las zonas erosionadas con tepetate están, en efecto, recolonizadas por una vegetación secundaria. Sin embargo, la erosión puede resurgir rápidamente en zonas cultivadas. En efecto, si los campesinos, con el fin de facilitar la mecanización de los trabajos agrícolas, no dudan en suprimir los bordes con plantas de maguey que separan los campos y los protegen de la erosión. La reactivación de ésta provocaría el deterioro de nuevas tierras, poniendo así al descubierto las formaciones endurecidas subyacentes. Sería recomendable reforzar las medidas para la protección de las tierras agrícolas y sería seguramente más rentable, si se considera el gasto enorme que representa la rehabilitación de las tierras recién erosionadas.

LA REHABILITACION AGRICOLA DE LAS FORMACIONES ENDURECIDAS

Resulta necesaria en ciertos países como el Ecuador y México en los que las zonas erosionadas ocupan superficies considerables en áreas densamente pobladas. La reincorporación de zonas erosionadas no es reciente. Se practicaba en la época prehispánica y Hernández (1987) afirma que hace más de 100 años los tlaxcaltecas lograban la recuperación de las zonas con tepetate en dos años, con base en cultivo de haba y ayocote, el primer año, y de maíz, el segundo.

En la actualidad, la rehabilitación de las zonas volcánicas endurecidas y erosionadas se realiza de diferentes modos. A iniciativa de ciertos organismos semi-públicos y en el marco de

grandes proyectos, las técnicas tradicionales de los campesinos -con empleo del pico- muy generalizadas, han sido poco a poco reemplazadas por técnicas modernas que emplean nivelación y roturación profunda. Estas técnicas, aunque costosas, han sido adoptadas en México por los campesinos, quienes ya las utilizan actualmente.

Las medidas para la rehabilitación de suelos tomadas por los organismos oficiales se han iniciado con frecuencia con intentos de reforestación, en parte, porque es costumbre considerar las tierras más degradadas como no aptas para cultivos anuales pero sí para el establecimiento de especies forestales.

La reforestación se ha practicado en Colombia y en Ecuador, pero sobre todo en México. Numerosas especies han sido puestas a prueba, ya sean latifoliadas, en particular especies rústicas como el Eucalipto (que se adapta perfectamente a las condiciones edáficas de estos suelos erosionados), o coníferas. Los primeros balances, aunque todavía incompletos, comienzan a realizarse.

El cultivo, fuera del medio campesino tradicional, se inició desde un principio mediante pruebas en invernadero y algunas pruebas en el campo. Los autores (Avila, 1963, Tovar, 1987, Delgadillo *et al.*, 1989, Caujolle-Gazet y Luzuriaga, 1986) están de acuerdo en reconocer que tanto los cultivos como los pastos se pueden establecer en las formaciones endurecidas después de su roturación con cantidades elevadas de fósforo y sobre todo de materia orgánica.

La roturación es necesaria con el fin de mullir las capas endurecidas; se practica comúnmente por medio de un subsoleo y, posteriormente, de una labranza con el fin de romper los bloques que quedan después del subsoleo. El tamaño final de los agregados es importante, ya que las partículas deben ser suficientemente finas para no obstaculizar la emergencia de las plantas y suficientemente gruesas para evitar la asfixia. Braunack y Dexter (1989) han señalado que el tamaño de los agregados debe estar comprendido entre 0.5 y 8 mm para que los suelos cuenten

La Extensión de las Formaciones Volcánicas Endurecidas en América Latina

La extensión de estas formaciones no se conoce con exactitud. Sin embargo, existen algunos inventarios realizados en ciertos países, los cuales permiten determinar su extensión.

En México mapas pedológicos elaborados por el INEGI hacen mención de los suelos volcánicos que presentan un horizonte duro en profundidad. La planimetría de estas formaciones indica que cubren una superficie de 30,700 km², o sea, el 27% de la superficie del eje neovolcánico mexicano (Zebrowski *et al.*, 1991). La erosión de dichos suelos es particularmente grave; sin embargo, no se dispone actualmente a escala nacional de ninguna cifra referente a los tepetates puestos a descubierto por la erosión. En ciertos estados de la república la extensión ocupada por los tepetates es elevada: por ejemplo en el estado de Tlaxcala estos últimos cubren el 54% de su superficie.

En Ecuador los mapas pedológicos a escala 1/200,000 elaborados dentro del marco de un inventario realizado por el Ministerio de Agricultura y el ORSTOM revelan que los terrenos con cangahua cubren una superficie de 3,000 km², o sea, el 20% del callejón interandino (altitud inferior a 4,000 m). Las numerosas superficies erosionadas, con exposición de cangahua, podrían ser planimetradas con base en los mapas a escala 1/50,000 elaborados con motivo del mismo inventario (Colmet-Daage *et al.*, 1975-1984).

Una primera evaluación realizada en Nicaragua por Marín (1973) refleja que los talpetates ocupan una superficie de 2,400 km² en la región de Managua.

En Chile, los mapas de suelos (Instituto de Investigaciones Agropecuarias - Ministerio de Agricultura, 1985) indican la localización de determinados suelos endurecidos, en particular del tipo Ñadis (4,750 km²), pero no señalan la extensión de otros.

En función de la información con que se cuenta, en los demás países los estudios son limitados (Perú, Colombia) y en ciertos casos inexistentes (El Salvador, Honduras).

LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES DE LA PEDOGENESIS: CLIMA, MATERIALES ORIGINALES

La simple confrontación de los mapas climatológicos con la localización de los suelos volcánicos endurecidos muestra que la mayoría de estos últimos está situado en regiones de clima relativamente seco.

En Ecuador, Colmet-Daage (1978) muestra la importancia del clima en la ubicación de los terrenos con cangahua. Los suelos poco profundos, erosionados, ricos en carbonato de calcio, de las zonas secas, ceden paulatinamente lugar, debido al aumento de las lluvias en altitud, a suelos más profundos, que contienen igualmente cangahua, pero que carecen de carbonatos, y en las zonas más elevadas, a Andosoles.

En México, Miehlich (1984), Dubroeuq *et al.* (1989) y Nimlos (1990) destacan igualmente las estrechas relaciones entre zonas climáticas y la distribución de los tepetates. Estos últimos aparecen en el altiplano mexicano únicamente bajo una pluviometría total anual inferior a 800-900 mm. Los tepetates ricos en carbonato de calcio se localizan en zonas con precipitación inferior a 650-700 mm.

En cambio, en Nicaragua los talpetates existen bajo condiciones climáticas más húmedas. La presencia de estas formaciones se debe ante todo a la naturaleza del material original (Prat, 1991).

En Chile, los suelos Ñadis están estrechamente ligados al pedo-clima. El régimen de humedad de los suelos endurecidos es údico (Besoain, 1985).

La determinación de los materiales originales es fundamental en todo estudio de formaciones volcánicas endurecidas. De acuerdo a diferentes autores, el origen de dichos materiales puede ser muy variable: depósitos eólicos de tipo loess, en Ecuador (Sauer, 1947) y en México (Heine y Schönhals, 1973), lahares reconocidos en México (Valdez, 1970), en Ecuador (Vera y López, 1986) y en Chile (Laugénie, 1982); pero son sobre todo las cenizas y lapilis, bajo forma de lluvias aéreas, es decir, no cementadas en el momento de depositarse, o bajo forma de flujos piroclásticos (cineritas, tobas y brechas) los que son comúnmente citados como origen de estas formaciones. En efecto, los autores reconocen rara vez un origen único; apelan de buen grado a una mezcla de materiales de orígenes diversos. Esto se debe, aparentemente, a que no les fue posible identificar cada material por separado. Pero es necesario señalar el intento de clasificación de los tipos de cangahua en función de los materiales originales realizado por Vera y López (1986) en Ecuador.

Si los lahares han podido producir formaciones actualmente endurecidas y los piroclásticos, bajo forma de lluvias o de flujos, son sin duda el origen de numerosas formaciones endurecidas, se debe restar importancia e incluso ignorar el origen eólico (tipo loess). En efecto, Vera y López (1986) señalan que las arenas contenidas en las cangahuas sólo presentan un número reducido de características derivadas del transporte eólico. En México, Miehllich (1991, pp. 44-45 y 118) establece que el aspecto bimodal de curvas granulométricas no resulta del transporte eólico del material, como lo pensaban Heine y Schönhals (1973), sino que más bien son el resultado de la alteración de las cenizas volcánicas. Quantin *et al.* (1991) confirman este hecho.

DUREZA Y ORIGEN DEL ENDURECIMIENTO

A pesar de que gran número de autores menciona los procesos de endurecimiento, pocos

han recurrido a medidas de dureza, se trata sobre todo de medidas subjetivas como: bloque que se rompe con mayor o menor facilidad con la mano o con el martillo, etc. Algunos autores han realizado medidas sistemáticas en el terreno, mediante penetrómetro o, con mayor frecuencia, en el laboratorio midiendo la resistencia de la muestra a la fragmentación (marco de carga).

La dureza de los horizontes de tepetate expuesto al aire libre, medida con un penetrómetro, varía con frecuencia, no sólo entre las muestras mismas sino en función de la humedad de la muestra en el momento de su medición. Los valores obtenidos en los tepetates (Miehllich, 1984; Peña y Zebrowski, 1991) oscilan entre 150 y 800 kg/cm².

La influencia de la humedad del suelo sobre la resistencia de las muestras ha sido estudiada por Nimlos (1989) y por Peña y Zebrowski, (1991). Los resultados corresponden a lo que se esperaba: a mayor sequía de las muestras, mayor resistencia. Pero este fenómeno es común en todos los suelos. Esta es, en parte, la razón por la cual los horizontes de tepetate -como lo señala Miehllich- son más resistentes cuando se les expone al aire libre que cuando están incluidos dentro de un perfil.

Es evidente que el estudio sistemático de la dureza de los horizontes llamados "endurecidos" que incluye -a título comparativo- otros tipos de suelos, debería realizarse mediante un método de referencia. ¿Los horizontes volcánicos endurecidos son, de hecho, más o menos duros que determinados horizontes vérticos o arcillosos de Planosoles? Esta comparación no ha sido realizada todavía.

Los diferentes procedimientos mencionados para explicar el endurecimiento de los suelos volcánicos son variados.

El primero corresponde a una serie de fenómenos de compactación, sea por simple compactación o por transportación de los materiales en el agua. Estos fenómenos van siempre acompañados de un aumento de la densidad aparente. Pero no se ha realizado ninguna medida precisa en esos materiales.

LOS SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS EN AMERICA LATINA

Indurated Volcanic Soils in Latin America

Claude Zebrowski

ORSTOM, México.

Palabras clave: Suelos volcánicos endurecidos, Cangahua, Tepetate, Talpetate, Pierrillo, Hardpan, Endurecimiento, América Latina.

Index words: Indurated volcanic soils, Cangahua, Tepetate, Talpetate, Pierrillo, Hardpan, Induration, Latin America.

carbonato de calcio o la sílice. Las zonas erosionadas que ponen al descubierto las formaciones endurecidas se extienden en zonas densamente pobladas. En ciertos países se practica la reincorporación de dichas zonas a la agricultura (mediante reforestación o cultivo). La rentabilidad de las obras de rehabilitación está actualmente en estudio.

RESUMEN

En la mayoría de los países del arco volcánico centro y suramericano, los suelos volcánicos que presentan en sus perfiles horizontes endurecidos han sido designados con nombres vernáculos diversos, siendo los más comunes: tepetate, talpetate, cangahua.

Su extensión y localización exactas se conocen únicamente en los países en los que se ha realizado un inventario exhaustivo (México, Ecuador y en forma parcial, en Nicaragua y Chile). Estas formaciones se encuentran generalmente en regiones en las que el clima presenta una temporada seca bien marcada. Los materiales originales están básicamente constituidos por proyecciones piroclásticas bajo forma de lluvias o de flujos. El endurecimiento de las formaciones puede ser de origen geológico (endurecimiento en el momento del depósito, en el caso de los flujos piroclásticos) o pedológico con aporte de cementos tales como el

SUMMARY

The volcanic soils which present indurated formations in their profiles have been described with vernacular names in the great majority of the countries of the Central and South American volcanic arch. The most common are: tepetate, talpetate and cangahua.

Their extension and precise localization are known only in those countries where an exhaustive inventory has been achieved (Mexico, Ecuador and, partially, in Nicaragua and Chile). Those formations are generally found in regions where climate presents a very well-defined dry season. The original materials are basically pyroclastic projections under rain or flood shapes. The formations' induration may be of geological origin (induration during the deposit as far as pyroclastic floods are concerned) or pedological origin with cements such as calcium

carbonate or silica. The eroded zones, with indurated formations on the surface, are located in strongly populated regions. The reincorporation of these zones to agriculture (by the means of reforestation and cultivation) is practised in certain countries. The profitability of the rehabilitation works is actually being studied.

INTRODUCCION

Aun cuando los suelos desarrollados a partir de materiales volcánicos han sido estudiados en casi todos los países, la superficie cubierta por éstos no es todavía bien conocida. Leamy *et al.* (1984) mencionan que 124 millones de hectáreas estarían cubiertas por Andosoles, es decir, apenas 0.8% de la superficie terrestre del globo. La totalidad de los suelos volcánicos, desarrollados a partir de proyecciones piroclásticas, ocuparían, sin embargo, un 5% de esta última. Estas cifras, en realidad sub-evaluadas, tienen que ser aumentadas significativamente si se considera la totalidad de las formaciones volcánicas, tanto las recientes como las antiguas. Solamente en lo que respecta a los países de América que miran al Pacífico, incluyendo México, los países de América Central, y los países de América del Sur, los suelos volcánicos cubren una superficie de 1,376,000 km², es decir, 23.2% del área que ocupan dichos países (casi 6 millones de km²).

Los suelos volcánicos representan un potencial innegable para la agricultura. En efecto, se les considera dentro de los suelos más fértiles. Los que se han desarrollado a partir de materiales originales recientes son bastante ricos y han sido cultivados de manera intensa. Aquéllos que provienen de rocas antiguas son menos ricos (especialmente si se trata de climas calientes y húmedos bajo los cuales se desarrollan suelos ferralíticos) pero poseen buenas características físicas, lo que explica la preferencia que se les ha dado para su cultivo.

Aparentemente, los suelos endurecidos constituyen una excepción dentro de los suelos

volcánicos ricos, por el hecho de haber sido cultivados sin las debidas precauciones y por lo tanto erosionados.

LOS SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS

Se trata de suelos que dentro de sus perfiles presentan horizontes endurecidos que pueden estar situados a profundidades variables. En numerosas regiones la erosión de las tierras ha sido tal, que las capas de suelos superiores se han perdido poniendo al descubierto los horizontes endurecidos profundos, lo que ha ocasionado la aparición de zonas erosionadas poco propicias para la agricultura. La extensión de estas zonas erosionadas en regiones, a menudo densamente pobladas, además del interés científico propiamente tal que presentan, ha motivado su estudio.

Localización de estos Suelos en América Latina

Los suelos volcánicos endurecidos han sido descritos en la mayoría de los países de América Latina con nombres a menudo vernáculos (propios a cada país). En México, se les llama Tepetates; en Centroamérica (Nicaragua, en menor grado El Salvador, Honduras y probablemente Costa Rica), toman el nombre de Talpetate. En Colombia han sido llamados Hardpán, Duripán y Cangahua en el sur del país. Este último término se utiliza igualmente en Ecuador. En el Perú se les ha llamado, según parece, Hardpán y, finalmente, en Chile encontramos los términos de Cancagua, Moromoro, Tosca y Nadis.

A pesar de que estos suelos han despertado el interés de los investigadores desde hace largo tiempo -Wolf (1896) y posteriormente Sauer (1947) describieron la cangahua en Ecuador - su estudio es todavía limitado y aún quedan numerosos problemas por resolver.

GENESIS, CARACTERIZACION Y LOCALIZACION

erosión. Porque La Malinche está hecha, según me ha explicado el Doctor Werner, por suelos esponjosos, Andosoles, que se desparraman por las barrancas, y como se desparraman por las barrancas, van generando el enarenado de las zonas aledañas a La Malinche. Pero es un volcán habitado, es un volcán con gente. Entonces, no podemos pensar en resolver el problema geofísico de La Malinche, sin entender el fenómeno antropológico y socio-económico de los pobladores de La Malinche.

De ahí que hayamos planteado un programa integral, que pretende hacer frente a todos los factores que inciden en La Malinche, y no quedarnos en el aspecto de recomendaciones de orden forestal o de recomendaciones de orden geofísico, sino afrontar que una buena parte de la población tlaxcalteca tiene una interacción con la montaña, de carácter económico; y que si no tenemos expectativa de otro tipo de ocupación, va a ser muy difícil superar la problemática ecológica de La Malinche.

Un tercer aspecto es que hemos modificado sustancialmente nuestra estrategia de recuperación de suelos y de terraceos. La experiencia nos enseñó que, no obstante la importancia de los trabajos de recuperación de suelo y terraceo en el Estado que es muy significativa, necesitábamos incorporar, casi de manera inmediata, material orgánico a las terrazas; y lograr un cambio de actitud en la cultura productiva, del agricultor que se iba a dedicar a explotar suelos recuperados por la vía de las terrazas. Esto ha significado mayor movimiento. En cuanto a la recuperación de suelos, la incorporación de abono orgánico, a garantizar el que las terrazas estén acompañadas por bordes magueyera o árboles, y todo esto dentro de un programa productivo, compartido con los productores beneficiados.

Es así, distinguidos participantes en este evento, que a pesar de que para los tlaxcaltecas el tepetate ha sido paisaje, paisaje amarillento o terroso, que de alguna manera forja un espíritu muy consistente, muy perseverante, ha sido vivienda, pues hemos aprendido a aprovechar la compactación del tepetate para formar las casas. Y también hemos aprendido a cernir el tepetate para diseñar sistemas constructivos, muy propios de la región de la Mesa Central, y ha sido determinante de pocas posibilidades de desarrollo agrícola. También nos ha formado un carácter que nos lleva a tener la certidumbre de que a pesar de que la naturaleza no es pródiga, el hombre tiene aptitud de transformarla; de que a pesar de que la naturaleza a veces nos reclama enérgicamente, las severas violaciones que hemos cometido como género en su contra, el hombre también tiene capacidad de restaurarla.

Tepetates y llanuras desérticas, son el motivo de vuestro trabajo, de vuestro esfuerzo científico, que mucho valoramos, y por eso, yo quisiera compartir con ustedes, unas breves palabras que algún poeta dedicó al huisache, esa planta que se desarrolla en los desiertos de nuestro país, dice:

*"Nada sabe decir,
pero le llega un golpe de frescura y en un gozo aromado
hasta las ramas sube su flor,
dorada, como el sol que le quema.
Erizado de espinas se levanta en la mitad del llano,
su fronda es una copa de polvo.
Cuando la roza el aire,
es una tórtola triste de seda
Ay! pero en el verano,
el huisache recibe la humedad de la tierra
su débil tronco olvida, reverdece las hojas
ablanda las espinas
Ay!, pero en el verano,
en una sola flor amarilla, pequeña
canta toda la tierra."*

Muchas gracias.

verdaderamente universal tiene el hombre. Tal vez ése sea un lenguaje sólo de la ciencia, siempre nos identifica en lo que de verdaderamente universal tenemos.

Muchos de ustedes, distinguidos visitantes, estuvieron ayer en Tlaxcala. ¿Qué podría yo agregar a lo que su aguda percepción reconoció en los suelos Tlaxcaltecas, o a los datos que les proporcionaron los especialistas? Simplemente, para todos aquéllos que no estuvieron en el recorrido de ayer, unas cifras muy rápidas.

El estado de Tlaxcala cuenta con una extensión territorial de alrededor de 4 mil kilómetros cuadrados, cuya fisiografía variable está compuesta de llanuras en un 29%; los lomeríos ocupan el 25% de la superficie estatal; las sierras, el 24%; las mesetas, alrededor del 20% y los valles, menos del 1%

En resumen, la superficie con inclinación variable, sierras y lomeríos, ocupa alrededor del 50% del territorio. La superficie de Tlaxcala, en función de sus condiciones agro-ecológicas, se distribuye de la siguiente manera: alrededor del 60% con vocación agrícola, el 8% con vocación pecuaria, el 15% con vocación forestal, y el 16% erosionada, sin uso productivo.

Con estas características, el Estado enfrenta cuatro grandes retos ecológicos, relacionados con suelo, bosque, agua y uso adecuado de los residuos sólidos.

El Estado también tiene un eje cultural que proyecta su más compleja problemática ecológica, que es el volcán de La Malinche. Los suelos del territorio tlaxcalteca han sido sujeto de diversos estudios e investigaciones. Aquí haremos una breve síntesis de algunos de los productos de estas investigaciones.

Parte de los suelos del Estado presentan un proceso de erosión, afectada en diversos grados, alrededor de 77 mil hectáreas se encuentran con erosión avanzada y casi 10 mil hectáreas con deterioro severo. Lo que en suma representa más del 20%, de la superficie estatal, con un grado importante de erosión.

Una de las principales causas de este agudo deterioro es: las condiciones topográficas de territorio y los vientos dominantes, del orden de los 20 a 30 kilómetros por hora de velocidad (promedio anual) que provienen del norte, en casi todas las regiones del Estado; por lo que los valles de la región norte, noroeste y noreste, desprovistos de vegetación arbórea, son susceptibles a la erosión eólica.

También, desde luego, ha habido en algunas regiones un uso inadecuado de los espacios naturales. Tiene un impacto importante también la erosión hidráulica que se presenta en laderas con pendiente de 5 a 10 grados y en la que se registra una precipitación media anual entre los 900 y los 1 200 mm, provocando un adelgazamiento del suelo.

Pero Tlaxcala es mucho más que este escenario geofísico, geográfico. Tlaxcala es también el sitio de una cultura milenaria, con una vocación obsesiva por la agricultura. Es la región en donde se asentaron los Olmeca-Xicalancas, que supieron establecer desde esa magnitud imponente de Cacaxtla, cultivos con irrigación en métodos de chinampa. Es esa zona en donde la cultura olmeca, la cultura cholulteca, la cultura maya y la cultura tolteca se encontraron y reprodujeron, en uno de los murales más grandiosos de Cacaxtla, el culto que tenemos los mexicanos por el maíz. Reflejaron en una milpa cómo, de cada una de las mazorcas nacía un ser humano. Cacaxtla es el único sitio de México en donde se ha encontrado en el interior de una pirámide, un cuescomate (un silo prehispánico) un conjunto de cuescomates, que reflejan cómo construyeron la enorme pirámide del gran basamento de Cacaxtla, para proteger en su entraña el grano para la producción agrícola.

Es una región en donde la cultura tlaxcalteca, asentada en los cuatro señoríos, pudo sobrevivir en ese entorno. Datos históricos registran que al arribo de los españoles a Mesoamérica, alrededor de 1519 en la época que tocaron Tlaxcala, vivían más o menos los mismos tlaxcaltecas en esa zona, que ahora habitamos en esa región.

Son 4 mil kilómetros de extensión, que han tenido aptitud para sostener y reproducir a una cultura, que ha podido arraigarse en su entorno y ha desarrollado quizás, una de las actividades de conservación de suelos más significativas en la zona de la Mesa Central.

Es muy fácil reconocer a Tlaxcala cuando uno vuela, porque es el lugar en donde empiezan las terrazas y en donde hay trabajos de conservación de suelo, más intensos y sistemáticos. En esta actividad ha tenido una participación preponderante la promoción pública, el ritmo de inversiones que se han destinado en sucesivas administraciones es importante, en el caso del gobierno que presido, nosotros destinamos alrededor del 22% de la inversión pública total a actividades que se relacionan con la preservación ecológica en distintos rubros.

Lo fundamental, lo verdaderamente importante, es la actitud de los productores y particularmente los productores campesinos, en torno a la preservación de los suelos. Sin embargo, hay algo que no se resuelve con inversión pública y con disposición de los productores exclusivamente. Ese algo es lo que los tiene a ustedes reunidos aquí: el conocimiento científico, la posibilidad de transformar la cultura productiva, y reconociendo sus valores, llevarla hacia adelante y potenciar, el saber tecnológico.

Por eso, para nosotros es muy significativo poder compartir con ustedes algunas de las características de los programas de innovación tecnológica, que estamos aplicando en Tlaxcala.

En primer término, me referiré al programa de concertación ejidal. En alrededor del 70% de los ejidos de Tlaxcala, hemos establecido convenios con los productores, con el propósito de que un técnico viva en el ejido o lo visite diariamente. Se establecen parcelas demostrativas para modificar las culturas improductivas e incrementar productividad, o bien para rescatar suelos y cuidar de las áreas más difíciles. Este técnico tiene que dar muestras concretas de incremento de la productividad en un lapso determinado, o bien de grados de preservación del ambiente.

Este técnico se enlaza con algunos productores, que nosotros llamamos productores de vanguardia los más dispuestos a asumir un proceso de renovación tecnológica, y se diseña una metodología que implica el intercambio de experiencias productivas, de los productores de ese ejido, con el conocimiento científico del técnico, del que tiene que haber un registro sistemático.

Paralelo a ello, el técnico y los productores tienen un testigo, que es el elemento innovador del proyecto. Este testigo es un muchacho del último grado de la carrera de agrobiología, de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Y este muchacho debe llevar una bitácora del proceso de transformación en el ejido. Esta bitácora y el registro de los trabajos, son los elementos primordiales para la tesis de grado de licenciatura del ingeniero en agrobiología. Ello nos permite, primero, vincular a nuestros técnicos con la realidad productiva del campo tlaxcalteca. Ese sólo propósito ya valdría la pena. El que su tesis tenga que ver con el conocimiento de la cultura productiva de la región. Segundo: nos permite tener un testigo no interesado, que califica la calidad institucional del técnico involucrado con los productores.

Y tercero: nos va a permitir tener en el Estado un Atlas de la Cultura Productiva de los ejidos de Tlaxcala que, sin duda, será un producto muy importante para el diseño de políticas agropecuarias de asistencia técnica y de inversión. Y al mismo tiempo, pretendemos, con ello, damos cuenta de la resistencia cultural a aplicar innovaciones tecnológicas, para que esto haga factible el que apliquemos métodos más adecuados para impulsar la evolución tecnológica en el campo tlaxcalteca.

Un segundo gran proyecto es el relacionado con La Malinche. La Malinche para los tlaxcaltecas es faro, guía, religión, problema, entorno. Para la cultura prehispánica tlaxcalteca, La Malinche, que en Náhuatl se dice Matlalcueyatl, era una deidad. Entonces, es extraordinariamente compleja nuestra relación con La Malinche. Es un volcán que determina las condiciones climáticas del Estado de manera absoluta y que tiene un papel importante en el proceso de

DISCURSO INAUGURAL

Inaugurational Speech

Lic. Beatriz Paredes Rangel

Gobernadora Constitucional del Estado de Tlaxcala.

En primer lugar quiero decir que para mí significa un motivo de satisfacción estar entre ustedes, en el marco de este importante Simposio Internacional sobre "Los Suelos Volcánicos Endurecidos".

Decidirme a participar en este evento fue una decisión difícil, en primer lugar, por la naturaleza del auditorio. Cuando uno sabe que se va a enfrentar a un auditorio de científicos, tiene que ponderar mucho el peso de las palabras, y en lo general, se hace una calificación prejuiciosa sobre los mensajes de los políticos. Normalmente se dice que los políticos usamos mucho las palabras, pero no necesariamente decimos cosas. Ojalá logremos que el uso de las palabras también les lleve a recibir algunos conceptos de nuestra parte.

Por otro motivo, que en el marco de este evento se incluyera nuestra participación, me llevó a pensar ¿qué podría compartir con ustedes que fuese útil en el contexto del simposio sin pretender una exposición técnica o de detalle sobre la realidad geofísica del estado de Tlaxcala? Porque en ese sentido, muchos de los que están aquí saben mucho más que yo del tema. Pero decidí asistir a este acto por la convicción que tengo, de que alentar el desarrollo de la investigación científica es causa válida para gobernantes y sociedades, y tratándose de esfuerzos técnicos que repercuten en la transformación de la realidad y que vinculan la creación científica con problemas

concretos, esta significación tiene mayor relevancia. Por ello, mucho agradezco a los organizadores de este evento el que me hayan invitado a participar. Y aunque mi modesta exposición no tenga el rigor en los elementos técnicos de los trabajos que caracterizarán este simposio, les ruego que la consideren como la sencilla expresión del agradecimiento de miles de campesinos, marcados existencialmente por un entorno geográfico reseco, polvoso, estéril, millones de tierras tepetatosas que en Tlaxcala, México y el mundo, condicionan las expectativas de desarrollo de millares de familias. Y aquí, un primer aspecto. Cuánto ha tenido que aprender la cultura productiva de las sociedades para llegar a la conclusión de lo fundamental, que es preservar el equilibrio entre el hombre y la naturaleza. Vale la pena reflexionar sobre la sabiduría de las culturas indígenas de la Mesoamérica.

Es conveniente valorar cómo las sociedades primitivas, quizá en ese sentido eran mucho más sabias que las sociedades modernas. En la Mesa Central del Altiplano de México, en donde ustedes se encuentran, hay vestigios del esfuerzo de preservación de suelos que realizaron las culturas Mexica, la cultura Texcocana y desde luego la cultura Tlaxcalteca.

Los trabajos excepcionales de la cultura Incaica, en las zonas altas de Perú y, sin duda, las expresiones de otras civilizaciones en diversas regiones del mundo nos llevan a percatarnos cómo la lógica del aprovechamiento de los

suelos, en las culturas que pretendían una autosuficiencia y no una ganancia extrema, era mucho más sabia. Tal vez esta relación con el entorno geofísico se modificó, cuando el propósito sustantivo de la agricultura dejó de ser la producción de alimentos para una sociedad específica, y cambió por la producción de excedentes que generan enormes ganancias.

Esta lógica nueva del desarrollo agropecuario contemporáneo, también modificó la toma de decisiones en cuanto a las políticas agrícolas a aplicar en zonas con el riesgo de un enorme deterioro ecológico.

Creo que, en ese sentido, lograr un adecuado registro de las prácticas ancestrales de conservación del suelo y retención del agua, sería una aportación importante de los científicos, así como lograr sistematizar el conocimiento de las diversas regiones del mundo, para que con el uso específico de la fuerza de trabajo puedan realizarse tareas concretas de preservación de los suelos. También será indispensable desarrollar tecnologías que aprovechen energías alternativas para movilizar elementos mecánicos, en torno a la preservación del suelo. De ahí que una vertiente de estudio, importante a nuestro juicio, sea cómo lograr aprovechar la energía solar y la energía eólica en estas materias.

Hay un segundo aspecto al que quiero referirme, por el que estamos aquí. Porque reconocemos que la decisión de realizar investigación aplicada, como fórmula indispensable para que la ciencia y la tecnología se constituyan como motor del desarrollo económico y difusión tecnológica, es una decisión trascendente, sin menoscabo de la investigación científica pura y de los trabajos en laboratorio.

Sin duda, los requerimientos de los países en vías de desarrollo y particularmente del sector primario, reclaman multiplicar los esfuerzos de investigación aplicada, combinándolos con experiencia de formación y participación de los productores y de transferencia de tecnología a cuadros técnicos locales. Por eso, nosotros estimamos oportuno, en este foro, plantear la

necesidad de que en los centros de alta investigación se jerarquice el papel de la investigación aplicada, y se destine un monto importante de los recursos de que disponen para privilegiar la investigación aplicada. Y también, realizar un amplísimo programa de difusión tecnológica, porque en muchas ocasiones los esfuerzos realizados no trascienden, en términos masivos, a los productores.

Un tercer comentario, que quisiéramos hacer, es lo importante que es para nuestras regiones dedicar investigación y cuadros científicos de excelencia a aquellos asuntos que no son, en términos de contabilidad monetaria, un gran negocio, pero cuyo impacto ecológico y rentabilidad social es altamente significativo.

De ahí que sea especialmente relevante la decisión de dedicar investigación a las áreas temporales, a las áreas tepetatosas, a las zonas desérticas, y no canalizar exclusivamente la calidad científica de excelencia o el volumen de recursos a las áreas irrigables, a aquellos productos que ya tienen altos niveles de rentabilidad y que lo que se quiere no es aumentar uno o dos puntos, sino reconocer que la realidad agroecológica del mundo requiere de un impulso básico a zonas con altos niveles de depresión, tanto por sus condiciones geofísicas como por el entorno socio-económico y cultural de las poblaciones que en ellas habitan.

Quizás porque creo que este simposio tiene que ver con estos elementos, de los que he hecho una breve mención, es por lo que estoy aquí. Por que quiero dejar testimonio de lo mucho que valoramos la cooperación del Colegio de Postgraduados, de ORSTOM, de la Universidad de Giessen y, desde luego, el impulso de nuestra máxima casa de estudios: la Universidad de Tlaxcala, hoy representada por el Ingeniero Xicotencatl, en co-patrocinar una serie de trabajos que en la presencia del Doctor Werner han sido de extraordinaria utilidad para nuestro entorno. Creo que además la cooperación científica internacional tiene la virtud de enlazar fraternalmente culturas, y descubrir lo que de

En tercer lugar, el problema de los suelos volcánicos se aborda en un marco multidisciplinario. Llama la atención, la participación de diversos campos y metodologías de la pedología: desde la cartografía hasta la micromorfología, desde la imagen de satélite hasta el microscopio electrónico. Pero también ustedes hicieron un llamado a investigaciones de vulcanología y agronomía, de paleogeografía y de socio-economía. Esperamos que de los trabajos enfocados al mismo tema, nacerá una síntesis para la cual los materiales no faltarán.

Por último, hay que recordar que este simposio es, ante todo, el fruto de un programa de cooperación entre varias instituciones: investigadores mexicanos, alemanes y franceses han trabajado juntos en México, con la ayuda del Colegio de Postgraduados, de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, de la Universidad de Giessen y de ORSTOM. Contaron con la participación muy activa del Gobierno del Estado de Tlaxcala, la cual agradecemos mucho, y la importante ayuda financiera de la Comunidad Económica Europea a través de su Programa Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

Los responsables de este proyecto, a quienes tenemos que felicitar, han invitado a sus colegas de todo el continente americano y de Europa. Diez países están aquí representados: México, Costa Rica, Nicaragua, Colombia, Ecuador, Chile, Estados Unidos, Alemania, Rusia y Francia.

Este simposio tendrá que dar inicio a una red internacional de investigadores trabajando sobre el mismo tema. Las redes científicas constituyen, pues, la mejor respuesta al problema de la comunicación y del intercambio de conocimientos entre investigadores. Estoy seguro que en este aspecto contarán con el apoyo del CONACYT y del ORSTOM.

Sabemos que en 1992, a iniciativa de las Naciones Unidas y del Gobierno Brasileño, tendrá lugar el Congreso Mundial sobre Medio Ambiente "Eco 92" en Rio y en diversas ciudades de Brasil. Estoy convencido de que la participación de México y otros países presentes

En troisième lieu, le problème des sols volcaniques est traité ici dans un cadre multidisciplinaire. La contribution de divers domaines de la pédologie, de la cartographie à la micromorphologie, de l'image de satellite au microscope électronique, attire notre attention. Mais vous allez également présenter des recherches dans les domaines de la volcanologie et de l'agronomie. Nous espérons que tous ces travaux réalisés sur un même sujet permettront une synthèse, pour l'établissement de laquelle les matériaux ne manqueront pas.

Enfin, il faut rappeler que ce symposium est le résultat d'un programme de coopération entre diverses institutions: des chercheurs mexicains, allemands et français ont travaillé ensemble au Mexique, avec la collaboration du Colegio de Postgraduados, de l'Université Autonome de Tlaxcala, de l'Université de Giessen et de l'ORSTOM. Ce programme a reçu l'appui du Gouvernement de l'Etat de Tlaxcala, que nous remercions vivement, et une importante aide financière de la Communauté Economique Européenne à travers son Programme Science et Technologie pour le Développement.

Les responsables de ce projet, que nous tenons à féliciter, ont invité leurs collègues du continent américain et d'Europe. Dix pays sont ici représentés: le Mexique, le Costa Rica, le Nicaragua, la Colombie, l'Equateur, le Chili, les Etats-Unis, l'Allemagne, la Russie et la France.

Ce symposium devrait constituer le point de départ d'un réseau international de chercheurs travaillant sur le même sujet. Les réseaux scientifiques constituent en effet la meilleure réponse au problème de la communication et de l'échange de connaissances entre chercheurs. Pour cela, soyez certains de compter sur l'appui du CONACYT et de l'ORSTOM.

Nous savons qu'en 1992, suite à l'initiative des Nations Unies et du gouvernement brésilien, se tiendra à Rio de Janeiro et dans différentes villes du Brésil, le Congrès Mondial sur l'Environnement "Eco 92". Je suis convaincu que la participation du Mexique, et des autres

ahora en este gran evento internacional, será muy enriquecida tomando en cuenta las conclusiones del presente simposio, como parte de su participación.

Por todas estas razones, me complace que ORSTOM, organismo público francés, conjuntamente con el Colegio de Postgraduados, la ayuda de la CEE, del CONACYT, del UNESCO, y el apoyo de las Embajadas de Alemania y Francia, haya contribuido de manera decisiva a la realización de este primer simposio.

Y, antes de terminar, quisiera decir a los edafólogos y pedólogos aquí presentes, que realmente eligieron muy bien su objeto de estudio: los tepetates en México como la cangahua en los Andes, se desarrollan en los más bellos paisajes montañosos. Así, si a un excelente tema científico ustedes pueden añadir la contemplación de grandes bellezas de la naturaleza, no habrán de extrañarse de que llegarán a una verdadera pasión por la preservación y rehabilitación de estos suelos, parte del patrimonio natural y fundamento de la agricultura.

Muchas gracias.

pays ici présents, à ce grand évènement international, pourrait être très enrichie par les conclusions de ce premier symposium.

Pour toutes ces raisons, je me félicite que l'ORSTOM, organisme public français, conjointement avec le Colegio de Postgraduados, ait contribué de manière décisive à la réalisation de ce symposium, avec l'aide de la CEE, du CONACYT, de l'UNESCO et avec l'appui des Ambassades d'Allemagne et de France.

Et pour terminer, j'aimerais féliciter les pédologues ici présents d'avoir si bien choisi leur sujet d'étude: effectivement, les tepetates au Mexique comme la cangahua dans les Andes, se développent dans les plus beaux paysages montagneux. Ainsi, si cet excellent thème scientifique vous permet, en outre, de jouir des grandes beautés de la nature, nous ne devrions pas nous étonner de vous voir devenir de véritables passionnés de la préservation et de la réhabilitation de ces sols, partie du patrimoine naturel et fondement de l'agriculture.

Je vous remercie.

PALABRAS DE BIENVENIDA

Welcome Speech

Dr. Rafael Rodríguez Montessoro

Director General

Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. México.

Señores que nos honran en el presidium, Sr. Peter Dingens, Embajador de Alemania en México; Dr. Georges Vassilev, Agregado de Cooperación Científica de la Embajada de Francia; Lic. Jorge Almanza, Asesor Económico de la Comunidad Económica Europea; Lic. Salvador Martínez Legorreta, Srio. de Desarrollo Agropecuario y Forestal del Estado de México; Dr. Michel Portais, representante de ORSTOM en México; Lic. Fernando Rosenzweig, Dir. de Cooperación Internacional de CONACYT; Dr. Winfried Blum, Srio. General de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo; Dr. Andrés Aguilar Santelises, Presidente de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo; Ing. Carlos Orozco Alam, Rector de la Universidad Autónoma Chapingo; Sr. Isidoro Burges Cuesta, Presidente Municipal de Texcoco; Dr. Claude Zebrowski, organizador del evento e investigador de ORSTOM; Dr. Héctor M. Arias Rojo, organizador del evento y profesor del Colegio de Postgraduados; Señores congresistas y amigos que nos acompañan:

Me es muy grato saludar y darles una cordial bienvenida a los participantes a este PRIMER SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE LOS SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS.

Es un honor para esta institución contar con la presencia de tan distinguidos investigadores en el área de suelos volcánicos endurecidos.

En el Colegio de Postgraduados sabemos que el estudio de los suelos es uno de los factores más importantes para lograr una agricultura organizada, una agricultura rentable, puesto que es sobre el suelo donde se llevan a cabo las acciones para el cuidado y el manejo de los cultivos, necesarias para aumentar su rendimiento.

El conocimiento de las prácticas de manejo, para incorporar terrenos con afloramiento de tepetate a las actividades agropecuarias y forestales, es una necesidad del país para aumentar la frontera agrícola e incrementar la producción de granos básicos para la alimentación del pueblo Mexicano.

Con su presencia y discusión, esperamos mejorar las condiciones de los productores agrícolas de zonas marginadas, no sólo de México sino de otros países hermanos, cuyas condiciones son similares a las que aquí se tienen. Señores congresistas, sean ustedes bienvenidos y que este evento resulte en beneficio de la agricultura del Mundo.

PALABRAS DE BIENVENIDA

Discours de Bienvenue Welcome Speech

Michel Portais

Representante ORSTOM en México.

Este primer simposio internacional sobre los problemas científicos que plantean los suelos volcánicos endurecidos es, a mi parecer, ejemplar desde varios puntos de vista.

Ante todo, en cuanto a su tema, se eligió un problema reconocido como uno de los grandes retos de nuestros tiempos: "el manejo adecuado del patrimonio natural por parte de las sociedades humanas". En el presente caso, se trata de los suelos volcánicos, de su evolución (buena y mala), de su uso y manejo.

Los suelos volcánicos endurecidos, o "tepetates" en el idioma local, cubren gran parte del México Central, y el problema de su endurecimiento se presenta en más de tres millones de hectáreas de la República Mexicana. Los trabajos por presentar en este simposio nos mostrarán la magnitud de la problemática para América Central y Andina. Es entonces un problema fundamental de economía "ambiental" a nivel de todo el continente.

En segundo lugar este problema científico de vital importancia es abordado de manera *internacional*: en efecto, la experiencia de unos tiene que servir a todos. Tanto en el aspecto meramente científico, como en el aspecto de las experiencias prácticas de rehabilitación de suelos endurecidos. En este campo México tiene una larga experiencia y no debemos olvidar el primer simposio nacional sobre tepetates que fue organizado en este país. Pero ya era tiempo de dar a esos estudios y experiencias de rehabilitación una dimensión internacional.

Ce premier symposium international sur les problèmes scientifiques posés par les sols volcaniques indurés est, à mon avis, exemplaire pour plusieurs raisons.

En premier lieu, le sujet choisi a trait à un problème que nous reconnaissons tous comme l'un des grands défis de notre époque: "La gestion adéquate du patrimoine naturel par les sociétés humaines" Il s'agit ici des sols volcaniques, de leur évolution (bonne ou mauvaise), de leur utilisation et de leur gestion.

Les sols volcaniques indurés, ou "tepetates" en langue locale, recouvrent une grande partie du Mexique Central et plus de trois millions d'hectares dans toute la République. Les travaux qui seront présentés au cours de ce symposium montreront l'importance que revêt ce problème en Amérique Centrale et Andine. Il s'agit donc bien d'un problème fondamental de gestion écologique au niveau de tout le continent.

En second lieu, ce problème scientifique de première importance est traité ici, dans un cadre international; en effet, l'expérience des uns doit servir aux autres, tant dans le domaine de la connaissance scientifique que dans celui des expériences pratiques de réhabilitation des sols indurés. Le Mexique a une longue expérience dans ce domaine et nous ne devons pas oublier qu'un Symposium National sur les Tepetates fut déjà organisé par le Colegio de Postgraduados. Mais il était temps de donner à ces recherches et expériences de réhabilitation une dimension internationale.

INAUGURACION

INTRODUCCION

La presencia de suelos volcánicos endurecidos es común en algunos países de América. Sus particularidades han llamado la atención, desde hace varios años, de científicos de este continente y de Europa. En tiempos recientes este interés ha sido renovado, en parte, por la presión por contar con nuevas tierras de labor y la preocupación por la degradación del ambiente, pero también, por la ausencia de respuestas conclusivas a interrogantes de carácter netamente científico, como son: cuál es su verdadero origen, cuál es la naturaleza de sus agentes cementantes, cómo están evolucionando y cuál es la problemática de su recuperación.

Extensas superficies de estos materiales volcánicos endurecidos se encuentran en zonas de alta densidad poblacional, lo cual crea un problema de tipo socioeconómico, ya que los sectores más empobrecidos de la sociedad son empujados hacia estas áreas marginales de escasa o nula productividad, provocando un incremento en la erosión, al emplear técnicas inadecuadas de producción, y mayor deterioro ambiental.

Este simposio tuvo como objetivo central servir de foro continental a los expertos en suelos volcánicos endurecidos. En él se expusieron trabajos que reflejan el estado actual del conocimiento acerca de estos materiales. Tales conocimientos deberán servir de marco de referencia para orientar las futuras investigaciones que se emprendan y evitar duplicidades de esfuerzos. La presente publicación aspira a documentar dichos avances, pero también a llamar la atención de los responsables de las políticas nacionales sobre el potencial y los problemas de estos suelos.

El evento fue organizado por el impulso básico que han logrado las investigaciones en suelos volcánicos endurecidos en México, gracias a una estrecha colaboración de científicos de Francia, pertenecientes a ORSTOM, de Alemania asociados con la Universidad de Giessen, y de México, con sede en el Colegio de Postgraduados y en la Universidad de Tlaxcala.

El financiamiento para realizar las investigaciones en los últimos años provino principalmente de la Comunidad Económica Europea, a quién extendemos nuestras más sinceros agradecimientos. Sin dicho apoyo la realización de las muchas investigaciones recientes en México y de este simposio no habría sido posible. Los organizadores quieren hacer extensivos estos agradecimientos a UNESCO, CONACYT, ORSTOM, Colegio de Postgraduados, Gobierno del Estado de Tlaxcala y Universidad de Giessen por los aportes y facilidades otorgadas al éxito de esta reunión. Gracias a ellos se pudo invitar a participantes extranjeros, atenderlos durante su estadía e imprimir las presentes memorias.

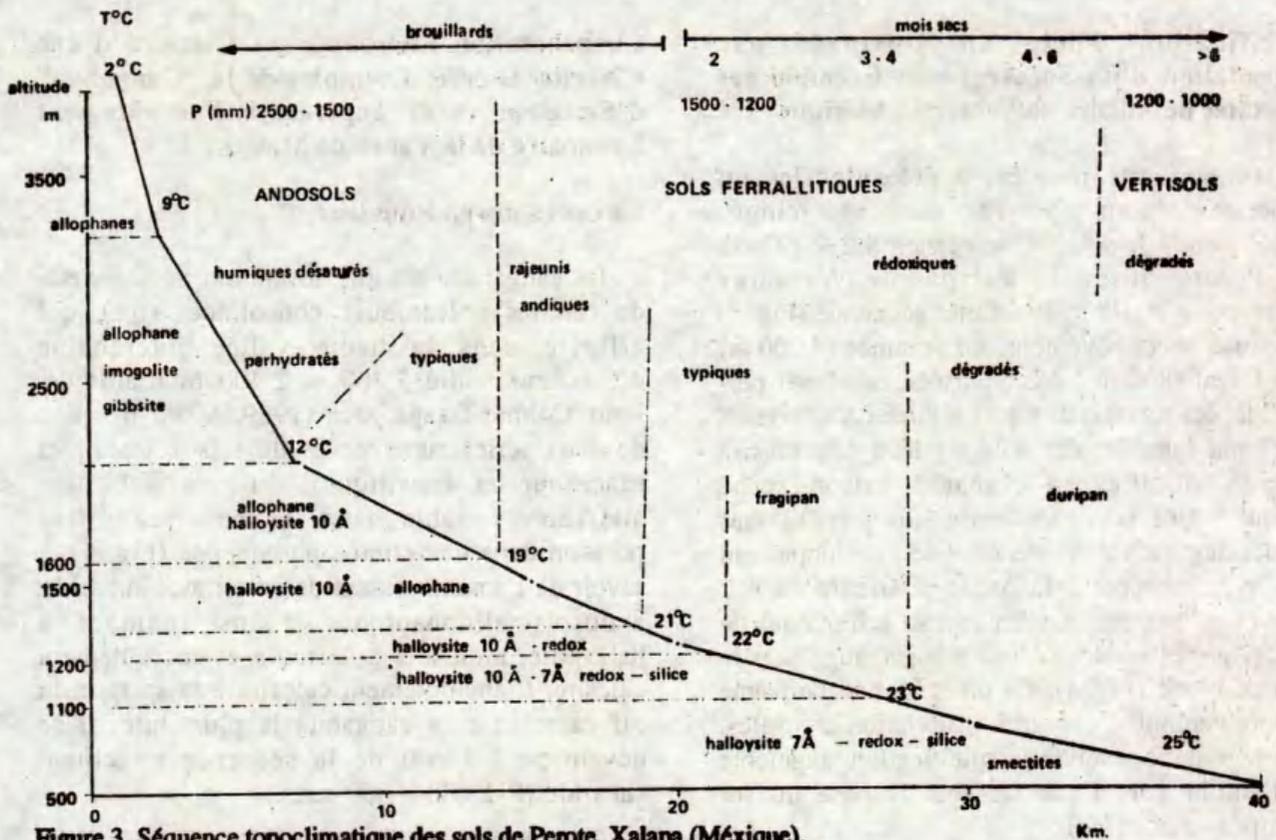


Figure 3. Séquence topoclimatique des sols de Perote, Xalapa (Méxique).

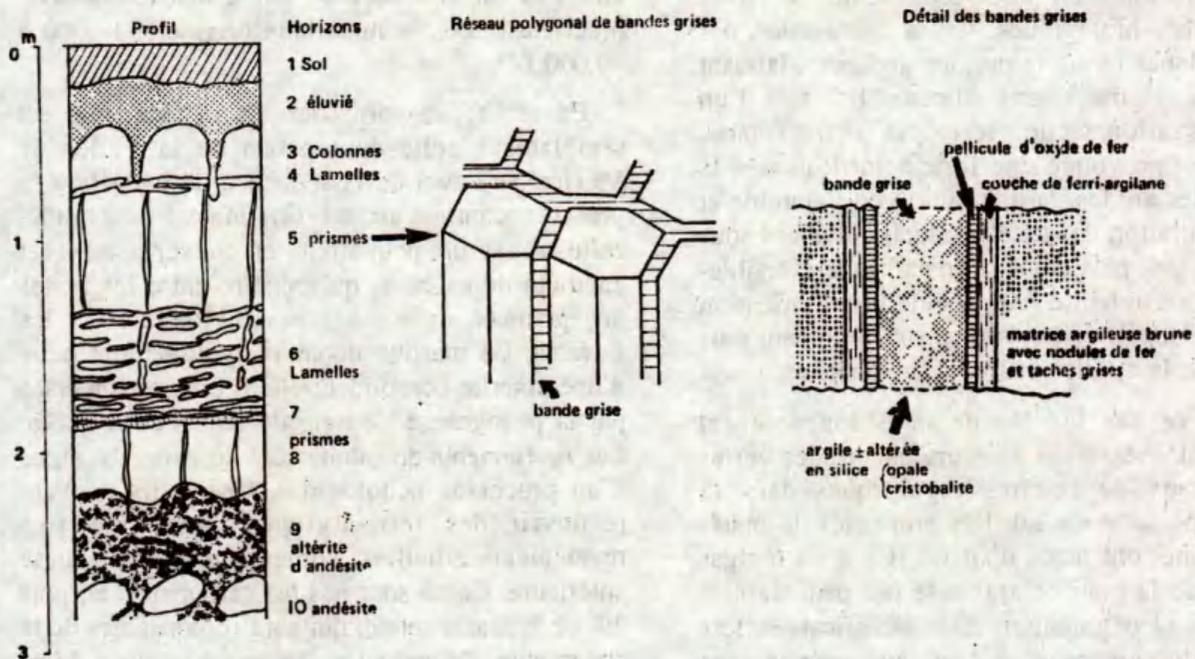


Figure 4. Dégradation d'un sol ferrallitique à halloysite; altération d'argiles et silicification, Xalapa (Méxique).

Silicification Forte en Duripan, par Dégradation d'un Sol Argileux: Exemple des Tepetates de Xalapa de Veracruz, Mexique

Des horizons indurés, appelés localement "tepetates", sont observés dans une climotoposéquence de sols, sur le versant S.E. du Cofre de Perote jusqu'à Xalapa de Veracruz (Dubroeuq *et al.*, 1989). Cette séquence (Fig. 3) comporte successivement, du sommet (4,000 m) vers l'aval (800 m); des andosols, en climat per-humide; des sols ferrallitiques argileux à halloysite, en climat humide; des sols argileux dégradés, à duripan silicifié, en climat à saison sèche marquée. Une transition entre sols ferrallitiques et sols dégradés consiste dans le développement de l'hydromorphie à la partie inférieure du sol; celle-ci se marque par un réseau orthogonal de bandes grises bordées d'une frange rouge vers la matrice brune (Fig. 4). Ce processus accompagne un mouvement d'éluvation-illuviation d'argiles. Une dégradation, suivie de silicification, augmente de l'amont vers l'aval et vers la base du sol (Campos *et al.*, 1990).

Au début, elle se développe clairement à la surface des prismes, en bordure des fentes de retrait et des tubes biologiques. Il y a dégradation des ferri-argilanes ou de la matrice argileuse, laissant un résidu de limon gris siliceux. Il s'agit d'un processus saisonnier de "ferrolyse" (Brinckmann, 1970), qui provoque une forte acidification à la surface des argiles, la dissolution de l'alumine et la concentration de silice résiduelle, d'abord sous forme de gel, puis celui-ci cristallise irréversiblement en cristobalite. Au début, la silicification n'est que superficielle, formant un fragipan, puis elle gagne la matrice et forme un duripan.

Dans ce cas le rôle de la pédogenèse est primordial, même s'il demeure encore des verres et minéraux de cendres rhyolitiques dans la partie supérieure du sol. Les propriétés du matériau originel ont quasi disparu. Il y a eu réorganisation de la matrice argileuse par pédoplasma-tion, puis sa dégradation et sa silicification. Les traits pédologiques abondent; eux-mêmes sont dégradés et silicifiés.

Carbonatation Encroûtement Calcaire d'une Cinérite Altérée: Exemples de la "Cangahua" d'Equateur et de Tepetate à Encroûtement Laminaire de la Vallée de Mexico

La cangahua en Equateur

La cangahua, est une formation superficielle de cendres volcaniques consolidées (tuf), qui affleure dans la haute vallée interandine d'Equateur, entre 3,200 et 2,400 m d'altitude. Pour Colmet-Daage *et al* (1969;1973), il s'agit de deux séries superposées de tufs volcaniques (dacitique et basaltique), qui ont subi une altération variable dans les sols selon leur position dans une climotoposéquence (Fig. 5), à savoir de l'amont perhumide vers l'aval subaride: andosols allophaniques, bruns andiques à halloysite, mollisols à smectite et encroûtement calcaire. L'encroûtement calcaire à la surface du tuf caractérise la cangahua la plus dure; il se développe à l'aval de la séquence en climat subaride (P-1 000 à 800 mm).

C'est pourquoi Winckell et Zebrowski (1990, non publié) pensent que l'induration des cinérites est consécutive de la pédogenèse; ils précisent l'âge des matériaux originels: 17,000 à 40,000 BP.

En réalité, la formation de la cangahua est semblable à celle du tepetate de la Vallée de Mexico. A l'aval de la séquence, la cangahua se présente comme un tuf fin, massif et prismé; celui-ci est un peu altéré et en surface il est encroûté de calcaire, qui pénètre entre les fentes des prismes, dans les tubes biologiques et les fissures. La matrice demeure typiquement celle d'une cinérite consolidée; elle n'est que traversée par la pédogenèse, le long de fentes et de tubes. Les revêtements de calcite sont superficiels, signe d'un processus pédologique récent; ils peuvent recouvrir des ferri-argilanes, voire de fins revêtements silicifiés, signes d'une pédogenèse antérieure. Ce ne sont pas les carbonates, au plus 2% de la masse totale, qui sont responsables de la cimentation (Winckell et Zebrowski, 1990). Mais la matrice du tuf est riche en silice (rapport

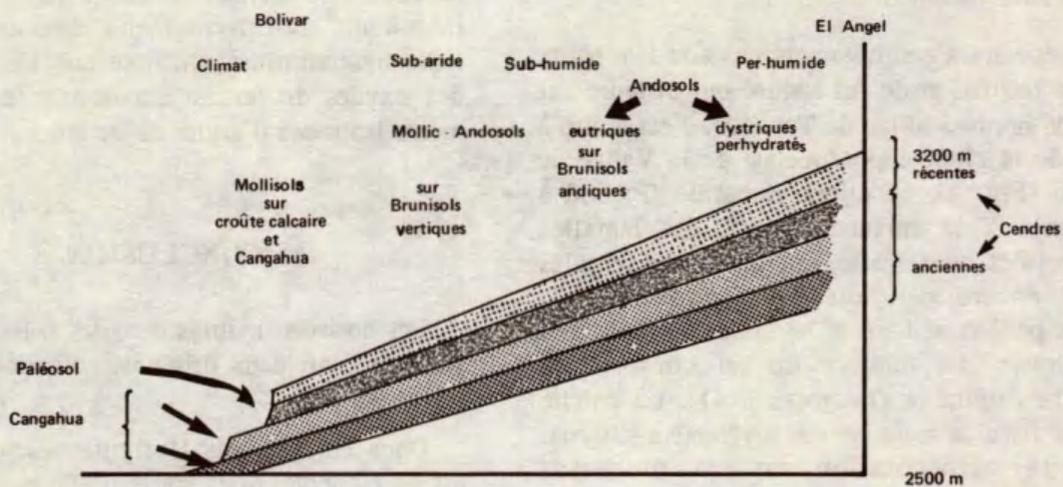


Figure 5. Climatoposéquence de sols et de cangahua (Equateur).

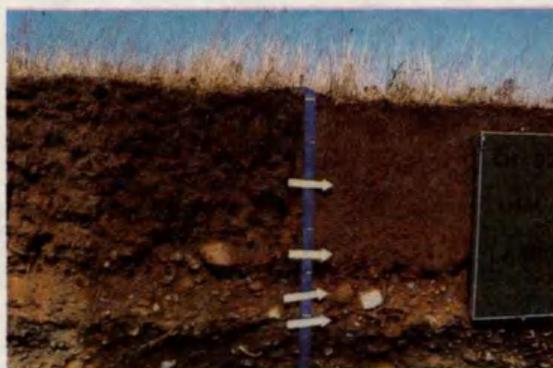


Figure 6. Ansol désaturé hydromorphe à horizon induré par des oxydes de fer, dit "fierrillo" de Lanco, (Chili).
 a. Vue du profil, l'horizon induré est à la base.
 b. Détail d'un fragment de "fierrillo".

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ mol. de 4 à 6) et pourrait comporter un ciment discret d'opale, celui-ci serait plutôt contemporain de la volcanogénèse.

Le tepetate à encroûtement calcaire laminaire de la Vallée de Mexico

Le tepetate à encroûtement calcaire laminaire, est une formation de tuf induré qui affleure sur le glacis bordant le lac de Texcoco; c'est à dire à l'aval de la climo-toposéquence de la Vallée de Mexico (Fig. 1), en climat subaride (P: 600 à 700 mm). A la surface du tuf, des lamelles entrecroisées de calcaire, englobent des lentilles de tuf encore peu altéré; en profondeur le calcaire pénètre seulement les fissures et les tubes biologiques. La matrice du tuf conserve sa structure originelle (Lacroix, 1991). La calcite dans les fissures recouvre des revêtement siliceux. Donc la carbonatation est un processus pédologique récent, voire aussi sédimentaire en bordure du lac (présence d'algues encroûtantes). Tandis que la consolidation de la matrice du tuf pourrait être due à la volcanogénèse.

Duripan Ferrugineux à la Base d'une Cinérite Altérée: Exemple du "Fierrillo" au Chili

Un horizon induré par des oxydes de fer, appelé "El Fierrillo", est observé à la base de certains andosols du Chili. Ces sols, appelés localement "ñadi" dérivent de cendres basaltiques récentes qui recouvrent un dépôt fluvio-

glaciaire (Wright, 1965). Une nappe phréatique fluctuante cause une hydromorphie variable à la base du sol, qui provoque l'accumulation des oxydes de fer, puis leur induration. C'est donc un processus pédologique secondaire dans un andosol. Cet horizon induré (Fig. 6) est comparable à un "alios ferrugineux" dans un sol podzologique hydromorphe. On note que l'accumulation des oxydes de fer est accompagnée de revêtements isotropes d'argile ou de silice.

CONCLUSION

Les horizons indurés dans les sols volcaniques peuvent avoir deux origines, volcano-génique ou pédologique.

Dans certains cas l'origine volcanique d'un tuf est évidente. Mais souvent elle paraît ambiguë dans les sols, car la pédogénèse se surimpose; elle contribue soit à réduire le ciment du tuf en climat humide, soit à le conserver en climat subaride, et même à y ajouter un apport de silice ou de calcaire, qui renforce l'induration.

Cependant l'impact primordial de la pédogénèse est évident dans deux cas: la dégradation d'un sol argileux en climat subhumide conduit à une silicification et induration du sol; ou un régime hydromorphe variable en climat humide contribue à la formation d'un ciment ferrugineux à la base du sol.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BICE, D.C. 1985. Quaternary stratigraphy of Managua, Nicaragua: correlation and source assignment for multiple overlapping plinian deposit. Geol. Soc. Am. Abstracts 96: 553-566.

BRINCKMANN, R. 1970. Ferrolysis, a hydro-morphic soil forming process. Geoderma 3: 199-206.

CAMPOS, A. y D. DUBROEUCQ. 1990. Formación de tepetates en suelos volcánicos provenientes de las alteraciones de materiales volcánicos. Terra 8: 137-147.

COLMET-DAAGE, F., C. DE KIMPE, M. DELAUNE, G. SIEFFERMANN, J. et M. GAUTHEYROU, G. FUSIL et M. KOUKOU. 1969. Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques. 3^{ème} partie. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. VII, 4: 495-560.

COLMET-DAAGE, F., M. DELAUNE, G. FUSIL, O. YEPEZ, N. ESPINOZA et J. TRICHET. 1973. Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques. 3^{ème} partie. Mém. ORSTOM Antilles, Fort de France, France. 45 p.

DUBROEUCQ, D., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI. 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. *Terra* 7: 3-12.

FISCHER, R. V. and H.V. SCHIMCKE. 1984. *Pyroclastic rocks.* Springerl. Verlag, Heidelberg. 472 p.

HIDALGO, C. 1991. Contribution à l'étude de sols volcaniques indurés (tepetates) de la région de México: cimentation, induration. DEA. Pédologie, Univ. Nancy I, Nancy, France. 57 p.

LACROIX, E. 1989. Etude microscopique d'une croûte calcaire sur "tepetate" (Altiplano du Mexique). DEA Pédologie, Univ. Nancy I, Nancy, France. 27 p.

MARIN, C. E. J., G. E. UBEDA y O.J. VIRAMONTE. 1971. Contribución al conocimiento de la génesis del "talpetate". 3^{ème} Réun. Geol. Amér. Centr. San José, Costa Rica. 31 p.

NIMLOS, T.M. 1987. La nomenclatura de horizontes endurecidos en suelos de cenizas volcánicas. pp. 10-18. *In:* J.F. RUIZ F. (ed). *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural.* UACH, Depto. Suelos, Mexique.

PRAT C. 1991. Etude du "talpetate" de la région Centre Pacifique du Nicaragua, Thèse Univ. Paris VI, Paris, France. 320 p.

PRAT, C. y P. QUANTIN. 1992. Origen y génesis del "talpetate", horizonte endurecido de los suelos volcánicos de la región Centro Pacífico de Nicaragua, Publicado en este volumen.

WINCKELL, A. et C. ZEBROWSKI. 1990. La cangahua. Note manuscrite inédite, ORSTOM, Paris, France.

WRIGHT, C. A. 1965. The volcanic ash soils of Chile. Report to Government of Chile. FAO Rep. nº 2017, Rome. 201 p.

THE CRITERIA OF DURIPANS IN THE U.S. SOIL TAXONOMY AND THE CONTRIBUTION OF MICROMORPHOLOGY TO CHARACTERIZE SILICA INDURATED SOILS

Los Criterios de los Duripanes en la Soil Taxonomy, y la Contribución de la
Micromorfología para Caracterizar los Suelos Endurecidos por la Sílice

Klaus W. Flach ¹, Wiley D. Nettleton ², and Oliver A. Chadwick ³

¹ Colorado State University.

² National Soil Survey Laboratory.

³ California Institute of Technology.

Key words: USA, Mexico, Indurated volcanic soils, Duripan, Fragipan, Durinodes, Characterization, Micromorphology, Genesis, Silica.

Palabras clave: USA, México, Suelos volcánicos endurecidos, Duripán, Durinodes, Fragipán, Caracterización, Micromorfología, Génesis, Sílice.

RESUMEN

Los horizontes de suelos que tienen sílice o que son cementados por ella, son clasificados como duripans en la U.S. Soil Taxonomy. Son caracterizados únicamente mediante criterios químicos y físicos, pero la micromorfología era utilizada para la identificación de los cementos y en el desarrollo de criterios diagnósticos. La identificación de los revestimientos de sílice en los suelos es a menudo difícil porque son delgados y discontinuos.

En los Estados Unidos, los duripanes aparecen principalmente en dos situaciones: los Durixeralfs en los suelos muy viejos bajo un clima mediterráneo, y los Durargids en suelos general-

mente más jóvenes, influenciados por cenizas, bajo un clima árido. La micromorfología muestra que los revestimientos de sílice están asociados con una película de arcilla o en los Aridisols, con depósitos de carbonatos de calcio. En los fragipanes, la sílice puede ser un agente de cementación pero su existencia no puede ser probada con certeza. La sílice puede encontrarse como pequeños precipitados de ópalo-A en la matriz de los Durargids, o como silanes de ópalo-Ct que son interstratificados con argilanes en los Durixeralfs.

Las formas y modos de precipitación de la sílice pueden explicar la mayor efectividad de la sílice como cementante en comparación a los carbonatos. Para ser cementantes eficaces, los carbonatos deben rellenar completamente los poros formando así una matriz continua mientras que pequeñas cantidades de sílice, adsorbidas sobre la superficie de las arcillas y de los sesquióxidos, forman películas de ópalo que provoca la induración.

Las referencias bibliográficas parecen indicar que los tepetates de México son demasiado variables y poco definidos para entrar en la definición habitual de los duripanes. Tenemos que aclarar bajo cuales condiciones los tepetates empiezan a endurecerse y aumentar la definición

de los duripanes o crear taxa distintos para las diferentes formas de lo que se llama hoy en día, tepetate. La micromorfología puede ser una herramienta inestimable para este objetivo, pero tiene que ser precedida por cuidadosas observaciones de campo e integrada dentro de investigaciones mineralógicas, químicas y de mecánica de suelos.

SUMMARY

Silica cemented and indurated soil horizons are classified as duripans in the U.S. Soil Taxonomy. They are defined only by physical and chemical criteria, but micromorphology was used in identifying cements and in developing the diagnostic criteria. The identification of silica coatings in soils is often difficult, because they are thin and discontinuous.

In the USA, duripans occur mainly in two situations: the Durixeralfs in very old soils in mediterranean climate and as Durargids in usually much younger, ash influenced, soils in arid climate. The micromorphology shows that the silica coatings are either associated with clay skins or in Aridisols, with calcium carbonates deposits. In Fragipans, silica may be a contributing cement but its existence cannot be proven with certainty. The Silica may be in the form of flocs of opal-A in the matrix of Durargids or as silans of opal-Ct that are interlayered in argillans in Durixeralfs.

The forms and modes of precipitation of silica may explain the greater effectiveness of silica as cement as compared to carbonates. To be effective cements, carbonates must fill pores completely to form a continuous matrix, while relatively small amounts of silica, adsorbed on the surfaces of clays and sesquioxides, forms films of opal that cause induration.

The existing literature suggests that the tepetates of Mexico are too variable and poorly defined to fit the current definition of duripans. We have to clarify under which circumstances the

tepetates becomes indurated and either expand the definition of duripans or create separate taxa for various forms of what is now called tepetate. Micromorphology can be an invaluable tool for this purpose, but it must be integrated with careful field studies and research on mineralogical, chemical and mechanical properties.

INTRODUCTION

The aim of this paper is to review the criteria for the classification of silica cemented and indurated soil horizons, and to show the contributions of micromorphology to the structural and mineralogical characterization of horizons. Finally, we will attempt to identify research that is needed to improve the characterization of tepetates of Mexico and to clarify their classification.

Silica cemented, indurated soil horizons are classified as duripans in Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975, 1990). The duripan is defined as follows:

"The duripan (L. durus, hard, plus pan; meaning hardpan) is a subsurface horizon that is cemented by silica to the degree that fragments from the air-dry horizon do not slake during prolonged soaking in water or in HCl. In summary, the duripan is a silica cemented subsurface horizon in which

1. Cementation is strong enough that the dry fragments from some subhorizon do not slake in water, even during prolonged wetting; and

2. Coatings of silica, insoluble in 1N HCl even during prolonged soaking but soluble in hot concentrated KOH or in alternating acid and alkali, are present in some pores and on some structural faces, or some durinodes are present; and

3. Cementation is not destroyed by soaking in acid in more than half of any laminar capping that may be present or in some other continuous imbricated subhorizon. Cementation in such layers is completely destroyed by hot concentrated KOH, either by a single treatment or by alternating with acid; and

4. *If fractured, the average lateral distance between fracture points is 10 cm or more.*"

This definition separates duripans from other soil horizons that are not indurated, from horizons that are cemented when dry but slake readily upon wetting (fragipans), and from other indurated horizons that are cemented by iron (ortstein), calcium carbonate, (petrocalcic horizons), or gypsum (petrogypsic horizons).

Duripans are specifically identified as soil horizons because they have features that can be related to pedogenic processes. In this they differ from indurated materials underlying soils that are defined by attributes of their "contact" with the soil, such as petroferic and lithic contacts. It should be emphasized that silica as cement in soils is not restricted to duripans. Silica has been identified as the cement in soil aggregates that resist dispersion (Chartres *et al.*, 1990) and as the cement that may be responsible for the hardness and brittleness of some fragipans (Steinhardt and Franzmeier, 1979), and as a contributing cement in some petrocalcic horizons (Flach *et al.*, 1969). It has also been suspected to be responsible for the rigidity and hardness of crusts on the soil surface. It may be no coincidence that the formation of surface crusts that are hard enough to impede seedling emergence occurs predominantly on soils having parent materials and climates similar to those associated with duripans.

This definition of the duripan evolved quite early in the development of Soil Taxonomy and has not been changed significantly in the past 30 years. The definition is based largely on our experience in subhumid and semiarid parts of the western United States and does not reflect what we have learned in the meantime about pan horizons in other environments.

Cementation that is strong enough to meet the definition of duripans is recognized in Argids and Orthids of the order Aridisols, in Xerals and Ustals of the order Alfisols, in Xerolls of the

order Mollisols, Ochrepts of the order Inceptisols and in Udands and Ustands (Soil Survey Staff, 1990) of the order Andisols. Except for Udands, the definitions are similar, requiring the presence of a duripan within one meter of the soil surface. In Udands only the presence, in more than 75% of each pedon, of a "cemented horizon which does not slake in water" is required and the nature of the cement is not specified.

Weaker cementation than that is typical of duripans (Soil Survey Staff, 1975) is recognized in duric subgroups of some Aridisols for soils that have durinodes or that are "brittle and have firm consistence".

"Durinodes (L. durus, hard; nodus, knot) are weakly cemented to indurated nodules. The cement is SiO₂, presumably opal and microcrystalline forms of silica. It breaks down in hot concentrated KOH after treatment with HCl to remove carbonates but does not break down with concentrated HCl alone. Dry durinodes do not slake appreciably in water, but prolonged soaking can result in spalling of very thin platelets and some slaking. The durinodes are firm or very firm (when moist); they are brittle when wet, both before and after treatment with acid; and they are disconnected and range upward in size from a diameter of about one centimeter. Most durinodes are roughly concentric when viewed in cross section, and concentric stringers of opal may be visible under a hand lens" (Soil Survey Staff, 1975).

Duric subgroups are defined as having within 100 cm of the soil surface a horizon that is more than 15 cm thick and either contains 20% (by volume) or more durinodes in a nonbrittle matrix or is brittle and has firm consistence when moist.

It should be noted that in the absence of durinodes evidence of a silica cement is not specifically required for placement in duric subgroups. No duric subgroups are recognized in Xerals or Xerochrepts, which are geographically associated with Durixeralfs.

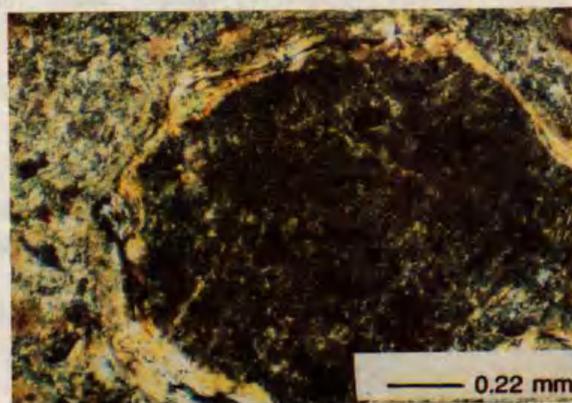
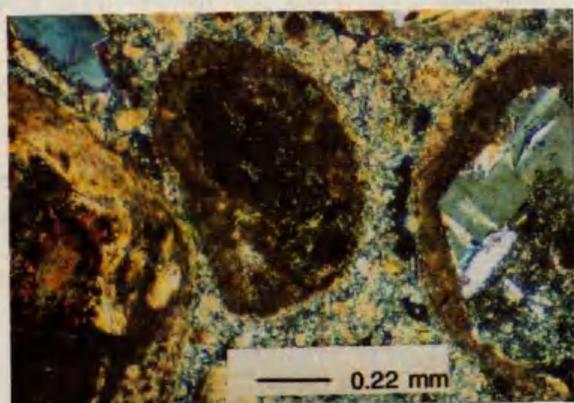
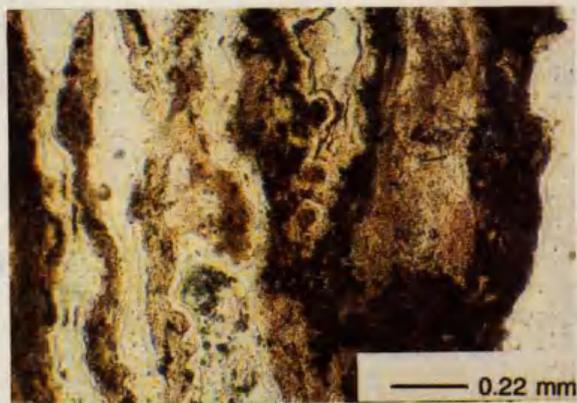
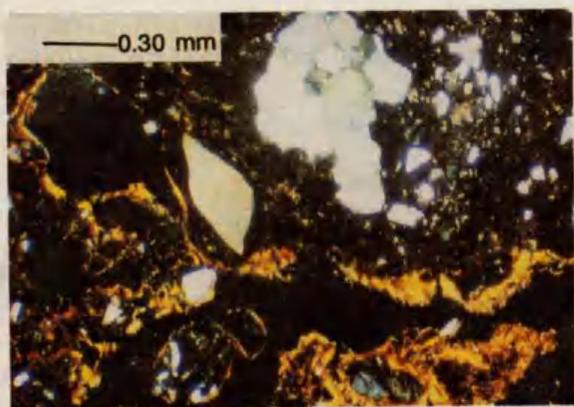
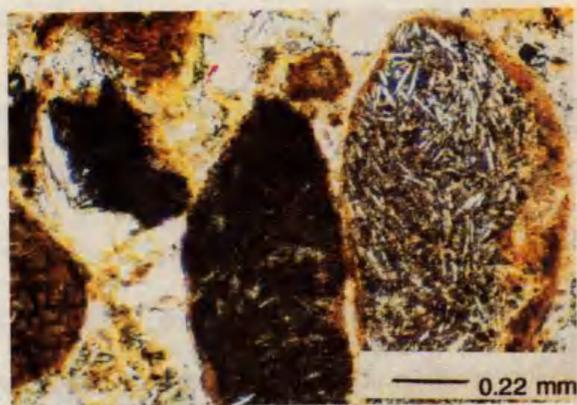
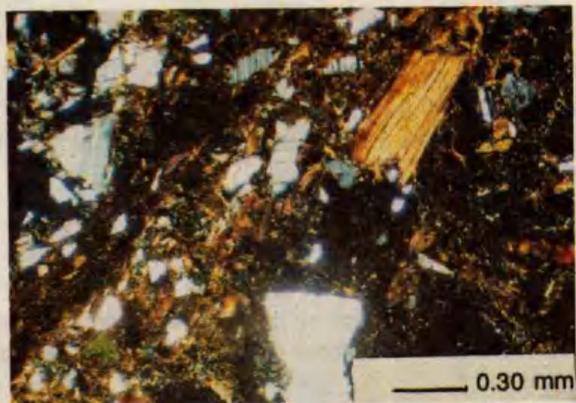


Fig. 1. Photomicrograph of a thin section of a silica coating on a prism face of a Haploxeralf at a depth of about 250 cm. X polarizers. Enaulic¹ related distribution pattern, insepic plasmic fabric with some isotic areas. This Haploxeralf formed in alluvium from granodiorite; Riverside County, California.

Fig. 2. Photomicrograph of a thin section of silans and illuviation argillan in the 2Bqkm horizon of a Durixeroll. Plain light. Enaulic¹ related distribution pattern, skelsepic and iotic plasmic fabric. This Durixeroll formed in loess and tephra over alluvium and residuum from basalt; Jefferson County, Oregon.

Fig. 3. Photomicrograph of a thin section of a channel illuviation argillan in the Btqm3 horizon of a Durixeralf at a depth of about 125 cm. X polarizers. Enaulic¹ related distribution pattern, isotic plasmic fabric. This Durixeralf formed in alluvium from granodiorite; Monterey County, California.

Fig. 4. Photomicrograph of a thin section from the top of an indurated pan in a Paleorthid at a depth of about 50 cm, showing the silica laminae after acid treatment. Plain light view. Open porphyric¹ related distribution pattern, isotic and crystic plasmic fabric before acid treatment, now isotic. This Paleorthid formed in alluvium from limestone, quartzite, and reworked tephra-rich sediments; Lincoln County, Nevada.

Fig. 5. Photomicrograph of a thin section of a Bqkm3 horizon of a Nadurargid at a depth of about 110 cm showing an abundance of micrite and opal. X polarizers. Enaulic¹ related distribution pattern, crystic and isotic plasmic fabric. This Nadurargid formed in alluvium from mixed alluvium, andesite and tuff; Pershing County, Nevada.

Fig. 6. Photomicrograph of an acid treated thin section of the Bqkm3 horizon of the Nadurargid of Figure 5. Most of the carbonate has been removed. X polarizers. Enaulic¹ related distribution pattern, skelsepic-crystic-isotic plasmic fabric. The tephra fragment is surrounded by laminated, birefringent clay; Pershing County, Nevada.

¹ Terminology according to Stoops and Jongerijs (1975).

MICROMORPHOLOGICAL STUDIES OF CEMENTED HORIZONS

Although micromorphological techniques are not specifically mentioned in the discussion of duripans and durinodes in Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), micromorphological studies were used both in developing the definition of duripans and in recognizing various forms of SiO_2 as the essential cement in duripans.

There are several reasons for this:

1. Silica coatings (Fig. 1) in many soils are too thin to be positively identified with a handlens or similar tools in the field.

2. Silica coatings are often too thin to be separated and identified by various mineralogical procedures.

3. Chemical extractants are not sufficiently specific for opal. Although opal is more soluble than most primary minerals, it is usually a very minor component of the soil mass, and many of the crystalline and amorphous minerals in duripans are also soluble.

4. The location is more critical than the total amount of the opal cement. Very small amounts of opal at the contact points of primary minerals or in association with clay can be a very effective cement (Fig. 2).

5. Changes in the degree of cementation when treated with hot KOH are difficult to observe and even more difficult to quantify. Accurate observations could be made only if the soil fragments were returned to the moisture content of the natural pan. Also, the low porosity of many pans makes it difficult to achieve wetting with KOH.

OCCURRENCE OF SILICA CEMENTED SOILS IN THE UNITED STATES

Duripans in the United States formed in parent materials that release silica on weathering and in climates that provide enough moisture for weathering but not enough for intensive leaching in most years.

Duripans occur in either of two situations:

1 In Xeralfs on very old and stable landscapes of early Pleistocene or Tertiary age having a mediterranean climate, on alluvial fans from crystalline, igneous rocks on the west slope of the Sierra Nevada, or on coastal high terraces with a current precipitation of 400 to 700 mm; or

2 In Argids and Orthids on the more stable components of much younger landscapes of late Pleistocene or Holocene age in the deserts of eastern California, Nevada, Arizona, and Idaho (Flach *et al.*, 1973). The latter occurrences are consistently associated with the presence of volcanic ash or other pyroclastic materials.

All duripans in our experience have an abrupt upper boundary, but there are distinct differences in morphology and associated features between the pans in mediterranean and arid climates.

The pans in Xeralfs tend to be separated into coarse prisms with vertical faces that are from 25 to 300 cm apart. In the most strongly developed pans in Typic Durixeralfs the silica coatings extend across the tops of the prisms and along the vertical faces. The pans have diffuse lower boundaries and are usually from one to two meters thick. In more weakly developed pans, Haplic Durixeralfs, prominent silica coatings are usually present in the lower parts of the vertical prism faces but the coatings at the top of the pan may be very thin or absent. The indurated fragments that are critical for identifying and classifying duripans are usually found in the lower parts of the prism faces. Thin coatings on the walls of pores and on mineral grains occur throughout the pan. In Xeralfs, the duripan underlies an argillic horizon and evidence of clay movement can be seen throughout the pan (Fig. 3). The major concentrations of Si in the pans are associated with clay skins, suggesting a common mode of deposition in those parts of the soil profile where water movement stopped. At most, these soils are weakly calcareous, and small amounts of calcium carbonate may be found in association with the major concentrations of silica and clay.

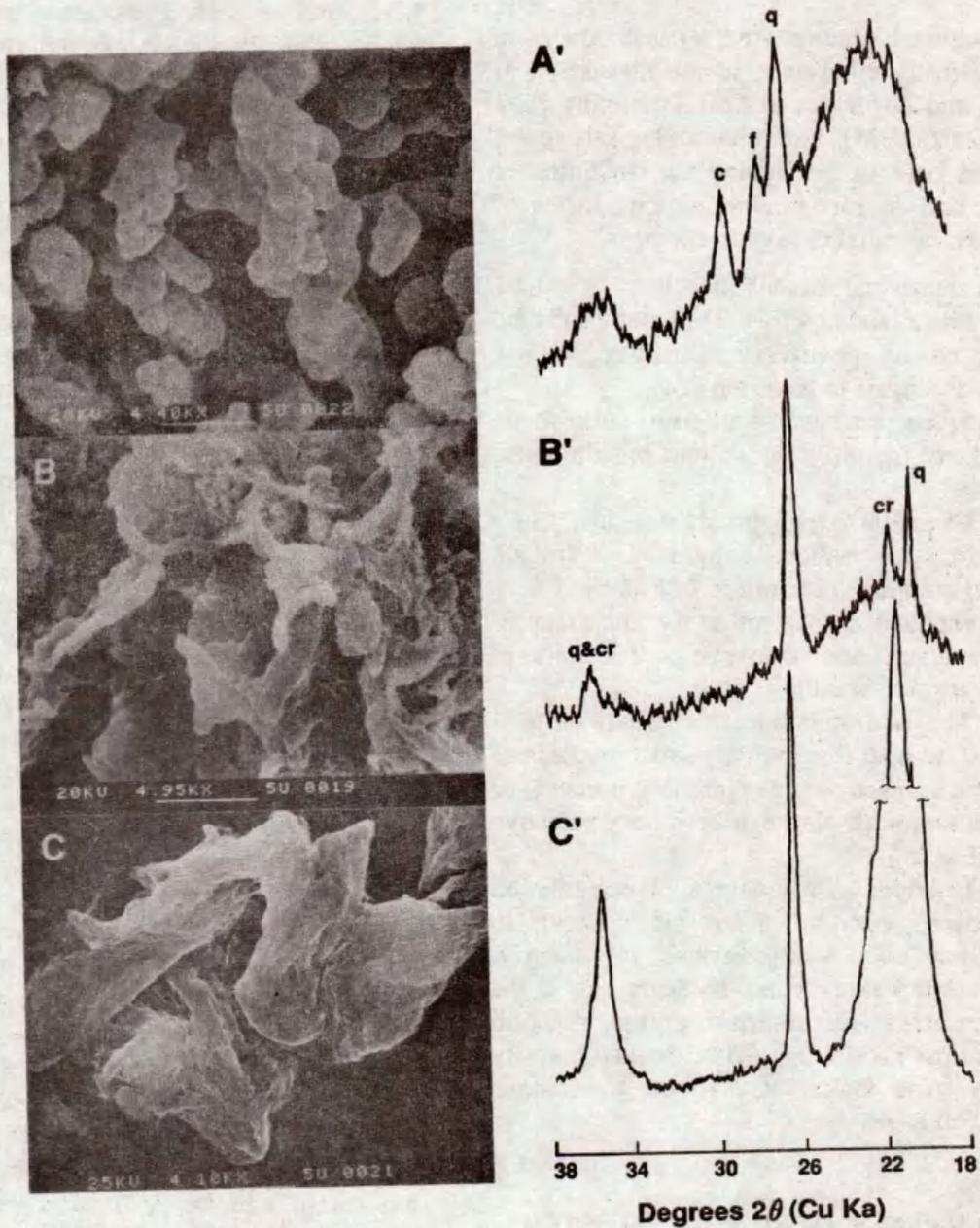


Fig. 8. Scanning Electron Microscope (SEM) micrographs and X-ray diffraction patterns of opal-A and opal-CT.



Fig. 7. Photomicrograph of a thin section from the upper part of the 2Bqkm horizon of a Durixeroll. Plain light. Open porphyric¹ related distribution pattern, skelsepic and isotic plasmic fabric. This Durixeroll formed in loess, tephra, and alluvium from basalt; Jefferson County, Oregon.

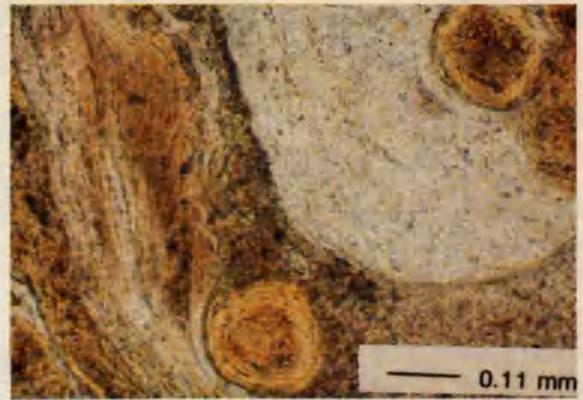


Fig. 9. Photomicrograph of a thin section of the upper part of the 2Bqkm horizon of a Durixeroll. Plain light. Open porphyric¹ related distribution pattern, skelsepic and isotic plasmic fabric. The white areas are weakly birefringent. This Durixeroll formed in loess, tephra, and alluvium from basalt; Jefferson County, Oregon.

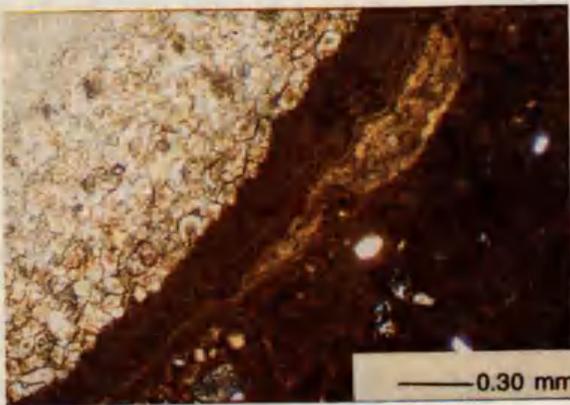


Fig. 10. Photomicrograph of a thin section from the upper part of a petrocalcic horizon that is partly cemented by silica. X polarizers. Open porphyric¹ related distribution pattern, isotic and crystic plasmic fabric. This Paleorthid formed in alluvial fan sediments from limestone, quartzite, and reworked lacustrine sediments high in tephra; Lincoln County, Nevada.

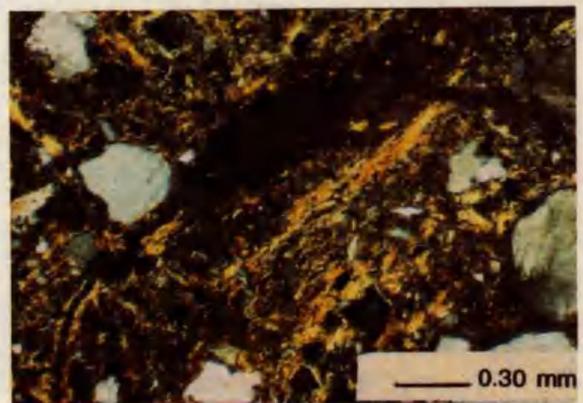
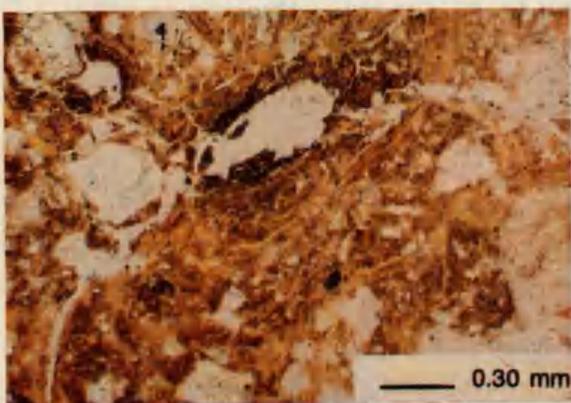


Fig. 11. Photomicrographs of a thin section of the Bqm horizon of a duripan showing a void lined by silica and illuviation argillans. Plain light, figure 11a, X polarizers, figure 11b. Enaulic related distribution pattern, isotic and mosepic plasmic fabric. This Durixeralf formed in alluvium from granitic rocks; Monterey County, California.

¹ Terminology according to Stoops and Jongerius (1975)

Durochrepts, which occur in association with Durixeralfs, do not have an argillic horizon, but they are relatively uncommon. Most likely, many of them are polygenetic soils where the soil above the pan has eroded away and a new soil is forming in younger overlying deposits.

The duripans in the Aridisols of deserts are usually calcareous and massive or coarse platy. There is usually a continuous, thin silica coating of one or a few millimeter thickness at the surface of the pan (Fig. 4) followed by a laminar layer of some 5 to 15 cm. The whole pan ranges from 50 cm to many meters in thickness. For taxonomic purposes, the pan is considered a duripan if treatment with acid destroys the cementation in less than one half of the laminar layer. The pan is considered a petrocalcic horizon if more of the cementation is destroyed. Again, the processes that deposit silica and clay or carbonates seem to be closely related. A little more than half of the soil series in Aridisols that have duripans have an argillic horizon. In Aridisols without argillic horizon, the duripan contains large amounts of carbonates that mask illuviation argillans (Fig. 5), or it contains salts that flocculate clays and disrupt their orientation (Nettleton *et al.*, 1991). Evidence of clay accumulation may be seen in thin sections of many of these soils after carbonates have been removed (Fig. 6).

Silica has also been suggested as a possible cement in fragipans, which are common in acid soils of humid climates (udic moisture regimes) in the eastern United States. Fragipans are pans that are hard or very hard and are "seemingly cemented" when dry, but brittle when moist. Hence, they resemble the pans of duric subgroups of Aridisols in physical characteristics, but they differ in that they are usually acid. Evidence of silica accumulation has been reported for some fragipans in the state of Indiana, (Steinhardt and Franzmeier, 1979) and amorphous Al-Si compounds have been identified in some soils of Kentucky (Karathanasis, 1987). Although numerous studies have been made, the cement responsible for their

hardness and brittleness has never been positively identified by micromorphological techniques. Two of the authors of this paper (Nettleton and Flach) have observed grain boundaries with an apparent low refractive index that suggested the possible presence of very thin opal coatings, but the coatings, if indeed present, were too thin for positive identification.

MINERALOGY OF SILICA CEMENTS

The opaline silica cement in the duripans we have studied is either in the form of small (1-5 μ) flocks in the S-matrix of the soil or as more or less clear silans that are usually interlayered in argillans (Fig. 7). The former tend to predominate in calcareous duripans in Argids, while the latter are more commonly associated and interlayered with argillans in Xeralfs. Both have a refractive index of about 1.47. The flocks (Chadwick *et al.*, 1987a) consist predominantly of opal-A (Jones and Segnit, 1971) and the silans (Fig. 8 y 9) of opal-CT (Chadwick, 1985). Some pans may also contain microcrystalline quartz, which has an X-ray diffraction pattern that is identical to that of low quartz, but it cannot be definitely identified by X-ray techniques in the presence of unavoidable impurities of primary quartz. Whether opal-A or opal-CT is formed depends on the kinetics of precipitation which, in turn, are largely controlled by attributes of climate and parent materials. Formation of opal-A is favored if the $\text{Si}(\text{OH})_4$ concentration in the solution is > 60 mg/l; opal-CT forms if the concentration is between 20 and 60 mg/l; and microcrystalline quartz forms if it is < 20 mg/l. (Williams *et al.*, 1985, Williams and Crerar, 1985, Iler, 1979, Kastner *et al.*, 1977). Opal-CT may also form through alteration of opal-A. These facts can be reconciled with the observation that opal-A is found primarily in duripans influenced by young and easily weatherable volcanic ash, while opal-CT is found predominantly in very old duripans formed from basic igneous rocks that are much less easily weatherable. Several

silica minerals have been identified as the cement in near surface horizons. Milnes *et al.* (1991) report that silt-size clastic quartz and secondary microquartz are typical of silcretes in Australia, whereas opal-A is more typical of hardpans (duripans).

SILICA PRECIPITATION IN SOILS

Silica precipitation in soils is primarily controlled by changes in the $\text{Si}(\text{OH})_4$ concentration in the soil solution due to water removal by roots and, to a much lesser extent, evaporation. Deposition of calcium carbonate and illuviated clay is primarily controlled by the same process which explains the association of Si deposition with horizons of clay and carbonate accumulation. Deposition of calcium carbonate differs from that of silica deposition in that carbonate tends to accumulate in relatively large pores as small crystals (micrite) and to become an effective cement only after the pores are completely filled and the carbonates form a continuous matrix, often pushing primary mineral grains apart in the process (Fig. 10). In contrast, silica, in neutral and mildly basic soils, is preferentially adsorbed on exposed hydroxyl groups on the surfaces of clays (Fig. 11), sesquioxides, and weathered surfaces of primary aluminosilicate minerals (Chadwick *et al.*, 1987b). Consequently, relatively small amounts of opal can act as an effective cement. Adsorption is greatest between pH 7 and 9 and decreases rapidly at higher and lower values (Iler, 1979; Sievers and Woodford, 1973; Beckwith and Reeve, 1963; McKeague and Cline, 1963). The adsorbed $\text{Si}(\text{OH})_4$ molecule provides a template for further adsorption so that if the soil dries the adsorbed molecules precipitate to form SiO_2 . Redissolution of the precipitated SiO_2 requires a relatively high activation energy, which explains the progressive buildup of Si coatings through consecutive wetting and drying cycles and the concentration of opaline silica at the upper boundary of highly calcareous duripans. The adsorbed SiO_2 shields

adsorption surfaces from rewetting, which may contribute to the stability of duripan fragments when immersed in water. Chadwick *et al.* (1987a) have used the differences in kinetics of the Si and CaCO_3 deposition to explain the occurrence of discrete bodies of opal in the presence of carbonates. Above pH 7, there is little iron and aluminum in the soil solution. In acid soils, however, considerable amounts of these elements are in solution and iron and aluminum may be significant components of amorphous cements (Karathanasis, 1987; Chadwick and Nettleton, 1990).

DISCUSSION

The soils we studied in arid and semiarid parts of the western United States differ in several aspects from tepetates. Tepetates, at 250 to 1300 mm precipitation, formed in a much wetter climate than the duripans of Aridisols and some formed in a wetter climate than most of the duripans in Durixeralfs. We have, unfortunately, no personal experience with tepetate and the information in the literature that is readily available to us seems incomplete and in places contradictory. It is, for example, not clear to us whether the term "tepetate" includes the subsoil horizons that may or may not be indurated or even cemented (Werner, 1988; Miehlich 1984) and the surface horizons that are not indurated but slake slowly after prolonged wetting (Werner, 1988; Miehlich, 1984). Strictly speaking, tepetate that is no longer capable of supporting plant growth is not soil by the definition of soil in Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975). Some tepetates are calcareous, others are not (Nimlos, 1990), and they have a rather astounding range in bulk density from 1.00 to 2.11 mg/m^3 and unconfined compressive strength from 4 to 130 kg/cm^2 (Nimlos, 1989). The hardness and possibly the density of some tepetates have been reported to have changed greatly after, at most, a few hundred years of cultivation.

Duripans have been defined on the basis of our knowledge of soils in arid and semiarid parts of the western United States. They are clearly indurated horizons, both in their native state and after extended cultivation. Like tepetate, they profoundly influence the moisture regime of the soils in which they occur and consequently their suitability for farming and ranching. Opal-A and opal-CT (Chadwick *et al.*, 1987b) have clearly been identified as the cement through micromorphological studies and follow-up chemical and mineralogical investigations.

These duripans formed either in densely packed parent materials that could be indurated by small amounts of cement (Flach *et al.*, 1969) or formed in materials where most of the large pores had been filled with carbonates (Chadwick *et al.*, 1987a; Gile *et al.*, 1965, 1966). Also, duripans are always indurated sub-soil horizons that formed under grass or shrub vegetation. We have seen no evidence of major changes in the hardness of duripans following cultivation.

The definition of duripans has remained unchanged for the last 30 years and does not fully reflect current knowledge about pans. The evidence available to us suggests that the definition of duripans and that of the other pans must be updated and that much research is needed to incorporate tepetate into our scheme of things. To do this, we need better descriptions of the properties of tepetate and how these properties change with time under different farming systems. To predict future behavior and to develop farming practices that minimize potentially deleterious changes, we need a better understanding of the processes that cause indura-

tion and how these processes are influenced by the changes in the soil moisture and temperature regimes that are associated with changes in land use. With this knowledge, it should be possible to identify soils that should never be cultivated and to develop sustainable management practices for soils that we think can be cultivated although they may have the potential for forming tepetate.

It will then be possible to decide whether different kinds of tepetate can be classified in one of the recognized pans and how definitions need to be changed to make the classification more useful. The better solution may be to develop criteria for a new diagnostic pan horizon for tepetate and appropriate taxa for different kinds of tepetate.

Micromorphology can be an invaluable tool in the planning and execution of the necessary research. Micromorphological studies of soil fabrics may help for example, to identify the subsoil horizon from which a particular indurated tepetate is formed. Micromorphology may also be useful in identifying different kinds of cements and how they changed upon hardening. Such information may be invaluable in charting the course for detailed research. But micromorphological studies performed in isolation rarely yield definitive and useful results. They must be preceded by careful field work and must be integrated with research by mineralogical, chemical, and soil mechanics methods. Micromorphology can only be one of several tools for classification and, more importantly, for developing a comprehensive understanding that leads to sound recommendations on land use and sustainable farming practices.

REFERENCES CITED

- ANONYMOUS, FAO-UNESCO 1974. Soil map of the world. 1: 5 000 000, vol. 1., UNESCO - Paris.
- BECKWITH, R.S. and R. REEVE. 1963. Studies on soluble silica in soils: 1. The sorption of silica by soils and minerals. *Aust. J. Soil Res.* 1:157-168.

- CHADWICK, O.A. 1985. Incipient silica cementation in central Nevada alluvial soils influenced by tephra. Ph.D. diss., University of Arizona, Tucson (Diss. Abstr. 8514904).

- CHADWICK, O.A., D.M. HENDRICKS and W.D. NETTLETON.** 1987a. Silica in duric soils: I. A depositional model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 975-982.
- CHADWICK, O.A., D.M. HENDRICKS and W.D. NETTLETON.** 1987b. Silica in duric soils. II. Mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 982-985.
- CHADWICK, O. A. and W. O. NETTLETON.** 1990. Micromorfológic evidence of adhesive and cohesive forces in soil cementation. In: L.A. Douglas (ed), Elsevier. *Developments in soil science 19: Soil micromorphology: a basic and applied science.*
- CHARTRES, C. J., J. M. KIRBY and M. RAUPACH.** 1990. Poorly ordered silica and aluminosilicates as temporary cementing agents in hard-setting soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1060-1067.
- FLACH, K.W., W.D. NETTLETON, L.H. GILE and J.C. CADY.** 1969. Pedocementation: Induration by silica, carbonates, and sesquioxides in the Quaternary. *Soil Sci.* 107: 442-453.
- FLACH, K.W., W.D. NETTLETON and R.E. NELSON.** 1973. The micromorphology of silica-cemented soil horizons in western North America, pp. 714-729. In: G.K. Rutherford (ed.). *Soil. Microscopy.* Limestone Press, Kingston, Ont., USA.
- GILE, L. H., F. F. PETERSON and R. B. GROSSMAN.** 1965. The K horizon: A master horizon of carbonate accumulation. *Soil Sci.* 99: 74-82.
- GILE, L. H., F. F. PETERSON and R. B. GROSSMAN.** 1966. Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. *Soil Sci.* 101: 347 - 360.
- ILER, R.K.** 1979. *Chemistry of silica.* Wiley Interscience, New York, N.Y., USA.
- JONES, J.B. and E. R. SEGNET.** 1971. The nature of opal I. Nomenclature and constituent phases. *J. Geol. Soc. Aust.* 18: 57-68.
- KARATHANASIS, A.D.** 1987. Thermodynamic evaluation of amorphous aluminosilicate binding agents in fragipans of western kentucky. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 819-824.
- KASTNER, M.J., J.B. KEENE and J. M. GIESKES.** 1977. Diagenesis of siliceous oozes. I. Chemical control on the rate of opal-A to opal-CT transformation - an experimental study. *Geochim. Cosmochim. Acta* 41: 1041 - 1059.
- McKEAGUE, J.A. and M.G. CLINE.** 1963. Silica in soils. *Advan. Agron.* 15: 339-397.
- MIEHLICH, G.** 1984. Chronosequenzen und anthropogene Veränderungen andesitischer Vulkanaschböden in drei Klimastufen eines randtropischen Gebirges (Sierra Nevada de México); im Fachbereich. (Tesis Doctoral, Univ. de Hamburgo, Alemania). *Geowissenschaften der Universität Hamburg, BDR.* 402 p.
- MILNES, A.R., M. J. WRIGHT and M. THIRY.** 1991. Silica accumulations in Saprolites and soils in South Australia, pp. 121-149. In: W. D. Nettleton (ed.). *Occurrence, characteristics, and genesis of carbonate, gypsum, and silica accumulations in soils.* *Soil Sci. Soc. Amer., Special Publication* 26.
- NETTLETON, W. D., R. B. GROSSMAN and B. R. BRASHER.** 1991. Concept of argillic horizons in Aridisols - taxonomic implications. *Proc. Fourth Int. Soil Correl. Mtg.*
- NIMLOS, T.J.** 1989. The density and strength of Mexican tepetate (duric materials). *Soil Sci.* 147: 23-27.
- NIMLOS, T.J.** 1990. The reclamation of indurated volcanic-ash materials in Latin America. Unpubl. manuscript, University of Montana, USA.
- SIEVERS, R. and N. WOODFORD.** 1973. Sorption of silica by clay minerals. *Geochim. and Cosmochim. Acta* 17: 1851-1880.
- SOIL SURVEY STAFF.** 1975. *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.* U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., USA.
- SOIL SURVEY STAFF.** 1990. *Keys to Soil Taxonomy.* SMSS Tech. Monograph: 19, Virginia Polytech. Inst. & State Univ., USA.
- STEINHARDT, G.C. and D.P. FRANZMEIER.** 1979. Chemical and mineralogical properties of the fragipans of the Cincinnati Catena. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 1008- 1013.
- STOOPS, G. and A. JONGERIUS.** 1975. Proposal for a micromorphological classification of soil materials. I. A classification of the related distributions of coarse and fine particles. *Geoderma* 13: 189 - 200.
- WERNER, G.** 1988. *Die Böden des States Tlaxcala im zentralen Hochland von Mexico.* Franz Steiner Verlag, Wiesbaden, Stuttgart, BDR.
- WILLIAMS, L.A., G.A. PARKS and D.K. CRERAR.** 1985. Silica diagenesis. I. Solubility controls. *J. Sediment Petrol.* 55: 301 - 311.
- WILLIAMS, L.A. and D.A. CRERAR.** 1985. Silica diagenesis. II. General mechanisms. *J. Sediment. Petrol.* 55: 312 - 321.

PEDOGENIC SILICIFICATIONS: STRUCTURES, MICROMORPHOLOGY, MINERALOGY AND THEIR INTERPRETATION

Silicificaciones Pedogénicas: Estructuras, Micromorfología, Mineralogía y sus Interpretaciones

Médard Thiry

Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau, France.

Palabras clave: Silcretos, Duripan, Sílice, Suelos, Génesis, Duricrust.

Index words: Silcretes, Duripan, Silica, Soil Genesis, Duricrust.

SUMMARY

Two main varieties of pedogenic silicifications must be distinguished: quartzose silcrettes and red-brown duricrusts. Silcrettes are mainly composed of secondary microquartz, without clay minerals and iron oxides, but are rich in titania: they are similar to the silcrettes described in Australia and South-Africa. In the red-brown duricrusts opal is the main secondary silica form and clay minerals are preserved: they are similar to the red-brown hardpans described in Western and Central Australia and duripans of the arid areas of the United States.

The typical structure of pedogenic silcrettes is a columnar habit with large illuviation features. Most micromorphological structures are due to successive dissolutions, recrystallizations and reworkings of silica. Silica dissolution in the upper part of the profile and its precipitation in the lower part is due to alternate dry and wet

seasonal or climatic periods. The general distribution of quartz at the top, microcrystalline quartz at intermediate levels and opal at the base of the profiles, results from a progressive concentration of silica and other cations in the downward-moving solution. The geochemistry of the system implies an acidic environment in which Al and other major cations, like Fe and Ti, are more soluble than Si and are leached from the sediment while Si is retained as opal.

The red-brown duricrusts show typical pedogenic features (nodules with granular caps, illuviations, differentiated horizons). Silicification is due to silica deposition in voids and to impregnation of the clayey matrix. Distribution of the secondary silica phases is mainly controlled by topography and position in the paleolandscape. Upstream, illuviation cutans have a mineralogical composition of about 50% opal and 50% clay minerals. Downstream, concretions are of purer opal, with a lower clay content, but relatively rich in potassium. There is no aluminium and iron leaching during these silicification processes. Silicification mainly appears as an absolute accumulation of silica. Flocculation of the hydrated silica gels may have been favoured by the presence of salts in a pre-evaporitic environment.

RESUMEN

Se deben distinguir dos variedades principales de silicificaciones pedogénicas: los silcretos cuarzosos y los duricrust café rojizos. Los silcretos están compuestos principalmente de microcuarzo secundario, sin minerales de arcillas y óxidos de hierro, pero son ricos en titania; estos materiales son similares a los silcretos descritos en Australia y Sudáfrica. Los duricrust conservan los minerales de arcilla y la sílice secundaria se presenta principalmente en forma de ópalo; son semejantes a los hardpan café rojizos descritos en centro y sur de Australia y a los duripanes de las áreas áridas de los Estados Unidos de Norteamérica.

La estructura típica de los silcretos pedogénicos es columnar con rasgos característicos de iluviación. La mayoría de las estructuras micro-morfológicas se debe a disoluciones sucesivas, recristalizaciones y nuevas formaciones a partir de la sílice. La disolución de la sílice en la parte superior del perfil y su precipitación en la parte baja, se debe a una alternancia entre periodos de sequía y humedad o a periodos climáticos definidos. La distribución general: cuarzo en la superficie, cuarzo micro-cristalino en la parte intermedia y ópalo en la base del perfil es la consecuencia de una concentración progresiva de la sílice y otros cationes en la solución descendente. La geoquímica del sistema implica un medio ambiente ácido en el cual el Al y otros cationes, como el Fe y el Ti, son más solubles que el Si y son lixiviados de los sedimentos, mientras que el Si es retenido en el ópalo.

Los duricrust café rojizos muestran los típicos rasgos pedogénicos (nódulos con cubierta granular, iluviación, horizontes diferenciados). La silicificación se debe al depósito de sílice en los voids y a su impregnación en la matriz arcillosa. La distribución de las fases secundarias de la sílice es controlada principalmente por la topografía y la posición en el paleo-paisaje. Aguas arriba los cutanes de iluviación tienen una composición mineralógica de aproximadamente 50% de ópalo y 50% de arcilla. Aguas abajo las concreciones son de ópalo puro, con un menor

contenido de arcilla, pero relativamente ricos en K. Durante este proceso de silicificación no hay lixiviación de Al y Fe. La silicificación se presenta como una acumulación absoluta de sílice. La floculación de los geles hidratados de arcilla puede ser favorecida por la presencia de sales en un medio ambiente pre-evaporítico.

INTRODUCTION

Hardpans occur in soils developed on volcanic ashes in Central and South America. They are called "Tepetates" in Mexico and "Cangahua" in Ecuador and are frequently indured by silica cement (Miehlich, 1978; Creutzberg *et al.*, 1990; Geissert and Dubroeuq, 1990; Campos and Dubroeuq, 1990). In these soils however, silicifications are incipient and not easily highlighted. The present study of well developed silicifications occurring in old geological paleosols helps to understand the mechanisms involved in the development of pedogenic silica cements.

The notion of surficial silicifications, caused by specific morpho-climatic conditions, was understood by geologists at the beginning of the 20th century and is based on studies of the extensive arid areas of South Africa and Australia. This research included that of Kalkowsky (1901) and Stortz (1928) on the Kalahary Desert, of Lamplugh (1907) in Rhodesia (which created the name silcrete for these formations) and Woolnough (1927) in central Australia. In these countries, siliceous duricrusts cap plateaus and mesas and affect every type of rock. The geomorphological relationships led the authors to consider these duricrusts as modern and obviously bound with arid climates.

Subsequently, numerous occurrences of silcretos have been described, either capping arid landforms or interbedded within the geological formations. However all these are ancient occurrences. Until recently no modern, actively developing profile was known. Nevertheless, the description of the fabrics and features of these

ancient silcretes and their silica geochemistry provides keys to identify surficial silicifications and specifies the environments and conditions of their development.

Two main types of surficial silicifications can be distinguished: the pedogenic silcretes and the ground-water silcretes. The pedogenic silicifications develop near the surface, in direct connection with soil. They display typical soil structures, related to the infiltration and downward percolation of water (differentiated horizons and illuviations), and reflect climatic conditions (Thiry, 1981; Milnes *et al.*, 1991). The ground-water silcretes develop in deeper parts of the landscape. Their main characteristics are the superposition of silicified lenses and the preservation of the structures of the host-rock. They are related to ground-water outflows connected to landscape dissection and therefore mainly reflect landscape evolution (Thiry *et al.*, 1988; Thiry *et al.*, 1991). Their development is relatively independent of the climatic conditions.

This paper will discuss only the near-surface pedogenic silicifications which occur in clastic sediments. They develop in a wide range of regolithic materials, including various types of bed-rock (granite, quartzite, sandstones, saprolites), and unconsolidated sediments (shale, sand, silty-clay and pure clay). The silicified materials exhibit a variety of forms, which depend somewhat on the character of the rock or sediment precursor, but also on the processes involved in the silicification. Two main varieties of silcretes can be distinguished: those formed mainly of

secondary microquartz, without clay minerals and iron oxides, but titania rich; and the hardpan-like silicifications, formed mainly of opal associated with clay minerals and iron oxides.

An overview of the characteristic features of both varieties is presented here with their paleoenvironmental conditions and mechanisms of genesis.

MATERIALS AND METHODS

The Tertiary formations of the Paris Basin display several types of surficial silicifications that are linked to various paleosurfaces and geomorphological features (Thiry *et al.*, 1983). They provide a particularly good case study because the geological framework is well established through investigation of numerous quarries and drill-holes. Pedogenic quartzose silicifications, with complex structures, are associated with an Eocene paleosurface that defines a wide pediplain along the southern margin of the Paris Basin (Fig. 1). All around the periphery of the basin, silicification of primary sandy clays produced typical quartzose silcretes with columnar structure. On the southern edge of the pediplain however, silcrete developed in residual deposits of clay with flint pebbles and in conglomerates up to 10 m thick (Thiry, 1981). In grabens on the border of the basement, ferruginous kaolinic paleosols on fault scarps and mottled horizons of graben deposits are silicified and form red-brown duricrusts (Thiry and Turland, 1985).

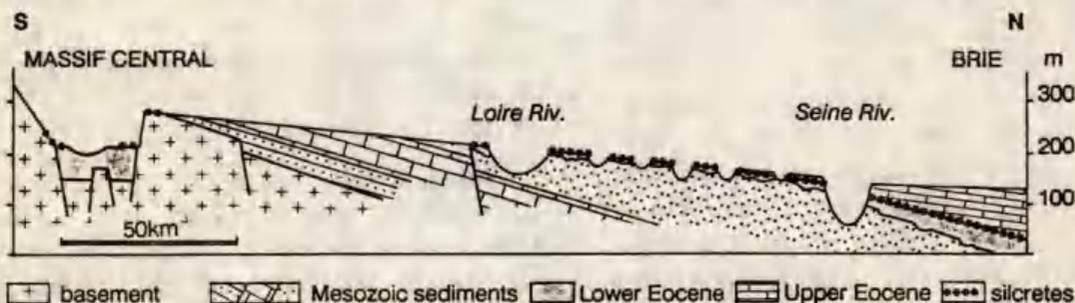


Figure 1. Schematic section of the southern margin of the Paris Basin showing the disposition of the pedogenic silicifications along the Eocene paleosurface.

These two types of pedogenic silicifications are very different. The quartzose silcretes are entirely devoid of clay minerals and quartz is the main silica form. They are similar to the silcretes described in Australia (Langford-Smith, 1978; Wopfner, 1978; Graaff, 1983, Milnes, 1983, Thiry and Milnes, 1991) and South-Africa (Smale, 1973; Summerfield, 1983). On the contrary, in the red-brown duricrusts the clay minerals are preserved and opal is the main silica form. These duricrusts are very similar to the red-brown hardpans described in Western and Central Australia (Teakle, 1936; Brewer *et al.*, 1972; Bettenay and Churchward, 1974; Wright, 1983; Chartres, 1985) and to duripans of the North American dryland areas (Steinhardt *et al.*, 1982; Chadwick *et al.*, 1989; Harden *et al.*, 1991).

PEDOGENIC QUARTZOSE SILCRETES

Profile Structure

The typical structure of pedogenic silcretes is a columnar habit and large illuviation features (Thiry, 1981; Milnes *et al.*, 1991). Several types of horizons are identified, and profile thicknesses vary between 0.5 and 5 m (Fig. 2).

The **granular horizon** contains granules and vertically elongated nodules of beige quartzite or porous white sandstone which form the base of the profile and are disseminated in the parent sand or clay. In the sandy materials larger nodules also develop. They are rounded on top and have cusped bases formed with pendants hanging down into the sand. This morphology is a result of the downward percolation of the solutions which formed the nodules. Isolated silicified tuberous-like masses and stalactites are also present. Higher in the profile, the nodules weld together progressively to build a massive quartzitic facies formed of tabular blocks and slabs.

Micro-nodular structures (100 μ diameter) and domains of very fine laminae are defined by concentrations of titania pigment. In skeleton-

rich matrix zones, the laminated domains are disposed parallel to the walls or bases of voids, and indicate illuviation of opaline silica. In the more massive quartzitic facies, at the uppermost part of the horizon, the internal granular structure still shows, but the granules display horizontally elongated forms.

A **prismatic columnar horizon** results from the fracturing of this massive facies by vertical joints. The columns are about 0.1-0.4 m in diameter and consist of beige to grey, tightly cemented or porous quartzite and are coated by deposits of yellow-white opaline silica. They contain pipes and joints partially filled with quartzitic illuvial deposits. The columns are capped with laminar illuviations of alternating fine and silt-sized quartz and coated with a finely laminated film of silica. Joints between columns are filled with various silicified nodules and clasts, as well as with sand or clay. In conglomeratic materials, thick caps develop on top of pebbles. Such features indicate a complex regime of water percolation with infilling and plugging of the horizon by various types of material that have been flushed down.

In the **pseudo-nodular columnar horizon**, the columnar structure clearly persists. The internal structures of this horizon, however are more complex. The nodules tend to be centimetric-sized and subspherical in shape, and are rimmed with deposits of silica and titania. They are polygenic, with larger nodules containing smaller ones. Their internal structure is highly variable, and the enclosing matrix is heterogeneous, ranging from fine-grained silica to material rich in quartz grains. Even the laminated illuviations are fragmented and nodulated, with the resulting nodules exhibiting rims of titania. Voids around the nodules contain little illuvial material, but are often lined with crystalline deposits of clear euhedral quartz.

The tops of the columns and the large polygenic nodules within the columns are covered with laminated illuvial deposits. They are composed of relatively coarse material, interspersed with thin bands of microcrystalline titania.

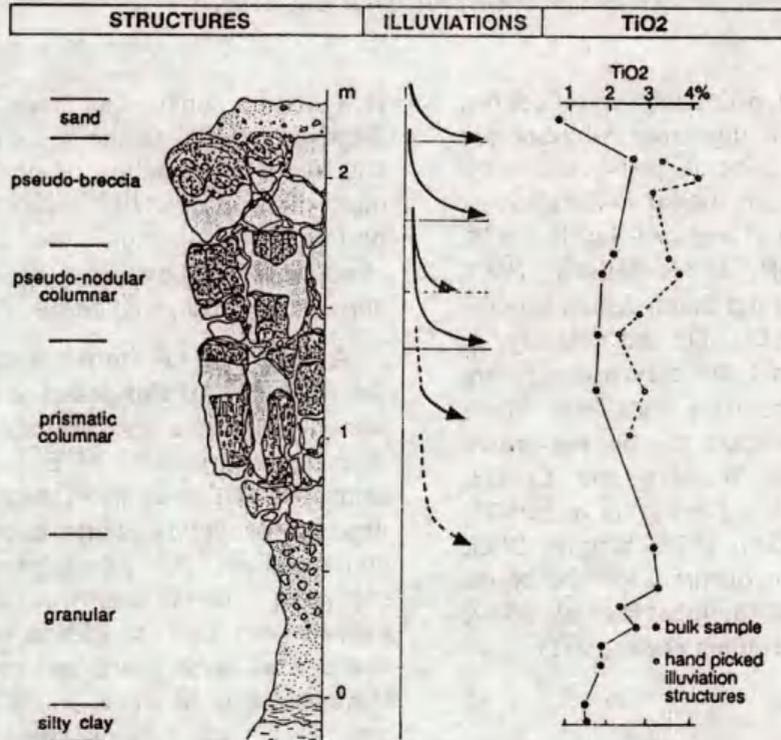


Figure 2. Sketch of the macromorphological structure of the pedogenic quartzose silcretes from the Paris Basin.

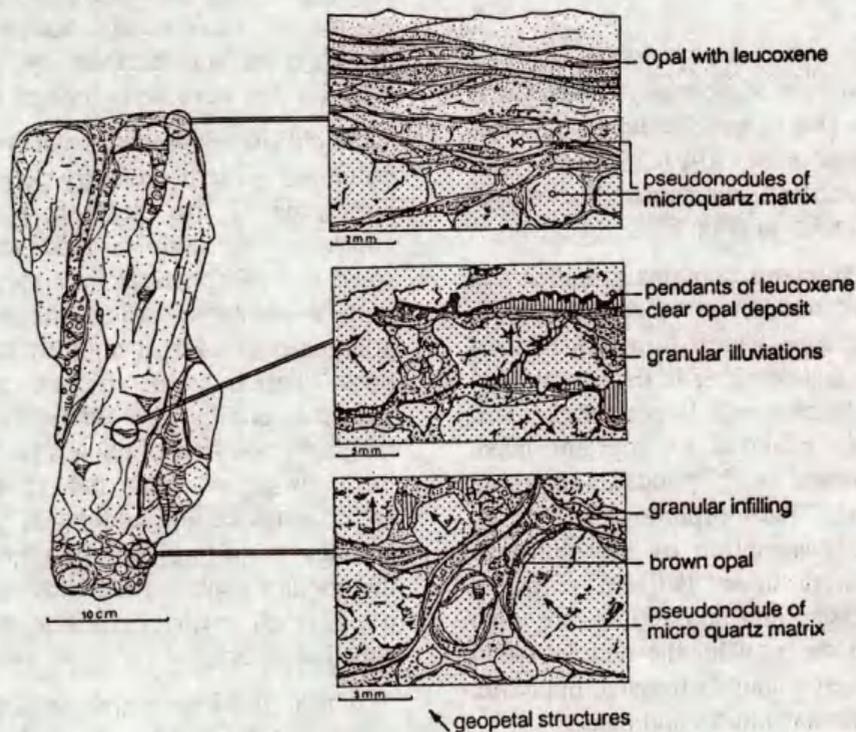


Figure 3. Typical micromorphological organizations of the columns of the quartzose pedogenic silcretes. Note the progressive fragmentation and nodulation of the material by successive dissolutions and illuviations.

A **pseudobreccia horizon** forms the upper part of the silcrete profile. It is composed of quartzite masses of variable shape and size. Their internal structure is more complex than in the horizon below. The fragmentation and nodulation of material are highly advanced. Some nodules have turned or displaced since the formation of their caps. Irregular voids are abundant around the nodules and probably account for their displacement. Illuvial deposits on the floor of the voids are rare. However, the major blocks are capped by very thick (up to 5 cm) deposits of interstratified granular silica and coarser clastic materials (with fragments up to 1 cm or so in size).

The features of this upper horizon indicate that there has been considerable loss of material through dissolution and eluviation.

Micromorphology

Most micromorphological structures of these pedogenic silcretes are due to successive dissolutions, recrystallizations and reworkings.

In the lower part of the profile, the granules consist of quartz grains with amoeboid boundaries in a matrix of interpenetrating, amoeboid quartz crystals (5-10 μ) and microcrystalline quartz (1-3 μ) pigmented by anatase. In places, opal illuviation develops. Electron microscope studies of the clay matrix show that kaolinites are etched and are coated and welded together by a silica gel.

In the middle part of the profile (Fig. 3), the mechanisms involved in its development are well illustrated by the different micromorphological features. The matrix of the columns is made of quartz grains with irregular overgrowths which grade into titania-enriched microcrystalline quartz.

The horizontal joints display specific structures. Laminae of fine silica, alternating with layers of coarser grain size, accumulated at the base and are overlain by opal. Voids remain above the illuviations, and their hanging walls display mammillary deposits of titania reminiscent of stalactites. The titania deposits creep between

quartz grains, replacing the microcrystalline quartz. Progressive dissolution of the microcrystalline matrix produces fragments that form pseudo-nodules coated with titania rims.

At the base of the columns, a dense network of irregular cracks outlines the nodular bodies. The wider cracks are filled with coarse quartz and micronodular debris of silcrete forming complex illuviation structures within a matrix of microcrystalline quartz.

The columns themselves are capped with illuviations made of thin laminae of isotropic silica alternating with accumulations of coarse skeleton quartz grains cemented by microcrystalline quartz and titania. These caps seal the columns and inhibit further infiltration of water. The basal layers of these illuviations show fragmentation and micro-nodulation due to post-depositional processes.

In the uppermost horizon, dissolution and eluvial features are dominant. Irregular voids are numerous, they are well developed around pseudo-nodules, especially at the base of the large composite pseudo-nodules, and along oblique cracks. The pseudo-nodules are systematically coated with thick titania rims that penetrate the microcrystalline matrix (Fig. 4). These rims correspond to relative accumulation of titania and indicate high silica leaching in the upper part of the profile. Infillings are made of granular accumulations of quartz grains and silicified debris and are of eluvial origin.

These features indicate a complex regime of water percolation, involving some dissolution and removal of silica needed to feed illuviations in lower parts of the profile.

Mineralogical Sequence

Silica minerals and titanium oxides are the only secondary minerals present in the pedogenic silcretes. The other cations of the primary clay minerals, especially iron and aluminium, are leached out of the profile during silicification processes. Titania occurs in a granular habit, so

called leucoxene. It appears to be mainly residual but shows some mobility at the base of the profile. Secondary silica polymorphs have a specific distribution within the profile (Thiry and Millot, 1987).

Opal occurs in the matrix and as cement in the hanging structures of the lowermost granular horizon. In the lower columnar horizon, opal forms the finely laminated void and channel cutans. It is absent from the upper part of the profile.

Microcrystalline quartz (1 to 3 μ) cements the skeleton quartz grains and is the major component of the matrix and of the illuviation structures in the middle and upper horizons. Quartz overgrowths are not conspicuous. In the upper part of the profile however, the skeleton quartz grains frequently display titania-enriched zones indicating some overgrowth. Clear euhedral quartz occurs in voids in the uppermost horizon of the profile.

Dissolution and reprecipitation processes create a specific sequence of crystallization of the

silica phases, beginning with opal at the base, then microcrystalline quartz, and finally clear quartz at the top. In the lowermost horizon, skeleton quartz grains are preserved and clay minerals are dominantly replaced by opal but also by microcrystalline quartz, both of which contain impurities. In the middle and upper horizons there is always a consistent relationship between silica phases in the illuviation structures. The basal laminae are generally composed of microcrystalline quartz and granular titania. Overlying laminae contain nodular opal with slight anisotropy. The uppermost laminae are always clear opal with very fine and regular microlaminations.

These relationships indicate recrystallization of opal to microcrystalline quartz during evolution of the profile. In the upper part of the profile, even microcrystalline quartz in the matrix is itself dissolved. The general sequence progresses from deposition of poorly crystalline silica phases to their dissolution and subsequent reprecipitation of silica as more ordered and coarser-grained phases (Fig. 5).



Fig. 4. Micromorphological features of the complex structures of the uppermost horizons of the pedogenic quartzose silcretes. Overturn geopetal structures testify to displacement of fragments since the formation of their caps or illuviations.

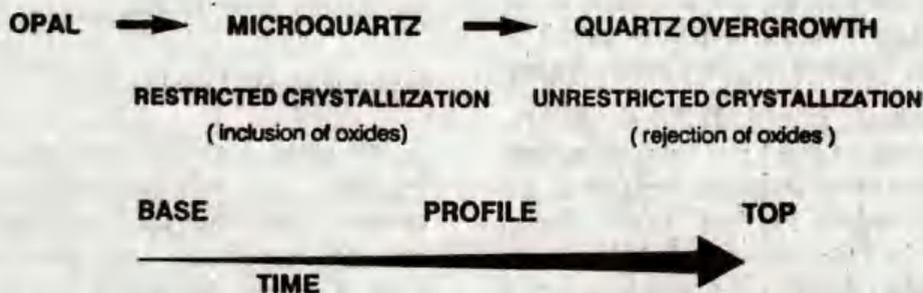


Fig. 5. Schematic diagram showing sequence of crystallization in the quartzose silcretes of the Eocene of the Paris Basin.

RED-BROWN DURICRUST

On the edge of the Paris Basin, in the northern French Massif Central, red sandstones ("siderolithique" facies) occur around the basement paleohills and laterally cross into the Tertiary sediments. These red sandstones are actually ferrallitic paleosols with typical pedogenic features (nodules with granular caps, illuviations, differentiated horizons). They form contrasted toposequences from the highs of the paleolandscape towards the Eocene sedimentary basin. Upstream, the paleosols are eluviated, leached and kaolinitic. Downstream they are illuviated and contain smectites implying somewhat concentrated solutions. The ferrallitic paleoweathering was followed by silicification, which produced diagnostic structures depending on the position in the paleolandscape (Thiry and Turland, 1985).

Profile Description

Upstream, there are red sandstones with a rough columnar structure forming superimposed horizons (Fig. 6). The red sandstone is made of hardened sandy clay with angular quartz grains floating in a red argillaceous and porous matrix. Vertical joints display numerous burrows and are infilled with a sandstone made of loosely cemented millimetric gravels. Horizontal units between the columnar horizons consist of poorly cemented gravel-bearing sandstones containing hard red sandstone nodules (from 1 to 4 cm diameter), capped by layered deposits. Cappings can include several different nodules and may join together to form large, undulating laminae.

Downstream, the profiles are characterized by the strong development of branching subhorizontal fractures that produce a pronounced but irregular layering. In these horizontal fractures, thick deposits (up to 3-4 cm) of thin silica laminae develop. Nodules of red-ochre sandstone wrapped in undulatory illuviation laminae form the uppermost horizon of these downstream profiles.

In the basin, flint (chert) lenses with complex concretionary structure are observed in association with carbonate.

In this paleolandscape, characterized by hills and fault scarps emerging from the flood plain, silicification processes appear differentiated in relation to the morphology. Upstream, illuviations due to water infiltration and percolation are outstanding; downstream, horizontal and concretionary structures develop in relation to a dominantly lateral drainage near the regional base level.

Micromorphology

Silicification is due to silica deposition in voids and to the impregnation of the clayey matrix by opal. In the matrix, opal is intimately tied to the clay minerals, that lose their swelling ability. Its presence is only obvious in microprobe analyses.

Upstream, beige to brown opal cutans with weak refraction and anisotropy occur in all the open pores of the sandstone (Fig. 7). The cutans are transected by fine cracks indicative of desiccation or gel aging phenomena. A second silica phase of granular opal transects the uppermost cutans and cracks and is topped by a void. Granular infilling in the joints and percolation channels is entirely composed of gravels or pseudo-ooliths of argillaceous and siliceous materials arranged in concentric layers around skeleton grains (Fig. 7). The gravels are close-packed and either have been randomly accumulated or have formed successive sorted laminae. They are cemented by brown and granular opal similar to that of the sandstone matrix.

In the downstream profiles, the thick silica laminae deposits show a succession of millimetric opal concretions and of granular material illuviations (quartz grains, clay ships, silicified debris, gravels) with erosive contacts (Fig. 8). The succession of concretions and illuviations indicates that water percolation was active at the time of silicification and suggests that periods of percolation and of water saturation alternated.

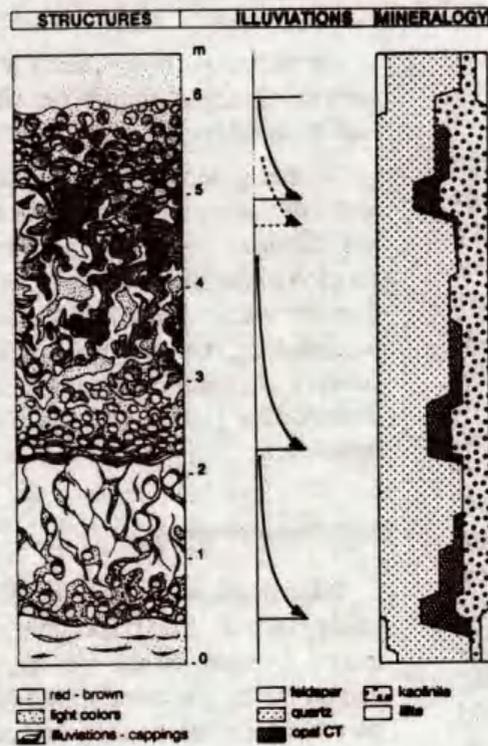


Figure 6. Sketch of the macromorphological structure and mineralogical composition of the red-brown hardpan-like silicifications from the northern edge of the French Massif central.

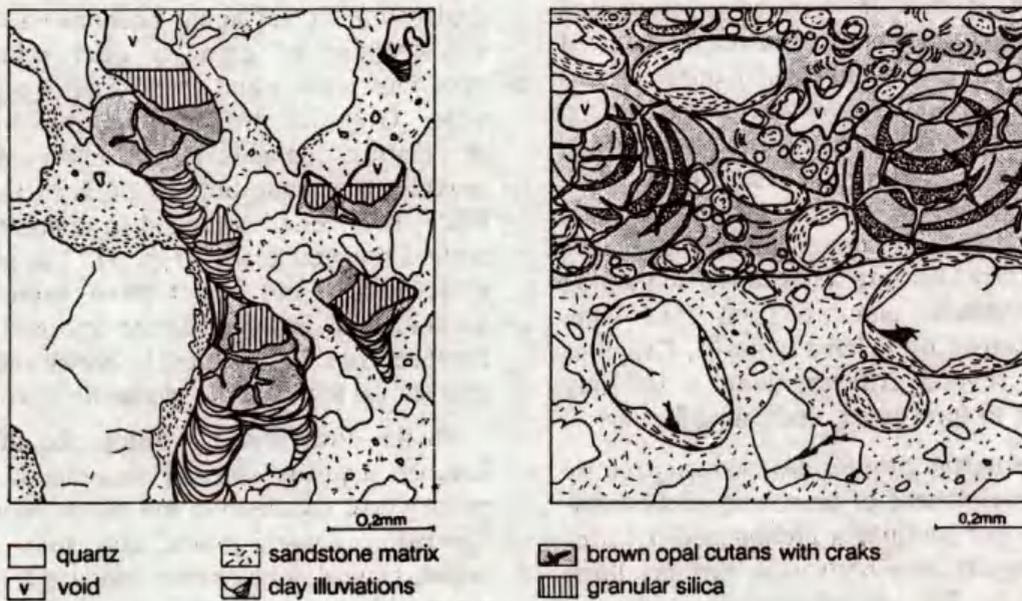


Figure 7. Void filling with illuviation of clay mixed opal and of granular opal, in the nodular sandstones of the hardpan-like silicifications. Note the shrinkage cracks across the silica cutans.

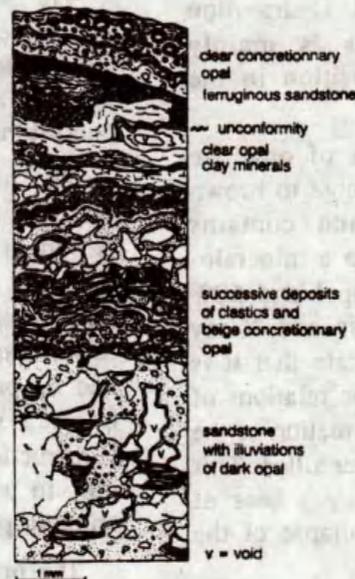


Figure 8. Micrography of the concretionary deposits in the silica laminae of the downstream profiles of the hardpan-like silicification. Note the alternating grain illuviations and silica concretions.

pedo. struct.	concretions	laminary illuviations	columnar gravels
minerology	opal + fibrous Q	75% opal + 25% clay + mineral	50% opal + 50% clay mineral
Si/Al geochemistry	→ ∞	7 → 18	4
K/Al	→ ∞	0,2	0,05

LIMESTONE	FLINT	RED - BROWN DURICRUST	
		platy structure	columnar structure



Figure 9. Hardpan-like silicification of the northern French Massif Central: distribution and characteristics of the secondary silica phases along the paleotoposequence.

Mineralogy and Chemistry

Silicifications have been superimposed on the structures of the ferralitic paleosol. Distribution of the secondary silica phases is mainly controlled by topography and position in the paleolandscape (Fig. 9).

Upstream, two different phases of opal are present. The first one consists of beige to brown cutans with shrinkage cracks and contains abundant alumina, corresponding to a mineralogical composition of about 50% opal and 50% clay minerals. Microprobe analysis and X-ray diffraction of the second one indicate that it is almost pure opal-CT. The systematic relations of the two phases clearly show transformation of the early opal and clay mixture into purer silica. This transformation was accompanied by a loss of matter, producing voids through collapse of the primary fabric.

Downstream, the first silica deposits consist of opal illuviations mixed with about 30% clay minerals. Later silica deposits are represented by concretions of clear opal alternating with very thin clay laminae. This concretionary opal is purer: it contains less alumina but is still relatively rich in potassium. The potassium to aluminium ratio is much higher than in the clay minerals of the sandstones matrix.

Cherts from the basin show the purest varieties of opal, devoid of alumina but still with significant potassium content. Small barite crystals develop in some nodules. In the most translucent nodules and microlaminae amoeboid zones of microcrystalline quartz and chalcedony appear. The relations between opal and quartzose zones clearly indicate recrystallization of primary opal.

There is no aluminium and iron leaching by the silicification processes. Silicification mainly appears as solely an accumulation of silica. Relatively high potassium content of the silica phases and clay deposits, together with the presence of sulphates, particularly in the downstream domains, are indicative of a relatively confined environment with high concentration of solutions.

ENVIRONMENTAL CONDITIONS

The micromorphological features as well as the mineralogy and the geochemistry of the pedogenic silicifications provide valuable informations to reconstruct the paleo-environmental conditions.

The numerous illuviation structures indicate that water percolation was important during the period of silicification. There has been dissolution and removal of materials that led to the development of the numerous illuviation features. Silica dissolution in the upper part of the profile and its precipitation in the lower part, does not imply a strict synchronism of degradation and construction. Rather it results from cyclic stages, due to alternating dry and wet seasonal or climatic periods.

The origin of silica has to be debated. In the quartzose silcretes, secondary silica comes from the profile itself. There are numerous evidences of silica dissolution along the profile and destruction of clay minerals at its base, which release silica as gel and opal. These highly soluble forms of silica may be a major source for silica reworking during deepening of the profile. In the red-brown duricrusts, the origin of silica is not well established. Dissolution of silica phases is not observed (neither quartz nor clay minerals) and therefore silica appears to have been added to the system. This could be done by leaching of either regional highs, or siliceous oozes deposited at the top of the profiles during flooding periods or highstand stages of the basinal lake.

The specific distribution of secondary silica polymorphs results from evolution of the soil water during percolation.

In the quartzose silcretes, the general distribution of quartz at the top, microcrystalline quartz at intermediate levels and opal at the base probably results from a progressive concentration of silica and other cations in the downward-moving solution. At the top of the profile, during the wet season, rain water may interfere with the quartzose sediment to produce a solution containing up

to 6 ppm SiO₂. At the base of the profile, during dry periods, the solution may be concentrated 2 to 4 times through evaporation. This would be sufficient to allow silica precipitation. The concentration of impurity elements may have direct effect on the size of the precipitated quartz crystals as the higher the impurity content, the smaller the crystals (Millot, 1960, 1970).

In the red-brown duricrusts, the sequence of deposits showing opal and clay on the highs and purer opal concretions towards the basin, indicates a progressive purifying of solutions when changing from vertical percolations to lateral seeping. Whatever its source, silica must have been leached and then solution concentrated to ensure deposition of gels and opal and to preserve these highly soluble silica phases from later dissolution. Cyclic wet and dry climates seem the most likely conditions for this to occur.

The two geochemical environments differ greatly. In the red-brown duricrusts, clay minerals and iron oxides are preserved. There has been no development of an acidic environment.

The flocculation of the hydrated silica gels may have been favoured by the presence of salts in a pre-evaporitic environment (Iler, 1979).

In the quartzose silcretes, the geochemistry of the system is more difficult to understand. The implication is an acidic environment in which Al and other major cations, like Fe and Ti *pro parte*, are more soluble than Si and are leached from the sediment while Si is retained as opal. Such an acidic environment can be generated by low hydrated plasmic systems, where the pH can decrease, due to an intense dissociation of H₂O in H⁺ and OH⁻ ions (Fripiat *et al.*, 1960; Bourrié and Pédro, 1979). Local acidic condition also exists in hydromorphic environments, where formation of hydroxides retains OH⁻ and releases H⁺ (Brinckmann, 1970; Brinckmann *et al.* 1970; Fripiat, 1971; Chaussidon and Pédro, 1979; Espiau and Pédro, 1983). Both cases require alternating dry periods during which the acidic environment develops and Al is released, and wet periods during which Al, possibly complexed with organic components, is leached out of the profile.

REFERENCES CITED

- BETTENAY, E. and H. M. CHURCHWARD. 1974. Morphology and stratigraphy of the Wiluna Hardpan in arid Western Australia. *J. Geol. Soc. Austr.* 21-1: 73-80.
- BOURRIÉ, G. and G. PÉDRO. 1979. La notion de pF, sa signification physico-chimique et ses implications pédogénétiques. Signification physico-chimique. Relation entre pF et activité de l'eau. *Sci. du Sol* 4: 313-322.
- BREWER, R., E. BETTENAY and H. M. CHURCHWARD. 1972. Some aspects of the origin and development of the red and brown hardpan soils of Bulloo Downs, Western Australia. Div. of Soils Tech. Pap. 13, CSIRO, Melbourne, Australia.
- BRINCKMANN, R. 1970. Ferrolysis, a hydro-morphic soil forming process. *Geoderma* 3: 199-206.
- BRINCKMANN, R., A. G. JONGMANS, R. MIEDEMA R. and P. MAASKANT. 1970. Clay decomposition in seasonally wet, acid soils: micro-morphological, chemical and mineralogical evidence from individual argilans. *Geoderma* 10: 259-270.
- CAMPOS, A. and D. DUBROEUCQ. 1990. Formación de tepetates en suelos provenientes de las alteraciones de materiales volcánicos. *Terra* 8: 137-147.
- CHADWICK, O. A., D. M. HENDRICKS and W. D. NETTLETON. 1989. Silicification of Holocene soils in northern Monitor Valley, Nevada. *Soil Sci. Soc. Am.* 53: 158-164.
- CHARTRES, C. J. 1985. A preliminary investigation of hardpan horizons in North-west New South Wales. *Austr. J. Soil Res.* 23: 325-337.
- CHAUSSIDON J. and G. PÉDRO. 1979. Rôle de l'état hydrique du système poreux sur l'évolution du milieu. Réalité de l'altération dans les systèmes à faible teneur en eau. *Sciences du Sol*, 2 & 3: 223-237.
- CREUTZBERG, D., J. H. KAUFFMAN, E. M. BRIDGES and G. DEL POSSO. 1990. Micromorphology of "cangahua". A cemented subsurface horizon in soils from Ecuador, pp.367-372. In: L. A. Douglas (ed). *Soil micromorphology: a basic and applied science.*

- ESPIAU, P. and G. PÉDRO.** 1983. Etude du phénomène de ferrolyse par voie expérimentale. Production d'acidité d'échange et mise en évidence du rôle catalytique des minéraux argileux. *Science du sol* 3-4: 173-184.
- FRIPIAT, J. J.** 1971. Interaction eau-argile. *Bull. Gr. Fr. Argiles* 23: 1-8.
- FRIPIAT, J. J., J. CHAUSSIDON and R. TOUILLAUX.** 1960. Study of dehydration of montmorillonite and vermiculite by infrared spectroscopy. *J. Phys. Chem.* 64: 1234-1241.
- GEISSERT, D. and D. DUBROEUCQ.** 1990. Los tepetates del área de Xalapa Veracruz y su relación con una paleosuperficie. Una perspectiva cronológica. *Terra* 8: 148-155.
- GRAAFF VAN DE, W. J. E.** 1983. Silcrete in Western Australia: geomorphological settings, textures, structures, and their genetic implications, pp.159-166. *In: R. C. L. Wilson (ed). Residual deposits: surface related weathering processes and materials.* Blackwell Scientific Public., Oxford, GB.
- HARDEN, J. W., E. M. TAYLOR, M. C. REHEIS and L. D. Mc FADDEN.** 1991. Calcic, gypsic, and siliceous soil chronosequences in arid and semiarid environments, pp. 1-16. *In: W. D. Nettleton (ed). Occurrence, characteristics, and genesis of carbonate, gypsum, and silica accumulations in soils.* Soil Sci. Soc. Amer., Special Publication 26.
- ILER, R. K.** 1979. The chemistry of silica: solubility, polymerization, colloid and surface properties and biochemistry. New York, John Wiley & Sons. 866 p.
- KALKOWSKY, E.** 1901. Die Verkieselung der Gesteine in der Nördlichen Kalahari. *Abb. Naturwiss. Ges. Isis. Dresden, BDR.* pp.55-107.
- LAMPLUGH, G. W.** 1907. The Geology of the Zambezi Basin around the Batoka Gorge (Rhodesia). *Geol. Soc. London Quart. J.* 63: 162-216.
- LANGFORD-SMITH, T.** 1978. A select review of silcrete research in Australia, pp. 1-11. *In: T. Langford-Smith (ed). Silcrete in Australia.* Univ. of New England, Armidale, Australia.
- MIEHLICH, G.** 1978 Eigenschaften und Genese von Verhartungslagen in Zentralmexico. *München Forsch. Geol. Palaontol.* 44-45: 27-41.
- MILLOT, G.** 1960. Silice, silice, silicifications et croissance de cristaux. *Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lor.* 13: 129-146.
- MILLOT, G.** 1970. Geology of clays: weathering, sedimentology, geochemistry (translated by W. R. Farrand and H. Paquet). New York, Springer-Verlag, 429 p.
- MILNES, A.R.** 1983. Silicification in Cainozoic landscapes of arid Australia. *Sci. Géol., Mém.* 72: 101-110.
- MILNES, A.R., M. J. WRIGHT and M. THIRY.** 1991. Silica accumulations in Saprulites and soils in South Australia, pp. 121-149. *In: W. D. Nettleton (ed). Occurrence, characteristics, and genesis of carbonate, gypsum, and silica accumulations in soils.* Soil Sci. Soc. Amer., Special Publication 26.
- SMALE, D.** 1973. Silcretes and associated silica diagenesis in southern Africa and Australia. *Jour. Sedim. Petrology* 43: 1077-1089.
- STEINHARDT, G. C., D. P. FRANZMEIER D. P. and L. D. NORTON.** 1982. Silica associated with frangipan and non-frangipan horizons. *Soil Sci. Soc. Am.* 46: 656-657.
- STORTZ, M.** 1928. Zur petrogenesis der Skundären Kieselgesteine in der Südlichen Namib, pp. 254-282. *In: E. Kaiser (ed). Die Diamantenwüste Sudwest-Afrikas.* Dietrich Reimer, Berlin, BRD.
- SUMMERFIELD, M. A.** 1983. Petrography and diagenesis of silcrete from the Kalahari Basin and Cape Coastal zone, Southern Africa. *J. Sedim. Petrology* 53: 895-909.
- TEAKLE, L. J. H.** 1936. The red and brown hardpan soils of the acacia semi-desert scrub of Western Australia. *J. Dep. Agric. W. Austr.* 13: 480-499.
- THIRY, M.** 1981. Sédimentation continentale et altérations associées: calcitisations, ferruginisations et silicifications. *Les Argiles Plastiques du Sparnacien de bassin de Paris.* *Sci. Géol. Mém.* 64: 184.
- THIRY, M., A. DELAUNAY, Y. DEWOLF, C. DUPUIS, F. MÉNILLET, J. PELLERIN and L. RASPLUS.** 1983. Les périodes de silicification du Cénozoïque dans le bassin de Paris. *Bull. Soc. Géol. Fr.* 25: 31-40.
- THIRY, M. and M. TURLAND.** 1985. Paléotoposéquence de sols ferrugineux et de cuirassements siliceux dans le Sidérolithique du nord du Massif central (bassin de Montluáon-Domérat). *Géologie de la France* 2: 175-192.
- THIRY, M. and G. MILLOT.** 1987. Mineralogical forms of silica and their sequence of formation in silcretes. *Jour. Sedim. Petrology* 57: 343-352.
- THIRY, M., M. BERTRAND-AYRAULT and J. C. GRISONI.** 1988. Ground-water silicification and leaching in sands: example of the Fontainebleau Sand (Oligocene) in the Paris Basin. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 100: 1283-1290.

THIRY, M. and A. R. MILNES. 1991. Pedogenetic and ground-water silcretes at Stuart Creek Opal Field, South Australia. *Jour. Sedim. Petrology* 61: 111-127.

THIRY, M., R. SIMON-COINÇON and A. R. MILNES. 1991 Marcos morfológicos de desarrollo de silcretas, pp. 161-183. *In*: J. A. Blanco, E. Molina, A. Martín-Serrano (eds). *Alteraciones y paleoalteraciones en la morfología del Oeste Peninsular. (Zocalo hercínico y cuencas terciarias)*, Monografía 6. Inst. Tecnol. Geominero Español.

WOOLNOUGH, W. C. 1927. Presidential address, Part I. The chemical criteria of peneplanation. Part II. The duricrust of Australia. *J. Proc. Roy. Soc. N.S.W.* 61: 1-53.

WOPFNER, H. 1978. Silcretes of northern South Australia and adjacent regions, pp. 93-141. *In*: T. Langford-Smith (ed) *Silcrete in Australia*. Univ. of New England, Armidale, Australia.

WRIGHT, M. J. 1983. Red-brown hardpans and associated soils in Australia. *Trans. Roy. Soc. Sci. Austr.* 107: 252-254.

LOS SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS DE CHILE

Indurated Volcanic Soils of Chile

Walter Luzio L. ¹ y Militza Saavedra N. ²

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

² Dirección Meteorológica de Chile, Santiago de Chile, Chile.

Palabras clave: Chile, Fierrillo, Ñadis, Trumaos, Génesis, Geoclimatología.

Key words: Chile, Fierrillo, Ñadis, Trumaos, Genesis, Geoclimatology.

RESUMEN

Los suelos volcánicos con horizontes endurecidos en Chile se presentan en tres regiones muy bien definidas. En la zona norte, en condiciones desérticas, corresponden a horizontes compactados y cementados de riolita pumicística. En la zona central, bajo un clima mediterráneo, corresponden a un duripán de fuerte cementación y en la zona sur, en un clima húmedo, se presenta un horizonte plácico, cementado con hierro y materia orgánica.

Los horizontes endurecidos se presentan en suelos que no tienen ninguna utilización agrícola (zona desértica) o con limitaciones de uso (zona húmeda y de clima mediterráneo), razón por la cual han recibido poca atención por parte de los investigadores. El resultado es que se tienen pocos datos acerca de sus propiedades y sus características y menos acerca de las posibilidades de habilitación de esos suelos.

SUMMARY

The volcanic ash soils with indurated horizons are found in Chile in three different regions. In the north of Chile, where desertic conditions are dominant, the indurated horizons are very hard layers of pumice rhyolite. In the central part of the country with mediterranean climate, the horizons are duripans where silica is the main cementing agent. In the southern region, with humid climate, the volcanic ash soils have a placic horizon cemented with iron and organic matter.

The volcanic ash soils with indurated horizons have received very little attention from researchers because they show none or negligible agriculture capability (desertic region) or have severe limitations (mediterranean and humid region) for crop production. Consequently there is scarce data about their properties and also about the possibilities to reclaim them.

INTRODUCCION

Los horizontes endurecidos en los suelos derivados de materiales volcánicos pueden adoptar diferentes formas y características dependiendo de la naturaleza de los componentes

volcánicos y del entorno pedogénico que será el que, en última instancia, orientará la dirección de la evolución del suelo.

En Chile, los horizontes endurecidos que se han detectado, hasta ahora, en los suelos volcánicos son de cuatro naturalezas diferentes.

En el norte del país (entre los 18° y los 27° 30' L.S.), en condiciones desérticas hay cementaciones de riolita pumicítica (Moreno, 1974), que tanto por su origen como por su potencia deberían considerarse como el resultado de un proceso geogénico. En la zona central (entre los 33°30' y los 34°30' L.S.) con un régimen climático de tipo mediterráneo (lluvias concentradas en invierno y veranos secos y cálidos) se desarrolla un horizonte compactado y cementado con sílice, con tendencia a la horizontalidad y que aparece a escasa profundidad en un suelo derivado de pómez (Besoain, 1985). Corresponde al concepto de duripán, descrito en "Soil Taxonomy" (Soil Survey Staff, 1975). El tercer caso, en la región sur (entre los 40° y los 43° L.S.), aparece un horizonte muy delgado (pocos milímetros) fuertemente cementado con hierro y materia orgánica y en algunos casos con manganeso, que se desarrolla en los suelos derivados de cenizas volcánicas tanto de buen como de mal drenaje. Se le ha correlacionado con un horizonte plácico, tal como se ha descrito en "Soil Taxonomy" (Soil Survey Staff, 1975). Una cuarta situación, que se considera como un proceso geogénico, se relaciona con un substrato de toba volcánica, fuertemente cementado, de color gris-verdoso, que se encuentra bajo algunos trumaos. Es una roca volcánica, localmente conocida como "cancagua", ubicada a profundidades variables, entre 0.50 y 1.50 m, y cuyo origen está asociado a las corrientes laháricas de las regiones con intensa actividad volcánica.

Los estudios que existen acerca de estos horizontes son escasos, y en su mayoría, de carácter puntual, pues los suelos en los cuales se encuentran tienen limitada aptitud agrícola, es decir, son suelos marginales que no han recibido atención especial. Por lo tanto, tampoco existen experiencias sistemáticas de rehabilitación, fuera de

algunas pruebas para romper esas capas duras realizadas por los mismos agricultores, pero que no son reproducibles.

En este trabajo se ubican geográficamente los suelos volcánicos que tienen horizontes endurecidos y se muestran algunas de las propiedades que se han medido en ellos (Fig. 1).

MATERIALES Y METODOS

De los cuatro casos reconocidos se han seleccionado tres clases de suelos, que a juicio de los autores, representan las situaciones más relevantes de suelos volcánicos con horizontes endurecidos. Acerca del cuarto tipo de horizonte endurecido, la cancagua, no existen estudios analíticos ni descripciones confiables, razón por la cual será omitido del presente trabajo.

Los análisis que se presentan en el Cuadro 1 son los cationes de intercambio (acetato de amonio pH 7); aluminio (KCl), aluminio (KOH), aluminio (ácido oxálico oxalato); hierro (ácido oxálico oxalato); carbono orgánico (Walkley-Black); retención de fosfatos (Blakemore); densidad aparente; distribución del tamaño de partículas (pipeta); y porcentaje de vidrios en preparaciones semipermanentes y conteo bajo lupa.

RESULTADOS Y DISCUSION

En Regiones Desérticas

Los suelos endurecidos de origen volcánico en las regiones desérticas están restringidos a los sectores de altura en los cuales la temperatura media anual del suelo fluctúa entre 0° y 8°C. Los suelos son muy delgados (menos de 25 cm) en esencia a causa de las condiciones del medio, especialmente debido a la casi permanente deficiencia de humedad del suelo que ha limitado una mayor profundidad de meteorización (Wright, 1963) (Serie Putre). Los horizontes superficiales son de texturas medias y

con una ligera compactación en los primeros centímetros (1.26 gcm^{-3} , entre 0 y 8 cm). Sin embargo, en los horizontes inferiores (A y B), la densidad aparente no es tan alta como se podría presumir (0.91 y 0.82 gcm^{-3} , respectivamente). Incluso en el horizonte cementado y compactado de riolita pumicítica (Cm) la densidad aparente es más baja de lo esperado (1.0 gcm^{-3}). Esta situación se atribuye a la gran cantidad de pómez vesicular que se encuentra abundantemente distribuida a través del horizonte (Luzio, 1985).

Los suelos muestran un desarrollo muy incipiente, pues los materiales volcánicos se mantienen casi intactos (Wright, 1963). Esto queda demostrado por la gran cantidad de vidrios de la fracción arena y especialmente de la arena muy gruesa (Cuadro 1).

Estrechamente asociado con este alto contenido de vidrios se encuentran los bajos porcentajes de aluminio y hierro extraídos con ácido oxálico-oxalato, cuya presencia se asume como proveniente de los minerales de corto rango de ordenamiento (alófana, imogolita y ferrihidrita) (Parfitt, 1985), los cuales tienen sólo una formación incipiente. En igual forma la retención de fosfatos es baja, también a causa de la escasa cantidad de aluminio activo proveniente de los minerales de corto rango de ordenamiento.

En la actualidad, estos suelos no tienen utilización alguna, debido a las bajas temperaturas, la escasa profundidad del suelo sobre el horizonte endurecido y la lejanía a aldeas o pueblos en la zona. Se encuentran distribuidos en regiones muy aisladas del Altiplano Chileno, en las cuales hay una vegetación de arbustos en muy baja densidad y que se mantiene gracias a las lluvias que, en aproximadamente 200-250 mm, caen concentradas en los meses de febrero a abril.

Estas circunstancias explican el escaso conocimiento que se tiene de los suelos, el cual deriva principalmente de algunos proyectos de interés científico y muy puntuales. Pero no han existido, ni existen en la actualidad, estudios

tendientes a habilitar estos suelos con fines de uso agrícola.

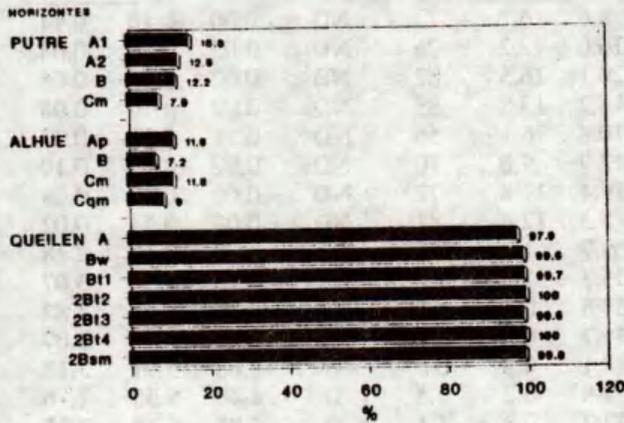
En Regiones de Clima Mediterráneo

Los suelos volcánicos endurecidos, en esta condición climática, están representados por suelos formados a partir de coladas laháricas ácidas de pómez (Borde, cit. por Besoain, 1985) y que ocupan extensos sectores de la Depresión Intermedia (Serie Alhué) entre los $33^{\circ}30'$ L.S. y los $34^{\circ}30'$ L.S. El origen de estos materiales ha generado un paisaje de lomeríos suaves en cuyas partes altas y cumbres se desarrollan suelos delgados (< 30 cm) sobre duripán silíceo. En las depresiones los suelos son más profundos, con influencia aluvial en muchos sectores y problemas de drenaje en la mayor parte.

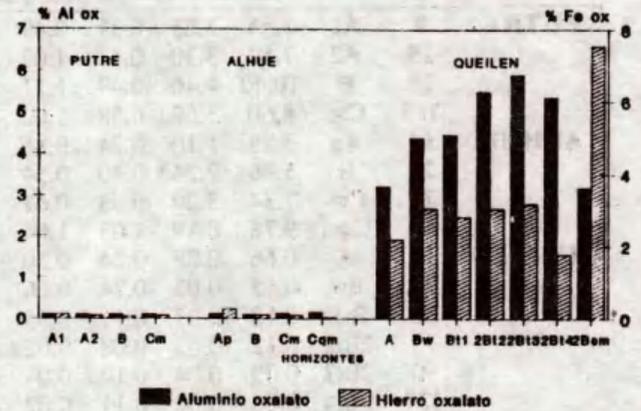
Si se compara el horizonte endurecido de los suelos de regiones desérticas con los horizontes endurecidos producidos por este mecanismo lahárico, cabría esperar una mayor evolución de estos últimos, situación que no es totalmente evidente (Cuadro 1), debido a que en el horizonte Cqm del suelo Alhué el contenido de vidrios es mayor en todas las fracciones de arena que en el horizonte Cm del suelo Putre. Nuevamente también la mayor acumulación se presenta en la fracción arena muy gruesa, donde los vidrios ocupan casi la totalidad de ella (90%). Además, el aluminio y el hierro (oxalato) se presentan en cantidades muy similares en ambos suelos o son ligeramente superiores en el suelo Alhué, pero en porcentajes no significativos. Estas características, además de la baja retención de fosfatos, son insuficientes para calificar al suelo como Andisol, de acuerdo al Soil Survey Staff (1990).

La escasa profundidad, la posición de lomeríos suaves, que hasta el momento ha dejado fuera del riego a estos suelos, y la baja fertilidad natural de ellos, ha determinado que el suelo Alhué y los suelos asociados se encuentren en su mayor parte con vegetación natural de espinos (*Acacia caven*) y con pastos y arbustos de baja producción forrajera.

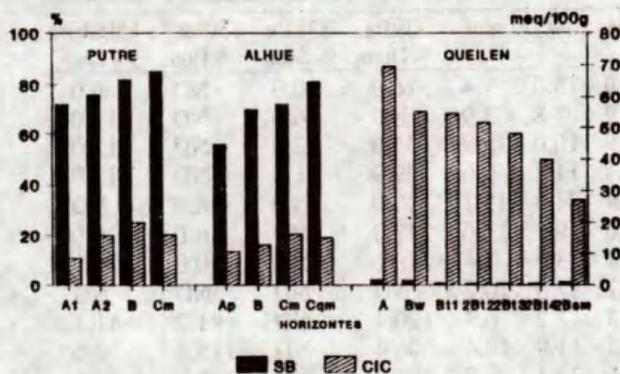
RETENCION DE FOSFATOS



ALUMINIO Y HIERRO OXALATO



SATURACION DE BASES Y CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO



DENSIDAD APARENTE

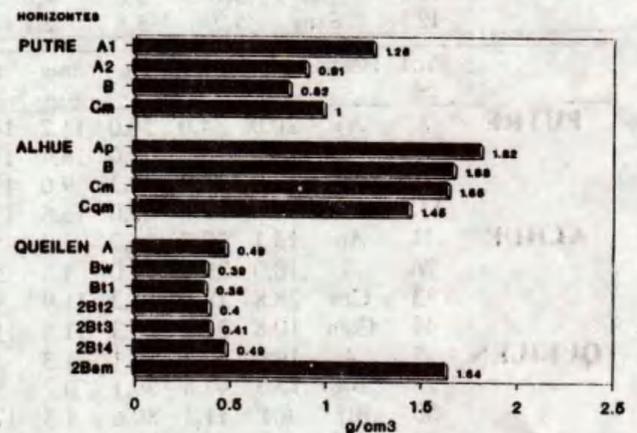


Fig. 1 : Comparación de propiedades seleccionadas en los suelos de regiones desérticas (Putre), mediterráneas (Alhue) y húmeda (Queilen) de Chile.

Cuadro 1. Datos analíticos de los suelos de regiones desérticas (Putre), mediterráneas (Alhué) y húmeda (Queilén) de Chile.

	Prof. cm	Horiz.	Ca	Mg	Na	K	Acidez	CIC	Σ Bas	Sat. Bas	Al KCl	Al KOH	Al ox	Fe ox
			meq/100 g de suelo					%						
PUTRE	8	A1	3.55	1.85	0.31	0.49	2.43	8.6	6.2	72	ND	0.00	0.10	0.11
	15	A2	7.50	3.30	0.42	1.02	3.71	16.0	12.2	76	ND	0.02	0.10	0.08
	21	B	10.40	4.40	0.49	1.17	3.63	20.1	16.5	82	ND	0.02	0.10	0.05
ALHUE	115	Cm	8.60	3.60	0.58	1.02	2.37	16.2	13.8	85	ND	0.02	0.10	0.08
	14	Ap	3.89	1.10	0.24	0.86	4.67	10.8	6.1	56	ND	0.14	0.11	0.27
	26	B	5.86	2.24	0.40	0.54	3.89	12.9	9.0	70	ND	0.02	0.10	0.10
	33	Cm	7.34	3.29	0.53	0.61	4.64	16.4	11.8	72	ND	0.02	0.12	0.08
QUEILEN	44	Cqm	9.78	0.49	1.05	1.04	2.92	15.3	12.4	81	ND	0.02	0.15	0.02
	15	A	0.66	0.29	0.24	0.20	68.3	69.7	1.4	2.0	1.5	3.85	3.19	2.18
	25	Bw	0.15	0.05	0.74	0.06	54.3	55.3	1.0	1.8	0.4	4.28	4.37	3.07
	50	Bt1	0.18	0.07	0.11	0.05	54.2	54.6	0.4	0.7	0.4	4.36	4.46	2.82
	75	2Bt2	0.12	0.05	0.08	0.02	51.4	51.7	0.3	0.6	0.3	5.21	5.49	3.07
	90	2Bt3	0.09	0.04	0.10	0.04	47.9	48.1	0.3	0.6	Tr	5.08	5.91	3.19
	121	2Bt4	0.06	0.02	0.14	0.02	39.6	39.8	0.2	0.5	Tr	4.48	5.35	1.76
123	2Bsm	0.12	0.04	0.10	0.03	26.9	27.2	0.3	1.1	Tr	2.85	3.18	7.55	

	Prof. cm	Horiz.	pH agua	pH KCl	C.O.	Ret. P	CaCO ₃	amg	ag	am	af	amf	Total	Da
			%					% vidrios				g cm ⁻³		
PUTRE	8	A1	6.1	4.8	0.28	15.8	0	46	55	51	49	58	51	1.26
	15	A2	6.8	5.5	0.61	12.9	0	71	68	60	67	64	67	0.91
	21	B	6.6	5.4	0.48	12.2	0	74	63	64	61	62	65	0.82
ALHUE	115	Cm	7.3	5.7	0.08	7.9	0	67	60	56	64	62	62	1.00
	14	Ap	6.0	4.9	1.16	11.6	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.82
	26	B	6.5	5.0	0.19	7.2	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.68
	33	Cm	6.6	4.9	0.18	11.6	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.65
QUEILEN	44	Cqm	7.2	5.9	0.08	9.0	0	90	67	67	70	69	72	1.45
	15	A	5.5	4.8	15.3	97.9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.49
	25	Bw	5.9	5.1	9.7	99.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.39
	50	Bt1	5.8	5.1	8.8	99.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.38
	75	2Bt2	5.7	5.5	6.4	100.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.40
	90	2Bt3	5.7	5.7	5.0	99.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.41
	121	2Bt4	5.7	5.8	4.0	100.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.49
123	2Bsm	5.7	5.8	2.1	98.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.64	

	Prof. cm	Horiz.	A	L	a	amg	ag	am	af	amf	33kPa % Hum	33kPa % Seco	1500kPa % Hum	1500kPa % Seco
			%											
PUTRE	8	A1	20.0	24.0	56.0	11.2	14.5	9.9	13.0	7.4	16.0	10.0	ND	6.0
	15	A2	28.0	20.0	52.0	16.7	14.7	8.9	7.8	3.9	ND	16.0	ND	11.0
	21	B	28.0	24.8	47.2	9.0	12.4	9.9	10.0	5.9	35.0	22.0	ND	15.0
ALHUE	115	Cm	18.0	22.0	60.0	15.5	15.1	11.4	11.4	6.6	29.0	21.0	ND	13.0
	14	Ap	13.1	29.7	56.7	3.2	5.6	11.4	21.4	15.1	20.0	ND	6.0	ND
	26	B	18.0	29.0	53.0	4.5	5.8	11.0	19.1	12.6	17.0	ND	6.0	6.0
	33	Cm	28.8	18.0	53.2	11.9	9.6	10.4	13.9	7.4	18.0	ND	10.0	ND
QUEILEN	44	Cqm	10.8	22.9	66.3	11.8	15.3	11.7	17.3	10.2	ND	ND	ND	ND
	15	A	19.4	54.5	26.1	1.3	3.4	7.5	7.2	6.7	120.4	ND	81.2	41.5
	25	Bw	13.3	47.6	39.1	0.7	3.3	8.8	11.9	14.4	206.4	ND	115.8	30.6
	50	Bt1	8.1	11.3	80.6	1.5	17.6	29.6	23.1	8.8	204.3	ND	109.2	29.5
	75	2Bt2	8.5	0	91.5	0.5	18.9	38.3	24.5	9.3	211.8	ND	117.0	28.1
	90	2Bt3	9.2	0	90.8	5.0	32.0	31.1	16.6	6.2	177.9	ND	120.0	29.8
	121	2Bt4	5.4	0	94.6	3.0	29.8	31.6	21.8	8.4	165.8	ND	103.0	25.1
123	2Bsm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

ND: no determinado; Tr: trazas; amg: arena muy gruesa; ag: arena gruesa; am: arena media; af: arena fina; amf: arena muy fina.

En torno a este punto Olivares (1985) ha realizado algunas investigaciones con el fin de elevar la producción de la pradera natural en este suelo. Introduciendo el concepto de un manejo silvopastoral, ha logrado incrementar la producción de la pradera desde 650 kg/ha/año de materia seca hasta 6 ton/ha/año de materia seca, sin fertilizar ni regar. Si bien es cierto el aumento que fue muy significativo, todavía es considerada como una producción baja, más aún teniendo presente que las 6 toneladas representan el techo de producción del suelo. No hay experiencias, hasta el momento, del uso de estos sistemas a nivel extensivo por parte de agricultores.

En Regiones Húmedas

A diferencia de los dos casos anteriores, los horizontes endurecidos de suelos volcánicos en las regiones húmedas de Chile representan un claro ejemplo de procesos pedogénicos y no geogénicos. El horizonte endurecido, denominado localmente como "fierrillo", es un horizonte delgado (2 a 35 mm), formado por la eluviación de hierro y materia orgánica y su posterior precipitación a un nivel dentro del perfil que marca un aumento en el potencial redox, suficiente para oxidar el hierro y producir su precipitación (Besoain, 1985) y además por un cambio en la distribución en el tamaño de los poros al pasar desde materiales finos, como es la ceniza volcánica, a un material grueso, como es un substrato de gravas y arena de origen fluvio-glacial (Barros, 1988).

El fierrillo, designado como horizonte Bsm, y que se ha identificado como un horizonte plácico, descrito en "Soil Taxonomy" (Soil Survey Staff, 1975), se encuentra presente en los suelos volcánicos en dos condiciones diferentes. Una es en suelos de buen drenaje y relieve de lomeríos suaves y la otra en suelos de mal drenaje, ocupando las posiciones bajas y las depresiones del paisaje. Estos últimos son motivo de una presentación aparte dentro de este mismo Congreso, por lo cual se hará referencia aquí a los suelos de buen drenaje (trumaos).

Se toma como referencia al trumao Queilén, que es un suelo profundo en el cual el fierrillo se encuentra a 123 cm de profundidad (Cuadro 1). Es un suelo que muestra una moderada estratificación producto de los sucesivos depósitos de cenizas, fenómeno muy frecuente en toda la zona volcánica.

El fierrillo es un horizonte de concentración de hierro y materia orgánica, producto de una marcada translocación a través del perfil. Por una parte el incremento del hierro es de 430% en el horizonte Bsm, en relación al horizonte suprayacente y por otra, si bien es cierto que existe un decrecimiento regular del carbono orgánico en profundidad, los elevados contenidos que aún persisten en el horizonte Bsm indican que importantes fracciones orgánicas han debido ser translocadas a través del perfil asociadas esencialmente con hierro proveniente de la meteorización de los vidrios volcánicos (Arancibia, 1990).

En cuanto a la compactación y cementación del fierrillo, se puede apreciar el notable incremento de la densidad aparente del horizonte, comparado con el resto del suelo (Cuadro 1).

Estos horizontes compactados son impermeables al paso del agua y las raíces, de tal forma que constituyen una severa limitación sólo cuando se encuentran muy próximos a la superficie y cuando el suelo se encuentra en una posición deprimida.

En el primer caso, constituyen un impedimento físico para el adecuado desarrollo del sistema radical. Si el suelo se encuentra en posición de lomeríos, tiene buen drenaje y por lo tanto el suelo presentará buena aptitud para praderas de arraigamiento superficial. En la práctica este es el uso que normalmente tienen los suelos con fierrillo a menos de un metro en posición de lomeríos suaves, ya que la región donde se encuentran es eminentemente ganadera, tanto para leche como para carne.

En el segundo caso, la presencia del fierrillo en un suelo en posición deprimida en el paisaje crea condiciones de mal drenaje, restringiendo

considerablemente la aptitud agrícola del suelo. En estos sectores, el suelo permanece saturado-húmedo casi doce meses del año, por lo cual, en la actualidad, está representando un interesante recurso como suelos para praderas y para algunos cultivos de verano, debido a las frecuentes sequías, y estivales de la región.

En varios sectores estos suelos se han habilitado, construyendo sistemas de drenes abiertos que han eliminado el problema del mal drenaje. Sin embargo, la profundidad del suelo, que en el mejor de los casos llega a los 70 cm, es una limitante permanente para la cual no hay solución.

LITERATURA CITADA

ARANCIBIA, M. 1990. Caracterización y clasificación de cuatro suelos derivados de cenizas volcánicas en la Isla Grande de Chiloé. Memoria de Título. Escuela de Agronomía. Univ. de Chile. Santiago, Chile. 155 p.

BARROS, C. 1988. Clasificación y caracterización de algunos suelos de ñadi de la X Región de Chile. Memoria de Título. Escuela de Agronomía. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 124 p.

BESOAIN, E. 1985. Los suelos, pp. 23-106. *In*: Tosso (ed). Suelos volcánicos de Chile. MINAGRI-
INIA, Santiago, Chile.

LUZIO, W. 1985. Génesis y clasificación de los suelos de regiones áridas y desérticas de Chile. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Boletín 5: 107-140.

MORENO, H. 1974. Airplane flight over active volcanoes of central-south Chile. International Symposium on volcanology. Andean and Antarctic Volcanology Problems. Guide Book Excursion D-3. 56 p.

OLIVARES, A. 1985. Praderas en la zona semiárida de Chile, pp. 37-56. Mesa redonda: Praderas naturales de la zona mediterránea. X Reunión de la Sociedad Chilena de Producción Animal. Valparaíso, Chile.

PARFITT, R. 1985. The nature of andic and vitric materials, pp. 21-37. *In*: F.H. Beinroth, W. Luzio L., F. Maldonado P. y H. Eswaran. Proceedings of the Sixth International Soil Classification Workshop. Chile and Ecuador. Part I. Papers. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Santiago, Chile.

SOIL SURVEY STAFF, SCS, USDA. 1975. Soil Taxonomy. Washington, D.C. Agriculture Handbook nº436. 754 p.

SOIL SURVEY STAFF, SMSS, USDA. 1990. Keys to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph nº19. 4th ed. 422 p.

WRIGHT, C. 1963. The volcanic ash soils of Chile with particular reference to trumao soils and ñadi soils. F.A.O. of the United Nations. 137 p.

ORIGEN Y PROPIEDADES DEL "FIERRILLO" DE LOS SUELOS VOLCANICOS DE DRENAJE IMPEDIDO EN CHILE

Origin and Properties of "Fierrillo" in Poorly Drained Volcanic Ash Soils in Chile

Walter Luzio L. ¹, Sergio Alcayaga C. ² y Cristián Barros G. ¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

² Agrolog-Chile Ltda., Santiago de Chile, Chile.

Palabras clave: Chile, Suelos volcánicos endurecidos, Fierrillo, Ñadis, Duripán, Drenaje, Caracterización, Génesis, Geoclimatología.

Key words: Chile, Indurated volcanic soils, Fierrillo, Ñadis, Duripan, Water impediment, Characterization, Genesis, Geoclimatology.

RESUMEN

El fierrillo constituye un horizonte delgado, fuertemente compactado y cementado con hierro y materia orgánica, que está asociado a los suelos volcánicos de drenaje impedido.

Se le ha identificado como un horizonte plácico, según la U.S. "Soil Taxonomy", cuyo efecto más importante en el suelo es el constituir un impedimento al paso del agua y de las raíces.

Su origen se encuentra en procesos pedogénicos de translocación de materia orgánica y de hierro asociado a los componentes de corto rango de ordenamiento.

Los suelos volcánicos que tienen este horizonte endurecido, denominados localmente como ñadis, son suelos húmedos, cuya mejor utilización es para praderas permanentes.

SUMMARY

The "fierrillo" is a strongly cemented horizon with iron and organic matter as cementing agents, and is normally associated with poorly drained volcanic ash soils.

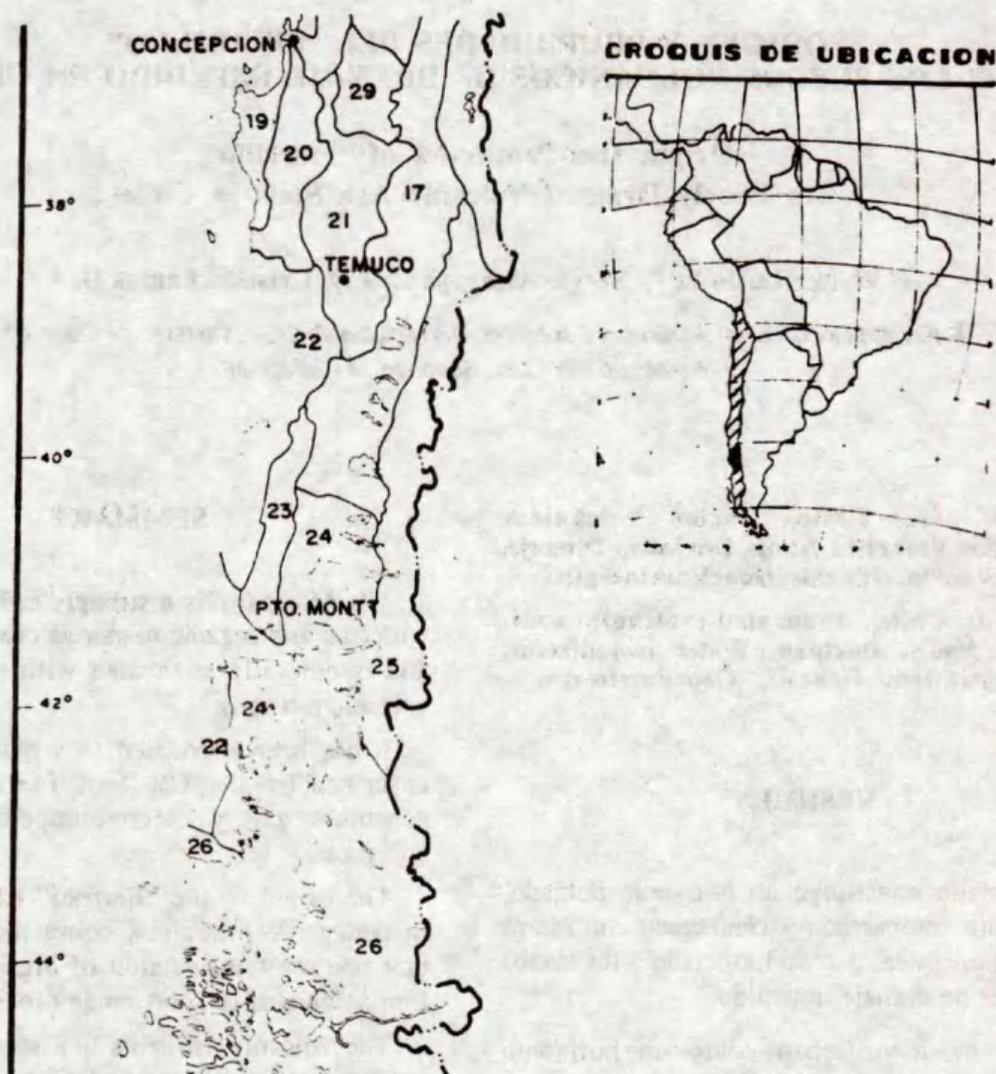
It has been correlated to a placic horizon as described by the U.S. Soil Taxonomy, and it constitutes a very effective impediment to water and roots.

The origin of the "fierrillo" has to be found in pedogenic processes, being the most important one the translocation of organic matter and iron associated to short range order minerals.

The volcanic ash soils that show this indurated horizon known as "ñadis", are very wet soils whose major use is for permanent grasses.

INTRODUCCION

Los suelos volcánicos de drenaje impedido en Chile, conocidos localmente como ñadis y clasificados como Placaquands (Soil Survey Staff, 1990), tienen una amplia distribución en la Depresión Intermedia entre los 39°30' y los 43°30' L.S. (Alcayaga, 1964). (Fig. 1).



- 17 Dystrandepts
- 18 Palexeralfs - Haploxeralfs, áreas de cerros de la Cordillera de la Costa
- 19 Paleudalfs, planicies de depositación marina
- 20 Paleudalfs - Hapludalfs, áreas de cerros de la Cordillera de Nahuelbuta
- 21 Dystrandepts - Palehumults
- 22 Haplohumults - Haplaquepts, áreas de lomaje y cerros de la Cordillera de la Costa
- 23 Haplohumults, áreas de lomajes en la vertiente oriental en la pre Cordillera de la Costa
- 24 Dystrandepts - Placandepts
- 25 Vitrandepts - Dystrandepts, áreas escarpadas
- 26 Hemists - Saprists - Andepts, áreas disectadas

Figura 1. Los suelos volcánicos con "fierrillo" tienen su mayor distribución y su mejor expresión en las unidades 23 y 24. Sección del "Mapa de Asociaciones de Grandes Grupos de Suelos de Chile" de Luzio y Alcayaga (1990).

Desde un punto de vista geomorfológico los ñadis se encuentran en las áreas planas o ligeramente onduladas de los "outwash" glaciales, entre las morrenas terminales. Estas planicies fluvio-glaciales tienen un diseño de plano inclinado de este a oeste y de norte a sur.

Dentro de las características morfológicas relevantes de estos suelos destaca la presencia de un horizonte delgado (pocos milímetros) cementado fuertemente con hierro y materia orgánica y en algunos casos además con manganeso. Localmente se le conoce como fierrillo y se le ha identificado como horizonte plácico, de acuerdo con Soil Survey Staff (1975). Es totalmente impermeable al paso del agua y constituye un impedimento al paso de las raíces, excepto por las grietas que aparecen a intervalos variables.

Se puede afirmar que las características y propiedades de estos suelos y sus horizontes, son el resultado de un conjunto de procesos geogénicos y pedogénicos que han provocado una profunda modificación del paisaje y una alteración de los depósitos iniciales, a consecuencia de las sucesivas sedimentaciones de materiales de diferente origen y naturaleza. Por estas razones no siempre es fácil hacer una distinción clara entre los fenómenos geológicos y los pedológicos que han influenciado y están influenciando a los suelos.

En este trabajo se describen algunas propiedades de estos horizontes y se da especial énfasis en el origen y las hipótesis más aceptadas sobre su formación.

MATERIALES Y METODOS

La discusión se planteará en torno a un Typic Placaquand que se seleccionó como un suelo representativo de los procesos que ocurren en la región y porque además se considera como el concepto central de un suelo de ñadis. La distribución de horizontes puede presentar alguna variación de una serie a otra, más bien en

términos de omisión de uno u otro horizonte, pero con una tendencia similar en profundidad (Fig. 2). En el Cuadro 1 aparecen los resultados de los análisis del perfil completo, con el fin de conocer las tendencias en profundidad y asociarlas con las características de los horizontes endurecidos y al mismo tiempo evaluar las hipótesis acerca de su origen.

La metodología de descripción y muestreo es la del Soil Survey Staff (1981) (unedited chapters) y los métodos de análisis químicos y físicos son los que se indican para cada caso de acuerdo con su cita.

Cuadro 1. Datos analíticos del Typic Placaquand.

Prof (cm)	0-4	4-7	7-15	15-36	36-37	37-50
Horizonte genético	Oi	E	AB	B	Bsm	2C
pH agua 1:5	5.4	6.2	5.7	5.5	6.0	6.2
pH KCL 1:5	4.6	6.4	5.1	4.9	5.5	5.6
C. O. (%)	33.9	1.7	11.7	13.6	3.1	0.6
Ca (meq/100 g)	11.07	0.24	0.88	1.09	0.79	0.77
Mg (meq/100 g)	3.98	0.04	0.11	0.18	0.67	0.07
Na (meq/100 g)	2.26	0.16	0.13	0.15	0.27	0.06
K (meq/100 g)	1.74	0.05	0.07	0.03	0.04	0.02
Σ bases (meq/100g)	19.05	0.49	1.19	1.45	1.77	0.92
Acidez total (meq/100 g)	53.59	12.39	32.73	57.36	29.25	8.61
CIC (meq/100 g)	72.64	12.88	33.92	58.81	31.02	9.53
Sat. bases (%)	26.23	3.80	3.51	2.47	5.71	9.65
Da (gcm ⁻³)	0.10	0.92	0.88	0.41	1.82	ND
Ret. Fosfatos (%)	81.21	90.54	95.24	97.54	ND	47.50
Al ox. (%)	0.76	1.38	1.80	8.91	2.51	1.04
Fe ox. (%)	0.37	0.19	0.35	0.32	9.70	0.33
33 kPa (% Hum)	243.2	SM	SM	98.2	ND	10.8
33 kPa (% Seco)	Hid.	45.6	58.7	78.2	ND	10.0
1500 kPa (% Hum)	143.5	SM	SM	78.4	ND	4.5
1500 kPa (% Seco)	Hid.	10.4	15.8	49.1	ND	4.3
Textura campo	-	Fa	FA	FAa	FAa	-

Carbono orgánico, según Walkley y Black, 1965.

Cationes de intercambio, acetato de amonio pH 7

CIC, suma de cationes más acidez.

Da, método del cilindro.

Ret. fosfatos, método de Blakemore (ICOMAND, 1983)

Al y Fe, extracción con ácido oxálico-oxalato (Blakemore, ICOMAND, 1983).

ND: no determinado.

SM: sin muestra.

Hid.: hidrofobia.

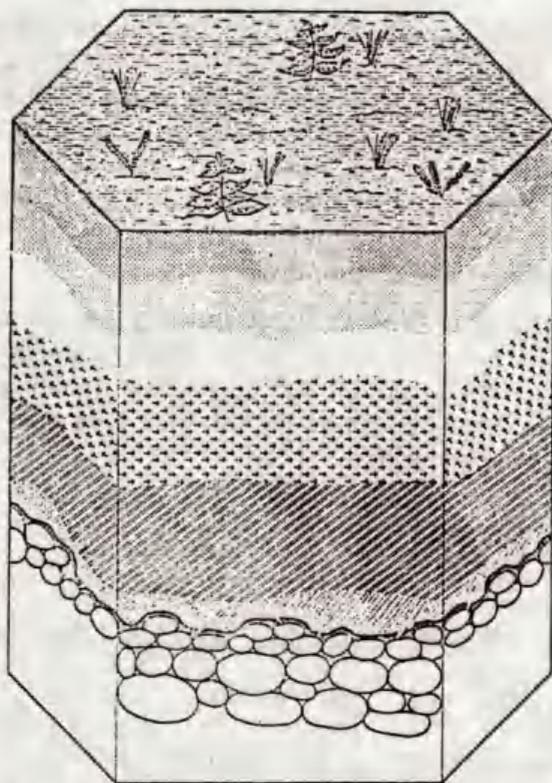


Fig. 2. Bloque diagrama que muestra la distribución más frecuente de horizontes en los fladís. El horizonte E puede ser discontinuo o aún estar ausente en algunos pedones.

RESULTADOS Y DISCUSION

La morfología del suelo y su posición en el paisaje representan dos puntos claves en la presencia del fierrillo, por lo cual se discutirán, en primer lugar, las características más sobresalientes de cada uno de los horizontes maestros.

Características de los Horizontes de Suelos con Fierrillo

Horizonte O. En la mayor parte de los pedones se presenta este horizonte y en algunos se pueden diferenciar sub-horizontes. El sub-horizonte fábrico (Oi) es superficial de 4 cm hasta 17 cm de espesor y con contenido de carbono orgánico de 33.4 a 54.8%. El sub-horizonte

hémico (Oe) no siempre está presente al igual que el horizonte sáprico (Oa) con espesores promedios de 15 y 22 cm, respectivamente.

Horizonte E. Se trata de un horizonte muy delgado, que aparece sólo en escasos pedones y que, además, es discontinuo. Se caracteriza por tener texturas franco arenosas, bajo contenido de carbono orgánico y colores grises oscuros.

Horizonte B. Su presencia indica un grado de evolución mayor, ya que además de la estructura débil a moderadamente desarrollada, hay rasgos de iluviación como son los recubrimientos de arcilla en canales de raíces y caras de agregados. En aquellos fladís donde existe un epipedón hístico de espesor significativo (> 30 cm), no se han encontrado horizontes B, ni tampoco se han detectado rasgos de iluviación. La secuencia de horizontes, en este último caso, es del tipo O - C.

Horizonte Bsm (fierrillo). Es el horizonte que continúa en la secuencia y que se encuentra en contacto con el substrato fluvio-glacial. Es una lámina discontinua de espesor variable (2 a 35 mm), irregular, de color rojo (2.5YR 4/6), negro (N 2.5/O) o una mezcla de ambos colores a veces difíciles de delimitar unos de otros. Es extremadamente duro, quebradizo cuando está aislado, pero frecuentemente se encuentra recubriendo la cara superior de las gravas y rellenando los espacios porosos entre ellas en el substrato fluvio-glacial.

Horizonte C (substrato). Está constituido por un conjunto de gravas redondeadas con abundante arena gruesa como material intersticial, con una cementación moderada en la parte superior del depósito y débil hacia abajo.

Características Químicas y Físicas del Suelo

En el suelo tiene 37 cm de profundidad sobre el substrato de naturaleza fluvio-glacial. Inmediatamente sobre el substrato se encuentra el fierrillo de 5 mm de espesor fuertemente compactado y cementado.

Carbono orgánico

Los suelos derivados de materiales volcánicos se caracterizan por presentar una gran acumulación de carbono orgánico en los horizontes superficiales (Alcayaga, 1964; Inoue, 1986) y que es normalmente mayor en los suelos de fiadis que en los suelos volcánicos de buen drenaje (trumaos) (Sadzawka y Carrasco, 1985). En este caso, el horizonte superficial tiene 33.9% de carbono orgánico, cantidad suficiente para ser considerado como un epipedón hístico, sin embargo, a causa del escaso espesor no califica como tal, situación que ya ha sido mencionada por Luzio (1985) en otros suelos de la misma región.

Es interesante notar la gran variación en el contenido de carbono orgánico en los diferentes horizontes. De 33.9% en el horizonte Oi, disminuye a 1.7% en el horizonte E, indicando con ello la presencia de un horizonte de máxima eluviación. El aumento de carbono orgánico en los horizontes AB y B (11.7 y 13.6%, respectivamente) está determinado, en parte, por la translocación de materia orgánica desde el horizonte E y por la presencia de capas compactadas en profundidad (horizonte plácico y substrato fluvio-glacial) que impiden el paso del agua, provocando un régimen de reducción temporal que limita una rápida descomposición de la materia orgánica (Barros, 1988).

El fierrillo tiene 3.1% de carbono orgánico, cifra considerada elevada para un horizonte cementado y compactado, pero no extraña para los suelos de la región, pues Arancibia (1990) ha informado de valores de hasta 3% de carbono orgánico en fierrillos de la Isla de Chiloé. De acuerdo con el "Soil Survey Staff" (1975) los límites de carbono orgánico para las diferentes clases de horizontes plácicos es entre 1 y 10%.

Hierro

De acuerdo con Sadzawka (1984) en los horizontes superficiales de estos suelos habría una predominancia de hierro unido al humus y en los horizontes más profundos de hierro unido a la fracción mineral no cristalina. Solamente en

los suelos derivados de cenizas volcánicas más evolucionados es posible encontrar cantidades considerables de óxidos de hierro cristalinos.

En el suelo que se analiza existe una evidente translocación del hierro desde los horizontes superficiales, con un mínimo en el horizonte eluvial de 0.19%, a un 9.7% en el fierrillo. Este enorme incremento está señalando que ha existido una fuerte condición de reducción a través del perfil que ha posibilitado la translocación de Fe^{++} en grandes cantidades.

El hierro que aquí se discute es el hierro asociado a los componentes de corto rango de ordenamiento (extracción con ácido oxálico-oxalato; Icomand, 1983) que es el más importante en los suelos volcánicos de menor evolución.

Densidad aparente

La densidad aparente es bastante baja a través de todo el perfil, particularmente en los horizontes superficiales a causa del mayor contenido de materia orgánica que, comúnmente, alcanza los niveles suficientes para formar epipedones orgánicos.

Como regla general, la densidad aparente aumenta en profundidad pero no sobrepasa 0.9 g cm^{-3} ó lo hace en forma muy ligera. Solamente en el fierrillo el incremento es significativo (1.82 g cm^{-3}) indicando la presencia de un material de mayor compactación. La cifra podría ser mayor aún, pero es probable que la presencia de vacíos planos y vacíos de asentamiento (Fig. 3), conjuntamente con la presencia de carbono orgánico, hagan disminuir la compactación del horizonte.

La sección delgada de un sector del fierrillo (Fig. 3) demuestra que los materiales están fuertemente empaquetados con una abundante acumulación de materia orgánica y componentes isotrópicos. Entre los granos esqueléticos existe materia orgánica y óxidos de hierro iluviados que actúan como agentes cementantes entre los fragmentos, la mayor parte de los cuales son vidrios volcánicos.

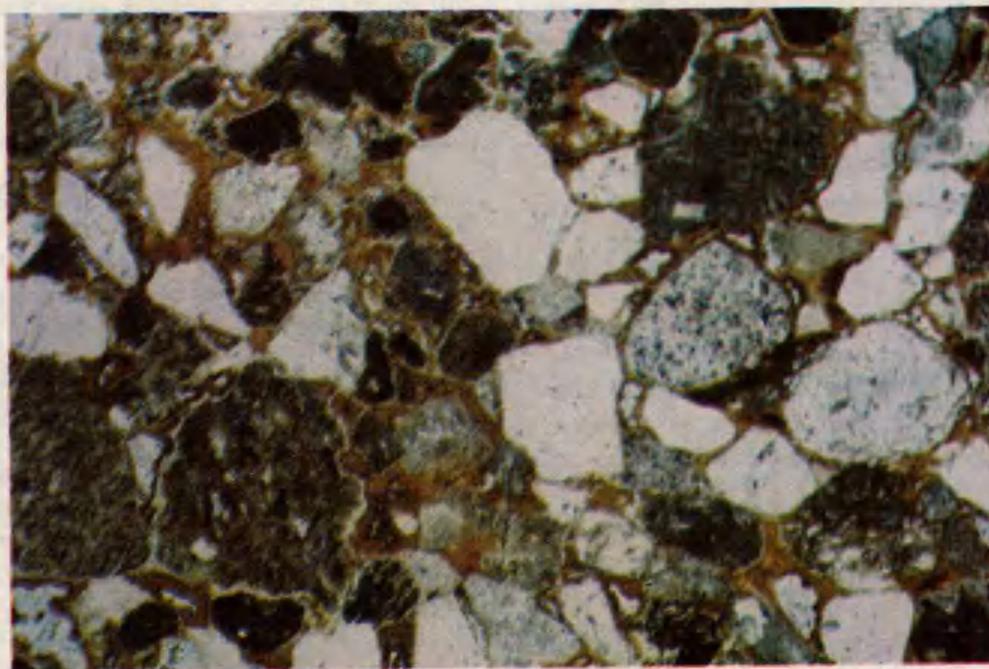


Figura 3. Sección delgada de un sector del fierrillo. muchos granos esqueléticos corresponden a vidrios volcánicos. Entre los granos esqueléticos hay material iluviado del tipo ferriarginales.

Origen de la Formación del Fierrillo

Uno de los procesos de translocación más significativos en los suelos de *Andisols* corresponde a la iluviación del hierro, manganeso y materia orgánica, los cuales se han concentrado formando el horizonte plácico (Bsm).

Pareciera ser que existen dos mecanismos involucrados en la translocación del hierro y su acumulación en el horizonte plácico. El primero indica que el potencial redox bajo, que existe en los horizontes superiores determina la migración de Fe^{++} (y también Mn^{++}) hasta un nivel donde el potencial redox es más elevado, lo que puede suceder en contacto con el substrato fluvio-glacial produciéndose la precipitación como Fe^{+++}

(Besoain, 1985). El segundo mecanismo se refiere a la depositación de solutos en las paredes de los poros capilares por efecto del cambio de porosidad que encuentran las soluciones del suelo al pasar desde el espacio poroso fino (de las cenizas volcánicas) a un espacio poroso grueso (del substrato fluvio-glacial de gravas y arena gruesa).

Además de la presencia del horizonte plácico como evidencia de la translocación de componentes, se han descrito también recubrimientos de arcilla (cutanes) en paredes de poros en los horizontes B, lo cual unido al incremento de arcilla (textura más fina) indica también una iluviación de las partículas del tamaño arcilla.

LITERATURA CITADA

- ALCAYAGA, S.** 1964. Características generales de los suelos de fadis, *In*: Mesa redonda de suelos volcánicos. Santiago, Soc. Agronómica de Chile. 1-13.
- ARANCIBIA, M.** 1990. Caracterización y clasificación de cuatro suelos derivados de cenizas volcánicas en la Isla Grande de Chiloé. Memoria de Título. Escuela de Agronomía. Univ. de Chile. Santiago, Chile. 155 p.
- BARROS, C.** 1988. Clasificación y caracterización de algunos suelos de fadis de la X Región de Chile. Memoria de Título. Escuela de Agronomía. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 124 p.
- BESOAIN, E.** 1985. Los suelos, pp. 23-106. *In*: Tosso (ed). Los suelos volcánicos de Chile. Santiago, MINAGRI-INIA.
- ICOMAND.** 1983. Circular letter 5. August 26. 30 p.
- INOUE, K.** 1986. Chemical properties, pp. 69-98. *In*: Wada (ed). Ando soils in Japan. Kyushu Univ., Japon.
- LUZIO, W.** 1985. Soils of the south central Chile, pp. 73-76. *In*: F.H. Beinroth, W. Luzio L., F. Maldonado P. y H. Eswaran. Proceedings of the Sixth International Soil Classification Workshop. Chile and Ecuador. Part II. Tourguide for Chile. Santiago, Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo.
- LUZIO, W. y S. ALCAYAGA.** 1990. Mapa de asociaciones de grandes grupos de suelos de Chile, pp. 285-294. VI Cong. Nac. de la Ciencia del Suelo. Univ. de la Frontera, Temuco y Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo. Nov. 1990.
- SADZAWKA, A.** 1984. Formas de Al activo y Fe en suelos volcánicos. IV Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo. Universidad Austral. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Comisión 1-53. 8 p.
- SADZAWKA, A. y A. CARRASCO.** 1985. Química de los suelos volcánicos, pp. 337-432. *In*: Tosso (ed). Suelos volcánicos de Chile. MINAGRI-INIA, Santiago, Chile.
- SOIL SURVEY STAFF, SCS, USDA.** 1975. Soil Taxonomy. Washington, D.C. Agriculture Handbook nº436. 754 p.
- SOIL SURVEY STAFF.** 1981. Soil Survey Manual. 430 V. ISSDE 1. Chapter 4: 1-107.
- SOIL SURVEY STAFF, USDA.** 1990. Keys to Soil Taxonomy. SMSS Tech. Mono. nº19. 422 p.

GENESIS DE LOS SUELOS ÑADIS, AQUANDS Y DURANQUANDS DE LA REGION CENTRO-SUR DE CHILE

Ñadis Soils Genesis, Aquands y Duranquands From Central-South Region of Chile

Eduardo Besoain M., Angelica Sadzawka R. y Gloria Sepúlveda W.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA.- Estación Experimental La Platina, Santiago-Chile.

Palabras clave: Chile, Ñadis, Fierrillo, Trumaos, Aquands, Duranquands, Génesis, Mineralogía, Micromorfología.

Index words: Chile, Ñadis, Fierrillo, Trumaos, Aquands, Duranquands, Genesis, Mineralogy, Micromorfology

RESUMEN

Se estudiaron las condiciones de formación de dos "ñadis", los suelos Frutillar y Alerce, Aquands situados en la X Región, centro-sur de Chile. Estos suelos derivados de ceniza volcánica andesítica/basáltica, tienen estrechas analogías mineralógicas con los "trumaos", Andisoles originados de cenizas parentales semejantes y de edad comparable, pero se diferencian en que están emplazados en una topografía plana, sometidos a inundación estacional y han desarrollado un horizonte plácico, llamado "fierrillo", una lámina dura, frágil, continua, constituida por una asociación de óxidos, con predominio de Fe, Al y Si, con o sin Mn, que determina una notable impermeabilidad a los suelos. Se estima que el "fierrillo" se formó por translocación de iones Fe, Al, Si y Mn, por acción simultánea de varios factores: a) como iones reducidos solubles, b) formando complejos

húmicos móviles o, c) como iones mixtos Fe-Al-Si. Los potenciales redox más elevados en los horizontes de acumulación (Bsm, 2Cgs) y el incremento del O₂ al secarse los suelos en los meses de verano, oxidaron los constituyentes originando goethita, ferrihidrita, gibbsita y óxidos de Mn en algunos casos. En la génesis del horizonte plácico han jugado un papel importante varios factores: a) el substrato fluvio-glacial cementado (horizontes 2Cqm, 2C, 2Cg) y b) la diferencia geológico y textural entre el substrato (piedras redondeadas en una matriz arenosa cementada) y los horizontes inmediatamente superiores (Bsm, 2Cgs) arcilloso limosos.

La formación del horizonte plácico se produjo *in situ* y es un efecto, más que una causa, en la restricción del drenaje en estos suelos.

SUMMARY

Genesis of two "ñadis" soils, frutillar and alerce, Aquands of the X region of the central south of Chile have been studied. These soils are derived from andesitic basaltic volcanic ashes and have strong mineralogical analogy with "trumao" soils, Andisols formed from similar parental ashes and of similar age. However, they

are located on lowlands subjected to seasonal water-logging conditions which causes formation of a placic horizon named "fierrillo". The "fierrillo" is a hard, fragile and continuous layer formed by association of oxides, with predominance of Fe, Al, and Si, with or without Mn, which is strongly impervious. "Fierrillo" formation is probably due to simultaneous translocation of Fe, Al, Si and Mn ions: a) as soluble reduced ions, b) as mobile humic complexes, or c) as mixture of Fe-Al-Si ions. The highest redox potentials in the accumulation horizons (Bsm, 2Cg3) and the increase of O₂ during the dry summer months, oxidize the constituents giving raise to goethite, ferrihydrite, gibbsite and sometimes Mn oxides. The genesis of the placic horizon is affected by: the cemented fluvio-glacial substratum (2Cqm, 2C, 2Cg) and the geological and textural differences between substratum (round stones in a cemented sandy matrix) and the immediately overlaying loamy-clay horizons.

The formation of the placic horizon occurred *in situ* and it is an outcome of the reduction in drainage more than is main cause.

INTRODUCCION

Durante el Cuaternario, la zona central-sur de Chile, especialmente la región de los Lagos (35° - 46° L.S.) fue escenario de varios procesos glaciales asociados a una fuerte actividad volcánica, que condujeron a la formación de suelos volcánicos. Esta actividad glacial y volcánica cuaternaria relleno la depresión central, una fosa tectónica que se extiende entre las cordilleras de Los Andes y La Costa. Los glaciales adoptan la forma de lenguas de tipo alpino o alaskiano y han dado origen a numerosos lagos. En esta región, las cenizas volcánicas parentales de los suelos son predominantemente andesítica/basálticas, aunque también se suelen incluir términos riolíticos. Las cenizas, de acuerdo con su edad y grado de

alteración han originado dos grupos de suelos bien definidos: los "trumaos", esto es, Andisoles y los suelos Rojo arcillosos, usualmente Ultisoles. Mientras los "trumaos" son de edad Holoceno, los Rojo arcillosos son presumiblemente de edad Riss-Würm (Laugenie *et al.*, 1975) o Mindell Riss (Besoain, 1985). Los "trumaos" no son coetáneos; su edad fluctúa desde muy recientes, con edades no superiores a 500 - 1,000 años (Series Antillanca, Chanleufú...) a otros originados en la fase final del Würm, como la Serie Corte Alto, es decir, 25,000 años. Esta situación implica variaciones respecto a los grados de alteración de los minerales primarios, incluyendo los vidrios, el contenido de óxidos de Fe, Al y bio-opal. En los "trumaos" existen, en consecuencia, diferencias en el contenido y composición de las arcillas y es así como además del alofana e imogolita, puede detectarse haloisita, esmectitas, minerales de 14 Å, interstratificados y otros directamente ligados a las particularidades de la edafogénesis y desarrollo. Puesto que en las condiciones ambientales que prevalecen, la alteración de los vidrios desarrolla casi invariablemente alofana -o imogolita- y que en el curso del tiempo se transforman en haloisita, entonces la existencia y contenido de este último mineral se relaciona con la edad de los suelos, argumento este que posibilita la asignación de edades relativas. Edades absolutas determinadas por métodos radiométricos son escasas.

En la zona central-sur, especialmente en la IX y X Regiones (Fig. 1), existe además un grupo de suelos volcánicos llamados "ñadis" que pese a una gran similitud mineralógica con los "trumaos", tienen un horizonte plácico y su edafogénesis se relaciona directamente con una topografía de depositación plana y condiciones de drenaje restringido. Estos suelos han sido clasificados como Aquands (Icomand, 1988; Soil Survey Staff, 1990). Se trata de una formación importante cuya superficie entre la IX y X Región alcanza 475,091 ha, sin incluir formaciones análogas en la isla grande de Chiloé (Mella y Kühne, 1985).



Figura 1. Localización geográfica del área estudiada y de los suelos muestreados: "ñadis" Alerce y Frutillar, X Región, Centro-Sur de Chile.

Los "ñadis" constituyen un grupo particular de suelos descritos sólo en Chile. Su génesis, sin embargo, ofrece algunas dudas, especialmente cómo y por qué mecanismos se formó el horizonte plácico. Los "ñadis" guardan ciertas semejanzas con los suelos Gley y pseudo-Gley en cuanto a que están sometidos a inundación estacional debido al drenaje impedido y al desarrollo de una capa freática entre 20 y 40 cm bajo la superficie, pero difieren de éstos en que el moteado del subsuelo es incipiente, raro o inexistente, en la mineralogía de las arcillas y en la existencia del horizonte plácico llamado "fierrillo". El horizonte plácico es una lámina pardo-rojiza oscura dura y frágil, de 2 a 10 mm de espesor, constituida por una asociación de óxidos de Fe, Al, Si, y eventualmente Mn que sigue, como una cinta continua, el relieve del substrato fluvio-glacial. El "fierrillo" es fuertemente impermeable.

Horizontes plácicos se desarrollan en suelos tropicales y templados, pero son más comunes en regímenes húmedos o perhúmedos; usualmente se han descrito estos horizontes en Placaquands, Haplumbrepts y Plaquepts de Alemania, Nueva Zelandia y Bélgica (Campbell y Schwertmann, 1984). Suelos con panes férricos gruesos en zonas de drenaje restringido o pobremente

drenados han sido descritos en Taranaki, Nueva Zelandia (Childs *et al.*, 1990) en suelos derivados de cenizas volcánicas o sedimentos laháricos del Mount Egmont. Estos depósitos férricos llamados "Ironstone" guarda muchas analogías con el "fierrillo" de los "ñadis".

El propósito de este trabajo es proporcionar antecedentes sobre la naturaleza, composición y mineralogía de dos "ñadis", con énfasis en los mecanismos de formación del horizonte plácico.

MATERIALES Y METODOS

De los doce "ñadis" descritos en la IX y X Región, por su importancia y representatividad se seleccionaron los suelos Frutillar (130,875 ha) y Alerce (31,312 ha), respectivamente (Fig. 2). Algunas informaciones sobre los suelos se muestran en el Cuadro 1.

El pH se determinó en una relación 1:2.5 con H₂O y con una solución 1M de KCl, el carbono orgánico (C_{org}) por el método de Walkley y Black (Black, 1965). El análisis del "fierrillo" fue hecho cuidadosamente a modo de aislarlo del material adherido, lavando en corriente de agua y secándolo al aire.

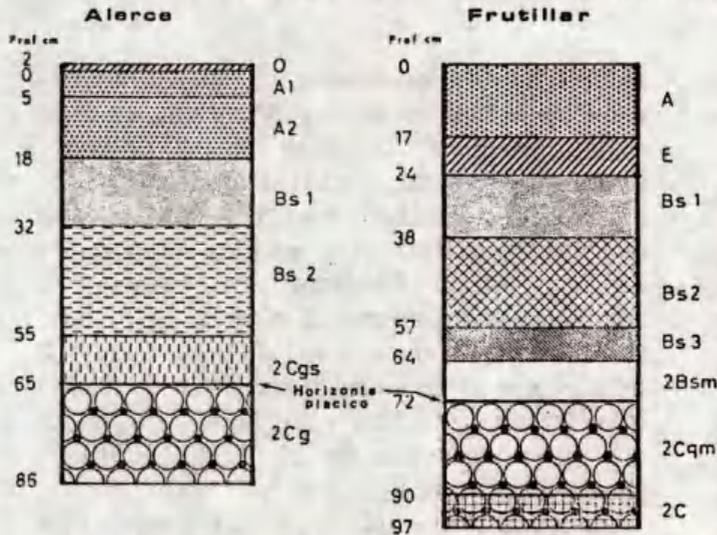


Figura 2. Esquema de los perfiles de los suelos estudiados, "ñadis" Alerce, Acric Duraquand y Frutillar, Duric Histic Placaquand. El horizonte plácico se sitúa en el borde inferior de los horizontes 2Cgs y 2Bsm de estos suelos.

Cuadro 1. Descripción, clasificación, localización y edad probable de los suelos.

Serie, clasificación, localización	Prof. cm	Hor.	Textura	Arena %	Arcilla %	Color Húmedo	Prom. Anual. mm	t °C	Edad aprox. años x 1,000
Frutillar Duric Histic Placaquand Lat. 41°08's Long. 73°04'w	0-17	A	Franco	13.8	24.0	10YR2/1	1700 (Aquic)	12.0	12-15:inter.
	17-24	E	Franco	15.2		5YR2/2			
	24-38	Bs1	F.limoso	23.0	54.0	10YR2/2			
	38-57	Bs2	F.limoso	28.0		7.5YR4/6			
	57-64	Bs3	F.limoso	25.7	42.0	7.5YR5/6			
Alerce Agric Duric Placaquand Lat. 41°23'30"s Long. 72°54'w	64-72	Bsm	Duripán	69.2		N2/0	1850 (Aquic)	11.5	
	72-90	2Cqm	Ar. cementada Si	95.2		10YR3/3			
	90-97	2C	Arena y grava	98.2		10YR4/1			
	0-5	A1	Franco	16.3		5YR2/1			
Frutillar	5-18	A2	Franco	15.7	16.0	5YR2/2	1850 (Aquic)	11.5	
	18-32	Bs1	F. arcillo limoso	16.6		7.5YR4/4			
	32-55	Bs2	F. arcillo limoso	26.3	42.0	10YR4/4			
	55-65	2Cgs	Duripán de Fe+Si	68.1		10YR3/3			
	65-85	2Cg	Grav.+are. cemen.	86.9		10YR3/2			

Cuadro 2. Caracterización química de los suelos incluyendo contenido de alofán.

Serie	Hor.	Prof. cm	pH H ₂ O	KCl	C.O.	Fe-extraf. Ox				Al-extraf. Ox		Si-Ox	Al-Ox +1/2Fe-Ox	Al-Pir /Al-Ox	Ret-P	Alofán %
						Ox	DCB	Ox	Pirof	Ox	Pirof					
Frutillar	A		5.6	4.5	19.3	0.8	1.4	3.62	2.03	0.84	4.04	0.56	99	6		
	E	17-24	5.4	5.0	8.3	0.9	2.6	8.46	1.40	2.85	8.91	0.16	99	24		
	BS1	24-38	5.8	5.5	5.2	0.7	3.7	6.84	1.30	2.53	7.19	0.19	99	21		
	BS2	38-57	6.0	5.7	3.6	0.5	2.0	7.16	0.76	2.86	7.41	0.10	99	24		
	BS3	57-64	6.0	5.9	3.0	1.2	4.1	7.08	0.70	3.03	7.68	0.10	99	24		
	Bsm	64-72	6.2	5.8	0.6	1.3	1.5	4.62	0.35	2.33	5.27	0.07	98	17		
	2Cqm	72-90	6.1	5.7	0.2	1.4	0.5	3.40	0.30	1.97	4.10	0.08	80	13		
	2C	90-97	6.5	5.1	0.02	0.8	0.2	0.81	0.88	0.51	1.21	1.00	33	3		
Alerce	A1	0-5	5.0	4.0	28.2	0.4	0.6	0.97	0.89	0.11	1.17	0.91	88	1		
	A2	5-18	5.2	4.5	19.6	0.8	0.6	3.08	1.81	0.67	3.48	0.58	97	5		
	BS1	18-32	5.4	4.8	9.2	0.3*	2.5	9.51	1.59	3.34	9.66	0.16	98	28		
	BS2	32-55	6.3	5.9	2.8	0.2*	3.4	5.24	0.54	2.42	5.34	0.10	95	19		
	2Cgs	55-65	6.3	5.6	0.6	0.3*	0.9	2.27	0.16	1.35	2.42	0.07	78	9		
	2Cg	65-86	6.1	5.5	0.3	0.2	0.4	1.89	0.10	1.12	1.99	0.05	54	7		

Análisis por disolución selectiva

El Fe, Al y Si en ácidos-oxalato esto es el Fe_{ox} , Al_{ox} y Si_{ox} , así como el Fe extraído con ditionito-citrato-bicarbonato Fe-DCB y el Al extraído con pirofosfato (Alpir) se obtuvieron con el método de Blackmore (Sadzawka y Porte, 1986). El contenido de alofana fue determinado por el método de Parfitt y Hemni (1982).

Textura

La textura fue determinada en el campo. En el laboratorio se cuantificó el contenido de arena, por tamizaje en húmedo, previa aplicación de ultrasonido (300 W/cm^2) durante 2 min. Algunos datos sobre el contenido de arcilla fueron obtenidos de las informaciones de Wada y Kakuto (1985) sobre estos suelos. Los valores de retención de P fueron determinados por Sadzawka y Porte (1986).

La mineralogía de las arcillas ($< 2\ \mu\text{m}$)

La mineralogía de las arcillas ($< 2\ \mu\text{m}$), el "fierrillo" y el cemento fue llevada a cabo por difracción de rayos X, fotometría infrarroja (FT-IR). Los difractogramas se obtuvieron en un difractor automático, con radiación $K\alpha\text{-Cu}$, filtro de Ni, tensión 30 KV y corriente de 20 mA; velocidad $2^\circ\ \theta/\text{min}$. Los espectros IR se efectuaron con un fotómetro con transformada de Fourier usando celdas de absorción de KBr con una relación sal:muestra 300:1.5, *in vacuo*, comprimidos a 10 ton/cm^2 . Además de estos análisis, en muestras de "fierrillo" y cemento del substrato, se hicieron análisis termo-diferenciales y análisis químicos elementales, este último mediante el método de Pruden y King (1969).

RESULTADOS Y DISCUSION

Como se observa en el Cuadro 1, entre los "ñadis" Frutillar y Alerce no se aprecian diferencias fundamentales. Sin embargo, la

solubilidad de elementos en los diferentes extractantes muestra algunas diferencias en estos suelos (Cuadro 2). Como se sabe, el ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) extrae todos los óxidos de Fe, cristalinos y no-cristalinos, en tanto que el ácido-oxalato extrae sólo los componentes de Fe y Al no-cristalinos y el Fe unido a componentes orgánicos; el pirofosfato lo hace sólo con el Al unido a la M.O. El Cuadro 2 muestra que el Fe extraído con DCB es mucho más elevado que el Fe_{ox} y que tiende a disminuir con la profundidad, en el "ñadi" Frutillar, situación que no es tan clara en el "ñadi" Alerce. Ambos suelos cumplen con las propiedades ándicas: el Alox es mayor que el 2%; la suma de $Al_{ox} + 1/2\ Fe_{ox}$ supera el 2.5% y la retención de fosfato es mayor que 95%, con excepción de los horizontes 2Cgs y Cg del suelo Alerce y 2 Cqm y 2C del "ñadi" Frutillar.

El contenido de alofana de los suelos fluctúa entre 1 y 28%, con promedios de 18.4% para el suelo Frutillar y 12.4% para Alerce (Cuadro 2) y son similares a los que usualmente exhiben los "trumaos" (Besoain y Sepúlveda, 1991). El contenido de alofana se incrementa proporcionalmente al contenido de arcilla; así, en el horizonte A de ambos ñadis, hay sólo del 1 al 6% de alofana, un hecho que está indicando que en esos horizontes la M.O. (19.3%; 28.2% C_{org}) forma complejos órgano-Al e inhibe la formación de alofana. Este hecho concuerda con los valores de Al_{pir} que tienden a disminuir con la profundidad del suelo. Usualmente la diferencia de contenido entre el Fe_{deb} y el Fe_{ox} es indicativo del contenido de ferrihidrita, la cual, como se aprecia en el Cuadro 2, tiende a aumentar en los horizontes sobre el horizonte plácico en ambos "ñadis".

Los valores de retención de P son muy elevados y superan el 95% en los horizontes superiores. Este valor no guarda relación con los contenidos de alofana, sino más bien con la relación $Al_{ox} + 1/2\ Fe_{ox}$ un hecho que destaca la importancia que en este fenómeno tienen los óxidos de Fe no cristalinos de los suelos.

Mineralogía de las Arcillas (< 2 µm)

Los resultados obtenidos (difracción de rayos X, fotometría FT-IR) pueden verse en el Cuadro 3. En todos los horizontes el contenido de alofana, asociado a sílice no-cristalina, es dominante. Además, en varias muestras se detectó por vía FT-IR la presencia de imogolita (banda a 345 cm⁻¹), hecho confirmado por Wada y Kakuto (1985).

Los difractogramas de las arcillas del suelo Alerce (Fig. 3a) con excepción del horizonte A, muestran reflexiones a 14 Å, 7.08 Å, 4.72 Å que desaparecen por calentamiento a 550°C, pero permanecen en la muestra-K; aunque fuertemente atenuadas, además no se expanden con glicerol en la muestra Mg. Tal comportamiento indica la existencia incipiente de clorita-Al, muy mal cristalizada, con tamaño de partículas reducido. Casi todas las muestras tienen gibbsita (4.8 Å) y minerales primarios como cuarzo (4.27 Å, 3.34 Å...), plagioclasa (3.18 Å), abundante cristobalita. Con excepción del horizonte Bs2 (32-55 cm) no se detectó goethita.

Los difractogramas de las arcillas del suelo Frutillar (Fig. 3b), al igual que en el suelo Alerce,

muestran la presencia de una clorita primitiva (14 Å, 7 Å, 4.72 Å...) que no se expande con glicerol y que se atenúa fuertemente por efecto del calentamiento a 550°C en la muestra-K. También se observan líneas de gibbsita, cristobalita, plagioclasa, débiles líneas de goethita, pero no cuarzo. En estas arcillas, además de alofana, se detectó imogolita. (Besoain y Sepúlveda, 1991; Wada y Kakuto, 1985).

Los espectros FT-IR de las arcillas de los "ñadis" se muestran en la Fig. 4. En general, son espectros propios de alofana con bandas de absorción entre 2,800 y 3,800 cm⁻¹ debidas a vibraciones stretching de OH⁻ con un máximo de 3,440 cm⁻¹; otras entre 1,400-1,800 cm⁻¹, debido a la deformación de la molécula de H₂O; una banda entre 800-1,200 cm⁻¹, con un máximo alrededor de 1,000 cm⁻¹ debida a vibraciones Si-Al-O y parcialmente a vibraciones SiOH y AlOH. Algunas bandas alrededor de 1,730 y 1,720 se deben a grupos COO⁻ propios de componentes húmicos. La presencia de una banda pequeña a 800 cm⁻¹ indica la existencia de cristobalita y sílice no-cristalina. Bandas alrededor de 585 cm⁻¹ parecen estar asociadas a la presencia de plagioclasa.

Cuadro 3. Composición mineralógica de la fracción arcilla (<2 µm) de los suelos.

Serie	Horiz.	Prof. cm	Al	Im	p-Al	COA	Haloisita 7Å 10Å	Cl	Cl-V	Cl-Es	G	F.PI	F.Al	Q	Cr	Go
Frutillar	A	0-17	+++++	+	++			+					+	+		+
	E	17-24	+++++	++++	++			++	+				+	+		+
	Bs1	24-38	+++++	+++	+			+++	+				+	+		+
	Bs2	38-57	+++++	+++				++	+				+	+		+
	Bs3	57-64	+++++	++++				++	+				+	+		+
	Bsm	64-72	+++++	+++				++					+			+
	2Cqm	72-90	+++++	+				++					+			+
	2C	90-97	+++++	+				++						+	+	
Alerce	A1	0-5	+++++					+			+		+	+	++	
	A2	5-18	+++++	+		?		++	+		+			+	++	
	Bs1	18-32	+++++	+				++	+		++			+	+	
	Bs2	32-55	+++++	++				++	+		+			+	+	+
	2Cgs	55-65	+++++	+			?	++	+		+	+			+	
	2Cg	65-86	+++++					++	+		+	+			+	

Símbolos: Al= alofán; Im= imogolita; p-Al= para-alofán; COA= componentes órgano-alofánicos; Es= esmectita; Cl= clorita; Cl-V= interstratificados de clorita-vermiculita; Cl-Es= interstratificados de clorita y esmectita; G= gibbsita; F.PI= feldespato plagioclasa; F.Al= feldespato alcalino; Q= cuarzo; Cr= cristobalita; Go= goethita.

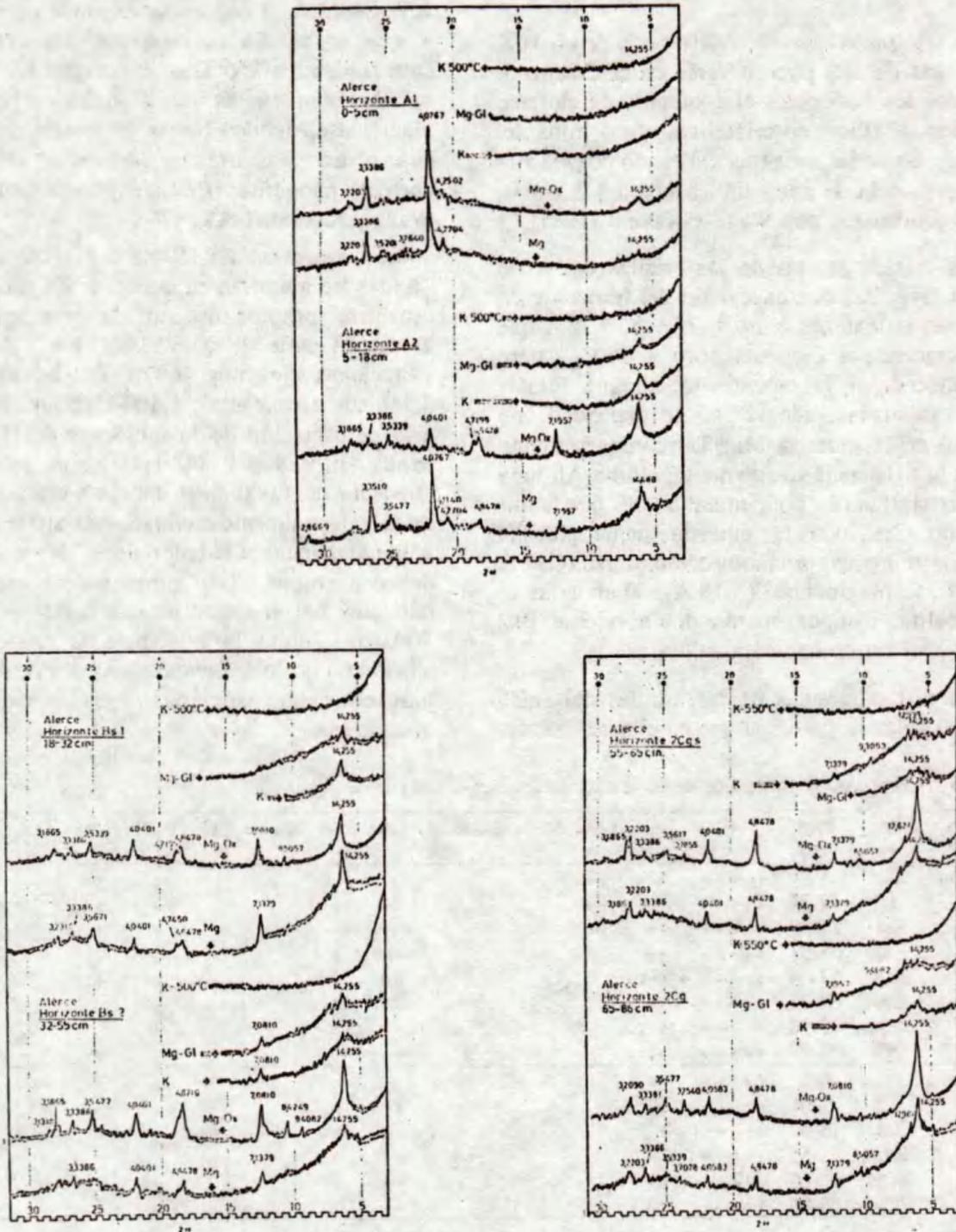


Figura 3a. Diagramas de difracción de rayos X de las arcillas (<2µm) del "fiadi" Alerce sometidas a diversos tratamientos: ácido-oxalato Sat. Mg; Mg-glycerol, Sat. K y Sat.-K 550°C.

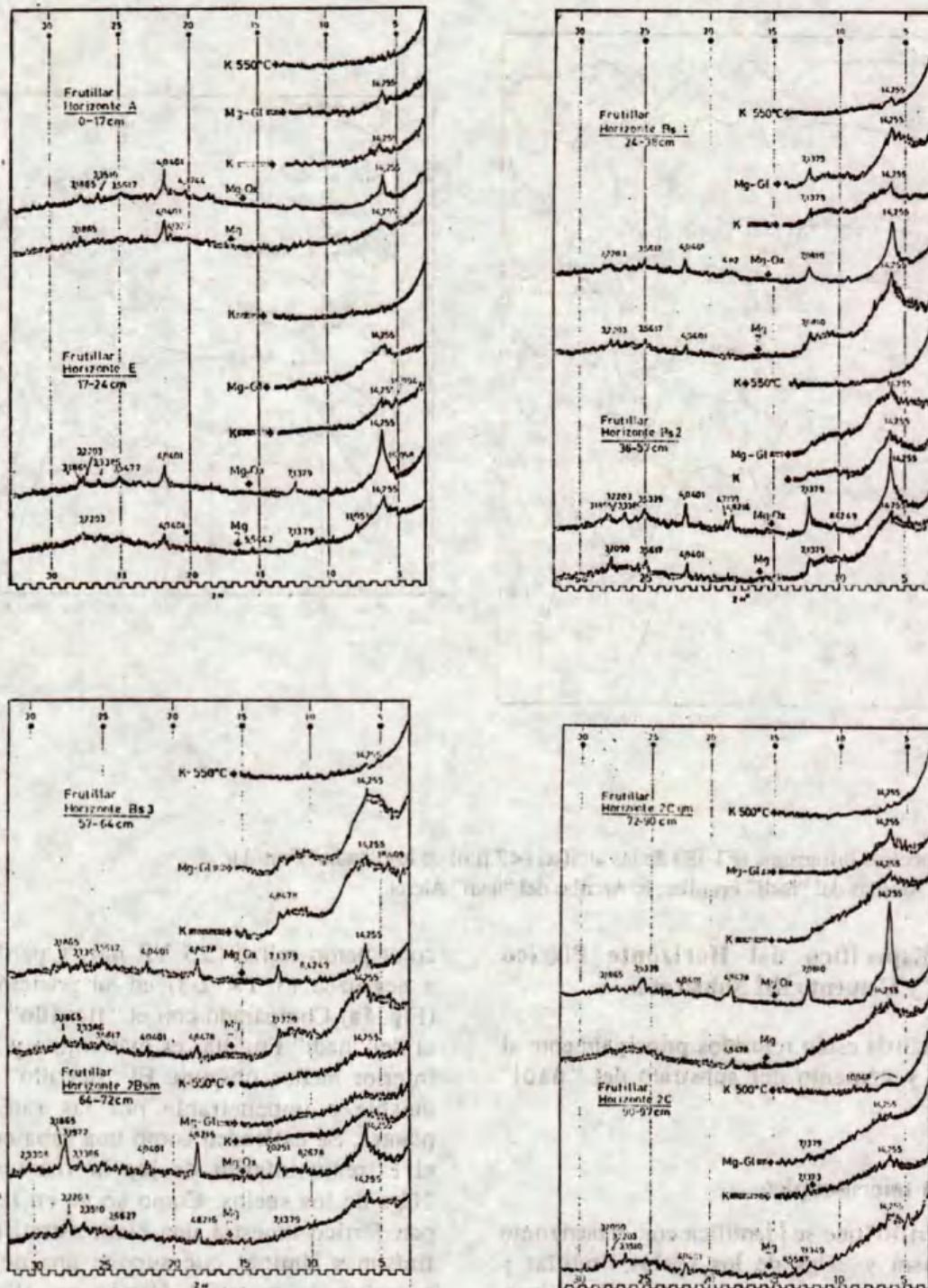


Figura 3b. Diagramas de difracción de rayos X de las arcillas (<2µm) del "ñadi" Frutillar sometidas a diversos tratamientos: ácido-oxalato Sat. Mg; Mg-glycerol, Sat. K y Sat.-K 550°C.

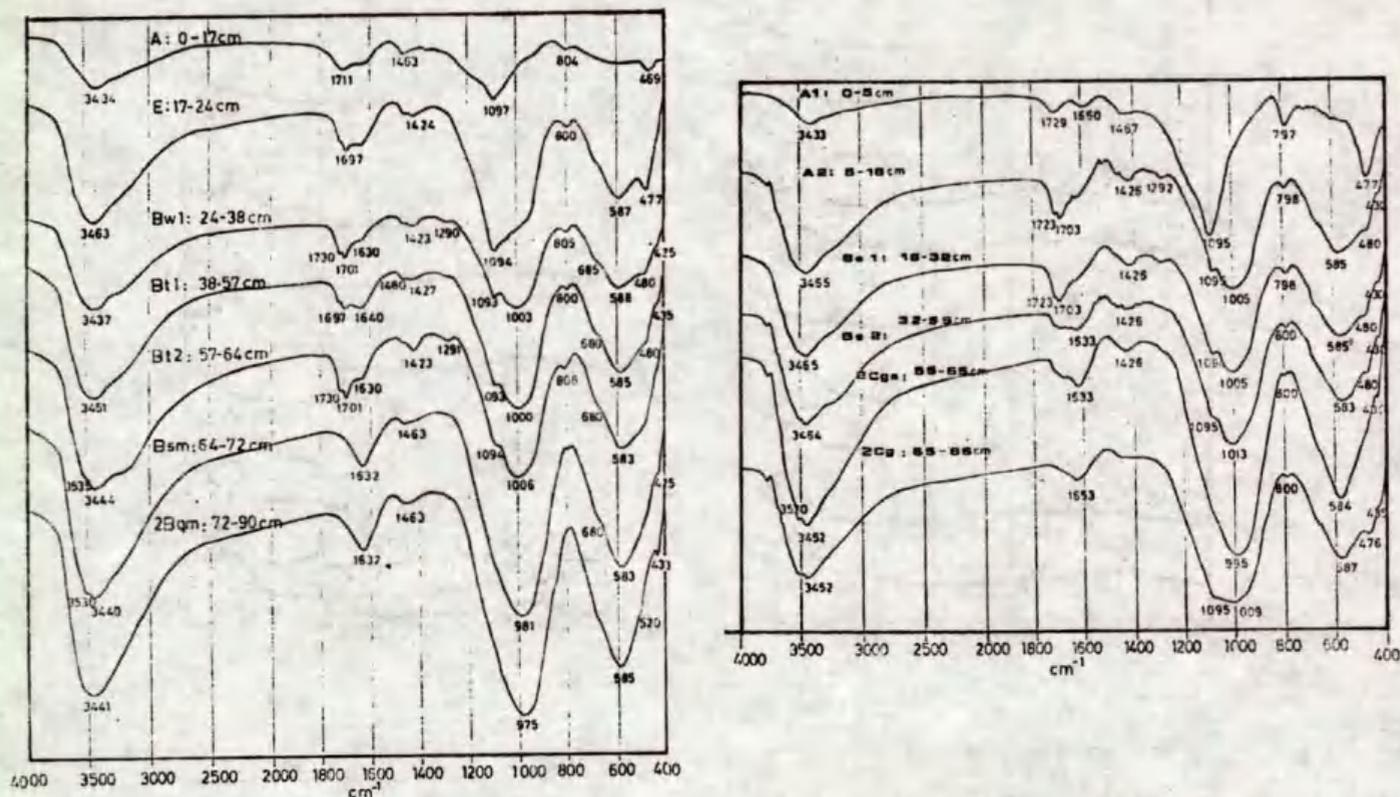


Figura 4. Espectros infrarrojos (FT-IR) de las arcillas ($< 2 \mu\text{m}$) de los "ñadi" Frutillar.
a: Arcillas del "ñadi" Frutillar; b: Arcillas del "ñadi" Alerce.

Análisis Específico del Horizonte Pláico "Fierrillo" y Cemento del Substrato

Estos análisis están referidos principalmente al "fierrillo" y cemento del substrato del "ñadi" Alerce.

a) Examen microscópico

El "fierrillo" que se identifica con el horizonte pláico 2Bsm y 2Cgs de los suelos Frutillar y Alerce, respectivamente, es un pan férrico, laminar, de 2 a 4 mm de espesor, duro y frágil. Una sección pulimentada de la lámina del "fierrillo" del suelo Alerce muestra en la porción superior

color pardo rojizo (2.5 YR 4/4) y pardo oscuro a negruzco (5 YR 2/3) en su posición inferior (Fig. 5a). Comparado con el "fierrillo" de Alerce el del "ñadi" Frutillar es más rojizo y la porción inferior menos oscura. El "fierrillo" es impermeable e impenetrable por las raíces de las plantas. Se extienden como una capa continua en el extremo inferior de los horizontes 2Bsm y 2Cgs de los suelos. Como se ve en la Fig. 5, el pan férrico muestra una clara estratificación de finísimas láminas que supone una depositación sucesiva de material férrico en el curso del tiempo. Visto con mayores aumentos, el "fierrillo" se ve semi-transparente y engloba granos de arena, especialmente la porción inferior más oscura.

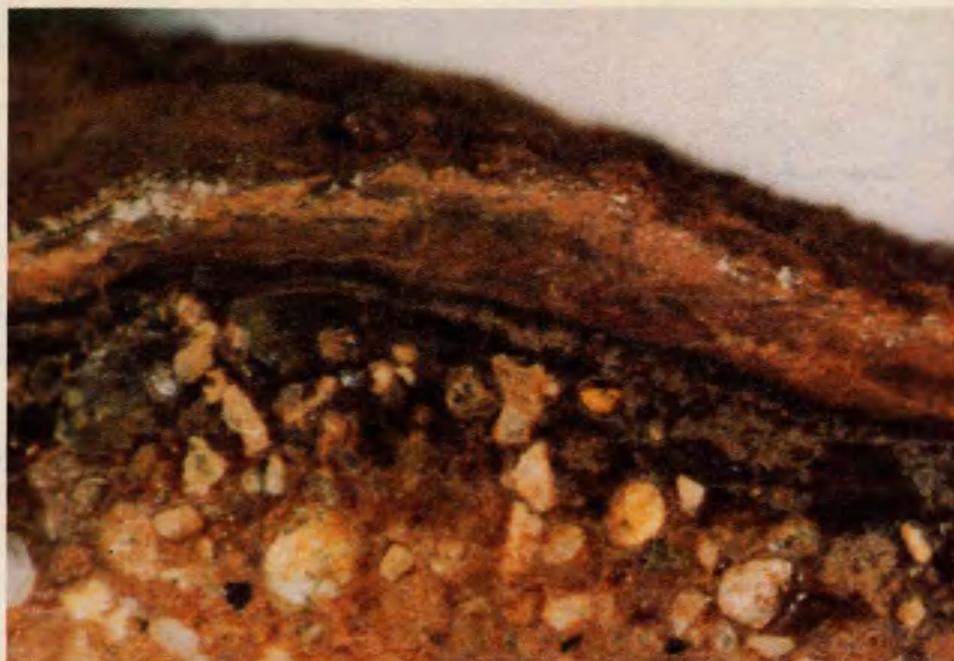


Figura 5a. Microfotografía óptica de una sección pulida de una lámina de "fierrillo", horizonte plácico 2Cgs (55-65 cm) del "ñadi" Alerce. Se observa que esta capa de óxidos dura y frágil incluye gránulos de arena angulosos e incluso partículas de vidrio (10 x 3,5; reflexión).



Figura 5b. Microfotografía óptica del cemento sílico-alumínico que une los clastos del horizonte 2Cg (65-86 cm) del "ñadi" Alerce. Las arenas son angulosas, frescas y de composición heterogénea (10 x 3,5; reflexión).

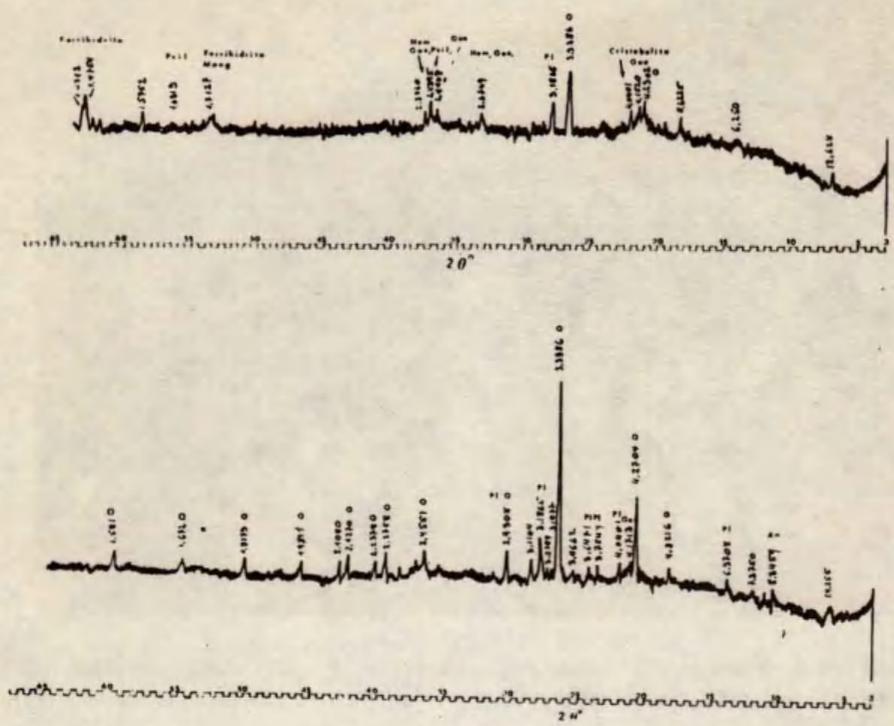


Figura 6. Difractogramas del "fierrillo", horizonte plácico del horizonte 2Cgs y del cemento que une los clastos -arena, grava y piedras rodadas- del horizonte 2Cg del "fiadi" Alerce.

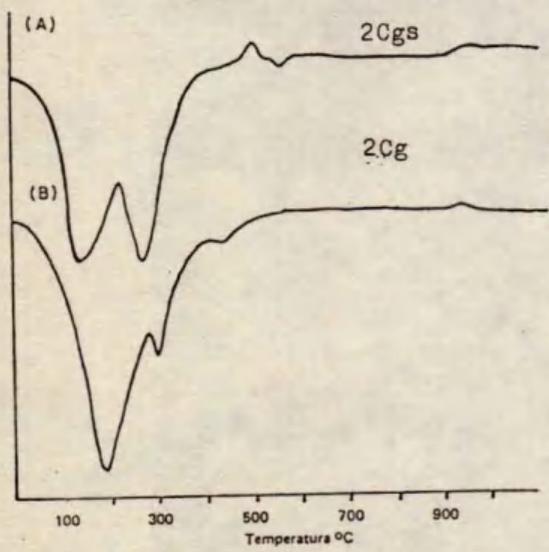


Figura 7. Termogramas diferenciales del "fierrillo", horizonte plácico del horizonte 2Cgs y del cemento que une los clastos -arena, grava y piedras rodadas- del horizonte 2Cg del "fiadi" Alerce.

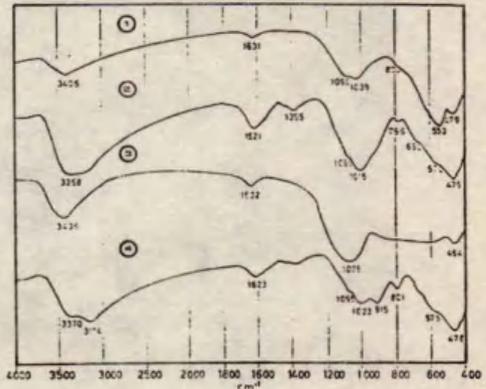


Figura 8. Espectros infrarrojos (FT-IR) de algunos componentes aislados de los Aquands:
 1 Arcilla enriquecida en óxidos, horizonte (55-65 cm) 2Bqs del "fiadi" Alerce, inmediatamente sobre el "fierrillo".
 2 "Fierrillo", horizonte plácico situado en el límite inferior del horizonte (55-65 cm) 2Cgs del "fiadi" Alerce.
 3 Cemento que une los clastos del horizonte (65-86 cm) 2Cg del "fiadi" Alerce.
 4 "Fierrillo", horizonte plácico situado en el límite inferior del horizonte 2Bsm (64-72 cm) del "fiadi" Frutillar.

Cuadro 4. Composición química elemental de algunos componentes de los "ñadis" Frutillar y Alerce (Besoain, 1985).

Suelo	Material	Horizonte	%						
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn	CaO	PPC	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
Frutillar	Zona rica en óxidos inmediatamente sobre el "fierrillo"	2Bsm	12.3	16.8	47.7	0.1		20.1	1.24
	"fierrillo"	2Bsm	14.0	11.9	54.8			16.3	1.99
	Cemento	2Cqm	29.3	39.2	4.3	0.1		25.6	1.27
Alerce	"fierrillo"	2Cgs	41.1	21.6	11.2	5.5	3.1	17.3	3.23

b) Composición química

La composición química del "fierrillo" varía considerablemente (Cuadro 4). En el "fierrillo" del ñadi Frutillar predomina el hierro (Fe₂O₃=54.8%), sílice (SiO₂=14.0%) y alúmina (11.9%), en el "fierrillo" del ñadi Alerce predomina la sílice (14%), alúmina (21.6%) y hierro (11.2%), además de una considerable proporción de Mn (MnO=5.5%) y Ca (CaO=3.1%), el cual ha llegado allí probablemente como fulvato-Ca. No tenemos información sobre el contenido de Ca del "fierrillo" de Frutillar.

c) Difracción de rayos X

El difractograma del "fierrillo" del "ñadi" Alerce (Fig. 6.a) indica la presencia de goethita (4.18; 2.69; 2.45 Å..) ferrihidrita (1.47; 1.71 Å..) y lepidocrocita (6.27 Å, 3.29 Å..). Al no observarse reflexiones de minerales de Mn cristalinos, es probable que éste se presente ya sea como óxido no-cristalino o en forma de birnessita o litiosforita en una proporción no detectable. El "fierrillo" contiene 21.6% de Al₂O₃ (Cuadro 4) sin que se detecten formas de óxidos o hidróxidos de Al cristalino. El difractograma del cemento del sustrato (horizonte 2Cg) del "ñadi" Alerce (Fig. 6.b) exhibe fuertes líneas de cuarzo (4.27 Å, 3.34 Å...), plagioclasa (3.18; 3.22; 4.04 Å...), anfibol (9.4 Å), gibbsita (4.8 Å) y una pequeña cantidad de un mineral de 14 Å. Al igual que el difractograma del "fierrillo", el intenso fondo del diagrama indica la existencia de componentes no-cristalinos.

d) Análisis térmico diferencia (ATD)

El termograma del "fierrillo" del "ñadi" Alerce (Fig. 7a) revela la presencia de goethita pobremente cristalizada (endotérmico a 290°C) asociado a lepidocita y ferrihidrita (exotérmico a 500°C debido a la transición $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3 \Rightarrow \alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) a alofana y óxido férricos no-cristalinos (endotérmico intenso a 130°C).

e) Espectros infrarrojos FT-IR

El espectro de una zona rica en óxidos, inmediatamente sobre el "fierrillo", en el horizonte 2Cgs del suelo Alerce (Fig. 8.1), es poco definida e indica la presencia de alofana asociada a sílice no-cristalina o cuarzo (banda a 800 cm⁻¹) y algo de goethita.

El espectro del "fierrillo" del "ñadi" Alerce (Fig. 8.2) revela más bien una asociación de óxidos "limoníticos" (3,368; 1,095; 796 y 475 cm⁻¹, ferrihidrita, sílice no cristalina (796 cm⁻¹) y probablemente una forma de birnessita ($\delta\text{-MnO}_2$).

El espectro del cemento sílico-alumínico del sustrato del "ñadi" Alerce, horizonte 2Gs, (Fig. 8.3) muestra facturas de la sílice no-cristalina, con una gran banda a 1,078 cm⁻¹ que recuerdan los espectros de la hyalita, perlita, geysierita u obsidiana. Es evidente que este cemento contiene alofana.

El espectro del "fierrillo" del "ñadi" Frutillar (Fig. 8.4), a diferencia del de Alerce, muestra bandas bien definidas a 915 cm⁻¹ y a 468 cm⁻¹, que son bandas de vibración de grupos Si-O-Al y que indican la presencia de un filosilicato diotáedrico en esta lámina férrica.

Hipótesis de Formación del Horizonte Plácico en los Ñadis

La génesis de este grupo excepcional de suelos se ha asociado a una topografía, un régimen de humedad údico y temperatura isomésica y probablemente, a la depositación intermitente de cenizas volcánicas.

Es probable que las cenizas parentales de los ñadis se hayan depositado directamente o como un loess volcánico en llanuras de evacuación (outwash-plain) de zonas periglaciales durante el último avance de los hielos en este sector de Chile (Wright, 1965), es decir, hace 10,000 ó 15,000 años en el Holoceno. La acumulación de cenizas no cesó a la retirada de los glaciales sino prosiguió en gran parte del post-glacial, cuando la superficie se recongelaba periódicamente, llegando incluso a depositarse sobre la primera terraza aluvial, proceso que concluyó cuando la tierra fue repoblada por la vegetación (Wright, 1965). Una característica heredada de los ñadis la constituye el substrato fluvio-glacial, cuya superficie, parcialmente cementada, se cementó rápidamente durante las etapas iniciales de la acumulación de las cenizas. Entre las características adquiridas de los ñadis se tiene:

- a) la rápida alteración de las cenizas volcánicas e imogolita y desarrollo de óxidos de Fe y Al;
- b) una lixiviación de bases moderada a fuerte estimulada por la gran acumulación de humus crudo ácido, en la superficie zonas de discontinuidad textural de los suelos, por ejemplo, discontinuidad entre horizontes 2Cgs - Cg (Alerce) y 2Bsm y 2Cqm (Frutillar);
- c) fuertes condiciones reductoras desarrolladas cuando los suelos están inundados por exceso de lluvia.

Pese a la prevalencia de condiciones reductoras, los ñadis no desarrollan la morfología usual de los suelos Gley (Aquepts), son escasos y no exhiben el color gris verdoso o gris azulado de suelos no-volcánicos bajo condiciones reductoras.

Los horizontes 2Cgs y 2Bsm de estos suelos son más arcillosos, se agrietan por secado, forman

prismas alargados horizontalmente y junto al "fierrillo" son responsables de la aparición de una capa freática alta durante el invierno. El tercer dispositivo de impermeabilidad lo constituye el substrato fluvio-glacial cementado de los "ñadis", horizontes 2Cg y 2Cqm (Figs. 2 y 5).

Es probable que este substrato haya sido cementado por productos de depositaciones iniciales de cenizas, antes de la colonización vegetal, creando una condición de impedimento al drenaje del agua. Depositaciones sucesivas de cenizas en un ambiente semi-hidromórfico, estimularon la descomposición de los vidrios, con disolución de Al, Si y Fe formando un complejo ortosilicato-hidroxi-Al-Fe, por ejemplo protoalofana protoimogolita, un proceso que ha sido descrito en los podzoles (Farmer, 1979; Farmer *et al.*, 1980, 1983; Anderson *et al.*, 1982). Este proto-componente, un sol móvil con estabilidad química adquirió, al deshidratarse, estabilidad estructural y constituyó gran parte del cemento del substrato, que carece de componentes orgánicos.

La génesis del "fierrillo" no es clara, pero se trata de un proceso de acumulación de hierro, sílice y alúmina con posterioridad a la cementación del substrato, y participación de procesos orgánicos e inorgánicos. Es un proceso pedogénico en el cual ha habido concurso de factores como humedad, pH, Eh, temperatura, sustancias húmicas, etc. Schwertmann (1985) considera que en los suelos hidromórficos o pobremente drenados, se produce una deficiencia temporal de O₂ provocada por el exceso de agua que llena los poros. Esta limitada cantidad de O₂ es consumida por microorganismos durante la oxidación metabólica del C orgánico, y el Fe(III) en los óxidos toma el papel de un aceptor de electrones y se reduce y moviliza como Fe(II). Esta reducción microbiana es muy importante; en ella participan bacterias anaeróbicas y procesos enzimáticos y el consumo del O₂ por la oxidación metabólica produce electrones. En esta forma, el Fe(II) se desplaza a zonas con potencial redox más alto con mayor concentración de O₂, es reoxidado y forma nuevamente Fe(III).

Tales procesos conducen a una típica redistribución del Fe en acumulaciones de óxidos (Fe III) (concentraciones) y zonas con agotamiento de Fe(III) produciendo una morfología típica (suelos reductométricos) en los cuales los óxidos de Fe(III) están distribuidos en un modo heterogéneo comparado con aquél más homogéneo de los suelos bien aireados. La lepidocrocita es un típico mineral de suelos reductométricos y se ha detectado como motas naranja brillantes (Besoain, 1985) en los "ñadis" estudiados. Es muy probable que este mecanismo indicado por Schwertmann (1985), sea válido, al menos en parte en los "ñadis". En un estudio experimental sobre la formación del "fierrillo" en los "ñadis", Aomine (1972) demuestra que el proceso tiene analogías con los depósitos de hierro que ocurren en los podzoles y en los suelos arroceros de Japón. Este autor indica que en tanto en los horizontes superiores de los ñadis predomina condiciones de reducción en invierno por efectos del anegamiento y abundancia de M.O. (18-38% C_{org}), en los horizontes inferiores se mantienen en condiciones de oxidación durante todo el año debido a la escasez de la M.O. reducible (0.6 - 0.5% C_{org}). De este modo, el Fe y Mn de los primeros horizontes se reducen, la solubilidad aumenta y se desplazan como Fe y Mn (II) hasta alcanzar la zona de oxidación con un potencial redox más alto (horizontes 2Cgs, 2Bsm) donde se oxidan y depositan por disminución de su solubilidad, según el orden del potencial de oxidación. Si éste no alcanza a depositar el Mn, se deposita sólo Fe, formando el "fierrillo". En la lámina de "fierrillo" siempre hay una franja más oscura inferior más rica en Mn. Si la reducción de la parte superior del suelo no es suficiente para reducir el Fe, sólo se deposita Mn en la porción inferior. Es por eso que el Fe y el Mn se depositan separadamente en el horizonte plácico.

Este fenómeno ocurre en los suelos arroceros de Japón, en cuyo substrato de grava se forma una capa endurecida de óxidos de Fe y Mn semejante al "fierrillo". El hecho que el "fierrillo" tenga o no Mn (Cuadro 4) como ocurre con él en los suelos Frutillar y Alerce,

indica que existen diferencias en el potencial redox de la superficie de los suelos. Puesto que el "fierrillo" además de Fe contiene Al, Si y Mn significa que la translocación de estos componentes ha sido simultánea, ya sea en forma de iones reducidos solubles, de iones mixtos de Fe, Al, Si-hidroxilados incluyendo, en algunos casos, Mn o en forma de complejos Fe, Al-húmicos, por ejemplo fulvatos-Fe, Al, todos ellos móviles, capaces de descender hasta la zona de contacto con los horizontes del substrato 2Cg o 2Cqm. Una lenta degradación biológica (actividad microbiana) u oxidación por el incremento de O_2 en el suelo durante los meses secos, libera finalmente los óxidos de Fe, Al y Mn representados principalmente por $\alpha FeOOH$ (goethita), $Fe_5HO_8 \cdot H_2O$ (ferrihidrita), $\alpha Al(OH)_3$ (gibbsita), $MnO \rightleftharpoons MnO_2$ (bimessita? manganita?), SiO_2 (sílice no-cristalina). La migración del Si ocurrió, probablemente como sílice soluble, ácido monosílico $Si(OH)_4$, siendo adsorbido por la lámina de óxidos en formación y evolucionado en el tiempo a formas opalinas (SiO_2).

Creemos que en definitiva, el horizonte plácico se ha formado por concurso de varios factores siendo fundamentales el descenso en el perfil de formas móviles reducidas y solubles de Fe(II) o de complejos Fe, Al, Mn-húmicos. El examen microscópico del "fierrillo" revela, sin lugar a dudas, que se ha formado por acreción sucesiva de depósitos de Fe, Al, Mn, como lo demuestra la fina estratificación de la lámina de óxidos. Al llegar los iones metálicos reducidos a una zona con potencial redox más elevada, con más O_2 en los meses de verano, se oxidaron formándose el "fierrillo" en el tiempo. Dos factores concomitantes han contribuido a ello: la existencia de una barrera física, los substratos u horizontes 2Cqm o Cg, material fluvio-glacial cementado, y la discontinuidad geológica y textural existente entre ellos y los horizontes superiores, de textura franca o franco arcillo limosa. En esta zona de fluctuaciones de la capa se origina el "fierrillo". Es probable que la formación de "gotas colgantes" conteniendo iones Fe(II) o soluciones Fe, Al, Mn-húmicas, en este nivel de cambio de texturas, y su posterior

deshidratación y oxidación en los meses secos del verano, hayan contribuido a la formación del pan de óxidos Fe, Al, Si. El "fierrillo" es un efecto más que una causa de la restricción del

drenaje de los "ñadis" y el substrato fluvio-glacial y la topografía plana del paisaje han sido determinantes en ese proceso.

LITERATURA CITADA

ANDERSON, H. A., M. L. BERROW, V. C. FARMER, A. HEPBURN, J.D. RUSSELL y A. D. WALKER. 1982. A reassessment of podzol formation processes. *J. of Soil Sci.* 23: 125-136.

AOMINE, S. H. 1972. Génesis de los suelos ñadis. Capítulo 6:16-18. *In: J. Tosso (ed.) Reconocimiento e investigación de los suelos, Chile. Suelos Volcánicos. FAO, AGL: SF/CHI 18. Informe Técnico 1: 59 p.*

BESOAIN, E. 1985. Los Suelos. Capítulo I: 25-95. *In: J. Tosso (ed) Suelos Volcánicos de Chile. Inst. de Investigaciones Agropecuarias, INIA. 723 p.*

BESOAIN, E. y G. SEPULVEDA. 1991. Suelos volcánicos chilenos con énfasis en los minerales cloríticos. XIII Congreso de la Soc. Argentina de la Ciencia del Suelo. Bariloche, 3 p.

BLACK, C. A. 1965. Methods of soil analysis. Part 2. *Amer. Soc. Agron. Madison 1191-1200.*

CAMPBELL, A. S. y U. SCHWERTMANN. 1984. Iron oxide mineralogy of placic horizons. *J. of Soil Sci.* 35: 569-582.

CHILDS, C. W., R. W. P. PALMER y C. W. ROSS. 1990. Thick iron oxide pans in soils of Taranaki, New Zealand. *Aust. J. Sci. Res.* 28: 245-257.

FARMER, V.C. 1979. Possible role of a mobile hydroxyaluminiumorthosilicate complex (protoimogolite) and other hydroxy-aluminium and hydroxy-iron species in podzolization. *Colloques internationaux du CNRS 303: 275-279.*

FARMER, V. C., J. D. RUSSELL y M.L. BERROW. 1980. Imogolite and protoimogolite allophane in spodic horizons: Evidence for a mobile aluminium silicate complex in Podzol formation. *J. Soil.* 31: 673-684.

FARMER, V. C., J. D. RUSSELL y B.F.L. SMITH. 1983. Extraction of inorganic forms of translocated Al, Fe and Si from a Podzol Bs horizon. *J. Soil Sci.* 34: 571-576.

ICOMAND. 1988. Circular Letter, Nº 10; February 29, 80 p.

LAUGENIE, C., F. COLMET-DAAGE, E. BESOAIN y M. DELAUNE. 1975. Note sur les limons volcaniques des piemonts glaciaires chiliens méridionaux. *Bul. Assoc. Geogr. Franç.* 426: 187-193.

MELLA, A. y A. KÜHNE. 1985. Sistemática y descripción de las familias, asociaciones y series de los suelos derivados de materiales piroclásticos de la zona central-sur de Chile. Capítulo 8: 549-717. *In: J. Tosso (ed) Suelos Volcánicos de Chile. Int. Inv. Agropecuarias, INIA. 723 p.*

PARFITT, R.L. y T. HEMNI. 1982. Comparison of an oxalate-extraction method and an onfrared spectroscopic method for determining allophane in soil clays. *Soil. Plant. Nutr.* 28: 183-190.

PRUDEN, G. y H. G. KING. 1969. A scheme of semi-micro analysis for the major elements in clay minerals based on modifications to conventional methods of silicate analysis. *Clay Minerals* 8: 1-13.

SADZAWKA, M. A. y L. PORTE 1986. Aluminio activo en suelos volcánicos. *Agricultura Técnica* 45: 329-334.

SCHWERTMANN, U. 1985. The effect of pedogenic environments of iron oxide minerals. *Advances in Soil Science, Vol I: 172-196. Springer Verlag, N. York.*

SOIL SURVEY STAFF. 1990. Keys to Soil Taxonomy. *SMSS Technical Monograph 19. 4th Ed. 422 p.*

WADA, K. y Y. KAKUTO. 1985. Appendix V: Supplement data for the pedons of Chile Soils: 218-221 pp. *In: Sixth Intern. Soil Classification Workshop. Part II: Tour-Guide for Chile. Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo.*

WRIGHT, C. S. 1965. The volcanic ash soils of Chile. Report to the Government of Chile, FAO, Roma. Rep. 2017. 201 p.

SUELOS Y FORMACIONES PIROCLASTICAS ENDURECIDAS EN LOS ANDES DE COLOMBIA

Soils and Indurated Pyroclastic Formations in the Andes of Colombia

Pierre Faivre ¹ y Sergio Gaviria ²

¹ CNRS, Vandoeuvre-Les-Nancy, Francia.

² INGEOMINAS, Bogotá, Colombia.

Palabras clave: Suelos volcánicos endurecidos, Cementos silíceos, Colombia.

Index words: Indurated volcanic soils, Siliceous cements, Colombia.

RESUMEN

Las formaciones volcánicas endurecidas ocupan por lo menos de 3 a 4% de la superficie del macizo andino colombiano. Se presentan bajo el aspecto de formaciones blancuzcas en ocasiones muy espesas y estratificadas.

Dichas formaciones se encuentran únicamente en la región interna del macizo. Están localizadas exclusivamente en el fondo o en la parte baja de las vertientes, independientemente de la altitud, en los numerosos compartimentos, valles o cuencas existentes.

Su ocurrencia parece estar fuertemente ligada a las condiciones climáticas secas, entrecortadas por periodos húmedos intensos y breves. Ese tipo de clima caracteriza, en el interior de los macizos, las regiones de altura relativa más bajas. En oposición, las partes medias y superiores de las vertientes que se benefician de condiciones húmedas y al nivel de las cuales las formaciones piroclásticas están fuertemente alteradas, son blandas y de color marrón o amarillo.

Ciertos depósitos piroclásticos antiguos, alterados bajo condiciones húmedas y puestos posteriormente en condiciones de sequedad como consecuencia de modificaciones generales del clima han permanecido blandos.

Las observaciones morfológicas y micromorfológicas indican que esas formaciones volcánicas deben su endurecimiento a los cementos silíceos, calcáreos o menos frecuentemente yesíferos. Los fenómenos de cementación deben producirse poco tiempo después del depósito de las cenizas.

SUMMARY

Hardened volcanic formations occupy not less than 3 to 4 per cent of the area of the large andin massif of Colombia. They appear as whitish, sometimes very thick and stratified formations.

They can be seen only in the inner part of this massif. They are exclusively located in the bottom and in the low part of the slopes, independently of the altitude, of the numerous divisions, valleys and basins which partition the massif.

Their existence seems to be strongly bound to globally dry climatic conditions but interrupted by intense and short humid periods. These climats

are characteristics of the relatively lower areas in the inner parts of the massif. These lower areas are opposed to the middle and the upper parts of the slopes which get humid conditions and at the level of which the piroclastic formations are always deeply weathered, soft and show a brown or yellow colour.

Some weathered under humid conditions old piroclastic deposits then submitted lately to dry conditions because of general climatic modifications remained soft.

Morphological and micromorphological observations show that the hardening of these volcanic formations is due to cement of silica like, carbonate or rarely gypsum-nature composition. These phenomenons of genesis of cement probably happen a short time after the volcanic ash have settled.

EL MEDIO AMBIENTE ANDINO

Fisiografía

Los Andes de Colombia (1 a 7°N) constituyen un conjunto montañoso poderoso y complejo de orientación prácticamente meridiana. En la parte sur, a lo largo de 150 km, el macizo conserva la misma conformación simple que posee en Ecuador: dos cadenas que se encuentran apenas separadas por una depresión situada a una altura muy elevada ($\approx 3,000$ msnm) que corresponde al "Altiplano de Nariño". Posteriormente, este conjunto se ramifica y se ensancha tomando la forma de un tridente: tres cordilleras altas (Oriental, Central y Occidental) enmarcando dos valles anchos y de baja altitud, con el río Magdalena al este y los ríos Cauca y Patía al oeste. Todas las cordilleras y especialmente la Oriental están divididas asimismo en cierto número de compartimentos, subcuencas y valles cuyos fondos se sitúan a altitudes variables orientados en su mayor parte en dirección norte-sur (Figura 1).

Entre estas últimas unidades morfológicas, la más importante corresponde a la "Sabana de Bogotá", constituida por un vasto conjunto de topografía muy plana (45 km de ancho y cerca de 100 km de largo), situada a 2,600 metros de altitud, sobre el fondo de un antiguo lago desecado hace 28,000 años. Con su prolongación hacia el norte en forma de planicies medianamente accidentadas, constituye el conjunto que los geógrafos denominan "Altiplano Cundiboyacense".



Figura 1. Mapa fisiográfico de la República de Colombia.

El Volcanismo, un Fenómeno Mayor en los Andes Colombianos

Los diferentes componentes del macizo andino fueron recubiertos ampliamente por importantes depósitos de materiales piroclásticos, cenizas y lápilis emitidos por los numerosos volcanes de la Cordillera Central, de los cuales una decena está todavía en actividad. Los productos volcánicos de naturaleza esencialmente dacítico-andesítica tienden a ser más básicos en las regiones meridionales. Las emisiones se iniciaron en el terciario, acumulándose depósitos de gran espesor en los valles del río Cauca y especialmente del río Magdalena, así como en la depresión de Nariño y se han sucedido hasta el presente. El espesor de los depósitos es por lo tanto muy importante en los lugares próximos a los focos emisores, sobre la Cordillera Central y sobre todo en los valles adyacentes y la región de Nariño, adelgazándose rápidamente con la distancia para alcanzar apenas unos metros como máximo en las cordilleras laterales. Mientras que en estas últimas los productos fueron depositados después de ser transportados por vía eólica, y no sufrieron prácticamente redistribuciones posteriores, en los valles, por el contrario, se trata frecuentemente de formaciones fluvio-volcánicas y sólo las capas más superficiales corresponden a depósitos eólicos.

Finalmente, ciertos depósitos existentes en los valles se originaron por cataclismos. Los más importantes y mejor conocidos en cuanto a su origen son los lahares que irrumpieron desde el Nevado del Ruiz hasta el río Magdalena varias veces en el curso de la historia, notablemente en 1845 (Acosta, 1846) y 1985 con las consecuencias mortíferas conocidas.

Clima y pedoclima

Las cordilleras laterales, altas y abruptas forman una barrera contra los vientos alisios que aíslan la zona interna de los macizos de las condiciones climáticas externas, quedando bajo la influencia de los fenómenos de circulación

local: "föhn" o convección. Como consecuencia, cada cuenca o valle forma un conjunto climático complejo dentro del cual se registran variaciones espaciales rápidas e importantes (Oster, 1977). Como regla general, las partes altas de las vertientes, abundante y permanentemente húmedas con alta nubosidad, se oponen a las partes bajas de las pendientes y los fondos de los valles que se caracterizan por condiciones mucho más xerocíticas y con contrastes temporales de humedad muy acentuados, ligados a la presencia frecuente de cielos despejados que permiten a esas zonas de disponer de una alta insolación. Estas modificaciones de los factores climáticos producen grandes variaciones en los procesos de evapotranspiración a lo largo de una misma vertiente (Umaña, 1979), independientemente de la altitud a la cual se sitúa el interior del macizo y son por lo tanto responsables de fuertes modificaciones en todos los componentes del ecosistema, notablemente la disponibilidad hídrica de los suelos.

El estudio de este factor en una clima-toposecuencia de suelos (Faivre, 1988) desarrollada a partir de cenizas volcánicas y situada a lo largo de una vertiente entre 3,000 y 2,600 metros de altitud, localizada en el borde de un divertículo de la Sabana de Bogotá a proximidad del valle de Guasca, confirma la fuerte oposición existente entre la parte alta y la parte baja (Figura 2).

Los resultados están expresados en función de la reserva útil (R.U.), es decir, la cantidad de agua existente en el suelo entre los dos valores tomados como referencia: la capacidad de campo (agua disponible en el suelo a pF 2) y el punto de marchitamiento (pF 4.2). Cuando el agua presente en el suelo es superior al primer valor, significa que puede escurrirse libremente a través del suelo, mientras que si es inferior al segundo valor se vuelve fisiológicamente no disponible por las plantas. Aunque su significación está relacionada con el mundo vegetal, estos valores constituyen también puntos de referencia útiles para la comprensión de los fenómenos geoquímicos al nivel de las capas más superficiales.

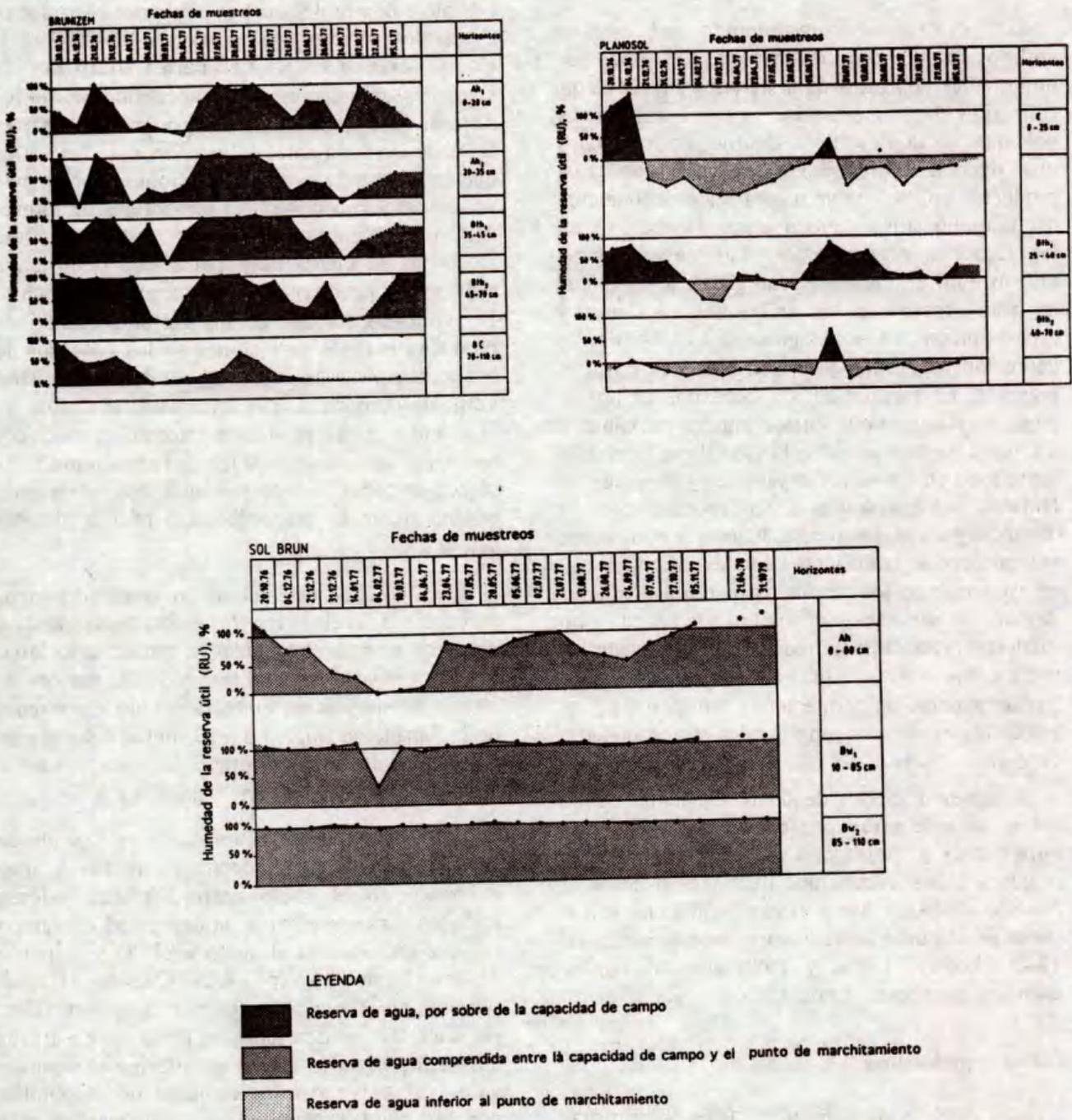


Figura 2. Perfiles hídricos en una climatoposecuencia de suelos, ubicada entre 2,600 y 2,900 m en una vertiente del valle de Guasca cerca de Bogotá. (Suelo Pardo = 2,900 m, Brunizem = 2,700 m y Planosol = 2,600 m).

En las regiones situadas en la parte superior de la secuencia, se presentan períodos muy largos durante los cuales el agua es capaz de circular en las capas superficiales del suelo, mientras que en las regiones secas de la parte inferior, los períodos húmedos son muy breves y el agua penetra en forma muy limitada hacia el interior de los suelos.

FORMACIONES VOLCANICAS BLANDAS Y ENDURECIDAS

Tipos y Localización

Las variaciones que aparecen en el interior de las coberturas volcánicas están estrechamente ligadas con las que sufren las condiciones climáticas. Mientras en las zonas húmedas las formaciones que se encuentran fuertemente alteradas, permanecen blandas y de color marrón, en las zonas xericticas aparecen aún menos alteradas, están endurecidas (generalmente es necesario romperlas con martillo) y son de color claro, entre gris y blanco. En consecuencia, las partes bajas de las vertientes y los fondos de los valles, independientemente de su altitud sobre el nivel del mar, están ocupados por formaciones endurecidas. Esta regla, prácticamente general es válida independientemente del espesor de los depósitos piroclásticos, o de la cantidad de estratos que los constituyen y aún de su edad.

Al sur del país, en el Altiplano de Nariño, las formaciones volcánicas, removidas más o menos fuerte por el agua, han rellenado la importante depresión intramontañosa originando una formación poderosa de edad Plio-Cuaternaria, cuyo espesor se acerca a los dos mil metros (Radelli, 1967), conocida por los geólogos bajo el nombre de "formación Nariño". El conjunto ha sido frecuentemente entallado por los ríos, en ocasiones hasta varios centenares de metros. Cuando las pendientes no son muy fuertes, los depósitos más antiguos y los otros componentes del paisaje han sido recubiertos por depósitos

eólicos estratificados, poco removidos y más o menos espesos. Estos estratos, mucho más recientes, han sido endurecidos al igual que los anteriores en las regiones secas.

El conjunto de esos depósitos forma apilamientos de estratos muy importantes; de hecho, son la continuación de las formaciones de Cangahua tan abundantes en la vecina República del Ecuador.

Más al norte, los depósitos piroclásticos son sobre todo espesos en la Cordillera Central y en los valles adyacentes: las formaciones endurecidas se observan en el fondo y en las márgenes de los valles, siempre ligadas con el clima. Se presentan dos tipos de formaciones :

1 - Formaciones de tobas fluviovolcánicas a veces fluviolacustres acumuladas sobre grandes espesores, que pueden ser antiguas (Terciario o Cuaternario Temprano) y que constituyen entonces verdaderas formaciones geológicas que aparecen frecuentemente en el paisaje.

En el valle del río Magdalena las formaciones Honda (Mioceno) y Mesa (Plio-Pleistoceno) y en el valle del Cauca la formación Zarzal (Plioceno) corresponden a este tipo. Esos depósitos están constituidos por elementos piroclásticos mezclados o alternando con elementos mucho más silíceos, frecuentemente cuarzo, pero también en ocasiones diatomitas.

Esas mezclas introducen heterogeneidades en la composición de las rocas, volviéndolas cada vez más ácidas a medida que los productos silíceos son más abundantes. Esas formaciones han sido asimismo entalladas por la erosión fluvial, formando relieves de poca amplitud frecuentemente tabulares.

2 - Formaciones más recientes que constituyen depósitos de origen eólico poco o muy débilmente removidos después de su llegada. Pueden recubrir a las primeras de manera más o menos continua, pero son frecuentes sobre todo en las partes bajas de las vertientes que bordean los valles, notablemente sobre los inmensos conos de acumulación descendidos de las cordilleras y sobre las terrazas que bordean los ejes de los ríos.

Dentro de estas formaciones recientes están incluidos los depósitos hidrovolcánicos aparecidos brutalmente (lahar) como consecuencia de las grandes erupciones volcánicas y que forman conos importantes, particularmente en el valle del río Magdalena.

En las Cordilleras adyacentes, y especialmente en la Oriental, las formaciones endurecidas se encuentran localizadas en numerosas cuencas y valles que poseen un clima seco hacia la parte baja de las vertientes. Debido a su localización más alejada de los aparatos volcánicos, los depósitos son más delgados (en ocasiones apenas unos decímetros) y han sufrido poco transporte desde su emplazamiento. Mientras que en las regiones húmedas los depósitos forman un conjunto continuo, en las regiones secas se encuentran endurecidos y han sido frecuentemente recortados por la erosión. Esta no está limitada a un efecto de ablación del suelo superficial, sino que afecta con frecuencia las capas subyacentes más o menos endurecidas.

Esas formaciones son frecuentes en todas las zonas secas del altiplano Cundiboyacense. El endurecimiento es variable aunque generalmente moderado pero no es siempre la regla para todas las regiones secas. Se produce localmente en los fondos planos, como por ejemplo en la Sabana de Bogotá, es frecuente en la parte baja de las vertientes y en ciertas zonas particularmente secas (por ejemplo la cuenca de Cucaita, norte de Boyacá) donde casi la totalidad de la vertiente se encuentra endurecida.

A pesar de que las formaciones volcánicas endurecidas son reconocidas desde hace mucho tiempo (Acosta, 1851) y que sus potencialidades agrícolas han sido puestas de presente (Franco, 1946), no existen, se considera a inventarios precisos realizados sobre el conjunto del territorio colombiano.

Sin embargo, parece posible obtener una estimación bastante completa de las superficies ocupadas por dichas formaciones, con la utilización combinada de documentos cartográficos, climatológicos, ecológicos, geológicos y naturalmente pedológicos.

Extensión

De los 1,141,748 km² con que cuenta el territorio colombiano, se puede estimar que el macizo andino (incluidos los valles, sin tener en cuenta la Sierra Nevada de Santa Marta, aislada geográficamente del resto de la cadena andina), representa 338,000 km², o sea, el 29.6%.

Las zonas secas situadas en la parte intrandina corresponden aproximadamente a 35,000 km², algo más que el 10% del macizo andino y aproximadamente el 3% de la superficie total del país. En esas zonas secas alrededor de los 2/3 de la superficie están ocupados por depósitos más o menos espesos de productos piroclásticos, de los cuales entre 12,000 y 15,000 km² contienen formaciones endurecidas. Por lo tanto, entre 1 y 1.3% del territorio colombiano parece estar ocupado por tales formaciones, que corresponde del 3.5 al 4.5% de la región andina, la más poblada y por lo tanto la más valorizada (Fig. 3).



Figura 3. Localización aproximativa de las formaciones volcánicas endurecidas en el macizo andino colombiano.

Naturaleza y Causas del Endurecimiento

Importancia del factor climático

Al igual que con los inventarios, las investigaciones concernientes a las causas del endurecimiento de esas formaciones han sido poco importantes en Colombia.

Es necesario distinguir entre los depósitos eólicos y las formaciones de tobas más antiguas; en estas últimas el endurecimiento no corresponde únicamente a procesos pedológicos (Pablo-Galan, 1990); en el primer caso, estos procesos parecen jugar un papel importante en el endurecimiento de los depósitos superficiales más recientes.

Para que un depósito eólico pueda endurecerse, tuvo que haberse emplazado bajo condiciones climáticas secas y que estas condiciones se mantengan en el tiempo. Una buena ilustración de este principio puede ser obtenida gracias a la comparación de diferentes zonas actualmente secas de la región situada al norte de Bogotá, más particularmente, dos depósitos geográficamente vecinos en la pequeña cuenca de Guasca-Guatavita, en el fondo o en la parte baja de la vertiente y separados entre sí por una distancia de 3 km. Este valle, anexo a la Sabana de Bogotá, tiene su fondo situado también a 2,600 metros de altitud.

La mayor parte de las formaciones volcánicas presentes en esta zona fue depositada alrededor de 20,000 B.P. al igual que la gran mayoría de los depósitos piroclásticos existentes en la Sabana de Bogotá (Van Geel y Van Der Hammen, 1973; Folster, 1981; Guillet y Faivre, 1981). Sin embargo, en la parte norte de esta pequeña cuenca, cerca a la laguna artificial de Tominé, existen formaciones más recientes cuya edad parece ser bastante inferior a 10,000 años; los datos obtenidos a partir de las fracciones más estables y antiguas de materia orgánica dan edades vecinas a 6,000 años (Guillet y Faivre, 1981). Solamente las formaciones recientes están endurecidas mientras que los depósitos antiguos están por lo general fuertemente alterados dando

conjuntos muy argilizados que se mantienen relativamente blandos.

La explicación de esas diferencias parece deberse a las condiciones climáticas existentes durante los primeros estados de la alteración de dichas formaciones.

En efecto, los estudios palinológicos y paleoclimáticos (Van Geel y Van der Hammen, 1973; Guillet *et al.*, 1988) mostraron que hasta hace aproximadamente 10,000 años la Sabana de Bogotá tuvo un clima más frío y sobre todo más húmedo, parecido al que existe actualmente sobre la parte intermedia y superior de las vertientes. En esas condiciones la alteración de los productos piroclásticos fue probablemente rápida e intensa, permitiendo la aparición de una masa arcillosa formada a partir de la alteración de los minerales primarios.

Por el contrario, los productos piroclásticos depositados en una época más reciente en el fondo de esa cuenca, encontraron un clima seco vecino al que reina actualmente y su endurecimiento parece ser la regla.

Es probable por lo tanto que las condiciones iniciales de alteración condicionan fuertemente las posibilidades de endurecimiento de los depósitos piroclásticos. Una alteración fuerte lleva a la argilización e impide el endurecimiento aun si posteriormente se instalan condiciones climáticas más secas como consecuencia de una evolución general del clima.

Aspectos y génesis de las formaciones endurecidas

Para los materiales recientes, es decir, depositados desde hace menos de 10,000 años, fecha aproximada de los últimos cambios climáticos globales, las variaciones climáticas observadas de un punto a otro del macizo y particularmente a lo largo de una misma vertiente, explican las posibilidades de endurecimiento. De esta manera, es posible seguir a lo largo de una vertiente, el paso del estado blando al estado endurecido para un mismo estrato

cuando las disponibilidades hídricas disminuyen en las regiones de menor altitud relativa. La transición que marca el paso de un estado al otro es siempre muy corta.

Dichas variaciones están acompañadas con frecuencia por una disminución de los caracteres que se expresan en la alteración, paralelamente al desecamiento del clima y por lo tanto a la tendencia al endurecimiento. En las capas endurecidas existen naturalmente contenidos mucho menores en arcillas que en aquellas que no han sido afectadas por los fenómenos de endurecimiento y correlativamente subsisten más minerales primarios poco alterados.

En la zona de transición entre el estado blando al endurecido no es raro encontrar ciertos estratos que presentan una cantidad importante de concreciones o nódulos ferruginosos de algunos milímetros de diámetro dispuestos en capas más o menos lenticulares de algunos centímetros de espesor. Esas concreciones se encuentran apresadas en la masa endurecida. Todo parece indicar que en esta parte un poco más húmeda que la zona inferior, ocurre un primer estado de alteración fugaz antes del endurecimiento que afecta preferencialmente los minerales ricos en hierro. La presencia de elementos particulares en los productos iniciales, como el azufre que con frecuencia es abundante, explicaría este fenómeno.

Otra característica particular de esta zona de transición en algunas regiones, es la existencia en un mismo corte vertical de estratos alterados blandos de color marrón alternando con otros endurecidos de color blancuzco.

A falta de investigaciones relacionadas con este tipo de cohabitación, se pueden formular dos hipótesis para explicar su origen:

- La existencia de una oscilación climática débil que en el curso del tiempo es causante de la variación en el frente de desecación.

- Ligeras variaciones en la composición de los productos piroclásticos, de naturaleza mineralógica y también textural, que podrían

explicar variaciones en la susceptibilidad a la alteración bajo la acción de factores meteorológicos.

En cuanto al proceso de endurecimiento propiamente dicho, parece resultar en la mayoría de los casos de una cementación de las partículas entre sí.

Las descripciones morfológicas completadas por algunas observaciones micromorfológicas indican ciertos movimientos de redistribución arcillosa (presencia de argilanas en los poros), pero esto no explica el endurecimiento. Los cementos parecen ser de naturaleza esencialmente silíceo. Aparecen también venillas de carbonato de calcio particularmente cuando el clima es muy seco. Algunos depósitos de sulfato de calcio bajo la forma de pequeñas concreciones blandas son visibles en varios sitios de la Cordillera Oriental, afectados también por un clima muy seco. El anión sulfato provendría de la oxidación de azufre volcánico. Sin embargo, actualmente no es posible saber si se trata de formaciones *in situ* o si hubo migración a partir de depósitos más recientes y más superficiales. Esta pregunta es válida para los otros productos que participan en la cimentación. El problema de aportes laterales también queda planteado. Estos aspectos de la cimentación podrán ser resueltos solamente con el establecimiento de balances mineralógicos y geoquímicos siempre difíciles de realizar en este tipo de materiales, generalmente heterogéneos por sus condiciones iniciales de depósito.

No es raro, sin embargo, encontrar entre estas formaciones endurecidas y el suelo superficial, una capa de algunos decímetros de espesor de un color más blanco que el de los productos subyacentes. Es probable por lo tanto que esta zona corresponda a un horizonte de acumulación predominante en productos silíceos y secundariamente calcáreos. Al menos en este caso ese horizonte parece merecer el calificativo de Duripán (U.S.D.A., 1975). En algunas otras situaciones los fenómenos de acumulación no parecen estar obligatoriamente ligados a los de endurecimiento.

El problema de las tobas compuestas exclusivamente por productos volcánicos y las que no, aparece más complejo que el de los depósitos transportados por vía eólica. Aquéllas, más antiguas, puesto que son casi siempre de edad terciaria, han sufrido por lo general una historia mucho más compleja. Algunos de los productos que las componen fueron sometidos a transportes más o menos importantes por vía fluvial, mientras que otros tuvieron parte de su ciclo en medio lacustre. Su endurecimiento no resulta por lo tanto únicamente de los fenómenos de alteración sino también de procesos diagenéticos complejos que se salen del campo de la pedología. Las tobas conservan su aspecto de roca compacta solamente cuando se encuentran en las regiones secas; en los otros climas sufren transformaciones mineralógicas que las acercan a los otros tipos de rocas (la formación Popayán al sur del valle del Cauca es un ejemplo típico de esta situación). En un cierto número de casos, la erosión dejó a proximidad de la superficie capas que estuvieron recubiertas por materiales profundamente alterados durante cierto momento de su historia.

El caso de las formaciones de lahar se asimila un poco al de las tobas. Su origen consiste en un transporte rápido y brutal de los productos piroclásticos mezclados en proporción más o menos importante con el agua. Se forma una pasta viscosa compuesta en su mayoría por elementos finos que forman una matriz alrededor de los elementos gruesos de talla muy variable, ya que van desde gravillas hasta bloques.

En Colombia, debido a la conformación de la cadena andina, esas formaciones se sitúan prácticamente siempre en los valles o cuencas secas.

El endurecimiento se produce bastante rápido. Algunos meses después de depositarse la formación, toma un aspecto muy compacto y se presenta bajo la forma de un conjunto bastante macizo (Acosta, 1851).

El lahar que causó la destrucción de la ciudad de Armero (noviembre de 1985) siguió una

evolución parecida a la de sus predecesores. Las observaciones realizadas en superficie casi dos años después (agosto de 1987) muestran que esos fenómenos no están acompañados todavía de transformaciones mineralógicas. Ciertas eflorescencias blancas aparecen sobre la superficie totalmente desprovista de vegetación y corresponden a sales esencialmente sulfatadas, cuyo origen tiene que ver con los contenidos elevados en azufre del material inicial (cerca del 1% del producto total).

LOS SUELOS ASOCIADOS

Formaciones de Tobas

Sobre las formaciones de tobas (cuando no fueron recubiertas por depósitos eólicos, como es frecuentemente el caso), los suelos son muy variados debido a dos factores:

- Las variaciones de composición litológica provocadas esencialmente por mezclas con otros tipos de materiales y notablemente con productos silíceos de naturaleza variable.
- La edad de las formaciones que favoreció una evolución larga y a veces compleja.

Los facies más ácidos (con frecuencia también los más gruesos en textura) siguen evoluciones que producen suelos de color rojo (por ejemplo el valle del Magdalena en la región del Huila-Tolima) que se parecen a los suelos fersialíticos de la clasificación francesa. Esos suelos han sido poco estudiados y se encuentran con frecuencia fuertemente decapitados (Ruiz, 1976).

Sobre los depósitos más ricos en elementos alcalinos y alcalinotérreos, se encuentran suelos que se aparentan a los vertisoles y a los suelos iso-húmicos (molisoles de la clasificación americana). En este caso, los fenómenos de erosión pueden intervenir pero son relativamente limitados en el espacio.

Depósitos Eólicos

Sobre los depósitos transportados por vía eólica, que recubren en forma abundante numerosas vertientes que bordean los valles y las cuencas y que recubren también el fondo de estos mismos, la evolución climática induce la existencia de clima-topo-secuencias muy características y sobre todo repetitivas en el interior del macizo, independientemente de la altitud del fondo del valle (Faivre, 1988).

Las partes altas de las secuencias, zonas hiperhúmedas, son el dominio de los Andosoles más alofánicos y humíferos en función de la altitud y de la edad de los depósitos.

Desde el momento en que cesan las condiciones de humedad permanente y que aparecen fases de desecación, aún cortas, los caracteres ándicos desaparecen. El medio de alteración está constituido por minerales arcillosos bien organizados cristalográficamente.

Los suelos son aún bastante humíferos y están caracterizados por redistribuciones de partículas organo-minerales que son cada vez más importantes a medida que la altitud disminuye y que el clima y el pedoclima se vuelven más secos. La parte media de las vertientes está ocupada por suelos difíciles de clasificar en los sistemas francés RPF (1991) y FAO-UNESCO (1975), pero están caracterizados por un horizonte cámbico y sobre todo por un horizonte sómbrico que traduce los primeros síntomas de redistribución de partículas (Faivre, 1988). La presencia de esos dos horizontes de diagnóstico permite clasificar esos suelos como Sombri-tropepts en el sistema americano.

Hacia abajo de la vertiente se intensifican los caracteres de lesivaje y aparece un verdadero horizonte de acumulación argílico caracterizado por organo-argilanas espesas y de color negro. Estos suelos se acercan a los Brunizems (Frei, 1964), en el sistema de clasificación americano, teniendo en cuenta su régimen hídrico que varía espacialmente en forma muy rápida, pueden figurar como Argiudolls o Argiustolls.

Las acumulaciones de piroclastos subyacentes a los suelos de esta parte media de las secuencias no presentan fenómenos de endurecimiento, sino con frecuencia una alteración y argilización bastante fuerte.

El segmento de la secuencia situado en la parte más baja, donde las disponibilidades hídricas se vuelven débiles y sobre todo irregulares, está caracterizado por una intensificación en los caracteres de lesivaje llegándose a suelos con fuerte contraste textural de tipo planosólico (Abruptic Haplustalfs, Durustalfs).

Los depósitos volcánicos asociados a esos suelos, si no son tan antiguos como para haber seguido evoluciones bajo otros climas, se encuentran endurecidos prácticamente en todos los casos.

Es siempre difícil discernir las relaciones entre suelos y formaciones endurecidas subyacentes, para entender principalmente, si el suelo está formado a partir de esta última, o si por el contrario resulta de la transformación de una capa más superficial. Cuando existe un duripán, las migraciones debieron producirse desde el suelo hacia esta capa endurecida.

Los suelos asociados a capas endurecidas tienen siempre porcentajes de saturación en cationes alcalinos y alcalinotérreos elevados. El magnesio es con frecuencia dominante. Su color es oscuro, negro, a pesar de los bajos contenidos de materia orgánica (4 a 6%) ligada a las arcillas.

Los suelos en general son muy arcillosos. Estos minerales finos corresponden esencialmente a haloisita asociada a esmectitas, particularmente sobre materiales recientes o en las regiones muy secas. En estas últimas puede ocurrir que los perfiles no hayan sufrido ninguna redistribución de partículas y se aparenten entonces a los vertisoles.

Aunque se presentan con frecuencia varios estratos sucesivos de materiales endurecidos, los suelos enterrados son muy raros: erosión, falta de tiempo para su formación.

USOS

Los suelos asociados a esas formas endurecidas poseen una alta sensibilidad a la erosión, particularmente los planosoles. No es raro que las superficies ocupadas por esos suelos estén fuertemente encarcavadas o aún transformadas en bad-land.

En algunas regiones se han emprendido trabajos de rehabilitación por reforestación y de lucha contra la erosión. Es el caso notablemente del altiplano Cundiboyacense.

El uso de esos suelos es a pesar de todo bastante intensivo, como ocurre en la región meridional de Narifio. Sin embargo, está frecuentemente limitado por el déficit de disponibilidad hídrica.

Los suelos desarrollados a partir de tobas volcánicas sirven en muchas zonas para cultivos intensivos de alta productividad. Es el caso particularmente en el valle del Magdalena en donde gran parte de la superficie regada corresponde a este tipo de sustrato.

LITERATURA CITADA

- ACOSTA, J. 1846. Relation de l'éruption boueuse sortie du volcan du Ruiz et de la catastrophe de Lagunilla dans la République de Nouvelle-Grenade. Comptes rendus des Sciences, Paris. 22: 709-710.
- ACOSTA, J. 1851. Sur les montagnes de Ruiz et de Tolima (Nouvelle Grenade) et les éruptions boueuses de la Magdalena (2 lettres à Elie de Beaumont). Bull. Soc. Géol. de France, Séance du 16 juin 1851, pp 489-496.
- FAIVRE, P. 1988. Lessivage et planosolisation dans les séquences de sols caractéristiques des milieux intrandins de Colombie (Amérique du Sud). Thèse Doctorat d'état Université Nancy I, UER GSM, Nancy. 563 p.
- FAO-UNESCO. 1975. Mapa mundial de suelos. Vol. 1, 62 p.
- FOLSTER, H. 1981. Vegetation, climatic relation of cold-phase paleosols in the Colombian Andes. Rev. CIAF 6 (1-3): 193-199.
- FRANCO, A. 1946. Characteristics and relationships of soils from Volcanic tuffaceous material en Colombia. SSSAP, 11: 431-437.
- FREI, E. 1964. Micromorphology of some tropical mountain soils, pp. 307-311. In: Soil micromorphology. Ed. Jongerius, Elsevier-Amsterdam.
- GUILLET, B., P. FAIVRE, A. MARIOTTI y J. KHOBZI. 1988. The ^{14}C dates and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of soil organic matter as means of studying the post vegetation in intertropical regions: examples from Colombia (South America). Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology 65 1-2: 51-58.
- GUILLET, B. y P. FAIVRE. 1981. Tiempo promedio de residencia de la materia orgánica en suelos de Cundina-marca (Valle de Guasca-Guatavita) según análisis por el método ^{14}C . Rev. CIAF.6 (1-3): 215-222.
- OSTER, R. 1977. Les précipitations en Colombie. Thèse Doctorat, Univ. de Dijon, Dijon, France. 175 p.
- PABLO-GALAN, L. de. 1990. Diagenesis of oligocene-miocene vitric tuffs to montmorillonite and K-feldspar deposits, Durango, Mexico. Clay and clay minerals 38 (4): 426-436.
- R. P. F. (Référentiel Pédologique Français). 1991. INRA Paris. 279 p.
- RADELLI, L. 1967. Géologie des Andes Colombiennes. Travaux du laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences, Grenoble. Mémoire n° 6, 457 p.
- RUIZ, E. 1976. Etude morphopédologique du bassin supérieur oriental de la haute vallée du Rio Magdalena, Secteur Garzon-Gigante (Huila). Colombie. Thèse Doctorat de 3^{ème} cycle. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, France. 193 p.
- U.S.D.A. 1975. Soil taxonomy. Agriculture Handbook n°436. Washington D.C., 754 p.
- UMAÑA, G. 1979. Colombie centrale: méthode d'approche de régionalisation climatique. Thèse Univ. Scientifique et Médicale. Grenoble, France. 97 p.
- Van GEEL, B. y T. Van der HAMMEN. 1973. Upper Quaternary vegetational and climatic sequence of the Fuquene area (Eastern cordillera, Colombia). Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology 14:9-92.

GENESIS Y CARACTERIZACION DE FORMACIONES VOLCANICAS ENDURECIDAS EN PALEOSUELOS DE LA SABANA DE BOGOTA, COLOMBIA

Genesis and Characterization of Indurated Volcanic Formations in Paleosoils in the Savanna of Bogota, Colombia

Dimas Malagón Castro ¹, Carlos Pulido Roa ¹ y Rubén Llinas Rivera ²

¹ Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.

² Universidad Nacional de Colombia.

Palabras clave: Colombia, Capas endurecidas, Suelos volcánicos, Génesis, Ustalfs.

Key words: Colombia, Indurated horizons, Volcanic soils, Genesis, Ustalfs.

RESUMEN

En Colombia, en varias regiones subhúmedas y bajo influencia de cenizas volcánicas se presentan Ustalfs, en los cuales es muy común la presencia de varias capas endurecidas; dichos suelos están muy relacionados con procesos erosivos severos.

La investigación se llevó a cabo en un corte cercano a Santafé de Bogotá a 2,720 msnm y de 6.7 m de profundidad, en el cual y con ayuda del C¹⁴ y determinaciones físicas, químicas, mineralógicas y micro-morfológicas se estudiaron los factores y procesos formadores de suelos, tanto actuales (Holoceno) como pretéritos (Pleniglacial, Glacial Temprano o Interglacial). Se destaca el endurecimiento de capas de cenizas volcánicas y lesivage, para los primeros y la tendencia a la ferralización para los segundos. La cementación está más relacionada con la acción de sales solubles y carbonatos que con la intervención de sílice.

SUMMARY

In Colombia, it is common to find Ustalfs developed under actual subhumid climate conditions and the influence of volcanic ashes. These soils present severe gully erosion related to actual climate condition and the presence of one or many indurated soil horizons or layers associated with volcanic events in the Holocene and medium Pleniglacial.

One of these soils, located near Santafé de Bogotá, was studied in detail related to its physical, chemical, mineralogical, micro-morphological characteristics. Absolute age was defined by C¹⁴ techniques and its genesis and taxonomic aspects were typified. Induration of soils horizon or layers and lessivage were the predominant soil processes in the Holocene. In the beginning of late glacial and late interglacial predominated ferralization (laterization) processes. Processes related induration of soil horizons or volcanic ashes layer are complex and can be associated with salts concentration and carbonates and in less extension to silica cementation action.

INTRODUCCION

El estudio de los suelos relictos y fósiles de Colombia no ha sido muy intenso; no obstante; existen excelentes investigaciones (Brunn-schweiler, 1981; Elbersen y Nieuwenhuis, 1975; Fölster, 1981; Guillet y Faivre, 1981). Algunos aspectos que pueden influir en esta problemática son: el bajo número de dataciones absolutas, la limitación de criterios paleopedológicos constatados y aplicables al país y el poco conocimiento sobre la importancia que pueden tener en cuanto a su utilidad práctica. Por otra parte, los suelos presentes en muchas regiones del país sólo pueden comprenderse a través del marco histórico de su evolución ambiental durante el Cuaternario, razón por la cual debe acometerse su estudio sistemático.

Las investigaciones adelantadas en la sabana de Santafé de Bogotá y en otros lugares por Van der Hammen (1974, 1980, 1981) durante varias décadas, han generado un enorme impulso para detallar la historia del Cuaternario, uno de cuyos resultados aplicados es el presente trabajo, en el cual se da especial importancia a la relación: procesos formativos-paleoambientes (Gerasimov, 1971; Yaalon, 1971) con énfasis en horizontes y capas endurecidas.

MATERIALES Y METODOS

Los materiales y métodos seguidos en la investigación están asociados con el trabajo de campo y la caracterización en laboratorio.

El primero de ellos radicó en localizar el perfil representativo, mediante el recorrido de la zona y la foto-interpretación tanto geológica como pedológica; su descripción detallada hasta 6.7 m, toma de muestras disturbadas o no y recolección de material orgánico para análisis de C^{14} fueron aspectos del mismo.

El suelo se localizó a $4^{\circ}41'9''$ latitud N y $74^{\circ}15'53''$ longitud W a 2,720 msnm en un

paisaje colinado y en su parte media, con pendiente de 7-12%. La formación geológica es la Mondoñedo (Qm) la cual se apoya discordante sobre el Cretáceo y se deriva de su erosión; dicha formación está integrada por limos arenosos, arcillas tobáceas y algunos horizontes de paleosuelos, con influencia de cenizas volcánicas, las cuales constituyen su material parental, especialmente para los suelos Holocénicos.

El suelo superficial se clasificó como Aridic Paleustalf, arcilloso muy fino, caolinítico, isoméico (Soil Survey Staff, 1975, 1988).

Los análisis de laboratorio incluyen aspectos físicos (granulometría, densidad aparente, índice de plasticidad, módulo de ruptura), químicos (pH, CO, CIC, CICE, cationes de cambio, acidez intercambiable, SB, saturación de Al, P; óxidos libres de Fe, Al y Fe activos, Fe y Si total, sílice amorfo, retención de fosfatos), mineralógicos (difractometría en arcillas, análisis de arenas mediante el microscopio petrográfico) y micromorfológico (análisis de secciones delgadas mediante el microscopio petrográfico, Brewer, 1964; Teruggi y Renato, 1971). Las metodologías respectivas se especifican en los métodos analíticos del Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico de Colombia (IGAC, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se ha esquematizado la morfología del perfil del suelo investigado y en el Cuadro I se presentan los resultados más sobresalientes de los análisis físicos. Con base en ellos y en la información analítica adicional se destacan los siguientes aspectos:

1. Los suelos y sedimentos investigados definen una secuencia compleja de los diferentes cambios climático vegetacionales que se sucedieron desde el Pleniglacial Medio (?) hasta el Holoceno y, para las capas profundas, hasta 6.6 m, durante el Glacial temprano o el Interglacial.

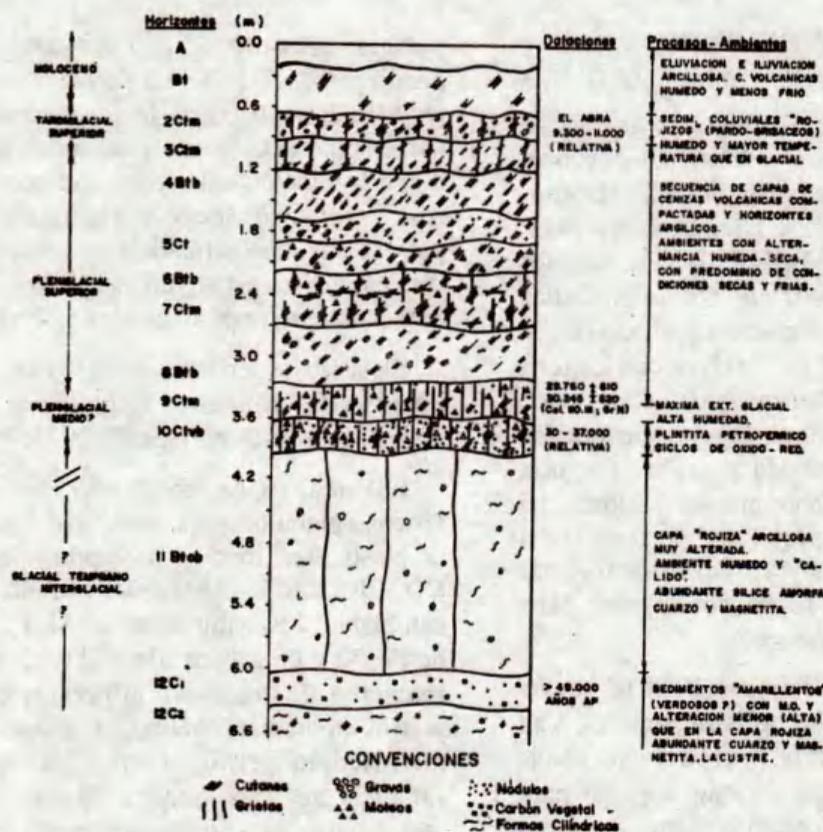


Figura 1. Representación esquemática, dataciones, ambientes y procesos asociados con el suelo Mondofiedo (P-5), Municipio de Mosquera, Colombia.

Cuadro 1. Características físicas del suelo Mondofiedo (P-5), municipio de Mosquera.

Profundidad cm	Horizontes	Granulometría			Textura	Módulo ruptura mb	Densidad aparente g/cc	Consistencia		
		Arena	Limo	Arcilla				Indice de plasticidad	Límite líquido	Límite plástico
		%			%					
0 - 20	A	23.2	43.0	33.8	Far		7	19	12	
20-66	Bt	7.1	12.4	80.5	Ar	1.31	24	50	26	
66-91	2Ctm	19.4	28.2	52.4	Ar	6.05	8	31	23	
91-120	3Ctm	21.8	41.8	36.4	Far	5.81	11	24	13	
120-167	4Btb	17.9	51.1	31.0	FarL		10	35	25	
167-190	5Ct	26.9	49.3	23.8	F	0.53	21	38	17	
190-218	6Btb	32.5	34.2	33.3	FAr	1.62	8	36	28	
218-268	7Ctm	13.4	49.2	37.4	FArL	4.24	12	30	18	
268-328	8Btb	19.8	41.8	38.4	FArL	1.81	14	36	22	
328-363	9Ctm	13.9	23.5	62.6	Ar	1.63	19	45	26	
363-396	10Ctvb	21.0	30.7	44.3	Ar	1.60	12	28	16	
396-606	11Btob	12.2	13.7	74.1	Ar	1.20	18	42	24	
606-636	2C129	1.5	33.3	37.2	FAr	1.06	16	38	22	
636-666	12C2	28.1	41.1	30.8	FAr	1.05	12	36	24	

2. En la secuencia estudiada es importante resaltar los siguientes aspectos:

- La influencia notable de cenizas volcánicas, especialmente durante el Pleniglacial Medio (?) y el Holoceno, definida en la mayoría de los casos por capas endurecidas que alternan con horizontes argílicos.

- Los procesos de translocación de arcillas, evidentes en los horizontes enriquecidos en ellas y que se han definido como posibles argílicos, a pesar de no comprobarse los respectivos horizontes eluviales, excepto para el suelo Holocénico (Paleustalf).

- La correlación entre la morfología de la secuencia de suelos del Pleniglacial y el Holoceno con los presentes del Holoceno en muchas regiones del país, caracterizadas por condiciones climáticas subhúmedas-semiáridas (regímenes ústicos de humedad en el suelo), bajo la influencia de cenizas volcánicas.

- La presencia de abundantes minerales alterables, especialmente feldespatos (21%), anfíboles (77%) y piroxenos (8%) en los suelos del Pleniglacial y su reducción (anfíboles 11%, piroxenos 4%) o carencia (feldespatos:trazas) en los del Glacial Temprano o Interglacial.

Ejemplo adicional y claro de ello son los porcentajes de cuarzo (fracción ligera) donde para los primeros es del 75% y para los segundos del 99%.

- El alto grado evolutivo, definido por la composición mineralógica de las arenas (cuarzo) y arcillas (caolinita) en los suelos de la parte inferior de la secuencia (3.9-6.6 m), con lo cual se define una clara y abrupta separación dentro del corte investigado: 0 a 3.9 m y de éste a los 6.6 m. En los primeros la actividad volcánica es manifiesta y la mineralogía indica grados bajos a medios de evolución; en los últimos es poca o inexistente la actividad volcánica y alto el grado evolutivo, especialmente en el horizonte 11 B_{10b}. En los primeros el clima se caracteriza por alternancia estacional con tendencia a condiciones secas, mientras que en los segundos se tiende a mayor uniformidad, humedad y temperatura.

En estos últimos dominan condiciones formativas asociadas con sedimentación en aguas tranquilas (mayores contenidos en CO y en fósforo).

3. En las características químicas generales se destaca la tendencia a la neutralidad en la primera parte de la secuencia y hacia la acidez ligera en profundidad en la segunda parte, lo cual correlaciona con las "bases" totales y la saturación del complejo de cambio.

Las capacidades de intercambio pueden interpretarse en el rango de "medianas" y "bajas", dominando las primeras. La carga variable es poca, con excepción de las capas sedimentarias basales (horizonte 12C) donde es alta.

En varios horizontes del Pleniglacial y el Holoceno, se presentan carbonatos de calcio, lo que no ocurre en la parte inferior de la secuencia, asociado con las condiciones ústicas prevalecientes en la actualidad. La salinidad y concentración de sodio son bajas.

4. Dentro de las propiedades físicas resaltan las variaciones granulométricas de la fracción tierra fina, a través de la profundidad del perfil; las fracciones finas o sea limos y arcillas, dominan ampliamente sobre la arenosa.

Los índices de consistencia, especialmente el límite líquido, son relativamente altos y en consecuencia lo es el índice de plasticidad (Cuadro 1). Esto correlaciona ampliamente con los horizontes B, y tiende a disminuir dicha correlación en los horizontes C. El módulo de ruptura confirma las condiciones de compactación y cementación en las capas u horizontes C_{10m}.

Los ensayos realizados para caracterizar las capas cementadas (Cuadro 2), denominadas por Gómez (1979) "Tobas limolíticas, grises, depositadas y compactas, duripanes", indican un valor alto para el módulo de ruptura (4 a 6 mb), densidades aparentes elevadas (1.5 a 1.65 g/cc) y respuestas diferenciales al tratar las muestras con agua, HCl y KOH.

El tratamiento químico para la caracterización de duripanes indica, no obstante, que la acción del KOH es menor que la del HCl y está igual o

superior a la del agua (Cuadro 2); con ello se podría concluir que la cementación resultante, desde un punto de vista químico, se debe más a la acción de sales solubles (CE 0.4-0.7 mmhos/cm) y carbonatos (reacción ligera al HCl) que a la sílice como tal; en sentido estricto no serían duripanes.

5. En la composición mineralógica, como ya se anotó, resaltan los minerales intemperizables, especialmente en la secuencia Holocénica y del Periglacial, disminuyendo abruptamente en los sedimentos del Glacial Temprano o Interglacial, donde se presenta una clara discontinuidad litológica (Figura 2). Es notoria la abundancia de caolínita en todas las muestras estudiadas, independientemente de su localización en el perfil. Ello se interpreta, en su génesis, asociada con la evolución de materiales amorfos, para la parte de la secuencia afectada por cenizas volcánicas, bajo condiciones secas y, como resultante del alto grado evolutivo, para los sedimentos más antiguos.

6. Otras características químicas, determinadas con la finalidad de comprobar la génesis y evolución de los suelos, permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- El Al y Fe activos, tomados como parámetros de las propiedades ándicas, indican para la primera parte de la sección, contenidos bajos que no permiten su inclusión en los Andisoles, argumento reforzado por los valores de la densidad aparente, porcentaje de vidrio volcánico y retención fosfórica.

- En profundidad, a partir de los 6 m, estos contenidos se incrementan considerablemente, al igual que la sílice amorfa, esta última en la capa roja (3.96-6.06 m). No obstante, tampoco se alcanzan los límites establecidos para los Andisoles, especialmente por las densidades aparentes (superiores a 0.9 g/cc) y los valores de retención fosfórica que, aunque altos, no alcanzan a definirlos.

Cuadro 2. Respuesta de las capas compactadas (horizontes Ctm) a lo diferentes tratamientos químicos.

Muestra cm	Horizonte	Tratamiento y % de destrucción de la acción cementante		
		Agua	HCl 1N	KOH 1N
66 - 91	2Ctm	50	80	100* (20)
91 - 120	3Ctm	0	0	0
167 - 190	5Ct	50	50	0
218 - 268	7Ctm	0	50	0

* Después de los tratamientos anteriores.

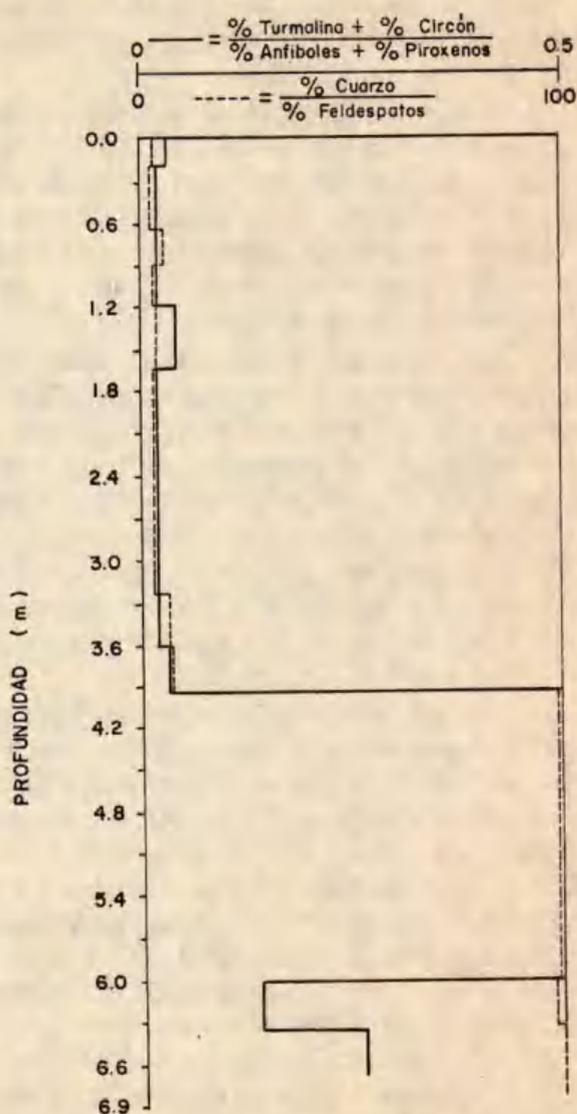


Figura 2. Relaciones de minerales estables a inestables en el suelo Mondofedo (P-5), Municipio de Mosquera, Colombia.

7. Mediante el estudio micromorfológico se pudieron constatar los siguientes aspectos:

- Dominio de fábricas porfiroesqueléticas, asociadas al abundante porcentaje de fracciones finas.

- En la matriz-S dominan plasmas isótricos para las capas de cenizas compactadas y sépicos (mo, ma y latisépicos) para los horizontes Bt. Los planos constituyen los poros dominantes, asociados con procesos sedimentarios y de expansión-contracción. Los granos del esqueleto, con abundancia de cuarzo, feldespatos y anfiboles, muestran un estado bajo a medio de transformación, especialmente asociada con procesos de desvitrificación.

- Los rasgos pedológicos más importantes se asocian con cutanes e hipocutanes de arcillas, hierro, manganeso (?) y, posiblemente, orgánicos, abundantes en todos los horizontes y capas. Las glébulas conforman también rasgos de importancia, y abundan los nódulos integrados por Fe y Mn. Su porcentaje varía en el rango 3-5% en el horizonte Bt, hasta el 20-30% en algunos horizontes Ct.

8. El modelo evolutivo de la zona, su geomorfología y materiales sedimentarios indican la estrecha relación existente entre las condiciones climáticas, vegetacionales, volcánicas, sedimentarias y, posiblemente tectónicas, con la génesis y evolución de los suelos, deduciéndose la complejidad de éstos y su entendimiento supeditado al

conocimiento integral del medio, no sólo en sus relaciones espaciales sino temporales.

CONCLUSION

En la zona central de Colombia, al igual que en otras áreas del país, se presentan paleosuelos, hoy bajo régimen ústico, derivados de cenizas volcánicas, en los cuales son notorias una o varias capas endurecidas bajo la acción de diferentes sustancias; estas capas inducen procesos erosivos marcados y limitan la penetración radicular.

En dichas capas sobresale el alto valor del módulo de ruptura (4-6 mb), las altas densidades aparentes (1.5-1.65 g.cm⁻³) y las respuestas diferenciales al tratarlas con agua, HCl y KOH, concluyéndose que su cementación se asocia más con sales solubles y carbonatos que con la sílice como tal; en sentido estricto no serían duripanes.

El estudio detallado de uno de estos sitios, hasta 6.7 m, indica la influencia de cenizas volcánicas durante el Pleniglacial medio y el Holoceno, abundantes en feldespatos, anfiboles, piroxenos y vidrio, y su poca influencia y alto grado evolutivo, para el suelo del Glacial Temprano o Interglacial.

LITERATURA CITADA

BETTENAY E. y H. M. CHURCHWARD. 1974. Morphology and stratigraphy of the Wiluna hardpan in arid Western Australia. *J. Geol. Soc. Austr.* 21 (1): 73-80.

BREWER, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. New-York, John Wiley and Sons. 470 p.

BRUNNSCHWEILER, D. 1981. Glacial and periglacial form system of the Colombian Quaternary. *Rev. CIAF.6* (1-3): 53-76.

ELBERSEN, G.W. y E. NIEUWENHUIS. 1975. Algunas observaciones sobre suelos secos con influencia volcánica y la ocurrencia de erosión acelerada. *Rev. CIAF. Bogotá.* pp. 31-41.

FÖLSTER, H. y W. HETCH. 1978. Paleosols sequences in the Eastern Cordillera of Colombia. *In Quaternary Research* 9: 238-248.

FÖLSTER, H. 1981. Vegetation-climatic relation of cold-phase paleosols in the Colombian Andes. *Rev. CIAF. 6* (1-3): 193-199.

GERASIMOV, I.P. 1971. Nature and originality of paleosols. pp. 15-37. *In*: Yaalon (ed) Paleopedology. Interc. Soc. Sci. Israel. Univ. Press. Jerusalem.

GUILLET, B. y P. FAIVRE. 1981. Tiempo promedio de la materia orgánica en suelo de Cundinamarca (Valle de Guasca-Guatavita) según análisis por el método del C^{14} . *Rev. CIAF.6* (1-31): 215-221.

GOMEZ, M.H. 1979. Consideraciones generales y estudio preliminar sobre las puzolanas de Bojacá dentro de la licencia 8.300 de la Sabana de Bogotá, Cundinamarca. Productora de Minerales S.A. Bogotá. 37 p. Once cuadros, seis mapas (mimeografiado).

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 1990. Métodos del laboratorio de suelos. 5a Ed. Subdirección Agrológica (en prensa), Bogotá.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil taxonomy. *Agric. Handbook 436*. USDA-SCS. 754 p.

SOIL SURVEY STAFF. 1988. Keys to soil taxonomy. *SMSS. Tech. Mon. 6* Cornell Univ. 280 p.

TERUGGI, M. y A.R. RENATO. 1971. Micromorphological recognition of paleosolic features in sediments and sedimentary rocks. pp. 161-172. *In*: Yaalon (ed) Paleopedology. Interc. Soc. Sci. Israel. Univ. Press. Jerusalem.

VAN DER HAMMEN, T. 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South-America. *Journal of Biogeography*. 1: 3-26.

VAN DER HAMMEN, T. 1980. Guía de excursión Sabana de Bogotá. Primer seminario sobre el Cuaternario de Colombia. Bogotá.

VAN DER HAMMEN, T. 1981. Glaciales y glaciaciones en el Cuaternario de Colombia: paleoecología y estratigrafía. *Rev. CIAF. 6* (1-3): 635-638.

YAALON, D.H. (Ed). 1971. Paleopedology: origin, nature and dating of paleosols. Interc. Soc. Soil Sci. Israel Univ. Press. Jerusalem. 350 p.

**LA CANGAHUA EN EQUATEUR
LE CONTEXTE PALEOGEOGRAPHIQUE DE SA FORMATION**

**La Cangahua en Ecuador: El Contexto Paleogeográfico de su Formación
Cangahua in Ecuador: The Paleogeographic Context of its Formation**

Alain Winckell et Claude Zebrowski

ORSTOM, México, Mexique.

Mots clés: Equateur, Cangahua, Andes, Volcanisme pyroclastique récent, Paléogéographie du Quaternaire.

Palabras clave: Ecuador, Cangahua, Andes, Volcanismo piroclástico reciente, Paleogeografía del Cuaternario.

Key words: Ecuador, Cangahua, Andes, Recent pyroclastic volcanism, Quaternary paleogeography.

faible altération des cendres récentes, mais également l'accumulation de carbonate de calcium sous forme de concrétions caractéristiques des cangahuas.

RESUME

Deux générations de projections pyroclastiques marquent le volcanisme Quaternaire équatorien. Les cendres et lapilli anciens sont antérieurs et contemporains du dernier glaciaire. Les projections récentes sont, par contre, postérieures à la dernière débacle glaciaire. La cangahua s'est formée exclusivement à partir des retombées anciennes. Une phase climatique plus sèche et plus froide que l'actuelle, contemporaine des retombées pyroclastiques anciennes, explique la faible altération de ces matériaux ainsi que leur induration en cangahua. Les dernières retombées anciennes coïncident avec l'apparition d'une période plus humide et plus chaude au cours de laquelle se sont formés des sols humifères. Une ultime période plus sèche explique, en partie, la

RESUMEN

Dos generaciones de proyecciones piroclásticas caracterizan el volcanismo ecuatoriano. Las cenizas y lapilli antiguos son anteriores y contemporáneos del último glaciario; al contrario/ las proyecciones recientes son posteriores al último derrumbe glaciario. La cangahua se ha formado exclusivamente a partir de las caídas antiguas. La poca alteración de estos materiales y su induración en cangahua se explica por las condiciones climáticas, durante la caída de los piroclastos antiguos, más secas y frías que las actuales. Las últimas caídas antiguas coinciden con la aparición de un periodo más húmedo y más calido durante el cual se han desarrollado suelos humíferos. Por fin sucedió una última época climática, más seca, responsable de la poca alteración de las cenizas recientes y de la acumulación de las concreciones de carbonato de calcio, características de las cangahuas.

SUMMARY

Two generations of pyroclastic projections mark the Ecuadorian Quaternary volcanism. Ashes and ancient lapilli are previous or contemporaneous of the last glacial. On the other hand, recent projections are subsequent to the last glacial breaking up. Cangahua was exclusively formed from ancient fallouts. A climatic phase, drier and colder than the present one, explains the weak alteration of those materials as well as their induration into cangahua. The last ancient fallouts coincide with the appearance of a warmer and more humid period during which humic soils were formed. An ultimate and drier period explains, partly, the weak alteration of recent ashes but also the calcium carbonate accumulation in concretions, which are typical of cangahuas.

LES RECOUVREMENTS PYROCLASTIQUES INTERANDINS ET LE PROBLEME DE LA CANGAHUA

Les projections de pyroclastes dans la Sierra d'Equateur se sont produites depuis le début de l'évolution andine, puisque l'on en trouve déjà dans les formations d'âge Crétacé. Celles qui font l'objet de cette étude se rattachent exclusivement aux éruptions Quaternaires, et se composent de retombées aériennes sur une morphologie préexistante.

Parmi les retombées pyroclastiques récentes, deux générations ont pu être mises en évidence. Elles présentent des différences très nettes d'aspect, de caractéristiques et de morphologie suivant les modèles qu'elles ont fossilisés.

LA PREMIERE GENERATION DE PYROCLASTES

Nous avons donné à la première génération de ces dépôts le nom de "cendres anciennes", c'est

à partir d'elles que s'est formée la cangahua. Cette dernière a globalement un aspect de tuf soudé, de granulométrie fine à moyenne, qui forme un manteau de 10 à 30-40 m d'épaisseur, et se caractérise par la présence d'épaisses couches intercalées de lapilli et ponces, de composition minéralogique identique aux laves de la même phase volcanique. Ces formations ont subi une induration variable d'une couche à l'autre; les phénomènes responsables de ce durcissement sont divers mais presque toujours d'origine secondaire, le durcissement n'étant généralement pas lié au phénomène de mise en place, et font intervenir des cimentations liées à leur composition granulométrique, à la circulation et à la cristallisation de percolations internes, d'origine géologique, pédogénétique ou consécutives à leur mise à l'air libre, mais toujours sous des conditions climatiques à sécheresse bien marquée.

L'étude de leur extension, dans les Andes du nord de l'Equateur, permet d'apporter les précisions suivantes :

- Les affleurements de cendres anciennes cimentées en cangahua sont généralisés sur les sommets plats des remplissages interandins.

- Ils sont aussi présents de façon généralisée sur les versants interandins, mais accusent des ondulations de grande amplitude moulant l'ancienne topographie généralement indépendante du modelé actuel. Les couches sont recoupées, ravinées et disparaissent au niveau de chacune des entailles des "quebradas", dont le creusement est donc postérieur à leur dépôt. La morphologie de ces couches présentes sur les flancs de ces entailles permet ainsi de reconstituer la topographie originelle.

- Mais l'observation la plus significative concerne leur disparition dès que commencent les hautes terres froides des cordillères andines: zones couvertes par les glaciers au maximum de leur extension ou portant des couvertures nivales ou de paramos. Ces émissions sont donc antérieures ou contemporaines du dernier maximum glaciaire Quaternaire.

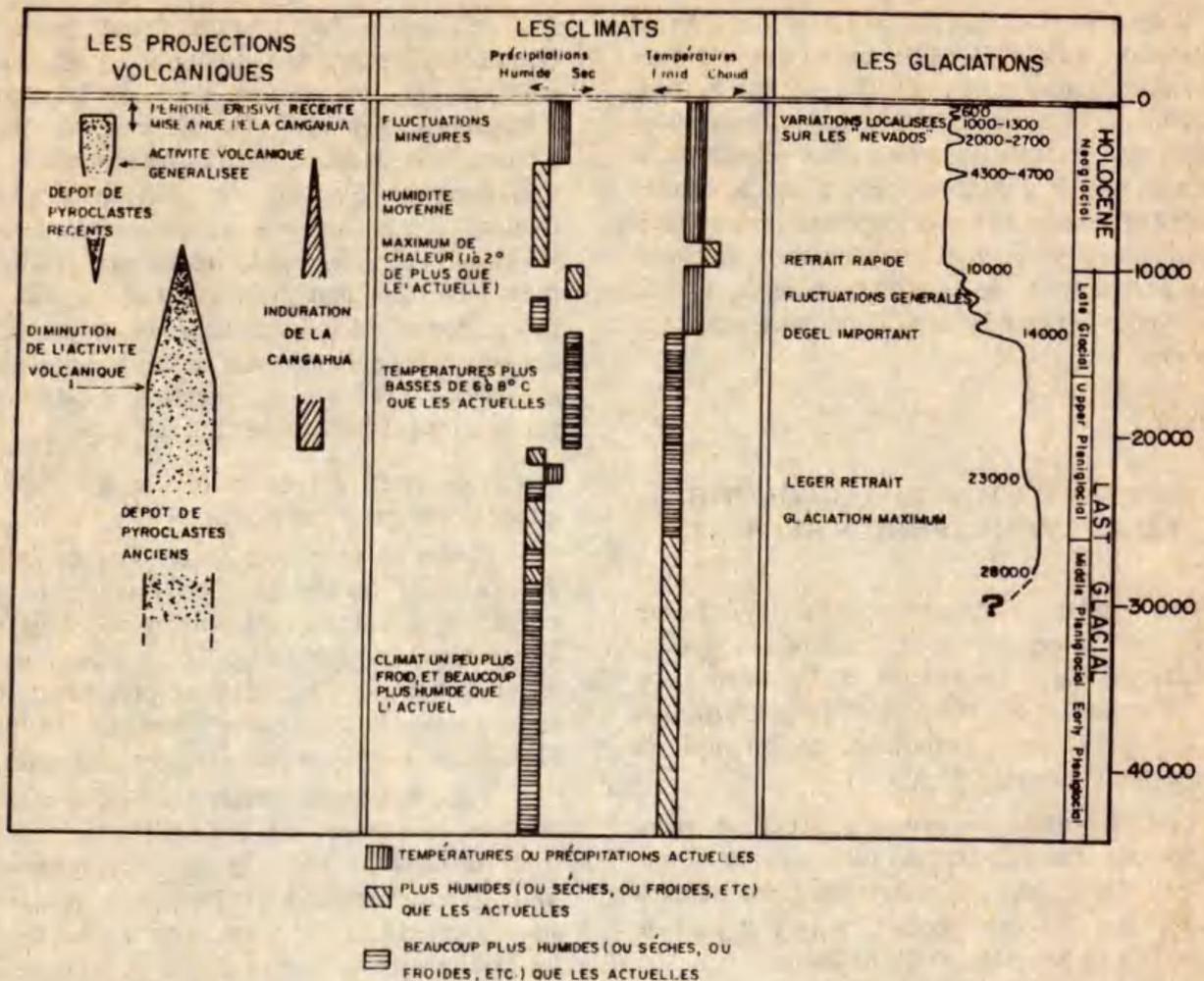


Figure 1. Pyroclastes, climats et glaciations au Quaternaire.

LA DEUXIÈME GÉNÉRATION DE PYROCLASTES: LES CENDRES RÉCENTES

Cette seconde période d'émissions se différencie nettement des retombées précédentes, par des critères d'extension, de répartition et d'évolution interne :

- Il s'agit d'une superposition de couches alternées, décimétriques à multi-décimétriques, de sables moyens à grossiers gris-jaunâtre à gris-bleuté, de lapilli centimétriques blanc-jaunâtre et de cendres noirâtres.

- Elles ont gardé toutes les caractéristiques physiques du dépôt original, sont beaucoup

moins altérées que les projections anciennes et ne sont pratiquement jamais indurées. Cette grande différence d'évolution entre deux formations souvent superposées implique soit une différence dans les processus de mise en place, soit un net décalage temporel accompagné de changements marqués des conditions climatiques.

- Elles recouvrent uniformément la plupart des paysages interandins; elles sont en particulier les seuls pyroclastes présents sur les hautes terres froides à la morphologie glacio-nivale, où elles recouvrent les surfaces et rochers râpés par les glaciers ou les dépôts morainiques fluvio-glaciaires.

Il apparaît donc évident que cette émission est postérieure à la déglaciation qui a suivi le dernier maximum glaciaire. Comme elle fossilise la topographie postérieure au creusement des principales entailles caractéristiques du milieu interandin, il est raisonnable d'attribuer cette phase de creusement à la période de fort écoulement qui a caractérisé la fonte de la dernière couverture glaciaire. Les grands traits de la morphologie de surface des Andes d'Equateur sont donc hérités de cette période.

RECONSTITUTION DE L'EVOLUTION PALEOGEOGRAPHIQUE RECENTE

Les résultats des datations par C^{14} (Winckell et Zebrowski, à paraître) et la comparaison avec les résultats obtenus par ailleurs en Colombie (Van der Hammen *et al.*, 1981) et en Bolivie (Argollo *et al.*, 1987) nous permettent de proposer la chronologie suivante (Figure 1).

Les émissions anciennes ont débuté avant 42 200 ans. Des échantillons prélevés vers la base de ces dépôts ont respectivement été datés à $37\,300 \pm 1\,700$ ans vers El Angel et plus de 42 000 ans à San Miguel de los Bancos.

Elles se sont poursuivies sans interruption majeure jusque vers 17 150 ans, et se terminent vers 11 600-8 390 ans au moins.

Sur les hautes terres des cordillères, les produits des émissions anciennes tombaient donc sur des zones caractérisées par une couverture glacio-nivale (maximum glaciaire entre 28 000 et 14 000 ans en Bolivie). Aux altitudes inférieures, elles fossilisaient les reliefs existants alors que le climat était plus froid (de 6 à 8°) et beaucoup plus sec qu'actuellement, selon les données obtenues en Colombie. Ces conditions climatiques expliquent l'homogénéité de ces dépôts, à l'altération peu avancée et relativement constante sur toute leur épaisseur, et l'absence d'horizon humifère intercalé, aucune période assez humide n'ayant permis leur développement.

Il est aussi probable qu'une grande partie des indurations datent de cette époque, elles sont parfaitement compatibles avec les conditions climatiques régnantes. La présence de fortes cimentations, même à grande profondeur et les variations en fonction des différents dépôts incitent à proposer une induration contemporaine ou légèrement postérieure aux dépôts. Il n'est pas exclu non plus, que l'induration, par percolation et précipitation de solutions provenant des retombées plus récentes, se soit poursuivie, au moins au niveau des couches supérieures, pendant les périodes sèches qui ont suivi.

Deux séries d'événements importants ont marqué cette première phase:

- Certaines séquences de cendres anciennes, déposées en profondeur, en couverture des remplissages volcano-sédimentaires des bassins interandins ont enregistré les marques de la tectonique interandine. Elles se présentent alors sous forme de couches affectées de forts plissements, ou par de petits accidents cassants.

- Aux étages supérieurs, ces retombées de cendres anciennes ont été affectées par des paléosolifluxions importantes, reconnaissables par l'enchevêtrement d'horizons humifères anciens enterrés. Cette phase, bien représentée sur les paramos du sud, entre Cañar et Saraguro par exemple, a été datée entre 32 000 et 26 700 ans BP, ce qui correspond à une période reconnue comme nettement plus humide et avec un climat légèrement plus froid que la période actuelle.

Le recul rapide des glaciers observé entre 14 000 et 10 000 ans en Bolivie, se produit sensiblement à la même époque en Equateur. Quelques surfaces récemment déglacées sont recouvertes par des émissions terminales de cendres anciennes vers El Angel ou au pied du Chimborazo par exemple. Cette déglaciation provoque une forte alimentation du réseau hydrographique, qui devient puissamment érosif sur les reliefs de la Sierra où il élabore la majorité des entailles, ravinant ainsi les projections anciennes. La forte charge en matériaux apportés par la fonte des calottes glacio-nivales entraîne

des alluvionnements dans quelques secteurs déprimés des bassins interandins (Latacunga, Riobamba), mais surtout à l'aval, aux débouchés sur les piémonts des régions amazoniennes et côtières.

Ce réchauffement du climat se traduit en Equateur, par la formation d'épais horizons humifères quasi-continus, au sommet des dépôts de cendres anciennes. Ce sont ces horizons qui, fossilisés, permettent de dater les premières phases des retombées des cendres récentes. La pédogénèse devient particulièrement intense à partir de 10 000 ans, période à laquelle est attribuée le maximum de chaleur: entre 10 000 et 8 500 ans, le climat est en Colombie plus chaud de 1 à 2° que l'actuel et d'une humidité moyenne.

Les dernières étapes de cette déglaciation ont plus ou moins coïncidé avec les premières retombées généralisées de cendres récentes. Leur base a été datée à 11 600 ans (El Angel) et 8 390 ans (Cotopaxi); elles se sont généralisées ensuite dans toute la Sierra jusque vers 1 620 ans (Mindó), des échantillons vraisemblablement plus récents étant en cours d'analyse.

Ces retombées ont globalement gardé leurs caractères texturaux originaux. Cette absence d'évolution doit être mise en relation avec leur âge récent, mais aussi avec une nouvelle phase d'assèchement du climat, contemporaine de cette seconde phase d'éruptions. C'est probablement au cours de cette période que des accumulations de carbonate de calcium se sont déposées au niveau de certaines discontinuités à la partie supérieure de la séquence des cendres anciennes.

Cette seconde génération est évidemment post-glaciaire, puisque d'une part, ses produits fossilisent les surfaces et dépôts dégagés par le retrait des glaciers, et d'autre part, recouvrent les versants des entailles et les dépôts de piémont

concomitants élaborés au cours de la phase de déglaciation précédente. Il est enfin intéressant de noter qu'elles sont le plus souvent concordantes avec la topographie actuelle.

Depuis cette date, les changements climatiques notés en Bolivie, accompagnant une lente dégradation du climat avec des alternances de périodes plus froides et de cycles d'assèchement ne se traduisent avec évidence, en Equateur, que par des fluctuations locales des glaciers de vallée autour des principaux "nevados", qui ont laissé plusieurs générations d'arcs morainiques superposés.

Il apparaît donc que les traits majeurs du relief interandin et en particulier le réseau des "quebradas" interandines sont relativement figés depuis environ 10 000 ans, et que les retouches morphogénétiques postérieures s'apparentent surtout à des remodelages locaux et à des modifications de détail. Il en est ainsi de l'atténuation des différenciations topographiques suite à la fossilisation par les cendres récentes, mais aussi de tous les processus d'érosion superficielle, du décapage des couches de cendres supérieures et de la mise à nu des surfaces de cangahua.

CONCLUSION

La cangahua s'est donc formée à partir de retombées pyroclastiques anciennes qui se sont indurées surtout au moment de leur dépôt, alors que régnaient des conditions climatiques relativement sèches. Les sols humifères que l'on observe au sommet de ces projections anciennes se sont formés au cours d'une période postérieure plus humide et les derniers apports de ciments, essentiellement calcaires, se seraient déposés durant la dernière période sèche.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ARGOLLO, J., PH. GOUZE, J.F. SALIEGE et M. SERVANT. 1987. Fluctuations des glaciers de Bolivie au Quaternaire récent. *Géodynamique* 2: 103-104.

VAN DER HAMMEN, T., J. BARELDS, H. DE JONG et A.A. DE VEER. 1981. Glacial sequence and environmental history in the Sierra Nevada del Cocuy (Colombia)-*Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 32: 247-340.

WINCKELL, A. et C. ZEBROWSKI. Quelques aspects de l'évolution Quaternaire dans les Andes d'Equateur (à paraître).

TIPOLOGIA DE LA CANGAHUA

Typology of the Cangahua

Ramón Vera y Rocío Lopez

Departamento de Geología, Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Palabras clave: Ecuador, Cangahua, Origen
Caracterización.

Index words: Ecuador, Cangahua, Origen,
Characterization.

RESUMEN

El estudio detallado de campo y laboratorio para probar el modelo litogenético de la cangahua preestablecido en 1986 por los autores, concluye en una redefinición de cangahua, el establecimiento de una sistemática de clasificación y la descripción de los principales tipos.

Cangahua es una roca blanda porosa producto de la diagénesis parcial del material volcánico explosivo fino, menor al tamaño de ceniza (< 2 mm), cementada primeramente por material arcilloso amorfo (A), sílice (B), óxidos de hierro (C) y secundariamente por calcita (D). La cangahua tiene cinco orígenes: de caída de ceniza (1), flujos de ceniza y pómez (2), flujos piroclásticos (3), de origen pedogenético (4) y retrabaja-miento (5). La sistemática de clasificación toma en cuenta estos cinco orígenes y los cuatro materiales cementantes para distinguir un mínimo de 20 variedades.

En los alrededores de Quito donde se ha muestreado la mayor variedad de cangahua (25 muestras) se ha podido establecer que los tipos dominantes son: 1B, 2A, 3AD y 4A.

SUMMARY

Detailed field and laboratory studies to test the lito-genetic classification of cangahua proposed by the authors in 1986, provide a redefinition of cangahua, a table for its systematic classification and a characterization for the main types.

Cangahua is defined here as porous, soft rock, formed by a partial diagenesis of a fine ash size explosive volcanic material (<2 mm) primarily cemented by clay sized amorphous material (A), silica (B), iron oxides (C) and by Calcium carbonate (D). Cangahua has five origins: ash fall (1), ash-pumice flow (2), piroclastic flow (3), pedoge-netic (4) and from reworking (5). Systematic classification takes in account these five origins and four types of cement to arise to a minimum of 20 varieties. Twenty-five samples were collected around Quito, looking for the major varieties of cangahua, from these samples, the most common types are: 1B, 2A, 3AD, and 4A.

INTRODUCCION

Las cenizas y los materiales piroclásticos finos con abundante material vítrico, han sido abundantemente distribuidos en la zona andina norte del Ecuador desde la latitud 2°30'S hasta Popayán, Colombia, durante el Pleistoceno. Los

suelos derivados de la alteración de estos productos volcánicos son conocidos como Andepts, los mismos que pueden variar significativamente con los microclimas muy comunes en la zona andina ecuatoriana (Maldonado, 1973).

Por el proceso de lixiviación la sílice del material vítrico de la superficie, migra en profundidad a través de los materiales volcánicos finos más permeables, provocando una cementación en el subsuelo. El material endurecido del subsuelo se denomina comúnmente cangahua.

Este material, por el proceso de erosión muy activo en el Ecuador, especialmente debido a esorrentía (De Noni *et al.*, 1985) está ganando terreno con el consiguiente decremento de las áreas de cultivo.

En áreas de suelos alóctonos o sin evolución pedogenética otras formas de cementación, en el proceso diagenético de las cenizas y materiales piroclásticos finos para formar la cangahua, son: (a) infiltración, (b) inyección, (c) el proceso selectivo de hidratación del vidrio por retención de humedad en los microporos en forma de núcleos, y (d) por capilaridad a partir de los depósitos de grano grueso infrayacentes con saturación parcial o total de agua.

MARCO GEOLOGICO

El conocimiento geológico de la cangahua se inicia con el trabajo de Estrada (1941) quien define su origen eólico o lacustre según el ambiente de depósito. Sauer (1950, 1965) elabora un modelo de las cuatro glaciaciones del Cuaternario, con base en el conocimiento de la glaciación continental de Europa en esa época. En este modelo, la cangahua constituye un material volcánico a partir de la segunda glaciación, su origen eólico se interpreta en las interglaciaciones 2, 3 y en el postglacial y su origen lacustre en las glaciaciones 2, 3 y 4. Las cangahuas eólicas se depositan periclinamente mientras que las lacustres originalmente son depósitos horizontales.

Trabajos modernos en el Cuaternario andino ecuatoriano (Clapperton y McEwan, 1985; Clapperton y Vera, 1986) modifican sustancialmente el modelo de Sauer de las cuatro glaciaciones debido a que los materiales fluvio-morrénicos y glacio-lacustres de las dos primeras glaciaciones corresponden a lahares de relleno de valle en la localidad tipo de Río Chiche. Al presente la geología glacial queda supeditada al estudio de los tres tipos de morrenas *in situ* localizados por Hastenrath (1981).

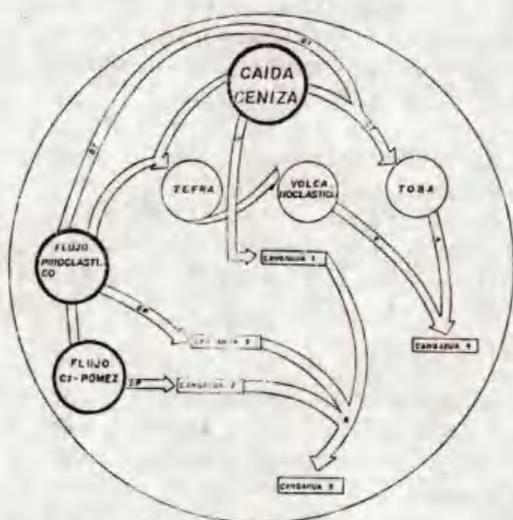
Estratigráficamente la cangahua se encuentra en discordancia sobre los volcánicos pliocénicos y en concordancia debajo de los depósitos recientes de cenizas modernas datadas 6,466+/-55 AP (Longo, 1980). Una datación anterior (Bristow y Hoffstetter, 1977) dio una edad C^{14} mayor de 48,800 AP a un nivel de 50 m de profundidad en el valle interandino, el espesor de la cangahua total estimado en el valle está en el rango de los 120 m.

Mineralógicamente, en lo relacionado a la fase cristalina los minerales más comunes son plagioclasa, hornblenda, augita biotita y cuarzo (Sauer, 1950). Un estudio mineralógico posterior (Espinosa, 1983) demostró además la presencia de feldespato de K, magnetita y un porcentaje promedio de vidrio sobre 30. En el presente estudio se determinó que la composición de la plagioclasa está en el rango andesina-albita, la presencia de cristobalita y vidrio desvitrificado. El vidrio generalmente está alterado y manchado con pigmentos de óxido de hierro, los que no permiten su caracterización por el índice de refracción. La cantidad de vidrio es variable, en todo caso no menor a un tercio del total. El material de tamaño de arcilla es amorfo encontrándose ocasionalmente trazas de montmorillonita.

Estudios de las propiedades mecánicas de la cangahua realizados en la Politécnica Nacional en trabajos de tesis (Castillo, 1982; Alvarez, 1984) indican el comportamiento de la cangahua en el rango de una roca blanda. Crespo (1987) y Plaza (1990) coinciden en señalar que la gran variabilidad mecánica de la cangahua se debe a

su alta porosidad, abundante material amorfo y amplia variación en el contenido de humedad crítico para los ensayos *in situ* y de laboratorio. Esto también se comprobó, por la susceptibilidad en el cambio del peso de las muestras debido a las variaciones de humedad atmosférica durante los ensayos de agrietamiento por acción solar.

Vera y Lopez (1986) proponen una clasificación moderna litogenética de la cangahua con tres tipos primarios: de caída, de flujo y pedogenética, además de la cangahua secundaria o retrabajada (Fig. 1). El presente trabajo tiene el objetivo de probar y modificar este modelo a la luz de 25 muestras estratégicas estudiadas a detalle en el campo y en el laboratorio.



DP - Diagenesis Parcial
DT - Diagenesis Total
P - Pedogenesis
R - Redeposicion

Fig 1.

(Vera - López 1991)

Fig. 1. Clasificación litogenética de las Cangahuas (modificada de Vera y Lopez, 1986, Fig. 3).

MODELO DE CLASIFICACION DE LA CANGAHUA

Para establecer una sistemática de clasificación de la cangahua, se utiliza el sistema matricial, considerando los dos parámetros más relevantes: el origen geológico y la cementación. Para

determinar el origen geológico se tomaron en cuenta, en orden de importancia los siguientes aspectos; textura, litología, morfología-estructura y relación estratigráfica y/o de facies, surgiendo de esta forma cinco tipos: caída de ceniza (1), flujos de ceniza y pómez (2), flujos piroclásticos (3), de desarrollo pedogenético (4) y de retrabajamiento (5). (Fig. 1).

Con excepción del tipo 4 el factor más crítico en los demás es el factor de cementación que formó los siguientes grupos: cemento de material arcilloso (A), cemento silicio (B), cemento de óxidos de hierro (C) y cemento calcáreo (D). En la práctica existe una mezcla de los cementantes en las diferentes cangahuas; sin embargo, se toma en cuenta para esta clasificación el cemento dominante. El número mínimo teórico de cangahuas, en el modelo establecido suma veinte en relación con su origen geológico y material cementante (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución aproximada de subtipos de cangahuas en función del cemento, en áreas cercanas a Quito (25 muestras).

Tipo Cangahua	Cemento			
	Material arcilloso amorfo A	Silice B	Oxidos de hierro C	Carbonatos D
1 Caída de ceniza (Primario)		■	■	■
2 Flujo de lodo (Primario)	■	■	■	■
3 F. piroclástico (Primario)	■	■		■
4 D. pedogenético (Secundario)	■	■	■	■
5 Mixto coluvial (Secundario)	■	■	■	■

/// Ocurrencia Dominante. ■ Ocurrencia menos común.

Cuadro 2. Esquema de las características de los cinco tipos de cangahuas del Ecuador.

	TIPO 1 CAIDA DE CENIZA	Ceniza gradada, con escasos líticos angulares y subangulares en la base, color caki, 10YR7/4, material orgánico <1%, muy fina, pendiente de presentación >30%, elevación 2400-4000 msnm. Depósitos periclinales.
	TIPO 2 FLUJO DE LODO (Cz-Pómez)cos.	Ceniza con líticos diversos y desordenados, color café medio, 10YR6/3, material orgánico >1%, fina a media, pendiente de presentación < 10%, elevación < 3000 msnm. Depósitos en terrazas y abanicos.
	TIPO 3 F. PIRO-CLASTICO	Ceniza con estructuras de ondulaciones, ocasionales fragmentos orientados de vegetales calcinados, color crema y naranja (rosáceo), 10YR7/3, gruesa a fina, pendiente 10-30%, elevación 2600-3200 msnm. Depósitos en pendientes, contrapendientes y de relleno proximal a distal.
	TIPO 4 PEDOGENETICA	Color café variable, comúnmente con presencia de bolitas de Coprinisphaera, color café medio a oscuro, 10YR4/4, material orgánico >1%, fina, pendientes variables, elevación por los 3000 msnm. Desarrollo pedogenético total o parcial. Depósitos locales.
	TIPO 5 MIXTO, COLUVIAL	Mezcla de cenizas y en general cangahuas retrabajadas, de remoción lenta y rápida, incluye depósitos subacuáticos y subaéreos, color y material orgánico variables, grano medio a grueso, pendientes y elevación variable. Depósitos de piedemonte y de relleno locales.

TIPOS DE CANGAHUA

Los tipos de cangahua (Cuadro 2) se han comprobado realizando los siguientes estudios de: Clasificación de campo versus granulometría vía húmeda para la muestra total y la fracción lavada arenosa para determinar la desagregabilidad y extraer el material cementante, mineralogía, petrografía, difracción y análisis químicos (Lopez y Vera, 1990). También se realizaron ensayos de absorción de agua, índices de agrietamiento, permeabilidad relativa y pruebas de penetrometro (Torres, 1989).

Tipo 1: Cangahua de Caída de Ceniza

Depósito primario, gradado normal con esporádicos líticos en la base, color en seco 10YR 7/4 - 8/2 - 7/2. Depósito periclinal de espesores variables sin estructuras internas, se encuentra estratigráficamente en varios ciclos asociados a depósitos de lapilli de pómez, granulométricamente unimodal, con asimetría a los finos (<45 μ). Su contenido de vidrio es mayor que el contenido de cristales, su cementación es variable generalmente sílicea. La localidad típica es en los alrededores de Puenbo-Pifo.

Tipo 2: Cangahua de Flujo de Ceniza y Pómez

Depósitos primarios de flujo de ceniza y/o pómez contienen líticos y pómez redondeada en cantidades variables dependiendo de la proximidad a la fuente, color 10YR 6/3 - 5/3 - 3/3. Estos están en los cambios de pendiente o valles, con morfología aterrazada o de rellenos acolinados por la subsecuente erosión. La localidad típica para la forma acolinada es el valle en el sector de Aloag a lo largo de la Panamericana Sur. Es típicamente bimodal de arena a limo (~150, < 45 μ) y su contenido de vidrio es igual o menor a la suma de cristales y líticos, se observa trazas de cristobalita. La cementación es menor a los de los otros tipos y principalmente es material arcilloso amorfo.

Tipo 3: Cangahua de Flujo Piroclástico

Depósito primario de flujo piroclástico donde el material más grueso está a la base en estructuras de "surge" continuándose con gradación normal a material más fino con esporádicos fragmentos de pómez. El material basal generalmente no está alterado y su contacto es transicional a cangahua. Se localiza en las pendientes hacia el callejón interandino, por ejemplo en la quebrada Chaupipilla afluente de la Parcaayaco en la vía a Nono. Su color está en el rango 10YR 7/3 - 4/6 - 5/4. Granulométricamente es unimodal con asimetría negativa o bimodal por la cantidad de agregados y material fino (>710 y <45 μ). Se caracteriza por su contenido de vidrio mayor al de cristales, presencia de material orgánico quemado, y su asociación a material juvenil no alterado. El material cementante es variable.

Tipo 4: Cangahua de Desarrollo Pedogenético

Depósito secundario sobre los tres tipos anteriores, pertenecen a esta categoría las cangahuas de los espesores más finos (< 2 m) donde el proceso pedogenético generalmente atraviesa el espesor del depósito. Su color más

oscuro, 10YR 4/4 - 5/3 - 4/3, es debido a la presencia de materiales orgánicos. Presenta estructuras tubulares de raíces y nidos fósiles de escarabajos *Coprinisphaera ecuatorianensis*, (Sauer, 1955). El carácter granulométrico es bimodal por la presencia de agregados y finos, tiene vidrio y cristales muy alterados. El material arcilloso amorfo entre 20-30% es el cemento predominante.

Tipo 5: Cangahua de Retrabajamiento

Depósitos secundarios producto de la erosión de los otros tipos por procesos lentos de reptación o catastróficos. La acumulación lenta provoca el subtipo 5.1, un clásico relleno por el cual se tiende a suavizar las laderas del valle, el cauce mismo es estrecho y con taludes verticales. El material es homogéneo, fino con niveles de arena volcánica lavada, su cemento fundamental es material arcilloso y óxidos de hierro.

El producto de la acumulación rápida o catastrófica es material coluvial del subtipo 5.2, caracterizado por su localización en el piedemonte y la presencia de líticos inclusive fragmentos de la cangahua pre-existente. La textura es muy heterogénea y su cementación escasa.

CONCLUSIONES

1. Cangahua se define como una roca blanda, porosa, cuyos agregados en saturación no se pueden dispersar por la presión de los dedos de la mano. Está compuesta de materiales alterados de ceniza y material piroclástico fino vítrico-cristalino de composición dacítica-riolítica, cementada por procesos diagenéticos parciales y/o pedogenéticos. Los materiales cementantes principales son: material arcilloso amorfo, sílice y óxidos de hierro y secundario el carbonato de calcio.

2. La cangahua por su capacidad de retención de humedad, su facilidad de hidratación y alteración, está afectada climáticamente desde su inicio. La alteración se realiza en periodos sucesivos vía

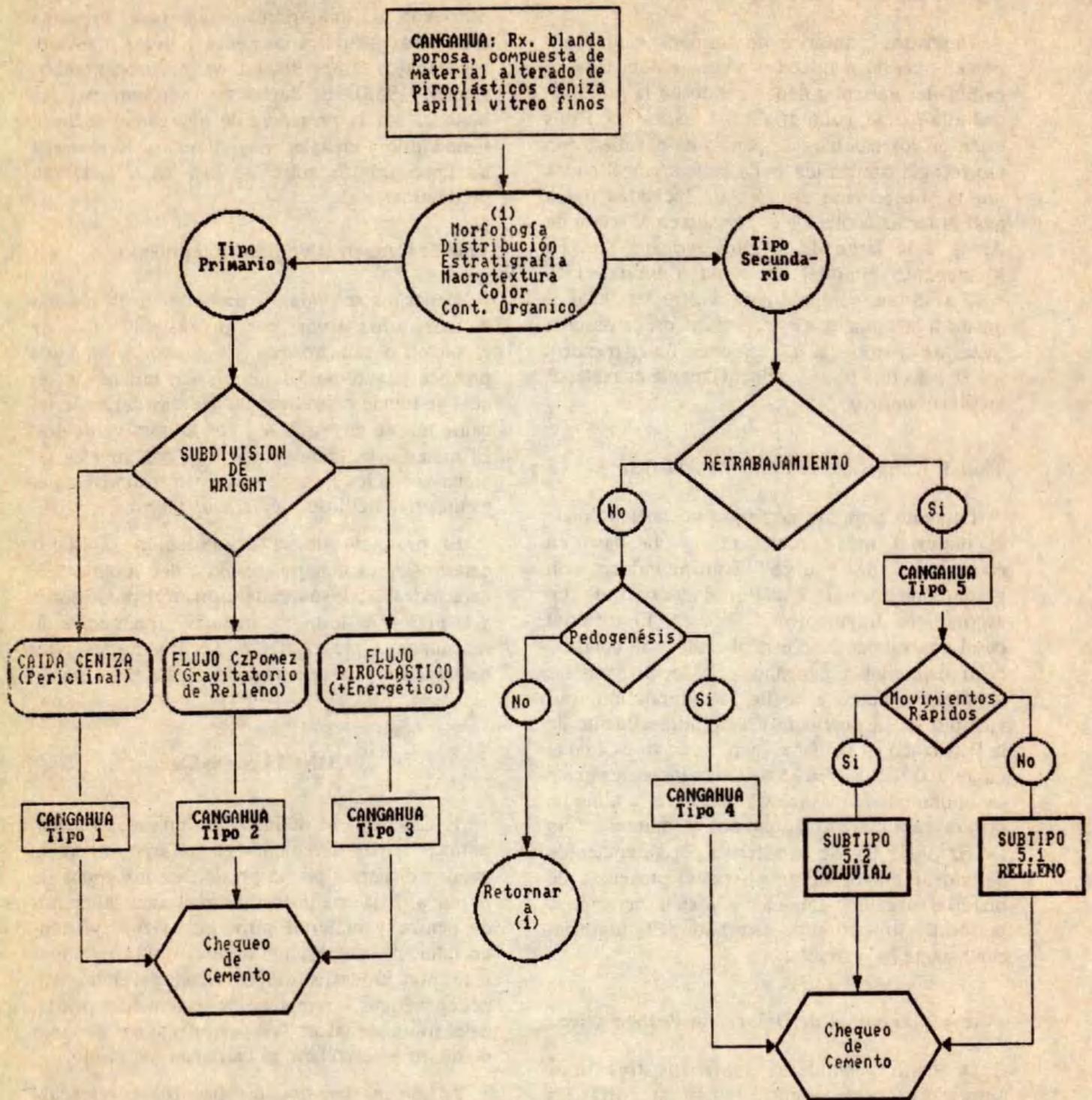


Figura 2. Diagrama de flujo de clasificación de las Cangahuas del Ecuador.

percolación, inyección, capilaridad y nucleación definida aquí como la hidratación acrescional casual.

3. Tres de los cinco tipos de cangahua coinciden con los tipos de depósitos piroclásticos de Wright (*in* Cas y Wright, 1987). Los tipos 4 y 5 se discriminan en función del retrabajamiento y pedogénesis (Fig. 2).

4. La sistemática aquí propuesta, origen geológico versus material cementante, puede admitir otros subtipos de las diferentes cangahuas según otros parámetros de laboratorio, como índice de agrietamiento relacionado al porcentaje de material arcilloso amorfo, limo y material arenoso. Otros parámetros pueden ser: la porosidad y la permeabilidad.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ, B. 1984. Estudios geotécnicos de los barrios Aida León, Argelia y San Luis al sur de Quito. Politécnica Nacional, Tesis no publicada, Ecuador.
- BRISTOW, R. y Y. R. HOFFSTETTER. 1977. Lexique stratigraphique international, Vol V. 411 p.
- CAS, R.A.F. y J. V. WRIGHT. 1987. Volcanic successions modern and ancient. Allen & Unwin, London. 518 p.
- CASTILLO, M. 1982. Estudio Geotécnico de la Cangahua en los alrededores de Quito. Politécnica Nacional, Tesis no publicada, Ecuador.
- CLAPPERTON, C. M. y C. McEWAN. 1985. Late Quaternary moraines in the Chimborazo area, Ecuador. *Artic and Alpine Research* 17: 135-42.
- CLAPPERTON, C. M. y R. VERA. 1986. The Quaternary glacial sequence in Ecuador: A reinterpretation of the work of Walter Sauer. *Journal of Quaternary Science* 1: 45-56.
- CRESPO, E. 1987. Slope stability of the Cangahua formation, A volcanoclastic deposit from the interandean depression of Ecuador. Unpublished Ms Thesis of Cornell University. 146 p.
- DE NONI, G., J. F. NOUVELOT y G. TRUJILLO. 1985. Erosion and conservation of volcanic ash soils in the Highlands of Ecuador: A case study. pp. 263-274. *In*: Proceedings of the Sixth International Soil Classification Workshop Chile and Ecuador. Part 1 papers.
- ESTRADA, A. 1941. Contribución geológica para el conocimiento de la Cangahua de la región interandina y el Cuaternario en General del Ecuador. *Anales Universidad Central de Quito* 66 (312): 405-88.
- ESPINOSA, T. 1983. Mineralogía de la Cangahua, Memoria III Congreso Ecuatoriano de Ingenieros Geólogos de Minas y Petróleos, tomo 1 B, Guayaquil.
- HASTENRATH, S. 1981. Glaciation of the Ecuadorian Andes. A.A. Balkema, Rotterdam. 159 p.
- LONGO, R. 1980. Mapa geológico. Hoja Quito 1/100,000. Dir. Gen. de Geología, Quito, Ecuador.
- LOPEZ, R. y R. VERA. 1990. Metodología para la clasificación de la Cangahua, pp. 32-33. *In*: Resúmenes, I Jornada de Ciencias de la Tierra Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- MALDONADO, F. 1973. Estudio de una secuencia topo-climática en suelos volcánicos del Ecuador. Tesis Ph.D Universidad de Rijks, Ghent, Bélgica.
- PLAZA, G. 1990. Algunas observaciones sobre las características físico-mecánicas de la Cangahua, pp. 46-48. *In*: Resúmenes, I Jornada de Ciencias de la Tierra Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- SAUER, W. 1950. Contribuciones para el conocimiento del Cuaternario en el Ecuador. *Anales Universidad Central de Quito*. 77 (328): 327-264.
- SAUER, W. 1955. *Coprinishaera ecuadoriensis*, un fósil singular del Pleistoceno. Instituto Ecuatoriano de Ciencias Naturales, Quito. 1 (2): 123-132.
- SAUER, W. 1965. Geología del Ecuador. Editorial del Ministerio de Educación, Quito. 383 p.
- TORRES, P. 1989. Sugerencia de clasificación de la Cangahua. Politécnica Nacional, informe no publ. 58 p.
- VERA, R. y LOPEZ, R. 1986. El origen de la Cangahua, Paisajes geográficos. Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas (CEPEIGE) 16: 21-28.

CARACTERISTICAS ESPECTRALES DE LA CANGAHUA EXPUESTA EN EL ECUADOR

Spectral Characteristics of the Cangahua in Ecuador

Augusto González Artieda¹ y Richard V. Ringleb²

¹ CLIRSEN, Quito, Ecuador.

² University of Montana, USA.

Palabras clave: Ecuador, Suelos volcánicos, Capas endurecidas, Génesis.

Key words: Ecuador, Volcanic soils, Indurated horizons, Genesis.

RESUMEN

Información satelitaria LANDSAT-TM y datos radiométricos obtenidos *in situ* con un espectro-radiómetro de campo, sirvieron para identificar algunas características espectrales de suelos endurecidos (cangahua) del Callejón Interandino Ecuatoriano en un área aproximada de 25,000 km².

En 3 subescenas satelitarias de 512 x 512 píxeles cada una, se efectuaron tratamientos digitales de análisis individual de las 7 bandas TM LANDSAT, relaciones de bandas, índices de vegetación y composiciones de color, para discriminar el uso del suelo y delimitar las unidades fisiográficas con presencia de cangahua.

Adicionalmente, se realizaron tomas radiométricas en el campo, utilizando un radiómetro tipo Exotech 100 A x M + T calibrado con las 4 primeras bandas del TM, obteniéndose curvas espectrales típicas de la cangahua, suelo y vegetación.

SUMMARY

Information from LANDSAT-TM satellite and radiometric data obtained *in situ* with a field spectroradiometer, was used to identify certain spectrum characteristics of indurated soils (cangahua) of the Ecuadorian "Callejón Interandino" in an approximate area of 25,000 km².

In order to distinguish the use and to establish the physiographic units containing cangahua we made the following analysis from three satellite images of 512 x 512 pixels each: individual digital treatments of the 7 TM LANDSAT bands, band relations, vegetation index and color compositions.

In addition radiometric measurements were done in the field, using an Exotech 100 A x M + T type radiometer gauged with the four first bands of the TM, obtaining spectral curves which are characteristics of the cangahua, soil and vegetation.

INTRODUCCION

Sobre una gran extensión del callejón interandino o Sierra, una de las cuatro regiones naturales en las cuales está dividido el Ecuador, se

encuentran localizadas grandes áreas de suelos erosionados endurecidos, generalmente conocidos como cangahua.

En realidad la cangahua en muchos casos viene a constituir un tipo de material subyacente sobre el cual depósitos volcánicos más recientes han dado origen a la formación de los suelos.

Cuando el uso agropecuario intensivo, el manejo inadecuado y severos procesos de erosión hídrica y eólica han acabado con los horizontes superficiales, aflora la cangahua, la misma que se caracteriza por su grado de dureza en función de los componentes cementantes especialmente sílice, óxidos de hierro y carbonatos de calcio.

Es en este estado cuando desde el punto de vista de uso agropecuario se presentan los problemas y limitaciones para su explotación, precisamente por la dificultad para las labores de siembra.

Cartográficamente estas unidades geográficas han sido identificadas en los mapas geológicos y de suelos realizados en el país, sin embargo, su generalización no ha permitido separar las áreas completamente erosionadas, de aquéllas que todavía tienen algo de suelo arable. Este aspecto adquiere gran importancia cuando se tiene en perspectiva la ampliación de la frontera agrícola.

El estudio general de la cangahua en el Ecuador actualmente en ejecución a través de un proyecto coordinado por la AID y la Universidad de Montana con la participación de profesionales de la Escuela Politécnica Nacional de Quito, PRONAREG y CLIRSEN abordará con todo detalle el problema global de la cangahua: génesis y formación, grado de dureza, variabilidad espacial y recuperación.

El objetivo del estudio que se presenta en este reporte es enfocar el uso de la información satelitaria, como una herramienta que facilite el mapeo y la distribución de este material en el país.

REVISION DE LITERATURA

A partir de los primeros resultados de recursos naturales obtenidos de los datos producidos por los satélites, varios investigadores especialmente norteamericanos, empezaron a estudiar el comportamiento espectral de las características de la superficie terrestre.

La gran cobertura espacial y el amplio rango espectral que caracterizan a la información satelitaria, han hecho de ésta una valiosa herramienta para el mejor conocimiento de los recursos naturales. Para el estudio de los suelos, se ha probado que los sensores montados en plataformas espaciales, aeroplanos y satélites pueden ser usados de una manera efectiva en la preparación y obtención de mapas de suelos y de uso del suelo, mejorando los métodos tradicionales de los levantamientos.

Estudios espectro-radiométricos de suelos han contribuido a una mejor comprensión de los factores que influyen en la reflectancia de los suelos. Una variedad de parámetros del suelo y sus condiciones individuales contribuyen a la caracterización espectral del mismo. Estos parámetros incluyen propiedades físico-químicas como humedad, contenido de materia orgánica, tamaño de partículas y agregados, contenido de óxidos de hierro, mineralogía, etc. Por otro lado las condiciones que afectan la radiación de los suelos en su estado natural como: cobertura vegetal, rugosidad, encostramiento, sombras y el sistema de explotación, influyen notablemente en las respuestas espectrales.

En cuanto a características de rugosidad, Cipra *et al.* (1980) encontraron que superficies con costras dieron altos valores de reflectancia entre 0.43 y 0.73 μm mayores a los de suelos sin encostramiento. Bajas reflectancias en suelos disturbados fueron atribuidos a la rugosidad superficial, la cual presumiblemente causaba dispersión de la luz produciendo efectos de sombra.

Con relación al material parental, Matheus *et al.* (comunicación personal, 1973) demostraron la influencia de este parámetro en la reflectancia

del suelo. Curvas de reflectancia para suelos desarrollados a partir de calizas, pizarras y areniscas, presentaron formas características en todas las longitudes de onda, para cada uno de los materiales de origen.

En su estudio sobre características espectrales de suelos volcánicos del Ecuador, González (1985) confirma la relación inversa entre el contenido de materia orgánica de los suelos, con sus valores de reflectancia, encontrando que las muestras con mayor contenido de materia orgánica presentaban los valores más bajos de reflectancia, especialmente en las longitudes de onda que corresponden al campo visible.

Leamer *et al.* (1978) reportaron que a 1.65 y 2.2 μm , los suelos secos son más reflectivos que las plantas vivientes. Entonces las bandas 5 y 7 podrían ser muy útiles para la diferenciación que permita separar los campos cultivados por la densidad de cobertura de vegetación. Mientras la cangahua expuesta soporte poca o ninguna vegetación, esas bandas mostrarían las reflectancias más altas de la cangahua expuesta.

Da Costa (Comunicación personal, 1979) reportó 5 bandas características de carbonatos: 1.90, 2.00, 2.16, 2.35 y 2.58 μm , por lo cual la banda 7 del LANDSAT-TM (2.08 - 2.35 μm) puede ser también muy valiosa para la diferenciación entre cangahua con carbonatos de la cangahua sin carbonatos.

Las bandas 5 y 7 del infrarrojo cercano proveen mayor información sobre suelos. Segal *et al.* (1984, 1986) relacionaron información de la banda 5 sobre la banda 7 para localizar tipos de suelos (arcillas) importantes para la acumulación de hidrocarburos.

La información de las bandas 5 y 7 están estrechamente relacionadas con el contenido de humedad de la vegetación y/o de los suelos.

AREAS DE ESTUDIO

Las áreas de estudio seleccionadas se encuentran localizadas en los sectores norte y

centro del valle interandino ecuatoriano, cubiertas por las cartas topográficas de: Ibarra, Sangolquí y Salcedo, escala 1 : 50,000, publicadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM).

La característica general de las tres áreas es que presentan suelos cuyo origen es similar: volcánico, y en las que se han identificado previamente grandes unidades de cangahua expuesta y suelos sobre cangahua. Sin embargo, las condiciones climáticas y de vegetación son diferentes en cada una de ellas, lo cual ha permitido tener una gran representatividad ecológica.

La zona de Ibarra cuyo promedio altitudinal es de 2,600 msnm es parte de la cuenca intraandina formando un graben rellenado con sedimentos volcánico-detriticos, del Cuaternario, umbrales y niveles tectónicos.

Con un clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo, tiene una pluviometría media anual de 636 mm en dos estaciones lluviosas, una temperatura media anual de 15.8 °C y una humedad relativa entre el 65 y 85%.

Dentro de la clasificación de Holdridge, su formación vegetal corresponde a la Estepa Espinosa Montano Bajo cuya vegetación dominante en los sitios de afloramiento de la cangahua, es un matorral de tipo xerofítico con especies de Mosquero (*Croton sp.*), Tuna (*Opuntia sp.*) y Cabuya Negra (*Agave american*).

El área de Sangolquí (Ilaló), geomorfológicamente similar a lo anterior, forma también parte de la cuenca intraandina, y presenta una elevación media de 2,800 msnm. Presenta ligeras variaciones climáticas caracterizadas por una mayor precipitación anual con promedios cercanos a los 1,000 mm. La temperatura media anual es de 14.3 °C y la humedad relativa superior a 80%.

La formación ecológica corresponde a Bosque Húmedo Montano Bajo, caracterizada en esta zona por la casi extinción de la cobertura vegetal original, encontrándose en las partes altas pajonales de los géneros *Stipa* y *Festuca*. En las áreas de erosión se encuentran actualmente bosques de eucaliptos y vegetación rastrera poco densa.

El área de Salcedo presenta evidencias de acciones volcánicas recientes, volcanismo explosivo (andesitas y dácitas), conos, coladas lahares y piróclastos.

Climáticamente también puede ser considerado como ecuatorial Mesotérmico Semihúmedo, con valores de precipitación media anual de 475 mm, temperatura media anual de 14.4 °C y humedad relativa de 70%.

Tiene una formación que corresponde al Monte Seco Montano Bajo, desprovisto de su cubierta vegetal natural debido a acciones antrópicas encontrándose como plantas indicadoras al Nogal (*Juglans neotrópica*), Chinchi (*Cassia tomentosa*), Sigse (*Cartaderia nftida*) y Cholan (*Tecana Staus*).

MATERIALES Y METODOS

Selección de Información Satelitaria

Para la aplicación de los procesos y técnicas de análisis digital, se seleccionaron tres subescenas de 512 x 512 pixeles de imágenes geocodificadas cuya resolución del pixel es de 25 x 25 m, correspondientes al sensor TM del satélite LANDSAT 5.

Las especificaciones de cada una de las 3 subescenas fueron las siguientes:

Imagen: Ibarra

Satélite: LANDSAT 5

Sensor: TM

ID: 52080145045

Coordenadas: WRS: Path 10, Row 60

Producto: CCT - Diskette

Fecha de adquisición: 10-11-89

Imagen: Ilaló

Satélite: LANDSAT 5

Sensor: TM

ID: 52080145045

Coordenadas: WRS: Path 10, Row 60

Producto: CCT - Diskette

Fecha de adquisición: 10-11-89

Imagen: Salcedo

Satélite: LANDSAT 5

Sensor: TM

ID: 52752145036

Coordenadas: WRS: Path 10, Row 61

Producto: CCT - Diskette

Fecha de adquisición: 13-09-91

Imágenes Desarrolladas

Con base en los programas de aplicación ERDAS versión 7.4 y ERDAS versión 7.3 en computadores personales e IBM-AXT de 640 Kb, se realizaron los siguientes procesos de análisis digital:

- Análisis individual de bandas (1-7)
- Relación banda 4 sobre banda 5 (R 4/5)
- Relación banda 7 sobre banda 5 (R 7/5)
- Índice de vegetación: B4 x (255-B5)/B3
- Composición de color B 4,5,3.

Trabajo de Campo y Toma de Datos Radiométricos

En cada una de las tres grandes áreas seleccionadas se efectuó un recorrido general del terreno que permitió delimitar exactamente las áreas en las cuales se encontraba la cangahua expuesta, relacionándola con las imágenes satelitarias producidas. Se examinó la distribución espacial de la cangahua y su correlación con las unidades de paisaje.

Se coleccionó información adicional sobre elevación del terreno, pendiente, aspecto general, porcentaje de la cangahua expuesta, porcentaje de cobertura vegetal, porcentaje de cobertura de suelo y profundidad, información que fue recogida en el formulario diseñado para las medidas radiométricas.

Estas fueron efectuadas en tres sitios escogidos al azar en cada una de las tres áreas de estudio.

Se utilizó un radiómetro de campo modelo Exotech A x M + T, el mismo que posee cuatro canales disponibles para las bandas espectrales,

calibradas de la misma manera que el sensor TM de los satélites LANDSAT, en las siguientes longitudes de onda: 0.45 - 0.52; 0.52 - 0.60; 0.63 - 0.69 y 0.76 - 0.90 μm .

Las mediciones espectrales se tomaron siguiendo este procedimiento:

a) Toma de las medidas de reflectancia de una muestra-patrón (cartulina blanca). Prod. N° 1.

b) Toma de las medidas de reflectancia de: cangahua, suelo, vegetación. Producto N° 2.

El valor de la reflectancia relativa expresada en porcentaje se obtuvo de dividir $2/1 \times 100$.

Adicionalmente con la ayuda de una computadora portátil con software de aplicación Micropops, se efectuaron nuevos procesos digitales para modificar y corregir los tratamientos efectuados en el laboratorio, lo que permitió una mejor discriminación de las unidades de cangahua.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis individual de las 7 bandas espectrales permitió en primer lugar la selección de las bandas 4, 5 y 3 para la composición de color, cuya imagen resultante sirvió para la interpretación visual y el delineamiento de las unidades fisiográficas, posteriormente comprobadas con el trabajo de campo.

Con esta composición se obtuvo una buena definición de los principales rasgos físicos del terreno, pudiendo separarse las áreas de cultivos cuyas tonalidades variaron entre los colores rosado oscuro, naranja y rojizo amarillento.

La forma geométrica de las parcelas fue el elemento de análisis para discriminar las áreas de cultivos de las áreas de pastos, puesto que esta clase también presenta coloraciones más o menos similares en las imágenes de color compuesto; sin embargo, las grandes parcelas de pastos artificiales presentaban en general coloraciones verde amarillentas y verde claras.

Las áreas de vegetación natural fueron identificadas por su coloración verde oliva y las áreas descubiertas por su tonalidad azul violeta.

Con esta separación visual se procedió entonces al análisis espectral de cada una de las subescenas, seleccionando a priori clases de cobertura que luego fueron comprobadas en el campo. Los resultados para cada una de las tres zonas están resumidos en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de la imagen Salcedo.

Nombre de la Clase	B4	B5	B3	Coloración
Cultivos parcelas grandes	122.0	94.6	47.0	Anaranjado
Cultivos parcelas pequeñas	79.2	90.2	55.4	Rojo oscuro
Áreas descubiertas suelos 1	84.6	131.8	93.2	Celeste claro
Áreas descubiertas suelos 2	65.6	110.4	68.2	Plomizo
Vegetación 1	63.6	129.8	59.0	Verde claro
Vegetación 2	81.8	154.5	81.6	Verde pálido

Relacionando estas clases separadas en el análisis visual de la imagen con su correspondencia en el campo, se pudo interpretar que los valores bajos de la banda 4 (infrarrojo cercano) para el caso de las parcelas pequeñas podrían deberse a la influencia del suelo con el cultivo (especialmente maíz), pues estas áreas son minifundios localizados en pendientes fuertes, diferentes a las áreas de grandes parcelas ubicadas en pendientes suaves o planas.

La clase nombrada como Suelos 1 corresponde a áreas erosionadas muy secas pero con presencia de una delgada capa de suelo arenoso fino, diferente a la clase Suelos 2 que en realidad son las unidades de cangahua expuesta, cuyo material cementante dominante es la sílice que le da una coloración pardo oscura, lo cual está reflejado en general, en los valores espectrales un poco más bajos, comparándolos con la clase Suelos 1.

Las respuestas espectrales para las clases de vegetación no pueden considerarse como representativas, pues no es el comportamiento que de acuerdo a la teoría debería tenerse, determinándose en el campo que estas áreas constituyen asociaciones con áreas descubiertas y por lo tanto con influencia de suelo.

Los valores radiométricos tomados en esta área de estudio corresponden a una superficie de cangahua expuesta que presentaba dos tonalidades en su material y a un tipo de vegetación escasa presente en estas unidades.

Los valores espectrales de campo y las curvas obtenidas se presentan en el anexo.

Cuadro 2. Características de la imagen Ilalo.

Nombre de la Clase	B4	B5	B3	Coloración
Carreteras	60.5	80.5	61.0	Gris oscuro
Cultivos	101.0	85.4	38.2	Rosado oscuro anaranjado
Pastos	98.8	165.0	38.2	Verde amarillento
Vegetación natural	63.0	117.0	33.0	Verde oliva
Áreas descubiertas				
Suelos	66.4	79.6	54.6	Azul violeta
Área urbana Quito	55.0	101.5	73.5	Azul claro

Nótese que los valores espectrales de las clases Cultivos y Pastos, son bastante similares en las bandas 3 y 4, sin embargo en la banda 5 de humedad, la diferencia es significativa. En el campo se pudo determinar que los pastos no tenían riego, lo cual indicaría la respuesta con valores altos en la banda 5 para esta clase.

La vegetación natural en las áreas de cangahua en esta zona es escasa, presentando ligeras manchas dentro de las unidades erosionadas. Presentan condiciones de sequedad, especialmente la paja de páramo (*Stypa ichu*). Estas características físicas de las plantas se reflejan en las características espectrales que son típicas para vegetación seca con influencia de suelo descubierto.

Los valores para la clase de áreas descubiertas, que en la realidad son los de cangahua expuesta, mantienen gran correlación y la forma de la curva con valores ascendentes está de acuerdo con el comportamiento teórico mencionado en la revisión de literatura.

Las lecturas radiométricas para esta área de estudio, se tomaron en muestras de cangahua que

presentaba costras de carbonato en superficie y en una muestra de vegetación considerada como pasto natural (ver anexo).

Cuadro 3. Características de la imagen Ibarra.

Nombre de la Clase	B4	B5	B3	Coloración
Cultivos	106.5	72.5	39.7	Rojizo claro
Cultivos 2	292.6	72.6	34.6	Rojo oscuro
Áreas descubiertas	63.9	102.2	73.2	Azul violeta

El análisis espectral en esta subescena muestra valores considerados como típicos para la vegetación en las clases Cultivos y Cultivos 2 con valores bajos en la banda 3 de absorción clorofílica, valores altos en la banda 4 del infrarrojo cercano, como acción acumulativa de las hojas verdes y valores bajos en la banda 5 del infrarrojo medio como consecuencia del contenido de humedad de las hojas.

En cuanto a los valores medios de la clase áreas descubiertas, pueden también considerarse como normales y los que corresponden a la respuesta típica de los materiales endurecidos - cangahua - cuyo material cementante la sílice oscurece la matriz principal del suelo.

Relación Banda 4 Sobre Banda 5 (R 4/5)

La banda 4 del sensor TM-LANDSAT correspondiente al infrarrojo cercano fue relacionada con la banda 5 del infrarrojo medio, obteniéndose de esta manera una mejor discriminación de los tipos de vegetación en las tres imágenes analizadas.

Para la imagen de Salcedo se obtuvo una buena definición entre las áreas de cultivos y los pastos, en función del contenido de humedad determinado por la banda 5.

En las imágenes de Ibarra e Ilaló: igualmente se encontró una buena correlación al utilizar esta relación de bandas, obteniéndose valores altos para las zonas de cultivos frente a valores bajos de áreas sin vegetación.

Relación Banda 7 sobre Banda 5 (R 7/5)

Mediante la utilización de este algoritmo, las imágenes resultantes permitieron algunas discriminaciones dentro de las unidades de áreas descubiertas o suelos desnudos.

Así se pudo visualizar con mayor precisión las áreas que geográficamente correspondían a las ciudades de Quito y las poblaciones de Tumbaco y la Merced, rasgos físicos que en otras imágenes no eran muy visibles.

En las áreas en las cuales existe cangahua expuesta, en la misma imagen Ilaló, se obtuvieron además valores brillantes, que probablemente correspondían a la presencia de la cangahua con carbonatos.

$$\text{Índice de vegetación} = \frac{(B4 - B3) \times 127}{B4 + B3}$$

El más común de los índices de vegetación, la diferencia normalizada que se empleó en este estudio, fue la que mejores resultados proporcionó, obteniéndose para las tres áreas de estudio, imágenes resultantes en las cuales se pudo separar nítidamente las áreas con vegetación de las áreas descubiertas o suelos desnudos.

$$\text{Índice de vegetación} = \frac{(B4 \times (255 - B5))}{B3}$$

Este algoritmo desarrollado por Rick Ringleb, incluye la banda 5 infrarrojo medio en la fórmula tradicional de un índice de vegetación.

Se obtuvo con esta relación una mejor discriminación en las áreas con vegetación; al separar algunos tipos específicos de vegetación controlados por el grado de humedad, caso que pudo observarse en la imagen de Ibarra, en el trazado de la carretera Aluburo-Chota.

Como resumen de los tratamientos digitales arriba expuestos, a continuación se presenta el Cuadro 4:

Cuadro 4. Nivel de reflectancia de las imágenes según el tipo de cobertura.

Imagen	Vegetación Verde	Vegetación Amarilla	Suelos
B4	+	-	+
B5	-	-	+
B3	-	+	+
R 4/5	+	-	-
R 7/5	-	+	+
NDVI	+	-	-
RICKVI	+	-	-

+: alta reflectancia -: baja reflectancia

CONCLUSIONES

La distribución espacial de la cangahua en el Ecuador es bastante irregular y no se ha podido definir una buena correlación con las unidades fisiográficas, encontrándose que este material igual está presente en áreas de fuertes pendientes de los piedemontes de cordillera, como en áreas planas del callejón interandino.

El empleo de los procesos de análisis digital, especialmente la obtención de imágenes de color compuesto, ha permitido la delimitación de las grandes unidades de uso del suelo, encontrándose una excelente correlación de las unidades trazadas en laboratorio, con su correspondencia en el terreno.

Sin embargo, las superficies de cangahua expuesta, es decir, los afloramientos superficiales no son de gran extensión lo cual ha dificultado el delineamiento preciso con fines cartográficos. Realmente este material aparece en forma de pequeñas unidades asociadas con suelos erosionados y vegetación natural normalmente escasa.

Esta particularidad ha dificultado el análisis espectral, pues la resolución del sensor LANDSAT-TM no ha permitido una caracterización precisa de acuerdo a los objetivos que perseguía la investigación.

Se considera que esta dificultad podrá resolverse con los tratamientos específicos de análisis de índices de vegetación, y relaciones de bandas, que permitirán alcanzar la discriminación dentro de las unidades consideradas como áreas descubiertas, que incluyen a la cangahua expuesta y a los suelos erosionados. Estos resultados serán obtenidos al finalizar el estudio general de la Cangahua en el Ecuador.

La utilización del radiómetro de campo, ha demostrado ser un buen complemento a los datos satelitarios, con miras al estudio de las características espectrales de la cangahua en el Ecuador.

Los datos obtenidos como muestras indicaron que el método podrá ser válido cuando se requiera el análisis detallado en pequeñas superficies de confusión.

LITERATURA CITADA

CIPRA, J. E., D.P. FRANZMEIR, M. E. BAUER y R. K. BOYD. 1980. Comparison of multispectral measurements from some nonvegetated soils using LANDSAT digital data and spectrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 80-84.

GONZALEZ, A. 1985. Características espectrales de algunos suelos volcánicos del Ecuador. Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos, Quito, Ecuador.

LEAMER, Q.W., J.R. NOREIGA y C.L. WIEGAND. 1978. Seasonal changes in reflectance of two wheat cultivars. *Agron. J.* 70: 113-118.

SEGAL, D. B., M.D. RUTH, I. S. MERIN, M. WATANABE, K. SODA, O. TAKANO y M. SANO. 1984. Spectral remote sensing investigation of Lisbon Valley, Utah, pp. 273-292. *In: Proceedings of the International Symposium on remote sensing for exploration geology*, Colorado Springs, Co., USA.

SEGAL D. B., M. D. RUTH, y I. S. MARIN. 1986. Remote detection of anomalous mineralogy associated with hydrocarbon production, Linbon Valley, Utah. *The Mountain Geologist* 23 (2): 51-62.

VERA, R. y R. LOPEZ. 1986. El origen de la cangahua. *Paisajes Geográficos* 16: 21-28. CEPEIGE, Quito, Ecuador.

ANEXO 1: INTERPRETACION DE LAS CURVAS OBTENIDAS CON EL RADIOMETRO DE CAMPO

MUESTRA N° 1

Corresponde a la imagen ILALO; esta muestra fue tomada en la clase nominada como Areas descubiertas (suelos), cuya correspondencia en el campo es una zona de cangahua expuesta, color pardo amarillento, textura franco arcillosa.

El sitio del muestreo fisiográficamente es una ondulación, cuya pendiente oscila entre 5 y 12% a 2,580 msnm.

Al momento de la toma descrita condiciones de sequedad y la superficie del suelo está desprovista de vegetación.

De acuerdo al modelo de clasificación genética de Vera y López (1986), este tipo de material ha sido clasificado como cangahua tipo 3, cuyo origen es un flujo piroclástico.

Los valores espectrales para las 4 bandas son relativamente bajos, pero en todo caso los que podrían considerarse como normales en cuanto a la forma de la curva y que responden a la respuesta de una superficie desnuda-suelo.

MUESTRA N° 2

También correspondiente a la imagen ILALO; esta muestra fue tomada dentro de la misma unidad fisiográfica citada anteriormente, por consiguiente con las mismas características.

La variación consiste en haber escogido una zona en la cual afloraban costras de carbonato de calcio en superficie.

Esta característica físico-química, se ha visto reflejada en las respuestas tomadas con el radiómetro de campo.

Así se aprecia que los valores en las bandas aumentan con la particularidad que a partir de la banda 3 y en especial en la banda 4 los valores de reflectancia tienen un incremento significativo que de acuerdo a los conceptos teóricos

corresponderían precisamente a la presencia de carbonatos.

Esta diferencia anotada entre estas dos muestras de cangahua del mismo origen, justificaría entonces la utilización de la radiometría de campo para la discriminación de varias unidades en superficies pequeñas, que no podría lograrse con los datos satelitarios.

MUESTRA N° 3

Al igual que las anteriores corresponde a la imagen ILALO y fue tomada dentro de la misma unidad fisiográfica y bajo las mismas condiciones climáticas.

En este caso, la variación está en el tipo de cangahua identificado, pues esta muestra ha sido clasificada como tipo 1, cuyo origen es caída de ceniza.

La curva nos indica un valor alto para la banda 1, decreciendo en la banda 2 como pico de absorción, posiblemente debido a la influencia de la materia orgánica, característica que se menciona en la definición de este tipo de cangahua, con contenido mayor a 1%.

Los valores para las bandas 3 y 4 pueden considerarse normales y presentan una distribución similar a la muestra N° 1.

MUESTRA N° 4

Imagen ILALO, bajo las mismas condiciones climáticas. La zona seleccionada para el muestreo es una parte plana con pendientes entre 0 y 5%; la cobertura del terreno es una vegetación natural escasa tipo pasto bastante rala con influencia de suelos desnudos.

Espectralmente, la curva obtenida sigue los patrones típicos para una vegetación con un claro valle de absorción en la banda 3 que correspondería a la absorción por la clorofila y con aumento significativo en la banda 4 del infrarrojo cercano, también mencionado en la literatura como un comportamiento normal.

MUESTRA N° 5

Esta muestra corresponde a la imagen Salcedo y fue tomada en una unidad fisiográfica de piedemonte sobre una colina, cuya pendiente varía entre 12 y 25% a 2,690 msnm.

Ecológicamente es un monte seco montano bajo, y al momento del muestreo las condiciones climáticas eran de sequedad.

La muestra corresponde a un tipo de cangahua N° 3 de origen flujo-piroclástico y presenta como característica física dos colores en la matriz del material cementado: negro y amarillento.

La muestra N° 5 de color negro, presenta un tipo de curvas que correspondería a la respuesta de un tipo de suelo o material descubierto.

La variación con valores bajos en la banda 1, un aumento en la banda 2, una deflexión de la banda 3 y otra subida en la banda 4, parecerían más bien una respuesta de vegetación. Será necesario tomar más datos de este tipo de material para obtener una mejor interpretación.

MUESTRA N° 6

Esta muestra corresponde al material amarillento de la cangahua y los valores obtenidos en las 4 bandas pueden considerarse como típicos para una respuesta de material descubierto en este caso cangahua.

MUESTRA N° 7

Correspondiente también a la imagen Salcedo, la muestra fue tomada en la misma unidad fisiográfica y bajo las mismas condiciones climatológicas.

Las lecturas se hicieron sobre una muestra de vegetación natural muy escasa esparcida dentro de la unidad de áreas descubiertas.

Sin ser valores modelos de un tipo de vegetación, se asume que los valores están influenciados por la presencia de suelo, lo cual refleja exactamente lo que sucede en el campo.

ANEXO 2: DATOS DE LOS ESPECTROS

MUESTRA N° 1

Fecha: 3/07/91
 Localización: UTM X: 79160 Y: 997045 - Ilalo
 Gradiente de la pendiente: C2
 Aspecto de la pendiente: 160°
 Elevación: 2,580 m
 Condiciones de humedad: Seco
 Clima: Nublado
 Tipo de cangahua: 3
 Estado de humedad de la cangahua: -
 Color en húmedo de la cangahua: -

Radiometer channel	Wave length	Test read.	(card) gain	Sample read. gain	Reflectance %.
A	0.45 - 0.52	0.17	x 5	0.05	29.4
B	0.52 - 0.60	0.25		0.07	28.0
C	0.63 - 0.69	0.31		0.09	29.0
D	0.76 - 0.90	0.78		0.11	28.9

MUESTRA N° 2

Fecha: 3/07/91
 Localización: UTM X: 79160 Y: 997045 - Ilalo
 Gradiente de la pendiente: C2
 Aspecto de la pendiente: 160°
 Elevación: 2,580 m
 Condiciones de humedad: Seco
 Clima: Nublado
 Tipo de cangahua: 3, cobertura en superficie
 Estado de humedad de la cangahua: -
 Color en húmedo de la cangahua: -

Radiometer channel	Wave length	Test read.	(card) gain	Sample read. gain	Reflectance %.
A	0.45 - 0.52	0.17	x 5	0.06	35.2
B	0.52 - 0.60	0.23		0.08	34.7
C	0.63 - 0.69	0.21		0.09	42.8
D	0.76 - 0.90	0.32		0.15	46.8

MUESTRA N° 3

Fecha: 3/07/91
 Localización: UTM X: 79160 Y: 997045 - Ilalo
 Gradiente de la pendiente: C2
 Aspecto de la pendiente: 160°
 Elevación: 2,580 m

Condiciones de humedad: Seco

Clima: Nublado

Tipo de cangahua: 1 (similar S1)

Estado de humedad de la cangahua: -

Color en húmedo de la cangahua: -

Radiometer channel	Wave length	Test read.	(card) gain	Sample read. gain	Reflect ance %.
A	0.45 - 0.52	0.14	x 5	0.06	42.8
B	0.52 - 0.60	0.23		0.08	34.7
C	0.63 - 0.69	0.20		0.07	39.0
D	0.76 - 0.90	0.32		0.12	37.9

MUESTRA N° 4

Fecha: 3/07/91

Localización: UTM X: 79160 Y: 997045 - Ilalo

Gradiente de la pendiente: C1

Aspecto de la pendiente: 160°

Elevación: 2,580 m

Condiciones de humedad: Seco

Clima: Nublado

Tipo de cangahua: Vegetación natural escasa con suelo

Estado de humedad de la cangahua: -

Color en húmedo de la cangahua: -

Radiometer channel	Wave length	Test read.	(card) gain	Sample read. gain	Reflect ance %.
A	0.45 - 0.52	0.17	x 5	0.05	29.4
B	0.52 - 0.60	0.25		0.07	28.0
C	0.63 - 0.69	0.31		0.09	29.0
D	0.76 - 0.90	0.78		0.11	28.9

MUESTRA N° 5

Fecha: 4/07/91

Localización: UTM X: 76640 Y: 987560 - Salcedo (pucarumi)

Gradiente de la pendiente: 12-25%

Aspecto de la pendiente: 130°

Elevación: 2,690 m

Condiciones de humedad: Seco

Clima: -

Tipo de cangahua: 3, 45% de color negro

Estado de humedad de la cangahua: Seco

Color en húmedo de la cangahua: Negro

Radiometer channel	Wave length	Test read.	(card) gain	Sample read. gain	Reflect ance %.
A	0.45 - 0.52	0.39	x 5	0.08	20.5
B	0.52 - 0.60	0.68		0.12	30.7
C	0.63 - 0.69	0.84		0.14	16.6
D	0.76 - 0.90	0.97		0.23	23.7

MUESTRA N° 6

Fecha: 4/07/91

Localización: UTM X: 76640 Y: 987560 - Salcedo (pucarumi)

Gradiente de la pendiente: -

Aspecto de la pendiente: -

Elevación: -

Condiciones de humedad: Seco

Clima: -

Tipo de cangahua: 3, 45% de color amarillo

Estado de humedad de la cangahua: Seco

Color en húmedo de la cangahua: Amarillo

Radiometer channel	Wave length	Test read.	(card) gain	Sample read. gain	Reflect ance %.
A	0.45 - 0.52	0.39	x 5	0.10	25.6
B	0.52 - 0.60	0.68		0.20	29.4
C	0.63 - 0.69	0.84		0.25	29.7
D	0.76 - 0.90	0.97		0.34	35.0

MUESTRA N° 7

Fecha: 4/07/91

Localización: UTM X: 76640 Y: 987560 - Salcedo (pucarumi)

Gradiente de la pendiente: C3

Aspecto de la pendiente: 130°

Elevación: 2,690 m

Condiciones de humedad: -

Clima: -

Tipo de cangahua: 3, 10% de vegetación natural

Estado de humedad de la cangahua: Seco

Color en húmedo de la cangahua: -

Radiometer channel	Wave length	Test read.	(card) gain	Sample read. gain	Reflect ance %.
A	0.45 - 0.52	0.22	x 5	0.07	31.8
B	0.52 - 0.60	0.37		0.08	21.6
C	0.63 - 0.69	0.40		0.09	22.5
D	0.76 - 0.90	0.46		0.16	34.7

**DISTRIBUCION DE LOS TEPETATES DE LA REPUBLICA MEXICANA
ESCALA 1:4,000,000**

Distribution of the Tepetates of the Mexican Republic, Scale 1:4,000,000

Eliseo Gerardo Guerrero Eufrazio, José Luis Luna Mosqueda y Ernesto Caballero Ochoa

Dep. Suelos, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Puebla.

Palabras clave: México, Tlaxcala, Suelos volcánicos endurecidos, Tepetate, Cartografía, Caracterización, Manejo de suelos.

Key words: Mexico, Tlaxcala, Indurated volcanic soils, Tepetate, Mapping, Characterization, Soil management.

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo exponer cartográficamente a escala 1: 4,000,000, la distribución geográfica en la República Mexicana, la escasa información disponible sobre los diferentes materiales pedológicos cementados y describir las características ambientales sobre los cuales se han formado. Sólo algunos de ellos son verdaderos tepetates. Se analizó la información cartográfica (1:250,000 y 1:50,000) generada por INEGI, principalmente la edafológica, y la literatura disponible sobre el tema; luego se delimitó sobre estos mapas las unidades cartográficas con capas cementadas (0 a 100 cm). La información fue transferida a un mapa topográfico al 1:4,000,000 y se calculó el área. Los tres tipos de horizontes endurecidos identificados fueron: petrocálcicos, duripán, petrogípsicos y ocupan, respectivamente, 13,951,800, 3,724,700 y 692,000 hectáreas, lo cual representa 9.38, 1.90 y 0.35% de la superficie territorial. Los primeros se encuentran

distribuidos principalmente en el noreste y centro del país, en climas áridos y se denominan comúnmente "caliche". Los duripanes o capas cementadas por sílice se ubican en zonas con climas subhúmedos y semiáridos, con periodos de lluvia estacional, en las cercanías del Eje Neovolcánico y en los estados de Aguascalientes y San Luis Potosí. La mayoría de éstos corresponde a los verdaderos tepetates. Los petrogípsicos son capas cementadas por CaSO_4 y a veces CaCO_3 , extremadamente duras, que aparecen en zonas con gran demanda evapotranspirativa (climas áridos), particularmente en cuencas endorréicas de los estados del norcentro del país.

SUMMARY

The objective of the present work was to perform a preliminary cartographical study (1:4,000,000) of the different types of indurated soil materials found in Mexico and to describe the environmental characteristics of the zones where indurated materials are located. Some of these materials correspond to the so called "tepetates". All the available cartographical information (1:250,000 y 1:50,000) generated by INEGI, particularly soil maps, was analyzed and the soils showing indurated layers within the 0 to 100 cm depth were delimited. The

information obtained was transferred to topographical maps (1:4,000,000) and the surface covered by each indurated type of soil determined. Three major types of indurated soils were identified: petrocalcic, duripan and petrogypsic, which occupied respectively 13,951,800, 3,724,700 and 692,000 hectares, corresponding to 9.38, 1.90 and 0.35% of the national territory. The first type of soil is found mainly in the northeast and central part of Mexico, associated with arid climate. This type of indurated soils are named "caliche". The duripans or soil layer cemented by silica are located in subhumid and semiarid climates characterized by a well defined rain season. The duripans are distributed near the Neovolcanic Axe and in the States of Aguascalientes y San Luis Potosi. Most of the duripans correspond to the so called tepetates. The third type of indurated soils are the petrogypsic, cemented by CaSO_4 and in some cases by CaCO_3 . The petrogypsic soil layers are extremely hard and are located mainly in endorreic basin within zones with high evapotranspiration demand (arid climate) in northcentral Mexico.

INTRODUCCION

Dentro del territorio Mexicano está representada la mayoría de los suelos que se han identificado en el mundo. Esta variación en el cuadro edáfico ha sido el resultado de la diversidad de condiciones ambientales, que se manifiesta en nuestro país. Dentro de este rubro "suelo" se encuentran enmarcadas aquellas capas cementadas irreversiblemente por diversos agentes, denominadas de manera general tepetates, término proveniente de la raíz náhuatl *tepetlatl* (*tepl*: piedra y *pélatl*: petate), connotativo etimológico de cama o petate de piedra. Los campesinos entienden bajo este término cualquier capa de subsuelo duro o endurecido diferente a la roca, aunque científicamente sólo se denomina tepetate a los horizontes endurecidos de materiales piroclásticos. Las capas endurecidas están definidas en el Sistema de Clasificación de Suelos

FAO/UNESCO (1970), modificado por CETENAL (1975) en función del agente cementante predominante. Cuando están cementados principalmente por sílice se llaman "duripán", por carbonatos de calcio (CaCO_3) "petrocálcico" y por yeso (CaSO_4) "petrogypsic".

El presente trabajo tiene como objetivo primordial representar cartográficamente a escala 1: 4,000,000, la distribución geográfica de los diferentes materiales cementados denominados tepetate, que existen en la República Mexicana.

Por otro lado, describir las características ambientales sobre las cuales se han formado.

Los objetivos que se plantean se fundamentan en lo siguiente: la información concerniente a la distribución y ubicación de estas capas cementadas no es abundante, los trabajos relacionados con el tema son específicos y localizados, aunado a ello, la importancia que éstos representan desde el punto de vista de conservación del suelo y la génesis de los mismos.

METODOLOGIA

Este trabajo se fundamenta en el análisis de la cartografía edafológica escala 1:250,000 y 1:50,000 generada la Dirección General de Geografía del INEGI y consiste de las siguientes etapas.

a) Recopilación y análisis de la información cartográfica edafológica a las escalas 1:50,000 y 1:250,000 existente, y consulta de la cartografía básica escala 1:1,000,000 (geología, clima, vegetación, fisiografía), así como de la bibliografía disponible referente al tema.

b) Delimitación sobre los mapas, de las unidades cartográficas donde se manifestó la presencia de cualquiera de estas capas cementadas, ya sea aflorando sobre la superficie o dentro de los primeros 100 cm de profundidad del suelo. Por otro lado, revisión de la cartografía básica para extraer la información sobre las características ambientales.

c) Transferencia de la información sobre una base topográfica a escala 1 : 4,000,000, asignándole pantallas o colores a los diferentes tepetates, para hacer más entendible su distribución y localización.

d) Estudió del área de cada una de las unidades tepetatosas, para obtener una estimación aproximada sobre la extensión ocupada por estas capas cementadas.

e) Conclusión del documento escala 1 : 4,000,000 donde se plasma la distribución de los diferentes tepetates de la República Mexicana. Como información complementaria, se describen en forma general sus características y los criterios aplicados para la identificación de las diferentes capas cementadas, así como la información referente a las condiciones ambientales obtenida del análisis de la cartografía básica.

RESULTADOS

La escala de trabajo permitió la delimitación de tres diferentes tipos de tepetates, los cuales se describen en función de su predominancia.

Petrocálculos

Este tipo de tepetates es una capa fuertemente cementada por carbonatos de calcio (CaCO_3) principalmente, aunque pueden existir en menor escala, carbonatos de magnesio (MgCO_3) o pequeñas porciones de sílice; es un estrato generalmente continuo y muy duro. Este horizonte cementado se aprecia en el campo como una masa compacta de color blanquecino o amarillo claro, que se fragmenta en forma laminar, es posible que dentro de la masa de carbonatos se encuentren partículas de grava y arena gruesa incrustadas, no se aprecian restos de raíces, al aplicarle ácido clorhídrico (HCl al 10%), reacciona efervesciendo violentamente. Para que sea considerado como horizonte petrocálcico, éste deberá estar cementado en toda su extensión predominantemente por carbonatos de calcio (CaCO_3) y tener un espesor de 10 cm o más.

Los horizontes petrocálculos se encuentran ampliamente distribuidos principalmente en los estados del noreste y centro del país, sus mayores extensiones se localizan en Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí y Durango; la gente del campo utiliza el término "Caliche" para hacer referencia a este tipo de capas cementadas.

En cuanto al clima, la distribución de casi todos los depósitos de caliche está confinada a regiones donde las condiciones de aridez son predominantes, existiendo una deficiencia de humedad durante gran parte de la mayoría de los años, posiblemente ésta sea una de las causas que ha propiciado la acumulación de carbonatos de calcio (CaCO_3) y posteriormente la formación de horizontes petrocálculos. Estas capas endurecidas se encuentran influenciadas por materiales geológicos ricos en compuestos carbonatos, como rocas calizas, lutitas, asociaciones lutita-arenisca, arenisca-conglomerado; ocupando geoformas de lomeríos, pie de monte, abanicos aluviales, valles intermontanos y planicies con pendiente suave.

La vegetación es diversa: matorrales de gobernadora, mezquiales, güisachales, nopaleras, izotales, vegetación de desiertos arenosos, algunos rosetófilos y pastizales naturales e inducidos. Ya que estas capas cementadas restringen una actividad agrícola extensiva impidiendo el uso de maquinaria y por la escasez de agua dadas las condiciones climáticas, usualmente estas áreas se utilizan en actividades pecuarias, y en menor escala en agricultura de temporal.

Se les ubica en las provincias fisiográficas de la Mesa del Centro, Sierra y Llanuras del Norte, Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera del Golfo Norte.

Con respecto a los suelos que sobreyacen en estas capas endurecidas han sido identificados conforme al Sistema de Clasificación de Suelos FAO/UNESCO modificado por CETENAL (1975).

RENDZINA: Suelo de color oscuro, con espesores de entre 20 a 35 cm de profundidad, y textura media.

XEROSOL HÁPLICO: Suelo de color amarillento, característico de zonas áridas, la capa

cementada puede presentarse dentro de los primeros 70 cm de profundidad.

XEROSOL CÁLCICO: Suelo de color amarillento, que tiene un enriquecimiento secundario con carbonatos de calcio, que se manifiesta en forma de concreciones suaves.

CASTAÑOZEM: Suelo con una capa superficial de color negro, pero que además tiene un enriquecimiento secundario con carbonatos de calcio.

LITOSOL: En este caso el horizonte cementado estaba aflorando sobre la superficie o el espesor del material edáfico era menor de 10 cm.

REGOSOL EÚTRICO: Suelo de origen eólico o residual, color claro y bajo porcentaje de materia orgánica, también aquí el horizonte cementado se encuentra después de los 50 cm.

VERTISOL PÉLICO: Suelos, color oscuro, muy arcillosos que se agrietan cuando se secan, son muy duros y masivos.

La susceptibilidad a la erosión va a depender de la ubicación sobre la geoforma y las medidas de control que se apliquen.

Duripán

Esta limitante se refiere a aquellas capas fuertemente cementadas por sílice (SiO_2), que pueden estar expuestas superficialmente o dentro de los primeros 100 cm de profundidad del suelo. Su color va de café claro a amarillento, inclusive algo rojizo, una de las cualidades de los duripanes es su estabilidad: cuando se sumergen en agua, no se disgregan. En la descripción de campo se aprecia como una masa continua y compacta aunque al estar expuesta puede adquirir forma columnar o tiende a fragmentarse en bloques de dimensiones variables por la acción de cambios de temperatura y humedad. Es factible la presencia de agentes cementantes secundarios como óxidos de hierro y carbonatos de calcio, estos últimos se presentan en pequeñas capas de forma laminar principalmente sobre la superficie, apreciándose como costras de color blanquecino que suelen ser discontinuas.

Los horizontes cementados denominados como "duripán" se localizaron en climas subhúmedos y semiáridos donde se presenta un período estacional de secas bien definido. Según el análisis cartográfico, estas capas endurecidas se manifestaron en áreas con influencia volcánica, principalmente en la zona denominada como Eje Neovolcánico Transmexicano, Tlaxcala, Hidalgo, Querétaro y Jalisco, también en algunos estados adyacentes a la franja volcánica como Aguascalientes y San Luis Potosí.

En cuanto a las formas de vegetación hay pastizales y encinares, bajo régimen de aridez, nopaleras, matorrales y pastizales.

Con respecto al material edáfico subyacente se identificaron los siguientes tipos de suelo.

CAMBISOL EÚTRICO: Suelo que presenta un horizonte superficial de color claro y delgado que sobreyace al duripán.

FEOSOL HÁPLICO: Suelo con una capa superficial de color oscuro que subyace al duripán.

PLANOSOL EÚTRICO: Suelo que tiene una capa de color blanquecino, que se formó bajo condiciones de drenaje deficiente debido a la presencia de una capa impermeable, en este caso duripán.

XEROSOL HÁPLICO: Suelo que tiene una capa superficial de color café claro, que descansa sobre el tepetate "duripán". Esta unidad de suelo es propia de zonas áridas.

LITOSOL: Éste se identifica cuando el duripán aflora sobre la superficie. El suelo que le sobreyace tiene menos de 10 cm de profundidad efectiva.

Petrogípsico

Se refiere a aquellas capas cementadas por sulfatos de calcio (CaSO_4), pueden existir agentes cementantes accesorios como carbonatos de calcio (CaCO_3). Su color es blanco lechoso, es duro a tal grado que no puede ser penetrado por las raíces ni se disuelve con el agua,

cuando se fragmenta es en forma de bloques angulosos de diferentes tamaños.

El área ocupada por este tipo de capas endurecidas está restringida a aquellas zonas que han estado bajo condiciones de gran evaporación (climas áridos), sobre antiguas lagunas que se sitúan en cuencas endorréicas. Los ejemplos más representativos no son muy extensos, los encontramos en los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí, todos ellos incluidos dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental.

La vegetación está comprendida por pastizales gipsófilos, algunos mezquiales.

Los suelos que sobreyacen se describen a continuación.

XEROSOL GÍPSICO: Suelo con una capa superficial de color café, que presenta el horizonte petrogípsico dentro de los primeros 50 cm de profundidad del suelo.

YERMOSOL: Suelo con una capa superficial clara en color, propiciado por el bajo contenido de humus. Este tipo de suelo es representativo de las zonas más secas del país.

REGOSOL CALCÁRICO: Suelo poco desarrollado, de textura arenosa, con presencia de carbonatos de calcio y sulfatos de calcio. En este caso el tepetate cementado con yeso puede presentarse después de los 50 cm de profundidad.

Generalmente sustentan la vegetación natural o son considerados como áreas de esparcimiento, aunque también han sido incorporados para uso agrícola.

Extensión Ocupada por los Tepetates

Finalmente se obtuvo el mapa definitivo donde se plasma la distribución de los diferentes "tepetates", como paso siguiente se procedió al areado de los mismos obteniéndose los siguientes resultados:

La República Mexicana tiene una extensión superficial de 1,958,201 km², de los cuales, y con

base en el análisis cartográfico y el areado de las diferentes capas endurecidas, se concluye que aproximadamente en 183,685 km² se manifiesta la presencia de algún tipo de tepetate.

En el Cuadro 1 se proporcionan datos estimativos de la extensión superficial ocupada por cada una de las capas endurecidas, así como el porcentaje que representa.

Cuadro 1. Extensión superficial ocupada por cada una de las capas endurecidas.

Tepetate	km ²	Hectáreas	%
Petrocálcico	139,518	13,951,800	9.38
Duripán	37,247	3,724,700	1.90
Petrogípsico	6,920	692,000	0.35
Totales	183,685	18,368,500	11.63

CONCLUSIONES

Mediante el análisis de la cartografía edafológica se delimitó la distribución y ubicación de tres diferentes tipos de tepetates: petrocálcico, duripán y petrogípsico.

Se cumplió el objetivo de elaborar un documento donde se plasmó la distribución geográfica de los tepetates de la República Mexicana a escala 1:4,000,000.

La distribución de estas capas cementadas se reseña en función de su predominancia.

a) Petrocálcico: Los más predominantes, se les ubicó bajo condiciones de clima árido, siempre desarrollándose sobre substratos con alto contenido de carbonatos de calcio.

b) Duripán: Se les localizó en clima subhúmedo y semiárido, sin embargo, en todos ellos se manifiesta una influencia volcánica en materiales con alto contenido en sílice.

c) Petrogípsico: Se sitúan en geoformas con drenaje restringido principalmente cuencas endorréicas, en climas áridos, sobre materiales altos en yeso. No se descarta una influencia hidrotermal.

Aproximadamente en 11.63% de la superficie total del territorio mexicano se manifestó la presencia de algún tipo de tepetate, ya sea aflorando sobre la superficie o dentro de los primeros 100 cm de profundidad efectiva del suelo.

Con la información obtenida, se pretende tener un marco de referencia, que permita en un futuro, entender los modos y procesos de formación que han dado origen a todas aquellas capas que en general son englobadas bajo el término de "tepetate", así como homogeneizar los criterios para su identificación.

LITERATURA CITADA

ARISTARAIN LORENZO. 1971. Characteristics and Genesis of Caliche. Deposits Bol. Soc. Geol. Mexicana, 117-141.

CETENAL. 1975. Clasificación de Suelos FAO/UNESCO (1970) modificada por CETENAL 1975.

DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA. 1984. Carta de Climas. Escala 1:1,000,000.

DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA. 1988. Carta Edafológica. Escala 1:50,000 y 1:250,000.

DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA. 1984. Carta de Uso del Suelo Escala 1:1,000,000.

DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA. 1984. Carta Geológica. Escala 1:1,000,000.

FLORES R.D y ALCALA, GAMA. 1990. Los Tepetates. Revista de Geografía Vol III No.4 Aguascalientes, México.

WERNER, G., H. AEPPLI, G. MIEHLICH y E. SCHÖNHALS. 1978. Los suelos de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores. - Comentario a un mapa de suelos. Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala, VI: 1-95, Puebla, México.

WILLIAMS. B. y C. ORTIZ SOLORIO. 1981. Middle American Folk Soil Taxonomy. Annals of the Association of American Geographers. U.S.A.

FORMATION AND PROPERTIES OF TEPETATE IN THE CENTRAL HIGHLANDS OF MEXICO

Origen y Propiedades de "Tepetate" en los Valles Centrales de México

Günter Miehlich

Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg, Hamburg, Alemania.

Palabras clave: México, Tepetate, Suelos volcánicos endurecidos, Duripanes, Cenizas volcánicas, Opalo-A.

Key words: Mexico, Tepetate, Indurated volcanic soils, Volcanic ashes, Duripans, Opalo-A.

Éstos están empaquetados debidamente y son de blandos a firmes. Después que se pierde el suelo superior son erodables y el subhorizonte subyacente queda expuesto a variaciones por humedecimiento y secado, ocasionando fuerte compactación y endurecimiento de las arcillas ricas en ópalo-A, las cuales forman el tepetate.

RESUMEN

En la parte central de la Cuenca de México las faldas de las elevaciones están cubiertas por horizontes endurecidos, los cuales localmente se denominan tepetates. Los tepetates son horizontes subyacentes endurecidos de Ustropepts Eútricos, que se forman a partir de los antiguos depósitos de cenizas volcánicas; durante el intemperismo de éstas se libera aproximadamente tres veces más sílice que aluminio. Sólo una parte del sílice se incorpora a los minerales de arcilla. Debido a la baja lixiviación que se presenta en el suelo bajo un clima ústico-isomésico muchos de los excedentes de sílice se concentran formando ópalo-A orgánico e inorgánico. La mayoría de los subsuelos de los Ustropepts tiene más ópalo-A y arcillas que los horizontes superficiales.

SUMMARY

In the Central Highlands of Mexico, many slopes are covered by duripans which locally are named tepetate. Tepetates are the hardened subsoils of Eutric Ustropepts which are formed in older volcanic ashes. During weathering of the volcanic ashes approximately three times more silicon is released than aluminium. Only a part of the silicon is incorporated into clay minerals. Because leaching under the ustic/isomesic soil climate is low, most of the surplus is enriched in the soil, forming inorganic and organic opal-A. Usually the subsoils of the Ustropepts have more opal-A and clay than topsoils. They are loosely-packed and soft to firm. After clearing, the topsoils are eroded and the former subsoils are exposed to wet and dry cycles that causes the strong compaction and induration of the opal-A

and clay rich subsoils which form tepetate.

INTRODUCTION

Between 1962 and 1979, the German Research Foundation conducted a large interdisciplinary research project in the area of Puebla-Tlaxcala (Lauer, 1979). Within the framework of "man and his environment in the change of time" more than 100 scientists worked in the field. Among them, some soil scientists from the universities of Giessen and Hamburg studied the genesis, distribution and properties of soils (Aeppli, 1973; Aeppli y Schönhals, 1975; Kneib, 1973; Michlich, 1978, 1980, 1984, 1991; Wegener, 1979; Werner, 1978, 1981, 1988, 1989). In this paper, the state of knowledge on the formation of tepetate that was developed in this project, is reported.

RESULTS AND DISCUSSION

In the valleys of Mexico and Puebla, the indurated horizon tepetate is one of the most striking pedological features. The term tepetate has not been rigorously defined (Williams, 1972, 1992). Even if one restricts the term to hardened volcanic ash soils, they have a large range of attributes. They vary in color from grey over yellow to reddish brown. They vary in thickness and structure and there are considerably high differences in hardness. On the steep valley cuts one may find up to ten tepetates superimposed.

In spite of these differences, there is a common constellation of soil forming factors, which is responsible for the formation of the indurated horizon. The parent materials are "toba" sediments. The soil climate is ustic/isomesic with 6-7 humid months (here called climate A). Tobas in udic isomesic to isofrigid soil climate (in the following climate B) and in ustic climates with 4 to 5 humid months do not form tepetates. Each "toba"-sediment has been subjected to more than 10 000 years of soil formation. Tepetates do not occur under natural forest vegetation and they are restricted to slopes, that are steep enough

to erode.

The formation of the tepetate may be divided into four phases: the sedimentation of "toba"-sediments; the formation of an Eutric Ustrocept which is rich in opal-A and clay; the erosion of topsoil and the compaction and induration of the subsoil.

Sedimentation of "Toba"-Sediments

The footslopes of the northern part of the Sierra Nevada, the Bloque of Tlaxcala and a part of the footslopes of the volcano La Malinche are mantled by up to some ten meter thick layers of fine grained sediments, which locally are called "toba"-sediments. They form several strata, which are weathered and transformed to paleosols. Though it is possible to distinguish at least ten toba layers, for practical purposes we have grouped them to three units 1T, 2T and 3T. 1T are young tobas of yellow color, which cover the middle and northern part of the Sierra Nevada. 2T are two young tobas of grey color covering the northern part of the Sierra Nevada and most of the Bloque of Tlaxcala. Under the term 3T several older tobas are comprised. Most of them have a brown to reddish brown color.

Mineralogical studies of the sand fraction showed that the toba sediments mainly are andesitic volcanic ashes (Heine y Heide-Weise, 1973; Michlich, 1980 y 1984). The mineral spectra of 1T and 3T are very similar to each other and to the younger ashes of the volcano Popocatepetl. We assume that they came from this source. Toba 2T probably originates from pumice rich ashes of the volcano Tlaloc.

From particle-size distribution data (Fig. 1, shown are medians, data on sample basis see Michlich, 1980) we deduced that toba 1T is a well sorted primary ash, while the tobas 2T and 3T which are poorly sorted and often having two maxima, are volcanic ashes that have been redistributed by wind. Quantin *et al.* (1992) explain this particle-size distribution mainly by weathering.

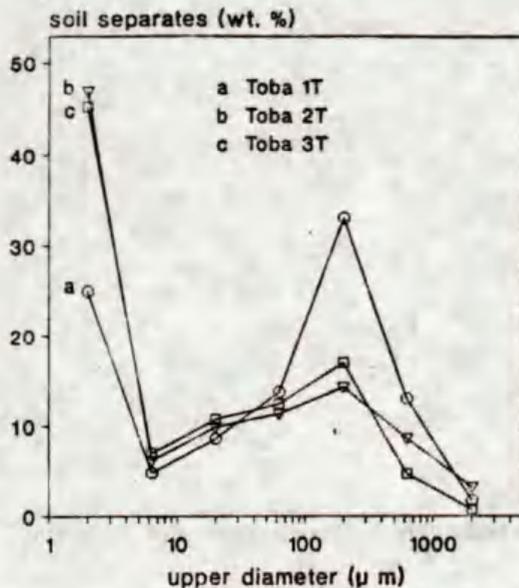


Fig. 1. Particle-size distribution of toba sediments.

The deposition of tobas took place during the pleistocene. The deposition of the older 3T-series ended approximately 21 000 years B.P. (Fig. 2).

The age of the toba 2T has been estimated to be 12.500 years by radiocarbon dating (Miehlich, 1984). The toba 1T is older than 12 000 years and younger than 3T. The southern part of the Sierra Nevada is covered by the younger ashes (1C, 2C, 3C) and pumice layers of Popocatepetl. These ash layers are approximately 450, 3 500, and 10 000 years old and may serve as models for the early stages of soil formation in toba sediments.

Formation of Ustropepts

The next phase of the formation of tepetate is the development of an Eutric Ustropept which is rich in clay and opal-A. As mentioned before, each of the toba layers is weathered and transformed to a paleosol. This may be deduced from the clay/sand ratio (Fig. 1) and from evidence of weathering of the minerals in the sand fraction (Miehlich, 1991). Unlike most other soils, the minerals formed during soil formation in volcanic ashes, consist mainly of X-ray amorphous short range order minerals. The

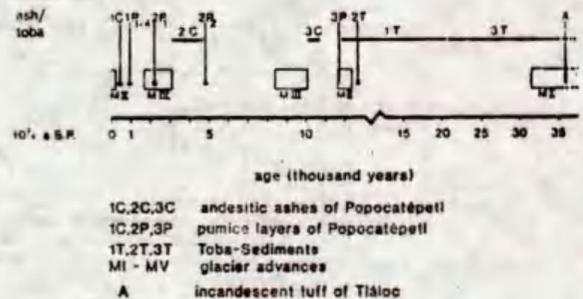


Fig. 2. Age of pyroclastics in the Sierra Nevada of Mexico.

most frequent soil-minerals are allophane, imogolite, opal-A and X-ray amorphous oxides of aluminium, iron and manganese. Crystalline compounds, such as halloysite, gibbsite and goethite also occur. Therefore extraction procedures are often used to differentiate the soil minerals of volcanic ash soils. These techniques are supplemented by X-ray, infrared spectra, DTA and DTG analyses (methods, especially for free silica (opal-A), see Miehlich, 1991).

In the Figures 3, 4 y 5, chronosequences of the evolution of allophane poorly crystallized halloysite and opal-A minerals are shown (concept of chronosequences see Miehlich, 1991). During the early stages of soil genesis, the toba sediments were probably transformed to Andisols which, in turn, developed later to Eutric Ustropepts. The chronosequence in climate A provides a good illustration how the tobas changed with time under ustic/isomesic soil climate. For purpose of comparison, the chronosequence in climate B (udic-isomesic/isofrigid) is also shown.

In both climates allophane increases linearly during the first 10 000 years (Fig. 3). It is assumed that during soil formation, allophane is later transformed to halloysite in climate A.

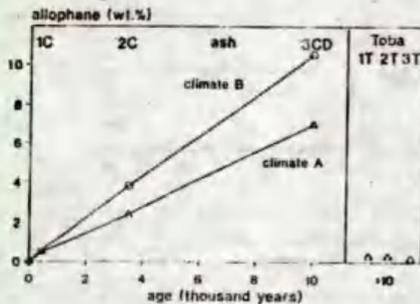


Fig. 3. Chronosequence of allophane.

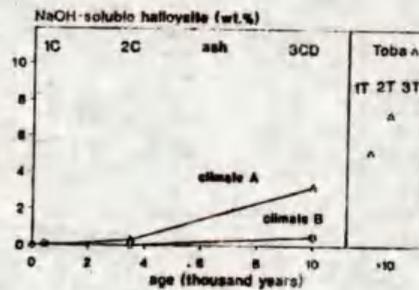


Fig. 4. Chronosequence of imperfect crystallized halloysite.

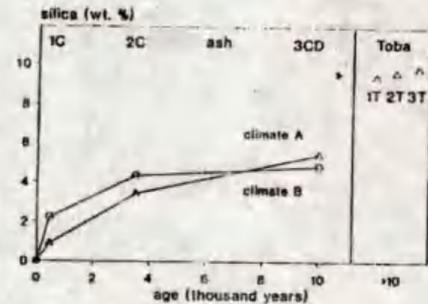


Fig. 5. Chronosequence of free silica.

Therefore, the allophane content in toba sediments is zero or very low.

This assumption is confirmed by the chronosequence of poorly crystallized (i.e. NaOH-soluble) halloysite (Fig. 4). In contrast to the cold/humid mountain region (climate B), NaOH-soluble halloysite in climate A is observed after 3 500 years and increases considerably in the toba sediments. Formation of well crystallized halloysite takes place concurrently, so that most of the 20-40% of the clay fraction of the toba-sediments is halloysite. In some toba layers smectites and small portions of illites also occur.

The content of free silica (opal-A y Fig. 5, Drees *et al.*, 1989) is controlled by the balance of the following processes: The $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ molar ratio of the primary ash is high (approximately 6.5). During weathering, only a part of the released silicon can be incorporated into clay minerals because the $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ molar ratio of allophane and halloysite is low (1-2). Another part is uptaken by plants, especially grass, and enriched as organic opal-A in the topsoil after decomposition of the plants. Depending on the climatic conditions, the surplus can be enriched in the soil as inorganic opal-A or leached from the profile. In the udic part of the high mountains (climate B), the weathering is high and the released silicon is mainly incorporated into

allophane or leached to groundwater. Only in topsoils some organic opal-A is accumulated (Miehlich, 1991; profile 1 in Colegio de Postgraduados, 1991). In the ustic climate A, weathering is strong enough to release a considerable amount of silicon into the soil solution. Partly, the silicon is transformed to clay minerals, and, because leaching under an ustic soil water regime is low, most of the surplus is retained in the Eutric Ustropepts of the toba sediments (7-12 wt.% of opal-A). In ustic soil climates with 4-5 humid months, the rate of weathering is so small that only minute quantities of opal-A are accumulated in the soil and no tepetate is formed.

Most of the Eutric Ustropepts have considerably more clay in the subsoil than in the topsoil (Aeppli y Schönhals, 1975; Miehlich, 1980; profiles 3 and 4 in Colegio de Postgraduados, 1991). But we found macroscopic or microscopic evidence of strong clay illuviation in only a few cases. We assume that under ustic soil water regime, subsoils have a longer moist period; so that, weathering and clay formation are stronger than in topsoils. The opal-A tends to be enriched in subsoils (Aeppli y Schönhals, 1975; Miehlich, 1991) and SEM/EDAX analyses show that probably a mixture of halloysite and opal-A acts as the cementing agent.

Erosion of the Top Soil

The third phase of tepetate formation is erosion of the topsoil. The morphogenesis of the formation of tepetate is shown in Fig. 6. Let us assume, that three toba layers (I,II,III), which are transformed to Ustropepts are superimposed. After clearing, the slope is dissected by gully-erosion (a). But gully-erosion stops at about 70-90 cm and only the topsoil of the first Tropept is eroded by lateral widening of the gullies (b). The subsoil is laid bare and is affected by the alternate change of precipitation and desiccation

during the rainy season under the ustic soil water regime. Under these conditions, the former soft subsoil is compacted and hardened to tepetate (c). Tepetate is fairly resistant to erosion, but often the topsoil of the underlying Ustropept is eroded easily and complete peds of the superimposed tepetate are separated and eroded (d). In other cases, erosion of tepetate takes place along the cracks between the hardened peds (e). Finally, the whole slope is covered by steps of different tepetates, separated by the corresponding topsoils. In places, columns of the complete strata-sequence are preserved (f).

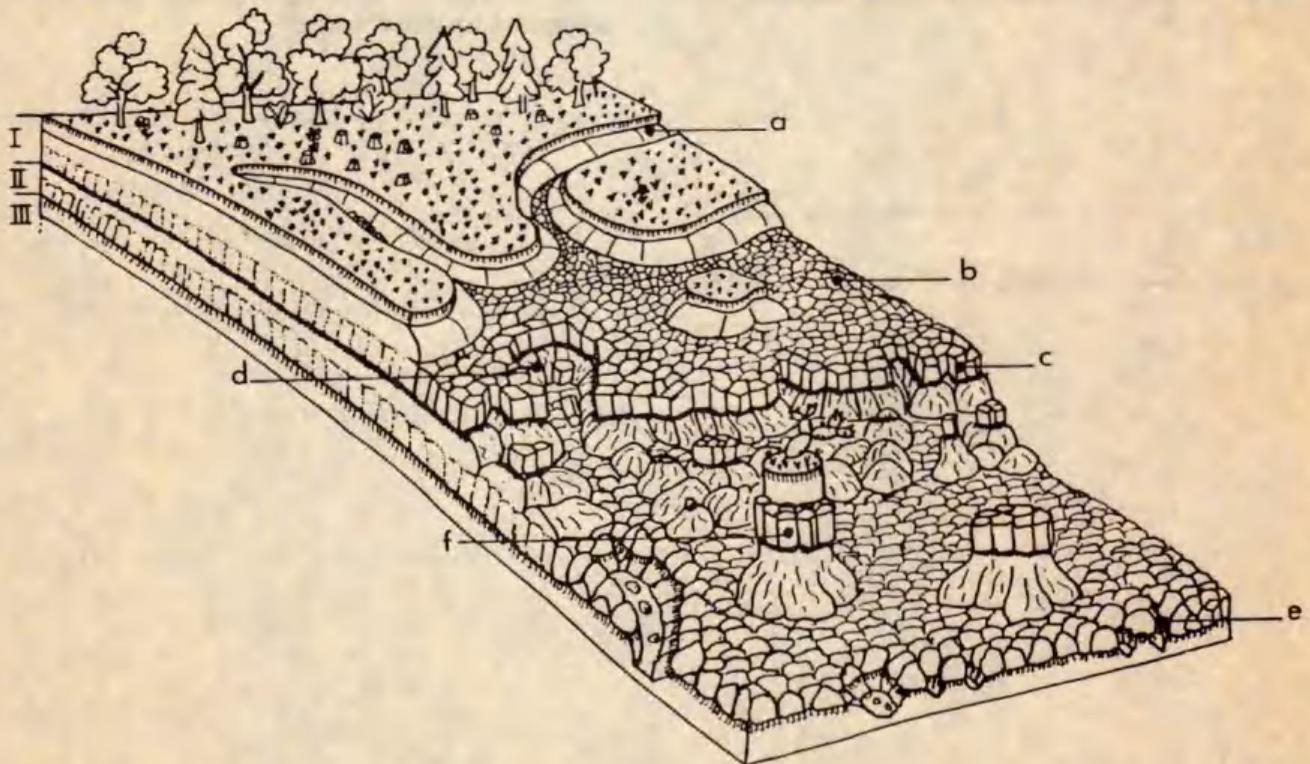


Fig. 6. Morphogenesis of the Duripan tepetate.

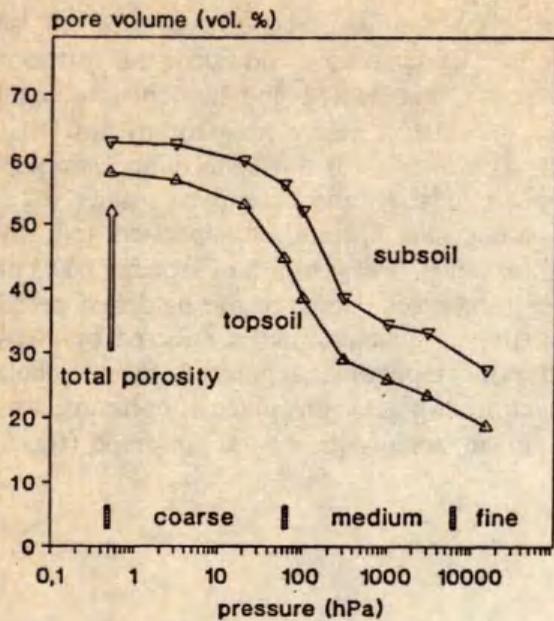


Fig. 7a. Pore-size distribution of toba sediments- Forest (Profile 55)

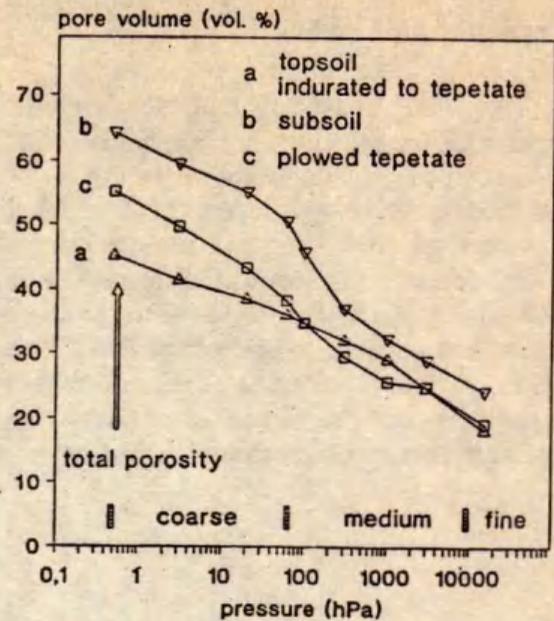


Fig. 7b. Pore-size distribution of toba sediments- Old farmland, tepetate (Profile 59).

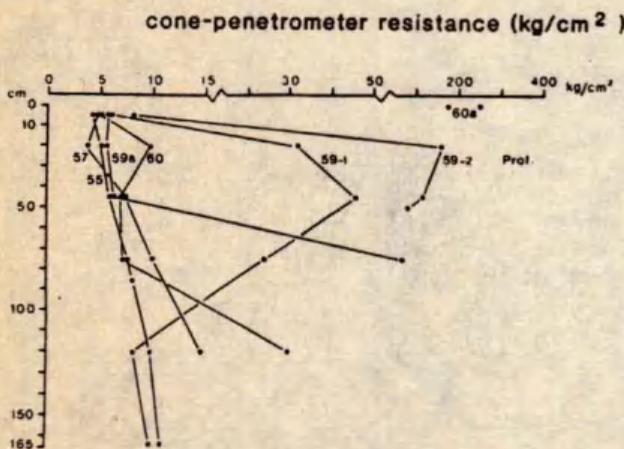


Fig. 8. Consistency of not hardened Ustropepts and their corresponding tepetates. Profile sequence San Juan Tetla.

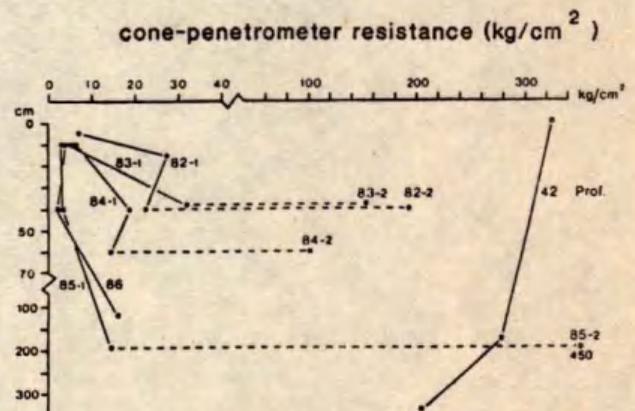


Fig. 9. Consistency of not hardened Ustropepts and their corresponding tepetates. Profile sequence Santa Rita Tlahuapan.

Compaction and induration of the subsoil

The last phase is compaction and induration of the subsoil. As an example, the compaction and induration is demonstrated along a toposequence near San Juan Tetla Pue. (Fig. 7a, 7b and 8, details of stratigraphy in Miehlich, 1984). The parent material is toba 1T and the profiles only differ in land use. The soil under forest (Profile 55) has never been cultivated; profile 57 was cleared 40 years ago and is not eroded; profile 59 has been under cultivation at least 350 years. Compared to the soil under forest, topsoil of this profile is eroded and the former subsoil is hardened to tepetate. Later, this plot was plowed to a depth of 60 cm (59a). In profile 60 the underlying tepetate is covered by a 90 cm thick layer of colluvium of historic age. Profile 60a is a tepetate at a road cut.

Under forest (Fig. 7), the total pore volume is very high and the soil contains a large portion of coarse and medium pores. In contrast to most other soils, there are more coarse and medium pores in the subsoil than in the topsoil. The high porosity and preponderance of coarse pores reflect the relationship of these Ustropepts to Andisols. In the old farmland, the former subsoil which now forms the top-soil is strongly compacted and the coarse and middle pores have largely disappeared. The poresize distribution of the subsoil is similar to that of the forest profile. Cultivation with a disk-plow increases the volume of coarse and medium pores considerably.

The induration of the soil was measured by a portable cone penetrometer. To demonstrate the significance of the measurements, they are grouped by consistency and methods of plowing: Up to 20 kg/cm², the soil is soft to firm and it is possible to use a traditional plow pulled by animals. Between approx. 20 and 100 kg/cm², the soil is very firm to hard and a tractor-pulled plow is needed. If soil is hardened to more than 100 kg/cm², a bulldozer is used for cultivation.

The induration process is demonstrated by the above profile sequence at San Juan Tetla, Pue. (Fig. 8). Topsoil and subsoil of the profiles

under forest (profile 55) and recent farmland (57) are soft to slightly firm. At the end of the rainy season the tepetate of the old farmland is hard (59-1) and becomes very hard two months later (59-2). The plowed part of the tepetate (59a) is soft, because the reclamation produced loosely-packed fragments of broken tepetate.

In the surroundings of Sta. Rita Tlahuapan, Pue. (Fig. 9), several sites were found (profiles 82-85) where it was possible to compare subsoils of uneroded Eutropepts with the corresponding tepetates of different 1T and 3T toba layers. In every case the topsoil as well as the subsoil of uneroded soils are soft to slightly firm (3-28 kg/cm²), while the corresponding tepetates are very hard (102-450 kg/cm²). On a road cut (profile 42) all tepetates are very hard.

The induration of tepetates depends on soil moisture (Fig 10, data in Miehlich, 1980; Nimlos y Zamora, 1992), so that tepetates at the end of the rainy season are less hard than at the end of the dry season (Fig. 7, profile 59 and 59 a).

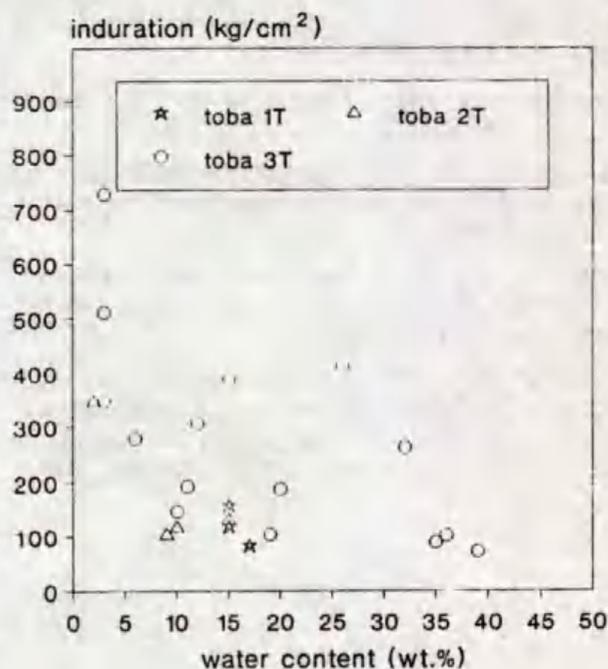


Fig. 10 Relation between induration and water content of tepetates.

REFERENCES CITED

- AEPPLI, H.** 1973. Barroböden und Tepetate. Untersuchungen zur Bodenbildung in vulkanischen Aschen unter wechselfeuchtem gemäßigtem Klima im zentralen Hochland von Mexiko. Diss. Giessen, BDR.
- AEPPLI, H. and E. SCHÖNHALS.** 1975. Los suelos de la cuenca de Puebla-Tlaxcala. Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft 8, Wiesbaden, BDR. 153 p.
- COLEGIO DE POSTGRUADOS (Ed.)** 1991. 1er simposio internacional sobre suelos volcánicos endurecidos-guía de campo. Montecillo, México. 53 p.
- DREES, R.L., L.P. WILDING, N.E. SMECK and A. L. SENKAYI.** 1989. Silica in Soils: Quartz and Disordered Silica Polymorphs. pp. 913-974. *In*: DIXON, J.B. y WEED, S.B. (ed.): Soil Sc. Soc. of Am. Book Series 1: Minerals in Soil Environments.
- HEINE, K. and H. HEIDE-WEISE.** 1973. Secuencias de erupciones en el volcán de La Malinche y en la Sierra Nevada (Méx.) durante los últimos 40,000 años. Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 7: 7-8.
- KNEIB, W.** 1973. Versuch einer bodengeographischen Gliederung der Sierra Nevada de México. Diplomarbeit Univ., Hamburg, BDR.
- LAUER, W.** 1979. Puebla-Tlaxcala a German-Mexican research project. *Geo-Journal* 3: 97-105.
- MIEHLICH, G.** 1978. Eigenschaften und Genese von Verhärtungslagen in Zentralmexiko ("Tepetate"). *Münster. Forsch. Geol. Paläontol.* 44/45: 27-41.
- MIEHLICH, G.** 1980. Los suelos de la Sierra Nevada de México. Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala, suplemento 7. 212 p.
- MIEHLICH, G.** 1984. Chronosequenzen und anthropogene Veränderungen andesitischer Vulkanascheböden in drei Klimastufen eines randtropischen Gebirges (Sierra Nevada de México). Habilitation thesis, Hamburg. 417 p.
- MIEHLICH, G.** 1991. Chronosequences of volcanic ash soils. *Hamburger Bodenkundliche Arbeiten* 15. Hamburg, BDR. 207 p.
- NIMLOS, T. y C. ZAMORA.** 1992. Los suelos endurecidos en Perú. *In this volume.*
- QUANTIN, P., C. ZEBROWSKI, M. DELAUNE and C. HIDALGO.** 1992. Le matériau originel des tepetates t2 et t3 de la région de Texcoco (Mexique): Loess ou cinérites? *In this volume.*
- WEGENER, H.-R.** 1979. Bodenerosion und Ökologische Eigenschaften charakteristischer Böden im Becken von Puebla-Tlaxcala (Mexiko). Dissertation-thesis, Giessen, BDR.
- WERNER, G.** 1978. Los suelos de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores. Comunicaciones proyecto Puebla-Tlaxcala, suplemento 6, 95 p.
- WERNER, G.** 1981. Verbreitung, Nutzung und Zerstörung von Böden unter randtropischen Bedingungen im Zentralmexikanischen Hochland. *Ibero-Amerikanisches Archiv. N. F.* 7: 3-32.
- WERNER, G.** 1988. Die Böden des Staates Tlaxcala im Zentralen Hochland von Mexiko. Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, 20, 207 p.
- WERNER, G.** 1989. Los suelos en el estado de Tlaxcala, Altiplano Central Mexicano. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Centro de Estudios Municipales del Estado de Tlaxcala, 130 p.
- WILLIAMS, B. J.** 1972. Tepetate in the valley of Mexico. *Annals Assoc. Amer. Geographers* 62: 618-626.
- WILLIAMS, B. J.** 1992. Tepetate in the 16th century and contemporary folk terminology, valley of Mexico. *In this volume.*

**MICROMORPHOLOGICAL INVESTIGATIONS ON "TEPETATE"
FORMATION IN THE "TOBA" - SEDIMENTS OF THE STATE OF TLAXCALA
(MEXICO)**

**Investigaciones Micromorfológicas en "Tepetate"
Formaciones en Sedimentos de "Toba" en el Estado de Tlaxcala (México)**

Reiner Hessmann

Inst. of Soil Science and Soil Conservation-JLU, Giessen, Germany.

Palabras clave: Tepetate, Suelos volcánicos endurecidos, Micromorfología, Sílice, Hierro, Cementación, Génesis.

Index words: Tepetate, Indurated volcanic soils, Micromorphology, Silice, Iron, Cementation, Genesis.

RESUMEN

Los sedimentos de toba en las montañas del centro de México (Tlaxcala), son cenizas volcánicas de depósitos cólicos, y se agrupan en 9 unidades estratigráficas independientes. Cada una de ellas consiste en una zona residual de intemperismo (horizonte Bv) con debajo un material inicial (horizonte Cv), donde se han formado las capas endurecidas y se hacen visibles únicamente cuando quedan expuestas a través de la erosión. Estas zonas se conocen como "tepetates". Hay varios factores que indican que el endurecimiento se debe a fenómenos secundarios, los cuales conducen a una cementación o impregnación.

Las investigaciones micromorfológicas muestran que una fuerte consolidación es

causada por la formación de nuevas arcillas, la cual es responsable de la cementación de las partículas de los sedimentos incluyendo los agregados. Esta consolidación puede ser reforzada por la impregnación de compuestos de hierro, que da al material coloraciones amarillentas, cafésáceas o rojizas. Un importante paso para el endurecimiento es el cubrimiento de los poros gruesos, excepcionalmente de los canales de las raíces, por arcillas eluviadas. Debido al aumento del número y del espesor de los revestimientos arcillosos en los horizontes de "tepetates", el endurecimiento crece.

El climax del endurecimiento del "tepetate" se alcanza por el enriquecimiento de ácido silícico y/o compuestos de hierro, dentro y encima de los revestimientos arcillosos, así como el ácido silícico y/o los geles de hidróxidos de hierro, que infiltran de manera difusa a los sedimentos. La precipitación del ácido silícico es el resultado del secamiento, el cual podría ser no terminado todavía.

La exposición del "tepetate" está influenciada por diferentes estructuras poliédricas, el contenido de sustancias cementantes, así como por las costras superficiales de sílice impregnados por compuestos de arcillas o de hierro.

SUMMARY

The "toba"-sediments in the Central Mexican Highlands (Tlaxcala) are eolian redeposited volcanic ashes and can be divided into 9 different stratigraphically independent units. Each of them consist of a residual weathering zone (Bv-horizon) with initial material (Cv-horizon) underneath where indurated layers have been formed and are becoming visible only when exposed through erosion. These zones are known as "tepetate". There are a number of factors that are hints for an induration caused by secondary inputs, which lead to cementation or impregnation.

The micromorphological investigations disclose that a strong consolidation is caused by newly formed clay which is responsible for cementing all particles of the sediment including aggregates. This consolidation can be reinforced by impregnation of iron compounds, which gives the material yellowish, brownish or reddish colour. An important step to induration is the covering of the coarse pores, exceptionally root channels, by displaced clays. Due to the number and thickness of the clay coatings, which are rising up in the "tepetate" horizons, the hardness is increasing.

The climax of "tepetate"-induration will be reached by enrichments of silica acid and/or iron compound in and at the clay coatings as well as silica acid or iron hydroxid gels, which are dispersedly infiltrating the sediment. The precipitation of silica acid is a result of drying which is possibly not fully completed yet.

The exposure of "tepetate" is influenced by different polyhedral structures, the content of hardening substances as well as surface crusts of silica impregnated clay or iron compounds.

INTRODUCTION

Within the framework of a project in Mexico, supported by the European Community, the

reasons and consequences of erosion were set up as priorities in the research. The solution of the reasons leading to the induration of "tepetate"-horizons in the "toba"-sediments is a part of the tasks, which is taken as assignment by the research team of the Institut of Soil Science and Soil Conservation of the J. Liebig University, Gießen.

Beyond the work in the field, especially here, micromorphology investigation should help to clear up the processes.

Number of parameters show that the "toba"-sediments are eolian redeposited volcanic ash material (character of dusty sediments, continuous weathering, needle-pin pores, continuous deposits of biogenetic opal of grasses).

Every "toba"-unit starts at the top with a mostly fine polyhedral, often clearly browned Bv-horizon which changes downward into a coarse polyhedral BvCv -or Cv- horizon. Each Bv horizon separates the time of intensive soil formation with reduced sedimentation from the time of stronger and new sediment accumulation. All together there were nine stratigraphically independent "toba"-units settled one upon the other. However, they were not completely preserved. This shows that beside the time of soil formation erosion had been always a determining factor. Because of different colorations and the stratigraphic position of every "toba"-unit the complete sequence of the units can be reconstructed. From top to bottom are following: toba 1 (yellow), toba 2 and 3 (light-grey), toba 4 (yellowish-brown), toba 5 (brown), toba 6 and 7 (lightbrownish-grey), toba 8 (brown) and toba 9 (brownish-red). All with slight differences in colour. In many cases the "toba"-sediments are overlaying on well bedded ash and pumice layers and as well as lava material.

The erosion develops indurated layers. In Mexico they are called "tepetate" (Aeppli, 1973; Aeppli y Schönhals, 1975; Michlich, 1978, 1984; Werner *et al.*, 1978). Without a visible change of material they occur inside the Cv-horizon. But mostly the top of the Cv-horizon is forming the "tepetate". We can also find more than one "tepetate"-horizon in a single Cv-horizon.

The scalariform development indicates an abrupt increase of hardness at the "tepetate"-surfaces. The fine polyhedral structure is an important factor for the strong erosion of the Bv-horizons. Nevertheless, for the remarkable induration of the "tepetate" there must be other responsible reasons.

Because soil formation is a continuous process, which is always associated with material transformation and translocation, the position of the "tepetate" underneath the Bv-horizons and the abrupt increase of hardness are hints for secondary material inputs which lead to cementation and/or impregnation. In the field clay coatings and different forms of iron content are visible.

Natural cementing or impregnating substances are clay, salts like CaCO_3 , iron compounds like oxides, hydroxides including gels or siliceous binding agents. Except for the siliceous binding agents the others are mostly well recognizable and determinable. However, the refraction index differences of the amorphous, mostly colourless siliceous binding agents, give a point of attachment which make them visible in phase contrast. Under good conditions by relating the proportion between slide thickness and refraction index difference those components which are low refractive will look bright and those with a higher refractive index will look darker compared to their embedding material. Then a determination of the chemical compounds can be carried out with the microprobe. A semiquantitative line scanning allows the determination of the relative content of an element in the course of the logging.

MATERIALS AND METHODS

Undisturbed samples were taken from each horizon of the "toba"-units (Bv, Cv, tepetate). Whenever possible, samples were taken at the top, middle and the basement of the horizons. Soft samples were taken carefully with a knife, whereas hard samples sawed out easily using a simple wood-saw.

After drying they were embedded into "Vestopal" according to the method of Altemüller (1964, 1974). From each sample two slides with different thickness were prepared. For the common polarized microscopy a thickness of about 20 μ and for the observation in phase contrast a thickness between 5 μ and 10 μ was necessary. To check microscopical findings with the microprobe, first of all the slides for phase contrast could be only covered temporary by a removable cover-glass. The slide should not be too thin in order to avoid the penetration of specimen by electron ray of microprobe.

The investigations were conducted with a microscope type Orthoplan (Leitz) using polarizing optic and phase contrast methods (Heine and Schönhals, 1973). The microprobe tests were carried out using the line scanning system in the Division of Geoscience of the University in Giessen.

RESULTS

Except for some differences caused by secondary influences, for example iron-dependent colours or the open-space structure, not only the individual "toba"-units, but also their horizons are not showing distinctive differences. The primary qualitative composition, only with low quantitative deviations, is always the same. The pore system visible in the microscope comprises only coarse pores, which are mainly root channels and packing voids between aggregates and as well isolated cracks.

Disregarding the different coarse pore portions normally the "toba"-sediments are closely packed and compact sandy clay loam or loam or silty clay loam. Independently for every "toba" horization it is valid that up to 250 times magnification the grains of the coarser silt (6,3...20 μ) and sand fractions are forming a porphyric structure in a matrix of clay and silt. At higher magnification every particle, even the fine silt fraction, is covered by clay and the clay

minerals are laying often parallel to the surface of the grain. In addition in the yellow, brown and red "toba" an impregnation of the clay in caused by iron hydroxides or ferrous gels.

The matrix consists of clay minerals and detritus of all other components, which goes down to the clay size. They are predominantly zony plagioclases, volcanic rock fragments and volcanic glasses (brownish and colourless) including pumice, as well as biogenetic opal (grasses, sometimes diatoms). Accessories such as quartz, green hornblende, oxihornblende with without apacit seam, ortho-pyroxene, apatite, zircon, rutile, haematite and other ores, olivine, individual biotite flakes and rarely xenotime were determined.

The degree of weathering of the primary components is increasing with the advancement of soil formation. Particularly the volcanic glasses, pyroxenes, oxyhornblendes and micas are affected. In the same direction the material gets finer. It seems that this change happens at the cost of silt and sandy glass fraction. The degree of aggregation and deformation is also increasing with advancement of soil formation. The interspaces between the fragments of older broken aggregates are filled with matrix and at the deeper levels always present voids, which are found among weathered pyroxenes, are mostly undisturbed, but at the upper levels is the opposite.

In the "toba"-sediments root channels and packing voids produce different complex structures with chamber, channel, vesicular and vugy structures mostly with a spongy aspect. In looking at the pores it is noticeable that they are very often covered and sometime totally closed by clay. The clay in root channels is always a displaced one, whereas in packing voids it seems often to be formed *in situ* with tendency to the Bv horizon. The number of voids covered by displaced clay and the thickness of the clay coatings is increasing to the direction of the Cv-horizon. In the "tepetate"-horizons the coatings are often exceptionally stronger and can even close thick root channels totally. The Bv-

horizons could be free of displaced clay and often can be found broken clay coatings which are incorporated into the material. Exceptionally in the brown "toba"-sediments iron incrustations are visible on void or clay coating surfaces. Starting at the void iron hydroxid gels are infiltrating and covering the particles of the sediment. In the opposite direction the gels are visibely transformed mostly to iron hydroxide (limonite, goethite).

By using phase contrast method looking at clay coatings, preferably in "tepetate"-horizons, bright seams, which run parallel to the morphology, are visible. Frequently on "tepetate"-surfaces there are clay crusts marked by bright seams, or preserved as a relict in small depressions. If the bright seams or zones are preceived, they can also be noticed in the polarizing microscope. With crossed nicols they occur as zones of reduced interference of the clay or as isotropy layers. With one nicol they are only visible by closed diaphragm aperture and they proof the existence of colourless and amorphous substance. The method with the "Becke-line" confirms also the low refraction index which is still proved by the brightness in phase contrast.

Natural, colourless and amorphous substances with low refraction index could be normally silica acid or allophane. The tests on allophane had been always negative.

Regular developed clay coatings are looking homogenous, and it would be expected to have a relatively constant Si/Al-level when it is determined by microprobe. When the bright seams, which appeared in phase contrast, have been an enrichment of silica acid, here the microprobe must indicate an increasing Si-content and a decrease in the Al-content.

With entrance of the electron ray into clay coatings the Si and Al-content rise up to a special level and remaining provisionally constant in logging course. Due to the expected low differences of the Si/Al-contents in clay minerals the measuring line looks slightly serrated. The change into the low refractive zones, which are

clearly isotropic, is corresponding with an abrupt increase of the Si-content. Concurrently the Al-content decreases closer to zero. In zones, which only show reduced birefringence, the tendency is also recognizable, but weakly marked. Clay coatings are built up of layers with different interference and optical refraction, whereby a low refraction index is corresponding with reduced interference differing in their general Si/Al-level.

The bright seams can be found in every hard "tepetate". However, they occur dominantly in grey "toba"-units (2, 3, 6 and 7) and sometime also in Bv-horizons.

In "tepetate"-horizons of the "toba"-units 8 and 9 silica acid enrichments were found, which must have taken place before clay settlement and which stick together sediment particles very intensive and bulky starting from cracks and root channels. Around feldspar and glasses the sediment is cementated sometimes by silica acid.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Regardless whether volcanic ashes were sedimentated subsequent to an eruption or an eolian redeposition, at the beginning they are always loose sediments with single grain structure. Except "toba" 1, all deeper units show a different strength of consolidation, whereas the "tepetate"-horizons are designated by having different hardness.

A number of factors indicate that in presence of a grass vegetation a very slowly sedimentation and accumulation have taken place. Consequently weathering and at least slightly soil forming processes were determining factors starting from the beginning. With increasing weathering and soil formation the content of clay increases, apparently at the cost of volcanic glasses, but also of silicate minerals. Newly formed clay minerals are not only cementing the fine-grained sediment particles by formation of a matrix, but also the matrix with coarser components like the sand

fraction and aggregates. This is a first remarkable consolidation which on the one hand can be reinforced by iron impregnation and on the other hand tempered by root channels, preserved packing voids or fractures. The covering of coarse pores by displaced clay produces further consolidation and stabilization, which must increase with the thickness of the clay coatings. Because of silica acid and/or iron compound enrichments in and at the clay coatings as well as silica acid or iron hydroxid gels, which are dispersedly infiltrating the sediment, the hardening must become stronger once again.

The cementation by newly formed clays is taking place in the whole "toba"-sediment. The clay content, which is rising to the Bv-horizon concurrent with reduction of grain size, would lead to a stronger consolidation. Deformation, especially swelling and shrinking, repeated the loosening of upper parts and produce a fine polyhedral structure. In connection this grain-fragmentation could also take place.

In the "tepetate"-horizons with the number and thickness of clay coatings the induration is rising remarkable. Particularly the grey "tepetate" are strongly marked by silica acid enrichments, whereas in the brown "tepetate"-horizons iron impregnation and iron crust formation come stronger in the foreground. Both produce additional strength of the induration as well as stabilization. In the brown "tepetate" there were also silica enrichments. Possibly the existence of iron overprints the signs of recognition of silica acid.

The development to "tepetate"-horizons could had happen in the following manner:

In the course of weathering and soil formation clay minerals, silica acid and as well as other substances were formed and set free. Newly formed clay leads to a first consolidation through cementing the sediment particles. Repeated deformation produces working surfaces for further weathering. Released substances like silica acid and iron hydroxid gels were dislocated by percolating water, which is running through

coarse pores into deeper levels where they can directly infiltrate into the sediment. The clay minerals take also the same path deposits on the void surfaces. Water containing silica acid has a very low viscosity and able to enter by diffusion into finest interspaces, as well as between layers of clay minerals. All these processes occur in wet times.

During the dry period water is removed out of the sediment by evaporation. Due to the slope of concentration the silica acid-water mixture diffuses outward to the sediment and the clay coatings, respectively. Because of the loss of water at the void surface the concentration of silica acid is increasing. Simultaneously the viscosity is rising until diffusion cannot take place anymore and the silica acid practically gets stuck. This gives an enrichment parallel to the evaporation front. Related to the iron displacement the same can be valid. As a result the loss of water leads to a transformation of the gels to crystalline hydroxides. It is obvious that silica acid is not only imigrated into clay coatings, but also into the sediment. Beside this because of surface energy and surface activities

of the particles, respectively, it can be expected that by outward diffusion thin films of silica acid were preceived. On the top of this we can assume that after the breakdown of diffusion a large portion of watery silica acid remains in sediment, because the precipitated silica acid blocks the movement and it is only by the formation of new evaporation fronts further precipitation could take place. This could also explain the fact, that fresh discovered "tepetate" are relatively soft. The "tepetate"-induration seems to have its origin in the sum of hardening parameters, which can replace and complete each other. In the investigated profiles, which are a cross-section at Tlaxcala the hardening parameters were clay, silica acid and iron compounds.

The exposure of "tepetate" is promoted by the easily erodible fine polyhedric Bv-zones. The "tepetate"-horizons offer great resistance against erosion not only because of their high content of hardening substances, but also because of their coarse polyhedric structure. Surface crusts of silica-impregnated clay and iron crusts have also contribution.

REFERENCES CITED

- AEPPLI, H.** 1973. Barroböden und tepetate. Untersuchungen zur Bodenbildung in vulkanischen Aschen unter wechselfeichtem Klima im zentralen Hochland von Mexiko. Diss. Giessen, Deutschland.
- AEPPLI, H. and E. SCHÖNHALS.** 1975. Los suelos de la cuenca de Puebla-Tlaxcala. Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft 8. Wiesbaden, Deutschland. 153 p.
- ALTEMÜLLER, H.-J.** 1964. Die Anwendung des Phasenkontrastverfahrens bei der Untersuchung von Bodendünn schliffen. pp. 371-390. *In*: Jongerius, A. (Hrsg.): Soil Micromorphology, Amsterdam, Nederland.
- ALTEMÜLLER, H.-J.** 1974. Mikroskopie der Böden mit Hilfe von Dünnschliffen. *In*: Freund, H. (Hrsg.): Handbuch der Mikroskopie in der Technik, IV, Teil 2, Frankfurt a.M., Deutschland.
- HEINE, K. and E. SCHÖNHALS.** 1973. Entstehung und Alter der "toba"-Sediment in Mexiko. Eiszeitalter und Gegenwart 23/24: 201-205.
- MIEHLICH, G.** 1978. Eigenschaften und genese von Verhartungslagen in Zentralmexiko ("tepetate"). *Munster. Forsch. Geol. Palaontol.* 44/45: 27-41.
- MIEHLICH, G.** 1984. Chronesequenzen und anthropogene Veränderungen andesitischer Vulkanascheboden in drei Klimastufen eines randtropischen Ge-Habil. *Schrift. Hamburg, Deutschland.*
- WERNER, G., H. AEPPLI, G. MIEHLICH, and E. SCHÖNHALS.** 1978. Los suelos de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala, Suplemento 6.* Puebla, México. 95 p.

LOS SUELOS Y TEPETATES DE LA VERTIENTE OCCIDENTAL DE LA SIERRA NEVADA

Soils and Tepetates of the Western Slopes of the Sierra Nevada

David Peña H.¹ y Claude Zebrowski ²

¹ Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. Méx., México.

² ORSTOM D.F., México.

Palabras clave: Tepetate, México, Sierra Nevada, Morfoedafología, Suelos volcánicos endurecidos, Clasificación.

Index words: Tepetate, Mexico, Sierra Nevada, Morphoedaphology, Hardened volcanic soils, Classification.

en criterios estratigráficos y climáticos permitió definir los siguientes seis tipos: tepetates desarrollados a partir de brechas volcano-sedimentarias, sin CaCO₃; tepetates t3 sin CaCO₃, y t3 con CaCO₃; tepetates t2 sin CaCO₃ y t2 con CaCO₃ y los tepetates ti con CaCO₃.

RESUMEN

El presente trabajo se refiere al inventario y a la caracterización de los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada, entre Chalco y Teotihuacán. Diferentes unidades morfoedafológicas han sido definidas (sierra, volcanes aislados, piedemontes, zonas aluviales). Los tepetates están localizados en los piedemontes. Estos últimos constituidos por una sucesión de depósitos piroclásticos agrupados en series (T3, T2 y Ti). Las series T2 y T3, anteriormente descritas en Tlaxcala, se identifican fácilmente en la parte baja del piedemonte de la Sierra Nevada, pero con más dificultad en la parte alta del mismo. La serie Ti se encuentra en los piedemontes del norte del área de estudio, en los cuales no ha sido posible identificar las series T2 y T3. El clima juega un papel importante tanto en la existencia como en las características de los tepetates. La clasificación de los tepetates, basada

SUMMARY

This work concerns the inventory and the characterization of soils and tepetate on the western slopes of the Sierra Nevada, from Chalco to Teotihuacán. Different morphopedological units were defined (sierra, isolated volcanoes, piedmonts, and alluvial areas). Tepetates are located on the piedmonts, and they are formed from successive pyroclastic deposits grouped in series (T3, T2 and Ti). The series T2 and T3, previously described in Tlaxcala, are easily identifiable in the piedmonts of the Sierra Nevada, but hardly on the upper parts. Ti series is found in the piedmonts of the northern part of the study area, where it was not possible to identify the series T2 y T3. Climate plays an important role in the presence of tepetates as well as in their characteristics. A classification of tepetates was made on the base of stratigraphic and climatic criteria: 1) tepetates developed from volcano-

sedimentary breccias without CaCO₃, 2) T3 serie's tepetates (t3) without CaCO₃, 3) t3 with CaCO₃, 4) T2 serie's tepetates (t2) without CaCO₃, 5) t2 with CaCO₃, and 6) tepetates ti with CaCO₃.

INTRODUCCION

En el marco del contrato CEE (CP-ORSTOM- Univ. de Giessen) se contempló realizar el inventario y la caracterización de los tepetates de la Cuenca de México, que incluyen una cartografía de dichas formaciones. La cartografía del Estado de Tlaxcala ha sido realizada por Werner *et al.* (1978). En esta región se identificaron las dos formaciones (T2 y T3) en las que aparecen diferentes tipos de tepetate (D1, D2, D3, D4). A partir de 1989 y con el propósito de abarcar un rango mayor de tipos de tepetates, se estudió la zona occidental de la Sierra Nevada que incluye áreas más secas que las de Tlaxcala. En este trabajo se exponen los primeros resultados referentes al contexto morfoedafológico de la zona estudiada y una primera clasificación de los tepetates. En los trabajos siguientes (Peña y Zebrowski, 1991; Peña *et al.*, 1991) se exponen las características analíticas de los tepetates.

En estos textos se emplea la letra "T" para nombrar la serie y "t" para el tepetate.

Localización y clima

La zona de estudio está ubicada en la región occidental de la Sierra Nevada, entre Chalco (lat.19°17') y las pirámides de Teotihuacán (lat.19°43'). Se ubica entre los 2,250 y 4,120 msnm y cubre una superficie aproximada de 1,250 km² (Fig. 1).

El clima de esta región varía de templado semi-húmedo en el sur y centro, a templado seco en el norte, con una estación seca y fría de noviembre a abril y una estación húmeda y caliente de mayo a octubre (Fig. 2).

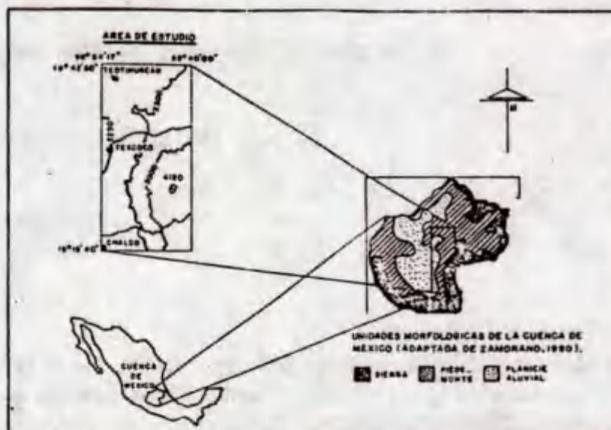


Fig. 1. Localización del área de estudio.

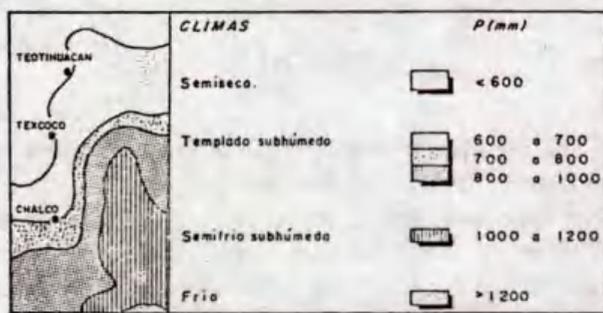


Fig. 2. Los diferentes climas.

Cuadro 1. Precipitaciones medias anuales (PMA) y temperaturas, en la vertiente occidental de la Sierra Nevada.

Sitio	Altitud msnm	PMA mm	Temp. medias de meses		P. invernal %
			fríos °C	caliente °C	
Cima de Sierra	4120	1150	4	6	-
Río Frío	3000	1075	9.5	11.5	3.6
Texcoco	2250	625	14.6	17.4	4.6
Chalco	2240	657	13.4	16.9	4.8
Teotihuacán	2294	563	13.6	16.2	4.9

Dos secuencias climáticas explican las variaciones del clima. La primera, al nivel del lago, es latitudinal: las precipitaciones más elevadas en la región sur (657 mm anuales en Chalco), disminuyen progresivamente hacia el norte (563 mm en las pirámides). La segunda es altitudinal: las precipitaciones aumentan regularmente con la altitud mientras que las temperaturas bajan (ver en el Cuadro 1 los cambios climáticos entre Chalco y Río Frío, así como entre Texcoco y la cima de la Sierra).

Unidades morfoedafológicas y materiales originales

Las unidades morfoedafológicas mayores son de arriba hacia abajo: la Sierra volcánica, los volcanes aislados, el piedemonte y la planicie aluvial.

La Sierra volcánica

A una altitud mayor a 2,800 msnm, la Sierra con substrato de andesita y dacitas, es un macizo con pendientes relativamente suaves (15 a 30%), pero disectado por barrancas profundas. Está cubierta por cenizas volcánicas andesíticas recientes menores de 10,000 años (Miehlich, 1991), a partir de las cuales se han desarrollado Andisoles. Frecuentemente, estas formaciones se encuentran también en las partes altas del pie de monte, constituyendo capas delgadas que tienden a desaparecer rápidamente por erosión.

Los volcanes aislados

Los volcanes aislados se encuentran sobre los piedemontes y la planicie aluvial, ubicados principalmente en la parte septentrional de la zona de estudio. Están repartidos según dos líneas de fracturas. Una orientada de suroeste a noreste (desde Ayotla hasta Ciudad Sahagún) y la otra, de este a oeste al nivel de Xometla. Estos volcanes se encuentran formando pequeñas cadenas o en forma de conos aislados, algunos bien definidos y otros afectados en diferentes

grados por la erosión. Los suelos son de escaso espesor y poco desarrollados (Entisoles).

Los Piedemontes

El piedemonte occidental de la Sierra Nevada, entre 2,800 y 2,250 msnm, tiene una pendiente suave (7 a 10%) longitudinal, pero está disectado por numerosas barrancas, de tal forma, que parece estar constituido por lenguas aplanadas en su parte cimera. En la parte baja del piedemonte, extensas superficies, poco disectadas, tienen una pendiente todavía más débil (3 a 4%) y regular en forma de "glacis".

Los materiales originales descritos a través de una secuencia cronológica se presentan a continuación:

- La parte basal de los depósitos está constituida por materiales dacíticos de gran espesor (nubes ardientes de cenizas, lapilli y bloques) poco alterados. Localmente algunas brechas o coladas de lava cubren estas formaciones.

- Una segunda serie de depósitos, ya alterados, de color pardo rojizo vivo, cubre este conjunto. Por su similitud con la reportada en el Estado de Tlaxcala se consideró como la formación T3, cuya edad es mayor de 20,000 años. Dicha serie consiste de flujos piroclásticos intercalados con depósitos de cenizas y lapilli, que frecuentemente han sido retransportados por la acción del agua. Se presenta en una sucesión de capas en las cuales las más duras y macizas (tepetates t3) subyacen a otras menos macizas, bien estructuradas, aunque coherentes, con abundantes cutanes. Estas últimas corresponden a paleosuelos. Los minerales pesados ricos en hornblenda permiten, además del color, identificar a esta serie. En las partes altas (húmedas) del piedemonte las arcillas que se encuentran en estos depósitos son haloisitas 10 Å, mientras que en las partes bajas (más secas), las arcillas son haloisitas 7 Å. En las partes bajas presentan, además, algunas capas delgadas sub-horizontales y concreciones más o menos verticales de carbonato de calcio.

- Una tercera serie de depósitos corresponde, sin duda, a la formación T2 (13,500 años) descrita en Tlaxcala. En efecto en la parte baja del piedemonte, esta serie que no sobrepasa los dos metros de espesor, está constituida por un suelo gris oscuro, vértico, más amarillo en profundidad, bajo el cual se encuentra una capa masiva y dura (t2) que aflora a la superficie por erosión del suelo superior. En la base de esta serie, es posible definir hasta dos niveles de tepetate, los cuales están separados por una capa contrastantemente friable de arcilla gris. Hidalgo *et al.* (1991) utilizan t2a y t2b para designar el nivel superior e inferior de tepetates, respectivamente. La presencia de hiperstenas en gran cantidad caracteriza la fracción pesada de las arenas. Las arcillas están constituidas por una mezcla de esmectitas y haloisitas. La presencia de carbonatos de calcio en forma de micelios es casi general. En la parte alta del piedemonte los suelos desarrollados a partir de esta serie T2 presentan características morfológicas y mineralógicas diferentes: a) tienen un color más pardo y a menudo presentan manchas negras de óxidos de manganeso, b) las propiedades vérticas disminuyen, c) la haloisita de 10 Å reemplaza a la esmectita y d) los carbonatos de calcio desaparecen.

- Finalmente, esta serie está cubierta por una capa delgada (10 a 40 cm) coluvio-aluvial que puede estar mezclada con aportes recientes de cenizas volcánicas.

En este piedemonte fue posible identificar tanto a los tepetates de la serie T3 como a los de la serie T2, en sus formas sin y con carbonatos.

En el norte, especialmente en la zona de Otumba, los piedemontes tienen una pendiente suave (2 a 5%). La identificación de las series T3 y T2 no ha sido posible. Los materiales originales en unos casos son, sin duda, flujos piroclásticos de color amarillo a pardo rojizo, comúnmente cubiertos por la capa coluvio-aluvial, cuando ésta no ha sido erosionada; además la presencia de carbonatos de calcio es general. En otros casos, bajo la capa coluvio-aluvial se encuentra un suelo arcilloso masivo y duro, cuya parte superior presenta abundantes

capas sub-horizontales de carbonatos de calcio de 0.5 a 2 cm de espesor. Estos materiales fueron considerados como tepetates por su dureza y han sido llamados "indefinidos", ti, por analogía con t2 y t3. Además de esas formaciones, en algunos piedemontes orientados hacia el este o al norte se encuentra un depósito amarillo, suelto, típicamente eólico. Es equivalente a la formación T1 que se encuentra en la vertiente oriental de la Sierra Nevada (Werner *et al.* 1978; Werner, 1988). No presenta tepetate.

Los suelos característicos de los piedemontes consisten de Inceptisoles, Mollisoles y Alfisoles.

La zona aluvial

Excepto unos valles incluidos en el piedemonte, la mayoría del sistema aluvial está representado por una planicie que corresponde al antiguo lago de la Cuenca de México. Los suelos, de textura variable según los aportes, son profundos y sin tepetate. Dominan los Mollisoles.

DISCUSION Y CONCLUSION

Las formaciones duras y macizas (tepetates) se ubican en los piedemontes, tanto aflorando en la superficie como cubiertos por otros depósitos a diferentes profundidades. Estas formaciones consisten, en general, en una sucesión de depósitos de tipo flujos piroclásticos *in situ* y a veces retransportados. La sobreposición de depósitos parece ser necesaria para la existencia de los tepetates.

La identificación de estos depósitos no presenta dificultad en el caso de T2 y T3 en las partes bajas del piedemonte occidental de la Sierra Nevada, pero es difícil en la partes altas debido a las condiciones climáticas más húmedas, las cuales han originado suelos con propiedades diferentes. En el segundo caso, además de los criterios de campo como la estratigrafía (seguimiento de la serie T2 a través de secuencias altitudinales) y el color, la composición de los minerales pesados, fue indispensable para la identificación de las citadas series.

En el caso de las formaciones Ti no ha sido posible correlacionarlas con ningunas otras formaciones. La ausencia de secuencias cronológicas, debido al troncamiento de los depósitos, no permitieron identificar las series T2 y T3. Aunque, también, es posible que estas últimas series no hayan llegado a la zona norte y las formaciones encontradas se originaron de volcanes diversos. La diferencia entre la composición mineralógica de las arcillas, de los depósitos de la serie T3 (haloisita) y las de los depósitos de la serie T2 (esmeclitas) permiten afirmar que los primeros han sido meteorizados en un clima más húmedo. Una fase de erosión intensa ocurrida entre estas dos fases de pedogénesis, se manifiesta tanto por los rasgos de erosión evidentes en la formación T3, como por la presencia de cantos rodados entre estas dos series.

Finalmente es obvio, como lo subraya Dubroeuq *et al.* (1989), que el clima juega un papel importante tanto en la existencia de los tepetates como en sus características. Los tepetates más duros y los más ricos en carbonatos de calcio aparecen en zonas más secas.

La clasificación de los tepetates de esta zona toma en cuenta criterios estratigráficos (cronológicos) y climáticos (la presencia o no de carbonatos de calcio), los cuales permitieron identificar a seis tipos diferentes:

- tepetates desarrollados a partir de brechas sedimentarias volcánicas (sin CaCO_3),
- tepetates t3 sin CaCO_3 ,
- tepetates t3 con CaCO_3 ,
- tepetates t2 sin CaCO_3 ,
- tepetates t2 con CaCO_3 ,
- tepetates ti con CaCO_3 .

LITERATURA CITADA

DUBROEUCQ, D., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI. 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. *Terra* 7 (1): 3-12.

HIDALGO, C., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI. 1991. La cimentation des tepetates t2 et t3 de San Miguel Tlaixpan (P. 30-Texcoco, México); étude de la silicification. Memoria del primer simposio internacional sobre los suelos volcánicos endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

MIEHLICH, G. 1991. Chronosequences of volcanic ash soils. *Hamburger Bodenkundliche Arbeiten*. Band 15. Hamburgo, Alemania.

PEÑA, H., D. y C. ZEBROWSKI. 1991. Caracterización física y mineralógica de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Mem. Ier Simp. Int. Suelos Volc. Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

PEÑA, H., D., M. E. MIRANDA M., C. ZEBROWSKI y H. M. ARIAS, R. 1991. Resistencias de tepetates en la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Mem. Ier Simp. Int. Suelos Volc. Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

WERNER, G., H. AEPPLI, G. MIEHLICH y E. SCHÖNHALS. 1978. Los suelos de la Cuenca Alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores. Fundación alemana para la investigación científica. Proyecto Puebla Tlaxcala. VI.

WERNER, G. 1988. Los suelos en el Estado de Tlaxcala. El proyecto México de la fundación alemana para la investigación científica.

CARACTERIZACION FISICA Y MINERALOGICA DE LOS TEPETATES DE LA VERTIENTE OCCIDENTAL DE LA SIERRA NEVADA

Physical and Mineralogical Characterization of Tepetates of the Western Slope of the Sierra Nevada

David Peña H.¹ y Claude Zebrowski ²

¹ Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. Méx., México.

² ORSTOM D.F., México.

Palabras clave: México, Tepetate, Suelos volcánicos endurecidos, Mineralogía.

Index words: Mexico, Tepetate, Indurated volcanic soils, Mineralogy.

los tepetates de la serie T2. Se concluye que la naturaleza del material original (T3, T2, Ti) y el clima han sido los principales responsables de las propiedades físicas y mineralógicas que caracterizan a los tipos de tepetates estudiados.

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo exponer algunas de las propiedades físicas y mineralógicas que caracteriza los tepetates. Se seleccionaron trece muestras de tepetates con base en materiales originales y presencia o ausencia de carbonatos de calcio. En el campo se determinaron: color, textura, estructura, consistencia, porosidad y revestimientos. En el laboratorio se midieron: textura, densidad aparente, densidad real, constantes de humedad (pF 2.5 y 4.2), porosidad total, microporosidad, minerales arcillosos, minerales pesados, relación molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y análisis de residuos al ataque triácido. Los resultados muestran que los tepetates de la serie T3 presentan colores más intensos, texturas más arcillosas y microporosidades más elevadas que los de la serie T2. Los minerales arcillosos y los residuos del ataque triácido, sugieren que los tepetates de la serie T3 se intemperizaron en un clima más húmedo que

SUMMARY

The objective of this paper is to describe the physical and mineralogical characteristics of tepetates. Thirteen samples were selected on the basis of original material and the presence or absence of calcium carbonates. Field descriptions involved color, texture, structure, consistency, porosity and presence of coatings. In laboratory we analyzed texture, bulk and real density, moisture content at pF 2.5 and 4.2, specific porosity, micro-porosity, clay minerals, heavy minerals, molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio, and chemical composition of residues of triacid digestion. The results showed that tepetates of the serie T3 have more intense colors, more clayey texture, and higher microporosity than those of the serie T2. Clay minerals and chemical composition of residues of triacid digestion suggest that tepetates of the serie T3 have been weathered in a more humid environment than

those of the serie T2. As conclusion we can emphasize that the nature of the original material (T3, T2, Ti) as well as the climate have been responsible for the physical and mineralogical properties that characterize the types of tepetates.

INTRODUCCION

El estudio de las unidades morfoedafológicas definidas en la vertiente occidental de la Sierra Nevada (Peña y Zebrowski, 1991), muestra que los tepetates se encuentran en las zonas de piedemontes, entre los 2,250 y 2,800 msnm. Estos tepetates se han originado a partir de diferentes materiales originales y se han desarrollado bajo diferentes condiciones climáticas, por lo que presentan diferentes grados de evolución. Peña y Zebrowski (1991) identificaron y clasificaron seis tipos de tepetates a los cuales consideraron como representativos de su área de estudio. Uno de ellos, poco frecuente, se desarrolló a partir de brechas, mientras, que los cinco restantes (más representativos) se originaron a partir de flujos piroclásticos finos. Por lo anterior, se conoce la ubicación y los principales tipos de tepetates, pero existe un gran vacío en lo que se refiere a las propiedades que caracterizan a estos materiales. El presente trabajo tiene por objetivo, exponer algunas propiedades físicas y mineralógicas de los tepetates más representativos, en la vertiente occidental de la Sierra Nevada.

MATERIALES Y METODOS

Materiales

Los materiales consistieron de los tepetates t2, t3 y ti, ubicados en las series T2, T3 y Ti respectivamente, los cuales estaban presentes en la superficie, debido a la remoción de los suelos que los cubrían. Se estudiaron 13 muestras de tepetates agrupadas, con base en los materiales

originales y a la presencia o no de carbonatos de calcio, tal como se muestra en el Cuadro 1. Al respecto, para la separación que considera la presencia o no de carbonatos se tomaron los siguientes criterios de campo.

- Tepetates sin carbonatos: presentan ocasionalmente costras superficiales y algunos filones producidos en el interior de grietas. Frágiles.

- Tepetates con moderadas cantidades de CaCO_3 : presentan micelios, revestimientos, costras superficiales y algunas láminas sub-horizontales. Medianamente duros.

- Tepetates con abundantes CaCO_3 : muestran muchas láminas sub-horizontales de CaCO_3 , costras superficiales y micelios. Muy duros.

Cuadro 1. Grupos de tepetates caracterizados en el área de estudio.

Tepetate	Edad (años)	Presencia de CaCO_3		
		No	Si	
			Moderadamente	Muchos
t2	13,500	P30-5K		A13
		P33-5K		
		P35-4K		
t3	>20,000	P13-10K	K12	K7
		P26-10	P28-8K	
		P27-Kb		
		P35-11K		
		P30-11K		
ti		No existe		K15a

Métodos

En el campo se determinaron características como el color (Munsell), la textura (al tacto), la presencia de revestimientos, la estructura, la consistencia, y la porosidad. En el laboratorio se determinaron características como:

- La textura: por el método de Bouyoucos, con hexametáfosfato de sodio (calgón) al 10% y ultrasonido, como dispersantes.

- La densidad aparente: a partir del terrón cubierto con parafina.

- La densidad real: con el método del picnómetro.

- La humedad: se estimaron en la olla y membrana de presión, a los puntos de capacidad de campo (pF 2.5) y punto de marchitez permanente (pF 4.2). Esta propiedad se evaluó sobre muestras tamizadas (t), y sobre bloques cúbicos (b), cuyas dimensiones fueron de 10 x 4 x 2.5 cm de longitud, ancho y espesor, respectivamente.

- La porosidad total: mediante dos métodos:
1) Cálculo a partir de la densidad aparente (Da) y de la densidad real (Dr).

2) Cálculo a partir del contenido de agua de bloques saturados y de las Da.

- La microporosidad: se calculó a partir de la Da y de la capacidad de campo (pF 2.5) de los bloques cúbicos.

- El contenido de CaCO₃: determinado por un método de neutralización con HCl.

- Los tipos de arcillas: se determinaron por difracción de RX, con un difractor Siemens D500 con anticátodo de cobre.

- Los minerales pesados: se estimaron mediante su separación por densidad, en el bromoformo y observación a la lupa binocular. Por medio del análisis triácido se determinaron las relaciones moleculares SiO₂/Al₂O₃ de los productos disueltos y los contenidos de los residuos al ataque.

RESULTADOS Y DISCUSION

Color

Los tepetates de la serie T3 se caracterizaron por presentar colores intensos (Cuadro 2), variando de amarillo a pardo (10YR6/6-7/6, seco a 7.5YR4/6-5/6, húmedo), mientras que los tepetates de la serie T2 fueron de colores claros, dentro del gris claro y blanco (10YR y 2.5Y7/2, 10YR8/1, seco a 10YR4/4-6/4, húmedo). Por último los ti variaron de pardo a amarillento (10YR6/4-7/4, seco a 10YR 4/4, húmedo).

La presencia de carbonatos de calcio no influyó significativamente en la definición del color.

Los revestimientos de arcilla, más abundantes en las muestras de la serie T3, acentuaron el color rojizo de los tepetates y en general no cambiaron de color con la humedad.

Cuadro 2. Colores de los tepetates.

Tepetate	Color	Seco	Húmedo
t2	Matriz	10 YR 7/2	10 YR 4-6/4
	Revestimiento	10 YR 6/6 7.5 YR 4/6	10 YR 6/6 7.5 YR 4/6
t3	Matriz	10 YR 6-7/6	7.5 YR 4-5/6
	Revestimiento	7.5 YR 4-5/4 5 YR 4/4	7.5 YR 4/4 5 YR 4/3
ti	Matriz	10 YR 4-7/4	10 YR 4/4
	Revestimiento	10 YR 6/4	5 YR 4/4

Estructura

Esta propiedad presentó variaciones dependiendo de la condición del tepetate, dentro del perfil (masivo) o aflorando (diferentes subestructuras), de las diferentes series (t2: columnas, t3: bloques y prismas) y de la presencia o no de carbonatos (bloques poliédricos y cuadrados cubiertos por láminas sub-horizontales de caliche).

Las estructuras observadas sugieren que los tepetates estudiados, sobre todo los que no contienen carbonatos, consisten de depósitos consolidados y poco alterados (t3>t2) a tal grado que sólo han alcanzado a desarrollar subestructuras.

Consistencia

Todos los tepetates se mostraron duros y muy duros al estado seco. Sin embargo, los tepetates sin carbonatos resultaron frágiles, mientras que los que presentaban carbonatos no fueron tanto. En el primer caso los tepetates humedecidos se fragmentaron y/o se transformaron (con las manos) en pastas, mientras que en el segundo caso no fue posible. Desde el punto de vista de clasificación, las pruebas realizadas permitieron considerar a los tepetates de los grupos sin carbonatos, como fragipanes. Pero serán

necesarias otras pruebas complementarias para clasificar a los más resistentes como duripanes.

Revestimientos

En general todos los tepetates aflorantes presentaron revestimientos de arcillas, tanto dentro de los poros como sobre las caras de sus fragmentos. Éstos fueron más abundantes y más evidentes en la serie T3 sin carbonatos.

En los tepetates con carbonatos los revestimientos de arcilla se encontraron asociados y/o mezclados con revestimientos de carbonatos (micelios, redes y/o rellenos) y frecuentemente con pequeñas manchas y concreciones de manganeso.

Textura

En el campo, la textura se determinó con facilidad en los tepetates sin carbonatos (t3 más arcillosos que t2), pero no ocurrió así en los tepetates con carbonatos; la estimación de estos últimos no fue posible debido a que se disgregaron en gránulos firmes, difíciles de romper.

Los resultados analíticos (Fig.1) confirman que los tepetates de la serie T3 son más arcillosos que aquéllos de la serie T2, lo que indica una alteración más fuerte para los materiales t3 que para los materiales t2.

Para los tepetates de una misma serie (t2 ó t3), con CaCO₃, muestran texturas más arenosas. Estos resultados pueden explicarse más por una dispersión incompleta, que por variaciones en la naturaleza del material parental o por una alteración más débil debido a un clima más seco.

Contenido de carbonatos de calcio

Los resultados de laboratorio coincidieron parcialmente con las observaciones de campo (Cuadro 3). Al respecto, los resultados coinciden al indicar los valores más bajos (1.4-2.5%) para los tepetates sin CaCO₃ y los más altos (4.6-14.2%) para los tepetates con mucho CaCO₃, pero no reflejan la diferencia entre los tepetates sin y con moderados CaCO₃, debido a que los valores de este último (1.9%), quedan incluidos en el grupo de tepetates sin CaCO₃.

Cuadro 3. Características físicas de los tepetates.

Tepetate	Sitios	CaCO ₃ %	Da g/cm ³	Dr	pF 2.5 (t) (b)	pF 4.2 (t) (b)	CC (t)	PMP (b)	Pt %	Pb %	Pm %	Pm/Pb	HBS %		
t3	P30-11K	2.2	1.51	2.97	27.4	26.5	18.1	24.7	9.3	1.8	43	44.5	40.0	0.90	29.5
	P26-10	2.2	1.16	2.34	43.8	46.4	36.8	44.1	10.0	4.3	56	63.8	56.1	0.88	55.0
sin CaCO ₃	P27-Kb	2.5	1.36	2.27	38.4	33.9	28.9	32.4	9.5	1.5	49	52.6	46.1	0.87	38.7
	P13-10K	2.5	1.23	2.28	44.6	-	33.3	-	11.3	-	54	-	-	-	-
	P35-11K	2.1	1.35	2.34	40.1	38.1	28.8	-	11.3	-	49	55.2	51.4	0.93	40.9
t3 con CaCO ₃	K12	1.9	1.53	2.43	24.0	20.8	13.2	20.6	10.2	6.2	42	36.9	31.8	0.86	24.1
	K7	14.2	1.35	2.33	25.8	25.0	20.9	22.3	4.9	2.7	49	42.3	33.8	0.80	31.3
	P28-8K	2.0	1.55	2.28	24.1	21.1	17.4	18.6	6.7	2.5	41	35.0	32.7	0.93	22.6
t2 sin CaCO ₃	P30-5K	1.7	1.39	2.39	30.8	30.6	19.3	24.6	11.5	6.0	48	53.1	42.5	0.80	38.2
	P33-5K	1.4	1.47	2.41	31.3	27.6	19.5	25.4	11.8	2.2	45	54.2	40.6	0.75	36.9
	P35-4K	1.8	1.47	2.36	28.3	24.9	17.9	-	10.4	-	45	44.4	36.6	0.82	30.2
t2 con CaCO ₃	A13	4.6	1.45	2.27	32.2	-	23.6	20.2	8.6	-	45	32.0	-	-	21.8
ti	K15a	5.6	1.43	2.27	24.7	25.8	18.8	20.4	5.9	5.4	46	38.6	36.9	0.96	27.0

t= Humedad determinada sobre tierra tamizada.

b= Humedad determinada sobre bloques cúbicos de tepetate.

Pt= Porosidad total calculada (Pt=1-Da/Dr, Dr=2.65), en muestras tamizadas.

Pb= Porosidad total medida a partir de la Da y del contenido de agua en los bloques saturados.

Pm= Microporosidad (Da x CC de bloques cúbicos).

HBS= Humedad de bloques saturados.

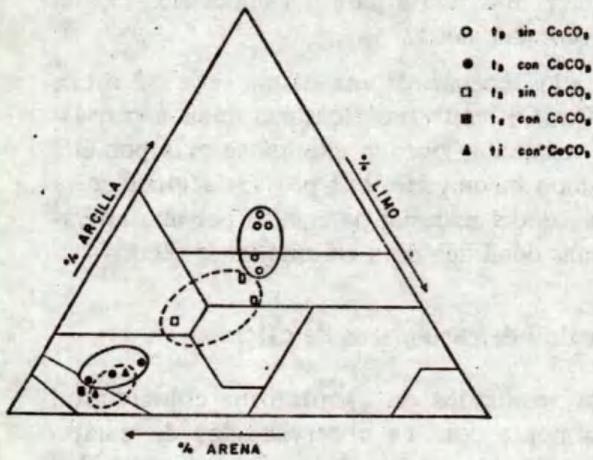


Figura 1. Clases texturales de los tepetates.

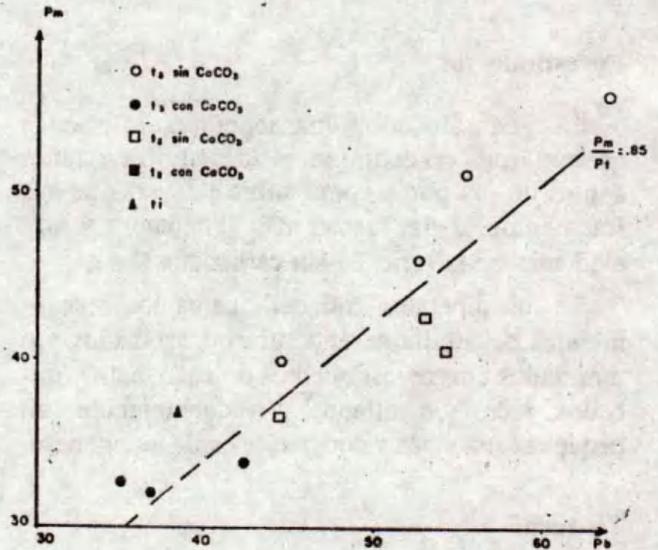


Figura 2. Densidad aparente (Da) y porosidad total (Pt).

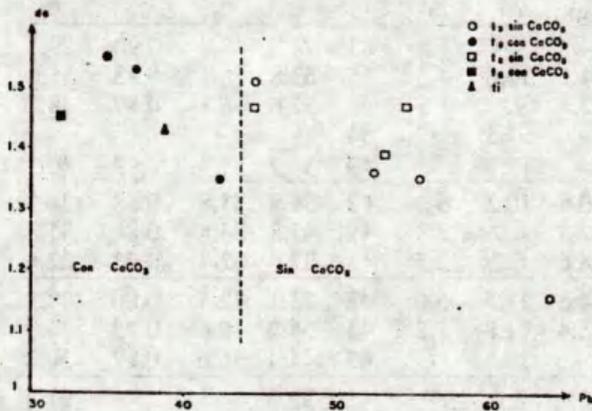


Figura 3. Porosidad total (Pt) y microporosidad (Pm)

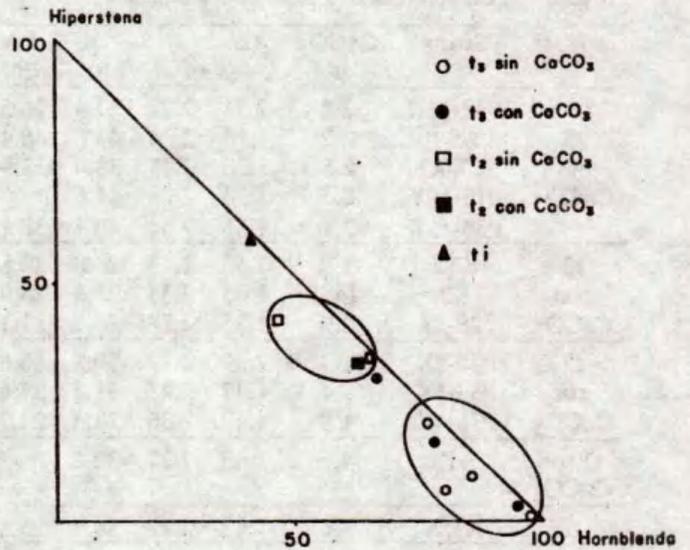


Figura 4. Composición de los minerales pesados.

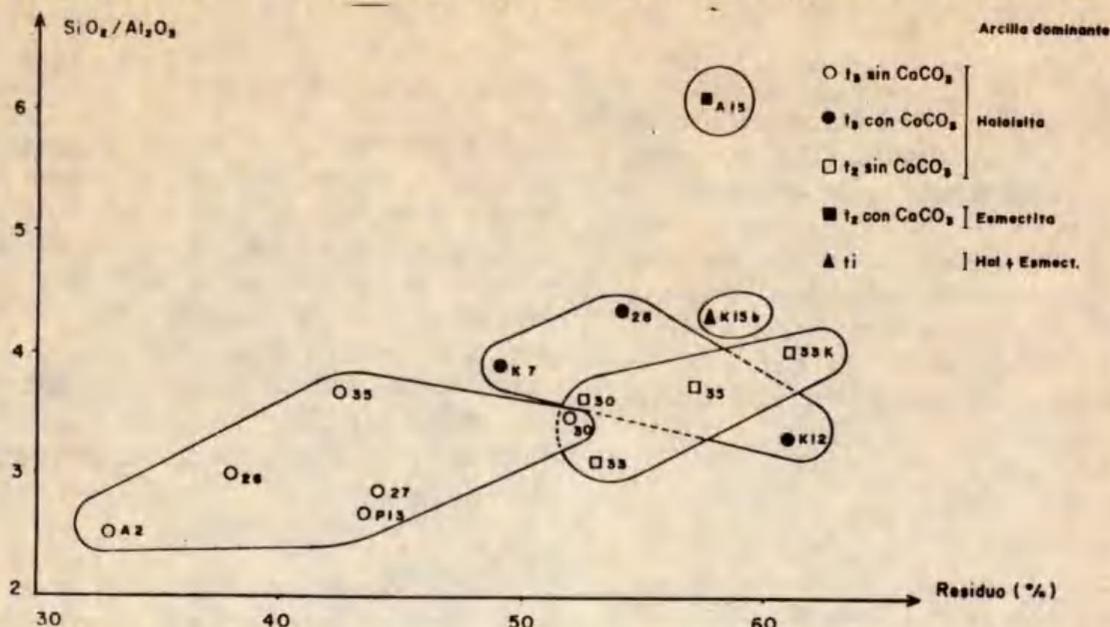


Figura 5. Ataque triácido. Relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y residuos.

Por otra parte, el rango obtenido para los tepetates con mucho carbonato se considera bastante amplio, con respecto a lo que se observó en el campo. Las causas probables de estas variaciones son mencionadas por Etchevers *et al.* (1991).

Densidad y Porosidad

La densidad real (D_r), determinada por el método del picnómetro, muestra valores comprendidos entre 2.27 y 2.47, con un promedio de 2.35. Al respecto, en la literatura se reportan valores que varían de 2.40 a 2.49 ($n=22$), con un promedio de 2.46 g/cm^3 (Avila, 1963; García, 1961; Rey, 1979). Sin embargo, aun cuando ambos conjuntos de valores son similares, se consideraron relativamente bajos. Estimaciones realizadas en otros estudios (en curso), sugieren que las densidades reales de los tepetates se encuentran entre 2.4 y 2.8 g/cm^3 . Por todo lo anterior, para determinar la porosidad total (Cuadro 3), se optó por hacer los cálculos con el valor recomendado de 2.65 g/cm^3 .

En relación con la densidad aparente (D_a) (Cuadro 3 y Fig. 2), los tepetates presentan valores entre 1.23 y 1.55 (con excepción del P26-10 cuya D_a es de 1.16 g/cm^3). A pesar de

que no hay una diferencia significativa entre los grupos, se observa que los tepetates con carbonatos de calcio tienen densidades más altas. Asimismo es posible observar que los tepetates de la serie T2 tienden a presentar densidades más altas que los de la serie T3.

La porosidad total, en tepetates sin CaCO_3 y calculada con $D_r=2.65$ (Pt), es más baja que aquella determinada a partir del contenido de agua del bloque saturado (Pb). Un comportamiento contrario a éste presentan los tepetates con CaCO_3 .

La porosidad total es más elevada en los tepetates sin CaCO_3 que en los tepetates con CaCO_3 (Fig. 2 y Fig. 3). En cada grupo (sin o con CaCO_3) la porosidad total es más elevada en los tepetates de la serie T3 que en los de la serie T2. Estos últimos tepetates, sin CaCO_3 , presentan una macroporosidad (en comparación con la porosidad total) más elevada que aquella de los t3.

Humedad aprovechable

Se determinó por diferencia entre las humedades a pF 2.5 y a pF 4.2 sobre muestras no perturbadas (bloques cúbicos) y sobre muestras molidas y tamizadas a 2 mm. Para cada

tratamiento no hay diferencias significativas (Cuadro 3) entre las muestras de los diversos grupos (t3, t2 y ti, con o sin CaCO_3), pero existe una diferencia apreciable entre las humedades aprovechables de las muestras no perturbadas (prom. = 2.9) y aquéllas de las muestras tamizadas (prom. = 9.3), lo que quiere decir que la molienda del tepetate después del subsoleo, antes de su incorporación a la agricultura, es importante para aumentar la humedad aprovechable de este material.

Minerales pesados

Los tepetates de la serie T3 se caracterizan por una predominancia de hornblenda en los minerales pesados, lo cual permite diferenciarlos con relativa facilidad de los tepetates de la serie T2 que tienen, además de hornblenda, hiperstenas (Fig. 4).

Minerales arcillosos

La presencia de haloisita en los tepetates de la serie T3 (sin y con carbonatos de calcio), sugiere que éstos se intemperizaron en un clima relativamente húmedo.

Asimismo, la esmectita contenida como arcilla dominante en los tepetates de la serie T2 sugieren que los tepetates de esta serie, se intemperizaron en un clima más seco. Los tepetates ti, están constituidos principalmente por haloisita y esmectita (Cuadro 4).

Cuadro 4. Composición mineralógica (resultados sintéticos).

Tepetate	Composición mineralógica			
t2	Esmectita	Haloisita 7Å	Cristobalita	Feldespatos
t3		Haloisita 7Å y 10Å	Cristobalita	Feldespatos
ti	Esmectita	Haloisita 7Å y 10Å	Cristobalita	Feldespatos

Residuo del ataque triácido

Los residuos obtenidos por ataque triácido apoyan lo anterior, dado que los porcentajes de éstos disminuyen al aumentar el grado de alteración y viceversa i.e. Las muestras de T3 presentan menores residuos que las de la serie T2 (es más joven y menos alterada que la T3). Los tepetates con carbonatos, ubicados en clima seco, presentan valores más altos que los sin carbonatos, los cuales por estar ubicados en clima más húmedo, están más alterados que los primeros.

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Como debía esperarse, esta relación es más alta en los tepetates con esmectita que en los que presentan haloisita. Sin embargo, los resultados más altos que los correspondientes para cada tipo de arcilla, permiten pensar que existe un poco de sílice libre, especialmente en las zonas más secas, en donde se alcanzaron valores de 3.3 a 4.3 en los tepetates con haloisita y de 6.1 para los que contienen esmectita (Fig. 5).

CONCLUSIONES

Las propiedades estudiadas muestran un comportamiento semejante dentro de cada grupo de tepetates, por lo que se concluye que los criterios utilizados (naturaleza de los materiales originales y presencia o no de carbonatos) son adecuados para clasificar los tepetates del área del estudio.

- Los tepetates de la serie T3 presentan colores más intensos y texturas más arcillosas, que los de la serie T2 y que los tepetates ti.

- Las estructuras variaron dependiendo de la condición del tepetate, de las diferentes series y de la presencia o no de carbonatos.

- En lo que se refiere a la clasificación de los tepetates, los del grupo sin carbonatos son fragipanes, pero estudios más concretos acerca de las resistencias y naturaleza de los cementantes, son necesarios para clasificar a los restantes como duripanes.

- La naturaleza del material parental (T3, T2, Ti) y el clima han sido los principales responsables de las propiedades físicas y mineralógicas que caracterizan a los grupos de tepetates estudiados.

LITERATURA CITADA

AVILA H., M. 1963. Recuperación de suelos erosionados de Chapingo, México, con plantaciones forestales. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

ETCHEVERS B., J. D., C. ZEBROWSKI, R. M. LOPEZ R. y D. PEÑA H. 1991. Caracterización química de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Memoria del 1^{er} Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

GARCIA E., A. 1961. Estudio de los suelos tepetatosos y sus posibilidades de recuperación agrícola. Tesis de licenciatura. Depto. Suelos. UACH, Chapingo, México.

PEÑA H., D. y C. ZEBROWSKI. 1991. Los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Mem. 1^{er} Simp. Int. Suelos Volc. Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

REY C., J. A. 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la Cuenca del Río Texcoco en base al factor K. Tesis de Maestría. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

RESISTENCIA DE TEPETATES DE LA VERTIENTE OCCIDENTAL DE LA SIERRA NEVADA

Resistance of Tepetates of the Western Slopes of the Sierra Nevada

David Peña H.¹, María E. Miranda M.¹ Claude Zebrowski ² y Héctor M. Arias R.¹

¹ Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. Méx., México.

² ORSTOM, D.F., México.

Palabras clave: Fragipán, Duripán, Tepetate, Suelos volcánicos endurecidos, Resistencia, Módulo de ruptura, Marco de carga, Penetrómetro.

Index words: Fragipan, Duripan, Tepetate, Indurated volcanic soils, Resistance, modulus of rupture, Axial chamber, Penetrometer.

RESUMEN

Este trabajo planteó los siguientes objetivos: evaluar la resistencia de los tepetates a partir de tres métodos de estimación, establecer relaciones entre la resistencia y otras propiedades físicas e identificar los posibles cementantes.

La resistencia se estimó usando el módulo de ruptura, el marco de carga y el penetrómetro de cono. Las propiedades físicas correlacionadas con la resistencia fueron el contenido de humedad y la densidad aparente. La identificación de cementantes se realizó con base en pruebas de solubilidad.

Los tepetates con mucho carbonato de calcio presentaron las resistencias más altas, siguiéndoles los tepetates con poco carbonato y finalmente, las resistencias más bajas las presentaron los tepetates sin CaCO₃. En tepetates sin CaCO₃ se confirmó la relación a mayor humedad menor resistencia

pero en tepetates con CaCO₃ esta relación no fue clara. Los tepetates de la serie T3 tienden a ser más duros que los de la serie T2 sin CaCO₃.

Los tepetates sin CaCO₃ se disgregaron en agua destilada, definiéndose como fragipanes. Los tepetates tratados con HCl 1N y NaOH 1N requieren estudios más precisos para definirlos como duripanes.

SUMMARY

The objectives of this paper are: to evaluate the resistance of the tepetates on the basis of three methods, to establish the relationship between the resistance and other physical properties, and to identify the possible cement.

The resistance was estimated using the modulus of rupture, the axial chamber, and the cone penetrometer. The resistance was correlated to moisture content and bulk density. Chemical tests of dissolution were performed to identify the cements.

Tepetates containing a large amount of calcium carbonates presented the highest resistance, followed by tepetates with a few carbonates, and finally the lowest resistance was of those containing no CaCO₃. The following relationship

was confirmed in tepetates with no CaCO_3 : the higher the moisture content, the lower the resistance. However, tepetates containing CaCO_3 , did not show this relationship. The serie of T3 tepetates tend to be harder than the serie T2 without CaCO_3 .

Tepetates without CaCO_3 were disaggregated in distilled water and therefore defined as fragipans. Those treated in 1N HCl and 1N NaOH require further and more precise studies before they can be defined as duripans.

INTRODUCCION

El presente estudio, acerca de la resistencia que presentan los tepetates, complementa la caracterización física realizada por Peña y Zebrowski (1991). Planteándose los siguientes objetivos: a) evaluar la resistencia a partir de tres métodos de estimación y b) establecer relaciones entre la resistencia y, el contenido de humedad, la densidad aparente y los posibles cementantes de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada.

MATERIALES Y METODOS

Se estudiaron los 13 tipos de tepetates considerados en la caracterización física y mineralógica (Peña y Zebrowski, 1991).

La resistencia fue medida a partir de dos métodos de laboratorio y uno de campo, citados a continuación.

Módulo de ruptura

La descripción de este aparato, así como de las bases metodológicas de esta prueba, fue presentada por Richards (1953). En el presente trabajo se utilizaron bloques rectangulares de tepetates de 10 x 4 x 2.5 cm de longitud, ancho y

espesor, respectivamente. Para cada tipo de tepetate se estimó la resistencia a cuatro niveles de humedad: seco al aire (humedad de campo), punto de marchitez permanente (succión a 15 atm), capacidad de campo (0.3 atm) y saturados (considerados así, al alcanzar su peso constante durante su permanencia en una lámina de agua de 3 a 4 mm de espesor), con tres repeticiones para cada nivel. La relación promedio de agua aplicada, para todos los bloques, fue de 1,086 g/min y los resultados de cada prueba se expresaron en bars.

Marco de carga

El marco de carga utilizado fue descrito por Delgadillo *et al.* (1989). De esta forma y tomando como referencia los resultados obtenidos en el módulo de ruptura, se seleccionaron 9 de los 13 tipos iniciales y se ensayaron en el marco de carga.

De la misma manera que en el módulo de ruptura, las pruebas se realizaron a los cuatro niveles de humedad citados, con tres repeticiones para cada nivel. Pero, en este caso, los bloques utilizados fueron de 4 x 2 x 2 cm, expresándose las resistencias en kg/cm^2 .

Penetrómetro

Las mediciones de resistencia a través de un penetrómetro de cono Soil Test CN-970, se realizaron directamente tanto en los tepetates aflorantes como dentro de un perfil típico, caracterizado por Zebrowski *et al.* (1989). Los resultados se expresaron en kg/cm^2 .

En los tres métodos y después de cada prueba, se estimaron los porcentajes de humedad de las muestras mediante el método gravimétrico (105°C).

Finalmente, se realizaron pruebas para la identificación de agentes cementantes. Éstas se realizaron con base en el orden y los criterios de identificación citados por Nimlos (1987), y han tenido como base la solubilidad de los

tepetates. Se definieron los porcentajes de disgregación de bloques secados al aire (4 x 2 x 2.5 cm), los cuales fueron introducidos en frascos con los siguientes reactivos: agua destilada, ácido clorhídrico 1N e hidróxido de sodio 1N, este último calentado a 50°C. Los bloques sumergidos fueron colocados en una agitadora mecánica de movimiento horizontal, con velocidad de 120 a 125 golpes por minuto, durante dos horas. En seguida se colectaron los materiales disgregados y se secaron al ambiente del laboratorio durante 7 días. Posteriormente, se calculó el porcentaje de partículas menores de 3 mm de diámetro, obtenido para cada muestra disgregada.

RESULTADOS Y DISCUSION

Algunas propiedades físicas, estudiadas por Peña y Zebrowski (1991), así como los resultados de resistencias y de identificación de cementantes se sintetizan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Propiedades útiles para la identificación de los tepetates del área de estudio.

Serie	CaCO ₃	Presentación	Color	Textura	Estructura	Consistencia	Porosidad %	Residuo SiO ₂ /Al ₂ O ₃ %	Arcilla	
T3	Sin*	Ocasionalmente, costras superficiales	Amarillo a pardo	Arcilla	Bloques y prismos gruesos	Duro y frágil	39-50	33-45	2.6-2.8	Haloisita
	Con	Láminas subhorizontales y costras superficiales		Arena francosa? a franco arenosa?	Masivo	Extremadamente duro	32-42	33-39	2.6-2.8	Haloisita
T2	Sin*	Ocasionalmente, costras superficiales	Gris claro a blanco	Franco arcillosa	Columnas gruesas	Duro y frágil	38-42	53-65	3.2-4.1	Esmectita más haloisita
	Con	Láminas subhorizontales y costras superficiales		Arena francosa? a franco arenosa?	Masivo	Extremadamente duro	36	57	6.1	Esmectita
Ti	Con	Láminas subhorizontales y costras superficiales	Pardo a amarillento	Arena francosa? a franco arenosa?	Masivo	Muy duro	37-41	58	4.4	Esmectita más haloisita

* Los tepetates sin carbonatos se disgregaron en agua (tanto en campo como en el laboratorio).

Resistencia

Resistencias / métodos de evaluación / presencia de carbonatos

Las resistencias de los tepetates aflorantes mostraron variaciones en sus valores unitarios debido a que las unidades de expresión variaron con los métodos, pero en general se obtuvo el mismo orden jerárquico de resistencia (a nivel de grupos), mediante los tres métodos. Encabezan la lista los tepetates con mucho carbonato, continúan los tepetates con presencia moderada de carbonatos y en la parte más baja se encuentran los tepetates menos resistentes, representados por los grupos t3 y t2 sin carbonatos, tal como se muestra en las Figuras 1, 2 y 3.

Resistencias / humedades / series

En las Figuras 1, 2, y 3 también se muestran estas relaciones. En los tepetates sin carbonato la resistencia disminuye al aumentar los contenidos de humedad, pero en los tepetates con carbonato de calcio esta relación no está bien definida. Asimismo, los tepetates de la serie T3 tienden a ser más duros que los de la serie T2 sin carbonatos.

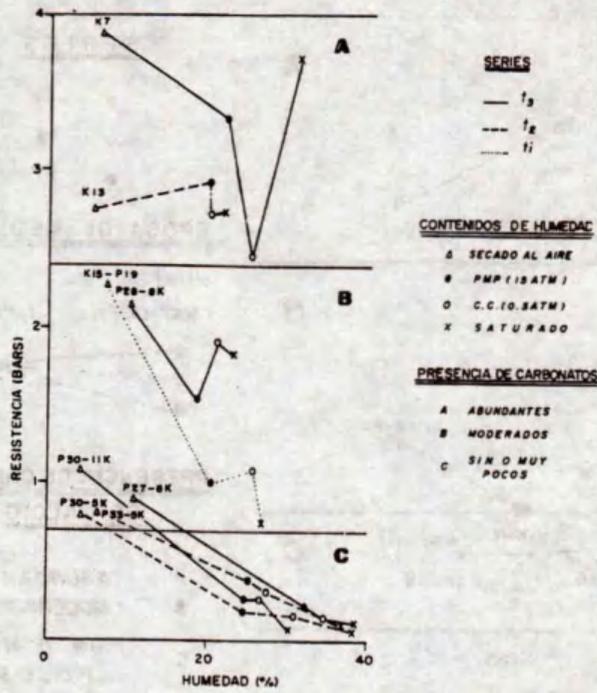


Figura 1. Resistencia de tepetates a diferentes contenidos de humedad, en el módulo de ruptura.

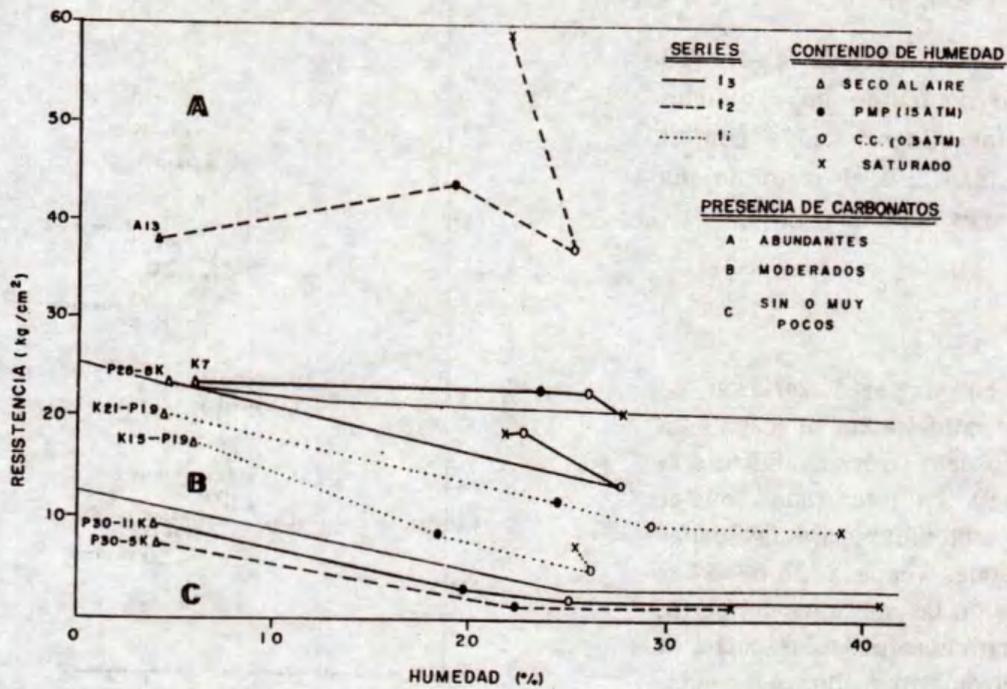


Figura 2. Esfuerzos (kg/cm^2) de tepetates con diferentes contenidos de humedad, estimados en el marco de carga. Resistencia de tepetates a diferentes contenidos de humedad, en el módulo de ruptura.

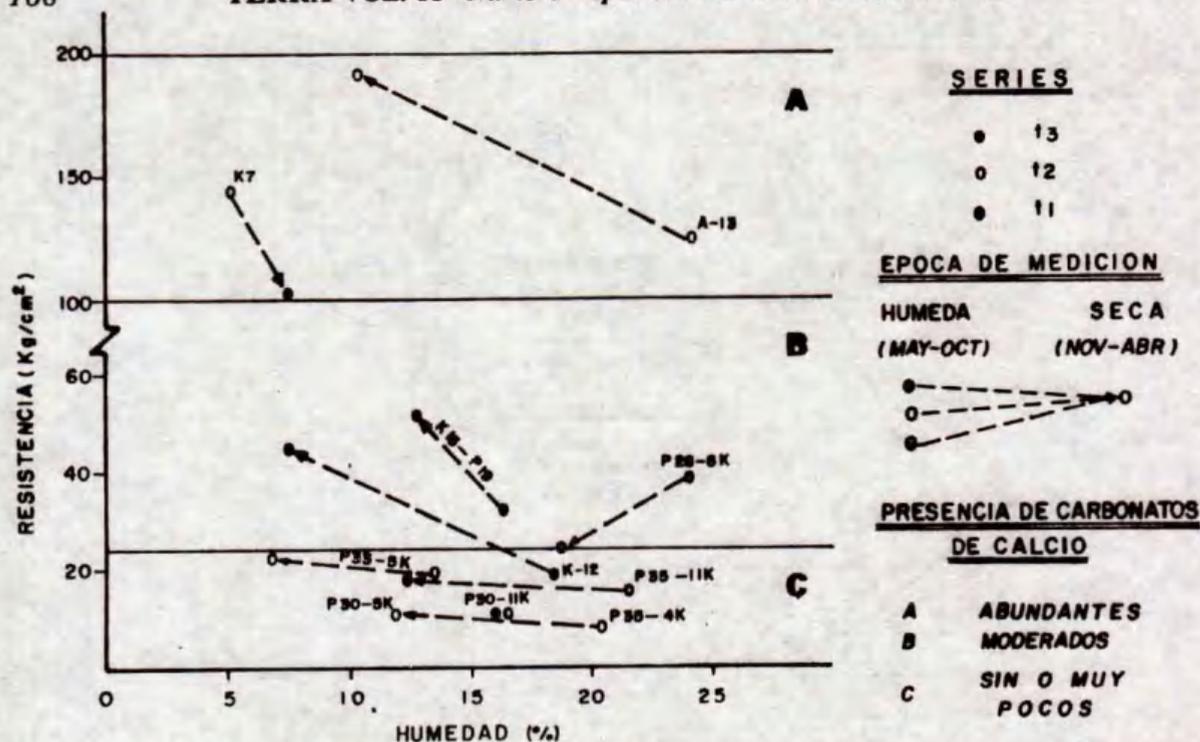


Figura 3. Resistencia de tepetates en la época húmeda (1990) y seca (1991), estimadas con un penetrómetro de cono.

Resistencias / densidades aparentes

Al respecto, sólo los tepetates de la serie T3 sin y con moderado contenido de carbonato tienden a incrementar su resistencia con el aumento de la densidad. En el resto de los grupos esta relación no es definida (Fig. 4).

Resistencias / perfil

Las resistencias en el perfil variaron de 10 kg/cm² en la capa coluvio-aluvial (capa 1) a 80 kg/cm² en el paleosuelo correspondiente a la formación T3 (capa 9). Es interesante señalar que las resistencias obtenidas para las capas definidas como tepetates (capa 5=26, 7=53 y 10=51 kg/cm²) no fueron las más altas del perfil, tal como se observó en el campo. Al respecto, es notorio que el penetrómetro estima adecuadamente las resistencias de los tepetates que afloran, pero sugiere tomar con reserva las resistencias estimadas en tepetates no aflorantes (Fig. 5).

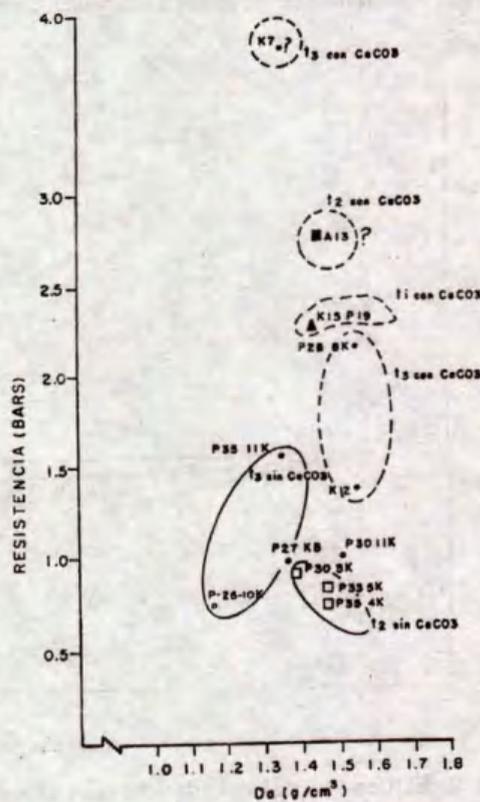


Figura 4. Resistencia versus densidad aparente de tepetates en la vertiente occidental de la Sierra Nevada.

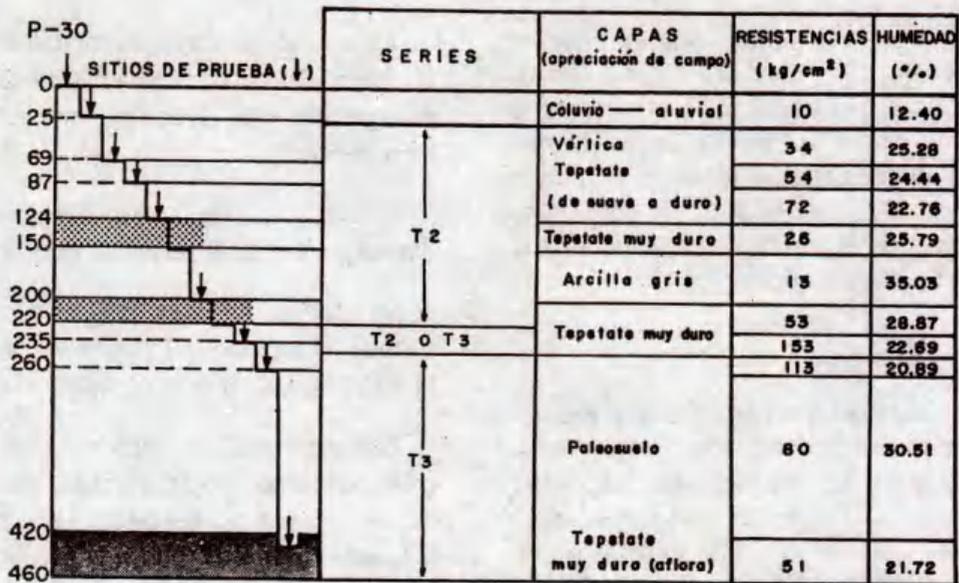


Figura 5. Resistencias estimadas con un penetrómetro de cono, en las capas de un perfil típico en San Miguel Tlaixpan.

Identificación de Cementantes

Agua destilada

Los tepetates sin carbonato se disgregaron en agua y en general presentaron más del 90% (en peso) de partículas menores de 3 mm de diámetro. Esto confirma las observaciones de campo, de tal forma que la ausencia aparente de cementantes permite clasificar a estos tepetates como fragipanes. Por otra parte, los tepetates con moderada cantidad de carbonato se disgregaron entre el 19 y 67 %, mientras que los tepetates con mucho carbonato presentaron sólo del 2-6% de partículas menores de 3 mm de diámetro (Fig. 6). Al respecto, los bajos porcentajes de disgregación sugieren la presencia de posibles cementantes y consecuentemente la necesidad de utilizar reactivos que permitan la identificación de los mismos.

Acido clorhídrico 1N

En la Figura 5 se observa que, en general, todos los tepetates con carbonato aumentaron su porcentaje de disgregación en HCl (respecto al disgregado en agua). Los rangos alcanzados fueron de 40-74% y de 13-15%, para los tepetates con moderado y elevado contenido de

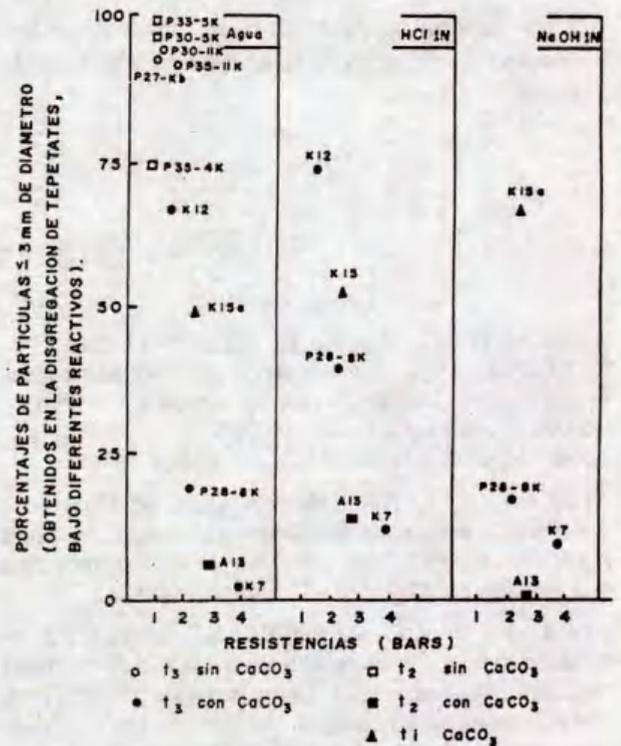


Figura 6. Relación entre porcentajes de disgregación y resistencias de tepetates del área de estudio.

carbonatos, respectivamente. Según Nimlos (1987) esto indica la presencia de carbonatos como cementantes, sin embargo, los porcentajes de disgregación son relativamente bajos, lo que sugiere que probablemente se requiere de mayor tiempo de agitación, o de una mayor concentración del reactivo y/o el uso de otro que permita la identificación de otros cementantes.

Hidróxido de sodio 1N

Los bloques ensayados en este reactivo presentaron porcentajes de disgregación heterogéneos, de tal forma que no fue posible sacar conclusión alguna. Al respecto, se están realizando otros ensayos para definir si los tepetates con carbonatos corresponden o no a duripanes (Fig. 5).

CONCLUSIONES

Los tepetates presentan el mismo orden jerárquico de resistencia bajo los tres métodos de evaluación utilizados. \

La relación a mayor humedad menor resistencia se confirma en tepetates sin carbonato, pero en tepetates con carbonato esta relación no está bien definida.

Los tepetates de la serie T3 tienden a ser más duros que los de la serie T2, sin carbonato.

Se deben realizar más estudios antes de adoptar el método del penetrómetro para evaluar la resistencia de tepetates no aflorantes.

Los tepetates sin carbonato de calcio deben considerarse como fragipanes, pero se requiere de estudios más precisos para definir si los tepetates con carbonato corresponden o no a duripanes.

Los resultados obtenidos muestran que los criterios utilizados para clasificar a los tepetates del área de estudio son adecuados; sin embargo, el reconocimiento preciso de los mismos requiere de la integración del mayor número de propiedades posibles. Por tal motivo y con la finalidad de facilitar la identificación de los tepetates caracterizados se expone el Cuadro 1.

LITERATURA CITADA

DELGADILLO, P., M. E. MIRANDA M. y B. R. RUIZ H. 1989. Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el Oriente de la Cuenca de México. Tesis profesional. Depto. de Suelos, UACh, Chapingo, México.

NIMLOS, T. J. 1987. Nomenclatura de horizontes endurecidos en suelos de cenizas volcánicas. In: Ruiz Figueroa J.F. (ed.) "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". UACh, Chapingo, México.

PEÑA, H. D. y C. ZEBROWSKI. 1991. Caracterización física y mineralógica de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Primer Simp. Internacional sobre suelos volcánicos endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

RICHARDS, L. A. 1953. Modulus of rupture as an index of crusting of soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 17: 321-323.

ZEBROWSKI, C., J. D. ETCHEVERS B. y H. M. ARIAS R. 1989. Reincorporación de los tepetates a la producción agrícola. III. Avances en los trabajos de Caracterización. Memoria del XXII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Montecillo, México.

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE TEPETATES DE REFERENCIA DE LOS ESTADOS DE MEXICO Y TLAXCALA, MEXICO

Chemical Characteristics of Reference Tepetates from Mexico and Tlaxcala

Jorge D. Etchevers B.¹, Rosa M. López R.¹, Claude Zebrowski ² y David Peña H.¹

¹ CEDAF, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

² ORSTOM, Méx., México.

Palabras clave: Horizontes endurecidos, Sierra Nevada, México, Tlaxcala, Tepetate, Caracterización química.

Index words: Indurated soil horizons, Sierra Nevada, Mexico, Tlaxcala, Tepetate, Chemical characterization.

RESUMEN

El conocimiento de las características químicas de los suelos es fundamental para el entendimiento de su génesis y el diseño de prácticas de manejo adecuadas. La información actual sobre este aspecto en el caso de los tepetates es limitada. El objetivo de este trabajo es estudiar las características químicas de una serie de tepetates considerados como de referencia en el marco del proyecto Incorporación de los Tepetates a la Producción en México. Se analizaron químicamente, por métodos convencionales, 15 muestras provenientes tanto de horizontes endurecidos ubicados dentro de un perfil (P) descrito en el proyecto, como de capas de tepetate expuestas (K), que no pudieron ser relacionados con un perfil determinado por haberse perdido los horizontes sobreyacente. Las muestras se asociaron a las series estratigráficas 2T y 3T descritas en la Sierra Nevada de México,

por lo que se denominaron T2 y T3. Algunos tepetates no pudieron ser relacionados con estas series y se les denominó ti, por indefinidos. Todos los tepetates, independientemente de su clasificación, presentaron CaCO_3 , ya sea uniformemente distribuido en la masa o en forma laminar, que varió de 1.4 a 14.2%, lo cual se atribuye a la naturaleza del material parental y a las condiciones de clima en que se desarrollaron. Estas diferencias explican parcialmente la dureza de estos materiales y las deficiencias micro-nutrimientales reportadas. El pH de los tepetates fue alcalino al medirse en agua y neutro en KCl 1N. Los porcentajes de C y N de las muestras fueron extremadamente bajos, indicando que en el pasado estos materiales no fueron colonizados por vegetales. Algo similar ocurrió con la cantidad de P disponible para las plantas, que se encontró sólo en trazas. Tanto la situación del N como la de la materia orgánica y del P constituyen serias restricciones para el crecimiento de las plantas y deben mejorarse antes de intentar introducir los tepetates al cultivo. La capacidad de intercambio de cationes (CIC) de los tepetates t3 con poco carbonato en campo fue mayor que la de los t2 de igual condición (32.0 vs 19.6 meq/100 g). Estos valores no concuerdan con la abundancia relativa de esmectita y haloisita reportada en la literatura para los tepetates t2 y t3. El porcentaje de

saturación con bases es elevado. La concentración de Ca extraíble en acetato de amonio es mayor que la de Mg y es más elevada en los t3 que en los t2 con poco carbonato de calcio. Las concentraciones de K intercambiable son altas (0.6 a 3.4 meq/100 g) y aseguran el abastecimiento de este elemento para el crecimiento de las plantas.

SUMMARY

The knowledge of chemical characteristics is important to understand the soil genesis and to design appropriate management practices. Limited data is available on this topic for tepetates i.e. indurated soils horizons derived from volcanic materials. The objective of the present work was to determine the chemical characteristics of tepetates used as reference in the Project Incorporation of Tepetates to Agriculture Production in Mexico. Fifteen tepetate samples from indurated horizons within soil profiles (P) described as tepetates and from exposed indurated layers (K) of profiles that had lost the overlaying horizons were obtained. In the latter case it was not possible to relate the indurated layer to a particular tepetates profile. Tepetate samples were named either as T2 or T3 according to its relation to the stratigraphic series 2T and 3T described for the Sierra Nevada. Some tepetates could not be related to these series and were named ti. All tepetate samples presented some degree of CaCO₃ accumulation either as thin layers or mixed in the matrix. CaCO₃ percentages ranged from 1.4 to 14.2%. Differences were attributed to climate conditions prevalent during formation and to the nature of the parent material. The presence of CaCO₃ contributes to explain the induration of tepetates as well as some reports on micronutrient deficiencies. The pH of the tepetates was alkaline and neutral when measured in water and KCl 1N, respectively. Carbon and nitrogen percentages were extremely low due to poor colonization by plants and microorganisms in the past. Low avail-

able P levels were also observed. Nitrogen, organic matter and P concentrations should be sharply increased in the tepetates before attempting plant cultivation; present conditions are severely restrictive for plant growth. Cation exchange capacity (CEC) of t3 tepetates which had little CaCO₃ content under field conditions was higher than t2 CEC (32.0 vs 19.6 meq/100 g). These values disagree with those reported for the relative abundance of smectite and halloysite in t2 and t3 tepetates. The proportion of the CEC saturated to bases was in general high, and higher in those with abundance of CaCO₃. Concentration of ammonium acetate-exchangeable Ca was higher than exchangeable Mg. Exchangeable K levels were high in most tepetates ranging from 0.6 to 3.4 meq/100g. These concentrations ensure enough K for plant growth for the time being.

INTRODUCCION

Los tepetates son suelos que tienen horizontes endurecidos, generalmente el superficial, pero que han sido utilizados en producción agrícola desde hace siglos, después de su rehabilitación con tecnologías locales (Hernández, 1987). Debido a sus particularidades han despertado el interés de los científicos, quienes han estudiado algunas de sus características (Miehlich, 1984 y 1991; Ruiz, 1987), sin embargo, su origen así como sus principales propiedades químicas y físicas son aún poco conocidas.

Las investigaciones conducidas por el grupo de trabajo conformado por personal científico de ORSTOM (Francia) y el Colegio de Postgraduados (México), han establecido que los materiales que dan origen a los tepetates del tipo t2 y t3 (Zebrowski *et al.*, 1989) son depósitos de cenizas volcánicas finas (cineritas riolíticas), parcialmente alteradas a arcillas y limo muy fino, producto de erupciones volcánicas violentas (Quantín *et al.*, 1991) y no depósitos de loess como lo reportaron originalmente Heine y Schönhals (1973) y Miehlich (1984). La

denominación T2 y T3 se ha dado en concordancia con dos series estratigráficas (T2 y T3) descritas por Heine (1978). El esqueleto del material está formado por clastos angulosos de vidrios y minerales sin signos de haber sido arrastrados por viento o agua y la matriz densa y débilmente fisurada (Quantin *et al.*, 1991).

Los principales minerales primarios observados en láminas delgadas de tepetates son: vidrios riolíticos, plagioclasas, horblenda y magnetita, además de un poco de hipersteno y augita y pequeñas cantidades (trazas) de cuarzo y cristobalita, los cuales presentan diversos grados de alteración (Hidalgo *et al.*, 1991). Previamente, Valdez (1970) había descrito la presencia de limonita y hematita, en tanto que Pacheco (1979) y Rey (1979) indicaron haber detectado albita, andesina (una plagioclasa sódica) y ortoclasa.

En la fracción fina, Hidalgo *et al.* (1991) observaron la presencia de haloisita y esmectita con diversos grados de cristalización y en diversas proporciones. Estos autores señalan que, en general, la esmectita es más abundante en el tepetate t2 y la haloisita en el t3. Por su parte, Rey (1979) al examinar la fracción arcillosa de los tepetates observó la presencia de illita y montmorillonita interstratificadas, así como de material amorfo. Cajuste y Cruz (1987a) señalaron que estos materiales amorfos son principalmente geles de sílice.

Según Hidalgo *et al.* (1991), la presencia de sílice libre es evidente en el plasma matricial de los tepetates, así como en la fracción arcillosa y la atribuyeron a una alteración primaria de los vidrios volcánicos. Estos autores también observaron una silicificación secundaria de los argilanes, la cual se debería a un proceso pedológico, pero que no explica totalmente la cementación de los tepetates. Esta silicificación incipiente de las cineritas alteradas hace pensar que la mayoría de los tepetates de la zona de interés de este estudio puede considerarse como

fragipán. En contraste con este proceso de endurecimiento se tiene que otros tepetates, particularmente los ubicados en las partes más bajas de las topoclímosecuencias (clima subárido), presentan carbonatación. Esta carbonatación puede estar uniformemente distribuida en el material o puede formar láminas que penetran las fisuras y los tubos biológicos (Quantin, 1991).

Ciertas propiedades químicas de los tepetates han sido motivo de estudio por varios autores (Avila, 1963; Cajuste y Cruz, 1987a; Etchevers *et al.*, 1991; Delgadillo *et al.*, 1989; Rey, 1979; Sánchez, 1981; Valdez, 1970), quienes las determinaron con el propósito de apoyar algunas de sus hipótesis. Sin embargo, los autores del presente estudio no tienen conocimiento de un trabajo realizado *ex profeso* para caracterizar químicamente los diversos tipos de tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada, con excepción del de Cajuste y Cruz (1987a), en el cual no se intentó ligar estas características con la génesis o el tipo de material. Las principales conclusiones de los reportes anteriores son: que los tepetates presentan reacción de neutra a alcalina, poseen bajos niveles de materia orgánica y nitrógeno, cantidades medias a altas de potasio, contenidos bajos de fósforo que aumentan en función de la cantidad de fertilizante fosfatado aplicado (años de cultivo) y, en general, niveles altos de calcio y magnesio. Sólo un estudio (Cajuste y Cruz, 1987b) hace referencia a los bajos niveles de micronutrientes, particularmente de manganeso y zinc, observados en un tepetate. Etchevers *et al.* (1991) reportaron la existencia de una deficiencia de hierro en plantas cultivadas en un tepetate calcáreo sometido a una extracción acelerada de nutrimentos.

El objetivo de este trabajo es presentar las características químicas de una serie de tepetates considerados como referencias en el marco del proyecto Incorporación de Tepetates a la Producción en México, que se realiza con el apoyo de la CEE.

MATERIALES Y METODOS

Se colectaron 15 capas de materiales considerados como tepetates representativos de todas las condiciones observadas en la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Las capas fueron identificadas con las letras P y K (seguidas de un número y/o letras), según proviniesen de un horizonte dentro de un perfil o de una capa aflorada debido a la erosión de los horizontes sobreyacentes (Cuadro 1). Estos números se refieren a tepetates de referencia descritos en el proyecto Incorporación de los Tepetates a la Producción en México. En la mayoría de los casos estas capas se asociaron a un horizonte específico dentro de un perfil (P); sin embargo, hubo circunstancias en que esto no fue posible debido a la desaparición de las capas sobreyacentes. El perfil de referencia se identifica por el número que sigue a la letra P y la capa por el número que sigue a la letra K. El espesor de las capas de tepetates fue diferente en cada caso.

Las muestras fueron secadas al aire, luego molidas y tamizadas a 1 mm antes de someterlas a análisis químico. El pH se midió en agua y en KCl 1N, empleando una relación tepetate-líquido de 1:2. El carbono orgánico se determinó por el procedimiento de Walkley y Black, consistente en una digestión con dicromato de potasio en un medio de ácido sulfúrico. El nitrógeno total se evaluó por el método de Kjeldahl. La estimación del fósforo disponible se hizo con el procedimiento de Olsen (NaHCO_3 0.5M pH 8.5). Se determinó las bases intercambiables por lixiviación del tepetate con acetato de amonio 1N pH 7 y la capacidad de intercambio de cationes por remoción y posterior evaluación del amonio retenido por este material durante la lixiviación anterior. Con estos resultados se calculó el porcentaje de saturación de bases. El porcentaje de CaCO_3 se calculó mediante un método de neutralización de HCl de concentración exactamente conocida y la posterior titulación del ácido excedente con NaOH valorizado.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de los análisis químicos realizados en los tepetates de referencia de la vertiente occidental de la Sierra Nevada.

Las características químicas de los tepetates de referencia t2, t3 y ti (tepetates indefinidos) muestran algunas diferencias. En general, los valores promedio de pH en agua fueron menores en los tepetates con bajo contenido de carbonato (7.8 y 7.5) que los respectivos pH en los tepetates con carbonatos (8.2, 8.3 y 8.8), siendo el de los t3 mayor (8.1) que el de los t2 (7.9), pero menores que el de los ti (8.8). El pH en KCl fue sustancialmente menor que el pH en agua (entre 0.8 y 1.8 unidades); en los tepetates con alto contenido de carbonato este pH fue generalmente superior a 7.0. El amplio intervalo de diferencias de pH puede deberse a las cantidades de sales solubles que contienen las muestras y que se disuelven al adicionar agua destilada, lo cual tiende a elevar los valores de pH. En contraste con la lectura de pH en agua, la medición en KCl se hace en un medio con una elevada fuerza iónica, lo que impide que el efecto de las sales nativas se manifieste con intensidad. El efecto de las sales nativas sobre el potencial de unión es un hecho documentado en la literatura (Hesse, 1971).

Las concentraciones de CaCO_3 determinadas en el laboratorio coinciden con las observaciones hechas en el terreno. Los tepetates t3 (del 1 al 5) fueron considerados con bajo contenido CaCO_3 , ya que presentaron, en promedio, 2.4% de esta sal. El estudio morfológico de los tepetates t3 (6, 7 y 8) señala que éstos poseen una proporción mayor de CaCO_3 que los anteriores, pero el análisis del primero y del último sólo arrojó un contenido de 1.9 y 2.1%, respectivamente. Esto se debe a que éstos contienen CaCO_3 en forma laminar y probablemente las muestras analizadas no fueron representativas de la situación general observada en el campo, o alternativamente, a que el CaCO_3 se segregó durante la molienda por

tener una dureza diferente al resto del material. En contraste, el tepetate 7 tiene el CaCO₃ mezclado con la matriz del suelo. Las diferencias en porcentaje de CaCO₃ entre los tepetates t2 (9 a 12), que morfológicamente presentan bajos y altos niveles de esta substancia, también se manifiestan en los resultados de laboratorio. Las medias de ambos tipos fueron 1.6 y 4.6%, respectivamente. El porcentaje de CaCO₃ en los tepetates clasificados como indefinidos (ti), es decir, en aquéllos en que no existe seguridad de que pertenezcan al tipo t2 ó t3, varió de 2.4 a 5.5%. Las altas concentraciones de CaCO₃ contribuyen a explicar las características de dureza que exhiben estos materiales, así como las deficiencias de micronutrientes observados por Cajuste y Cruz (1987a) y Etchevers et al. (1991) en los tepetates cultivados. La dureza de los tepetates con bajo contenido de CaCO₃ estaría

mejor explicada por un proceso de silicificación (Hidalgo et al., 1991).

Los porcentajes de N total en los tepetates son extraordinariamente bajos y se deben a la ausencia casi absoluta de residuos orgánicos. Tal situación es una de las principales limitantes para el establecimiento de plantas superiores en estos materiales. La habilitación de los tepetates para el establecimiento de cultivos agrícolas debe considerar, en forma especial, el incremento de la materia orgánica y el nitrógeno, mediante adiciones de estiércoles, abonos verdes y fertilizantes nitrogenados. La respuesta a estas prácticas ha sido documentada en numerosos trabajos (Ruiz, 1987). El P extractible (Olsen) es prácticamente inexistente en todos los tipos de tepetate de referencia. Esta situación ha sido atribuida por Etchevers et al. (1991) a los bajos

Cuadro 1. Algunas características químicas de los tepetates de referencia.

No.	Tepetate	Toba	CaCO ₃ campo	CaCO ₃ %	pH agua	pH KCl1N	C %	N %	P Olsen ppm	Ca interc.	Mg interc.	K interc.	Na interc.	CIC	PSB %
1	P30-11K	t3	SC ¹	2.2	8.1	6.7	0.24	0.07	T	6.7	6.4	1.7	0.9	17.5	85
2	P26-10	t3	SC	2.5	7.6	6.3	0.16	0.02	T	12.1	7.9	2.6	0.4	39.9	58
3	P27-Kb	t3	SC	2.5	7.6	6.6	0.12	0.02	T	12.1	9.9	1.9	0.7	22.5	100
4	P13-10K	t3	SC	2.5	7.9	6.8	0.08	0.02	T	15.7	10.0	2.4	2.7	39.4	78
5	P35-11K	t3	SC	2.1	7.6	6.8	0.08	0.02	T	14.6	9.5	3.4	3.9	40.6	77
Media				2.4	7.8	6.6	0.1	0.03		12.2	8.7	2.4	1.7	32.0	80
6	K-12	t3	CC	1.9	8.1	7.2	0.15	0.02	T	11.4	8.2	1.5	1.8	25.0	100
7	K-7	t3	CC	14.2	8.8	7.4	0.16	0.02	T	45.3	11.9	1.2	1.3	27.6	100
8	P28-8K	t3	CC	2.0	8.2	6.8	0.12	0.01	T	13.6	6.7	1.5	0.9	25.1	90
Media				6.0	8.4	7.1	0.1	0.02		23.4	8.9	1.4	1.3	25.9	97
9	P30-5K	t2	SC	1.7	7.3	6.4	0.15	0.05		8.7	6.3	1.3	1.2	21.3	82
10	P33-5K	t2	SC	1.4	7.8	6.4	0.20	0.05	T	7.3	6.1	1.0	0.9	17.6	81
11	P35-4K	t2	SC	1.8	7.4	6.1	0.12	0.03	T	7.2	6.1	1.2	0.6	20.0	75
Media				1.6	7.5	6.3	0.2	0.04		7.7	6.2	1.2	0.9	19.6	79
12	A-13	t2	CC	4.6	8.3	7.1	0.15	0.03	T	44.5	8.5	2.3	1.3	33.6	100
13	K-15a	ti	CC	5.5	8.9	7.1	0.36	0.07	T	41.4	10.5	2.6	1.0	26.6	100
14	K-21	ti		2.5	8.9	7.1	0.08	0.03	T	18.8	5.4	0.6	1.0	24.4	100
15	K-22	ti		2.4	8.6	7.2	0.20	0.02	T	18.8	4.5	1.0	0.6	17.8	100
Media				3.5	8.8	7.1	0.2	0.04		26.3	6.8	1.4	0.9	22.9	100

¹ SC=tepetates con bajo contenido de CaCO₃ determinado morfológicamente; CC= tepetates con alto contenido de carbonatos medido en igual forma.

niveles de P total en el material parental y no a reacciones de adsorción rápidas o lentas. Al igual que el N, el P debe ser adicionado al suelo, hasta alcanzar niveles compatibles con los requerimientos de los cultivos. Debido a las características de adsorción de estos tepetates, es posible alcanzar dichos niveles en el corto plazo y con adición de cantidades moderadas de fertilizantes fosfatados de alta solubilidad (Etchevers *et al.*, 1991).

En general, la capacidad de intercambio de cationes (CIC) de los tepetates t3 con bajo y elevado porcentaje de CaCO_3 (32.0 y 25.9 meq/100 g de suelo), es mayor que la de los t2 con escaso CaCO_3 (19.6 meq/100 g) pero inferior a la de t2 con CaCO_3 . En este aspecto los t1 se semejan más a los t2 que a los t3 (media 22.9 meq/100 g). Hidalgo *et al.* (1991) indican que la haloisita es la arcilla dominante en la fracción fina de los t3, mientras que en los t2 es la esmectita. Esto indicaría que la explicación de los mayores valores de CIC hay que buscarla en la presencia de materiales amorfos. La formación de estos minerales secundarios está sin duda asociada con los regímenes hídricos de los sitios en los que se desarrollan los tepetates. Las concentraciones de Ca, Mg, K y Na extraíbles en acetato de amonio 1N pH 7 son, en general, superiores en los t3 con bajo o alto porcentaje de CaCO_3 , que en los t2 con bajo nivel de esta sal.

Es obvio que los niveles de este Ca estén estrechamente asociados con los porcentajes de CaCO_3 presente en los tepetates.

La concentración de Ca extraíble en los t3 varía de 6.7 a 45.3 meq/100 g, con una media de 20.0 meq/100 g, en tanto que en los t2 con bajo nivel de carbonato, el rango es de 7.2 a 8.7 meq/100 g, con una media de 7.7 meq/100 g. La de los t1 se sitúa entre 18.8 y 41.4 meq/100 g dependiendo de la abundancia relativa de CaCO_3 . El Mg extraíble, al igual que el Ca, es más elevado en los t3 (6.4 a 11.9 meq/100 g) que en los t2 (6.2 a 8.5 meq/100 g). Los t1 tienen en promedio menos Mg que los t3 (6.8 meq/100 g) pero una mayor variabilidad (4.5 a 10.5 meq/100 g). Llama poderosamente la atención los elevados porcentajes de K intercambiable que presentan los tepetates. Estos varían entre 0.6 y 3.4 meq/100 g, siendo mayores en los t3 que en los t2. Dichas cantidades superiores a los requerimientos de los cultivos. La fuente de este K no es clara, ya que la mayoría de los minerales de la fracción gruesa descritos en estudios previos no contiene este elemento (Hidalgo *et al.*, 1991; Pacheco, 1979; Rey, 1979; Valdez, 1970). Los niveles de Na intercambiable también son altos (0.4 a 3.9 meq/100 g) y probablemente se derivan de minerales, como la andesina, descritos por Pacheco (1979) y Rey (1979).

LITERATURA CITADA

AVILA H., M. 1963. Recuperación de suelos erosionados de Chapingo, Méx., con plantaciones forestales. Tesis M.C. Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

CAJUSTE, L. J. y J. CRUZ D. 1987a. Evaluación de micronutrientes en maíz criollo (*Zea mays*) en suelo con referencia de un tepetate calcáreo, p. 95-104. In: J. F. Ruiz F. (ed.) Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Autónoma Chapingo, Depto. de Suelos, Chapingo, México.

CAJUSTE, L. J. y J. CRUZ D. 1987b. Presencia de materiales amorfos en algunos tepetates de la zona de influencia de Chapingo, pp. 69-77. In: J. F. Ruiz F. (ed.) Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Univ. Aut. Chapingo, Depto. de Suelos, México.

DELGADILLO P., M. E. MIRANDA M. y B. R. RUIZ H. 1989. Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la Cuenca de México. Tesis de Lic. Univ. Aut. Chapingo, Depto. de Suelos, México.

- ETCHEVERS B., J. D., L. CRUZ H., J. MARES A. y C. ZEBROWSKI.** 1991. Fertilidad de los tepetates. I. Fertilidad actual y potencial de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. (En este volumen).
- HEINE, K.** 1978. Neue Beobachtungen zur Chronostratigraphie der mittelwisconsinzeitlichen Vergletscherung und Böden mexikanischer Vulkane. *Eiszeitalter und Gegenwart*. 23-24: 201-205.
- HEINE, K. y E. SCHÖNHALS.** 1973. Entstehung und Alter der "toba" Sedimente in Mexiko. *Eiszeitalter und Gegenwart*. 23-24: 201-205.
- HERNANDEZ X., E.** 1987. Etnobotánica de Tlaxcala, pp. 1-9. *In: J. F. Ruiz F. (ed.) Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural.* Univ. Aut. Chapingo, Depto. de Suelos, Chapingo, México.
- HESSE, P. R.** 1971. A textbook of soil chemical analysis. Chemical Publishing Co., New York, USA
- HIDALGO, C., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI.** 1991. La cementación de los tepetates: estudio de la silicificación. (En este volumen).
- MIEHLICH, G.** 1984. Chronosequenzen und anthropogene Veränderungen andesitischer Vulkanischböden in drei Klimastufen eines randtropischen Gebirges (Sierra Nevada de México); im Fachbereich, (Tesis Doctoral, Univ. de Hamburgo, Alemania). *Geowissenschaften der Universität Hamburg, Germany*. 402 p.
- MIEHLICH, G.** 1991. Chronosequences of volcanic ash soils. Verein zur Förderung der Bodenkunde in Hamburg, Hamburg, FRG.
- PACHECO L., M. C.** 1979. Cartografía y caracterización mineralógica de los tepetates del oriental del Valle de México. Tesis de Lic. Univ. Aut. Chapingo, México.
- QUANTIN, P.** 1991. L'induration des matériaux volcaniques pyroclastiques; processus géologiques et pédologiques. (En este volumen).
- QUANTIN, P., C. ZEBROWSKI, M. DELAUNE y C. HIDALGO.** 1991. El material original de los tepetates t2 y t3 de la región de Texcoco (México): ¿loess o cineritas? (En este volumen).
- REY C., J. A.** 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la cuenca del río Texcoco en base al factor K. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- RUIZ F., J. F.** 1987. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Autónoma Chapingo, Depto. de Suelos, Chapingo, México.
- SANCHEZ J., M.** 1981. Comportamiento de dos tipos de tepetates bajo la adición de abonos orgánicos y verdes en invernadero. Tesis de Licenciatura. Univ. Aut. Chapingo, México
- VALDEZ M., L. A.** 1970. Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de tepetate de la Cuenca de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

EL MATERIAL ORIGINAL DE LOS TEPETATES t2 Y t3 DE LA REGION DE TEXCOCO (MEXICO): ¿LOESS O CINERITAS?

The Parent Material of the Tepetates t2 and t3 of the Region of Texcoco (Mexico):
Loess or Volcanic Ash Tuff?

Paul Quantin ¹, Claude Zebrowski ², Mireille Delaune ¹ y Claudia Hidalgo M. ³

¹ ORSTOM, Bondy, Francia.

² ORSTOM, Méx., México.

³ CEDAF, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Palabras clave: Tepetates, Material original, Cineritas, Cenizas riolíticas, Cenizas riodacíticas, Sedimentología, Petrografía, Minerales pesados, Composición química, Texcoco, México.

Index words: Tepetates, Parent material, Fine volcanic tuffs, Rhyolitic ash, Rhyodacitic ash, Sedimentology, Petrography, Heavy minerals, Chemical composition, Texcoco, Mexico.

RESUMEN

El material original de los tepetates, horizontes endurecidos de suelos volcánicos de la región de Texcoco (México), no proviene de loess sino de proyecciones de cenizas volcánicas. Las curvas de distribución del tamaño de partícula corresponden a cenizas volcánicas parcialmente alteradas en arcilla y limo fino, sin presentar la fracción de limo grueso que es característica de los loess. Las observaciones con un microscopio óptico de este material muestra los rasgos de una toba fina: minerales angulosos, una distribución porfiró-esquelética, matriz fina y densa. La composición mineralógica y química muestra una secuencia de series de cenizas volcánicas, riolíticas con hornblenda o riodacíticas con

hipersteno.

SUMMARY

The parent material of the tepetates, indurated horizons of the volcanic soils of the Texcoco area (Mexico), do not proceed from loess, but from volcanic ash projections. The curves of particle size distribution are of weathered volcanic ashes in clay and fine silt; but the coarse silt, which characterizes a loess is missing. The observation with an optical microscopy, this material shows the features of fine volcanic tuff: angular minerals, porphyroquelic distribution, fine and dense matrix. The mineralogical and chemical composition shows a sequence of series of volcanic ashes, either rhyolitic with hornblende or rhyodacitic with hypersthene.

INTRODUCCION

Algunos tepetates (suelos volcánicos endurecidos) de la vertiente oeste de la Sierra Nevada, cerca de Texcoco, han sido comparados a las tobas de las series 2T y 3T definidas por Heine y Schönhal (1973) y Heine (1978), y a los tepetates observados en la vertiente este de la

misma sierra. Es por ello que los tepetates son designados t2 y t3 y las series correspondientes T2 y T3 (Zebrowski *et al.*, 1989). Aun cuando se trata de cenizas volcánicas, Heine y Schönhals (1973) han establecido una semejanza entre los depósitos y los loess, producto de la reorganización por el viento. Ellos se basan en la distribución bimodal de los materiales en arena fina y limo medio (Miehlich, 1991).

Esta interpretación puede replantearse como una pregunta. Miehlich (1984 y 1991) mostró que la evolución de las curvas granulométricas de frecuencia, desde la ceniza reciente hasta la ceniza alterada entre 450 y 10,000 BP caracteriza un proceso de alteración y no una distribución granulométrica debida al arrastre del viento. Esto es lo que se observa frecuentemente en los materiales de los suelos y los tepetates de las series T2 y T3 de la vertiente oeste de la sierra.

MATERIALES Y METODOS

Se estudió un perfil de suelo (P.30), localizado cerca del poblado de San Miguel Tlaixpan en el estado de México. Los métodos empleados fueron: análisis de granulometría y curvas de sedimentación, así como la determinación de los minerales pesados y el análisis químico del residuo por ataque triácido, siguiendo las metodologías empleadas en el ORSTOM. El trabajo se complementó con observaciones petrográficas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las curvas sedimentológicas, las observaciones petrográficas y la composición de los minerales pesados convergen para mostrar que el material original de los tepetates y horizontes vecinos provienen de proyecciones piroclásticas finas, poco o no organizadas por el viento.

1. Curvas Sedimentológicas

En el perfil P.30 hay una evolución del depósito, desde el más reciente en la superficie

(P.30-1) hasta el más antiguo en la base (P.30-11). La curva del primer depósito se asemeja a aquella observada por Miehlich (1991) en el depósito de cenizas 3C del Popocatepetl, que data de aproximadamente 10,000 años BP o a la toba 1T de edad vecina. Esta curva bimodal presenta una frecuencia máxima de arena fina (63-200 μm) y una más baja de la fracción <2 μm , pero no presenta un máximo correspondiente al limo. En comparación a los depósitos más recientes de cenizas (1C y 2C), este autor muestra que hubo una alteración de cenizas sin ser arrastradas por el viento (Fig 1a, 1b).

En los horizontes siguientes, las curvas (Fig. 2) muestran que la fracción <2 μm aumenta, en tanto que la de arena fina disminuye notablemente; una tercera moda, de una débil amplitud, se desarrolla en la fracción limo fino (6.3 a 20 μm). Pero la frecuencia mínima se presenta en la fracción limo grueso (20 a 63 μm), aquella que debería de caracterizar un loess (Pye, 1987). Por tanto, no se trata de un loess sino de una ceniza fina que sufrió una fuerte alteración de sus vidrios y una cierta fragmentación de los minerales.

El proceso de alteración es confirmado por el análisis químico y mineralógico; los vidrios son transformados en arcillas (haloisita, esmectitas).

2. Observaciones Petrográficas

Corresponden a las observaciones microscópicas de la organización del plasma y de las formas del esqueleto en las láminas delgadas de diferentes horizontes (4, 5, 7, 8, 10 y 11) del perfil P.30.

a. El fondo matricial de la mayoría de los horizontes situados debajo del suelo reciente, presenta una estructura masiva, densa y casi continua; está poco fragmentada por fisuras de contracción. El arreglo porfírico del esqueleto, sin una distribución granulométrica aparente, es típico de una proyección de cenizas volcánicas, no de un depósito sedimentario.

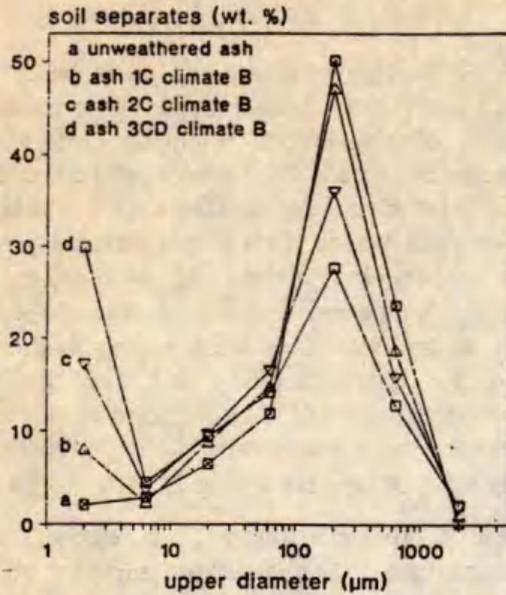


Figura 1a. Distribución del tamaño de partículas de cenizas 1C-3CD (Según Miehllich, 1991).

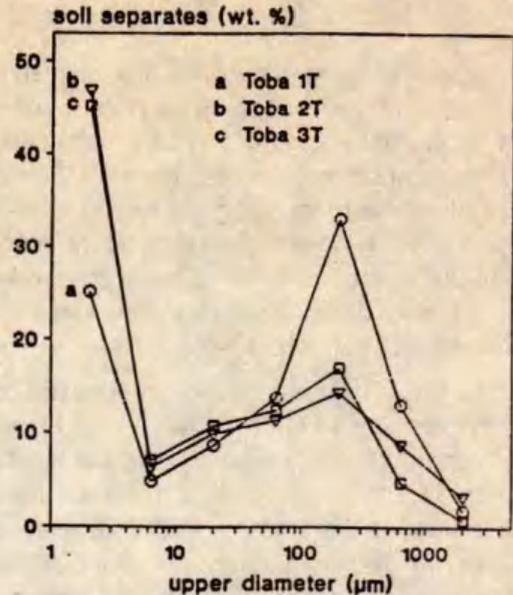
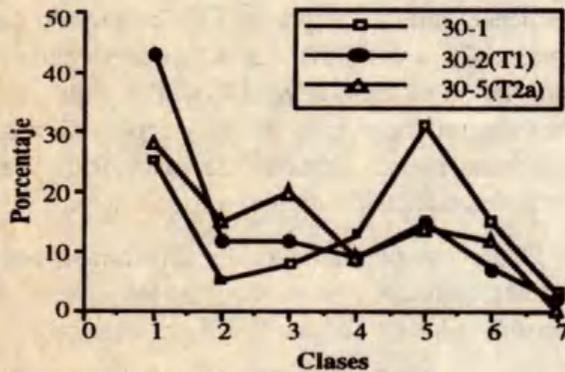


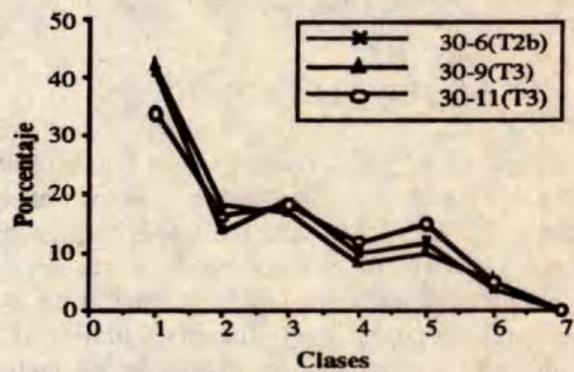
Figura 1b. Distribución del tamaño de partículas de "toba" 1T-3T (Según Miehllich, 1991).



30-1: Depósito "coluvio-eólico" reciente.

Clases: 1: < 2 µ, 2: 2 - 6.3 µ, 3: 6.3 - 20 µ, 4: 20 - 63 µ, 5: 63 - 200 µ, 6: 200 - 630 µ, 7: > 630 µ

Figura 2a. Distribución del tamaño de partículas del perfil 30 (San Miguel Tlaixpan).



30-2 a 30-11: Horizontes de tepetates.

Figura 2b. Distribución del tamaño de partículas del perfil 30 (San Miguel Tlaixpan).

Cuadro 1. Resultados de la determinación de minerales pesados (Perfil 30, San. Miguel Tlaixpan).

Horiz.	Depósito	Augita ¹	Hipersteno ¹	Hornblenda ¹	Minerales Pesados ²
1 y 2	T1	7-11	30-38	54-59	18-19
3, 4 y 5	T2a	4-12	6-8	46-79	3-4
6 y 7	T2b	2-3	6-8	88-92	6-7
8 y 9	T3a	tr-1	8-9	90-91	6-11
10 y 11	T3b	tr	1-2	98-99	1-8

1: En % de minerales pesados.

2: En % de suelo total.

Cuadro 2. Composición química, material parental (Perfil 30, San. Miguel Tlaixpan).

Oxidos	T1	T2a	T2b	T3a	T3b
	%				
SiO ₂	67.0	75.0	72.0	78.0	73.0
Al ₂ O ₃	16.0	14.0	16.0	12.0	15.0
Fe ₂ O ₃	3.0	0.8	1.2	1.0	1.3
TiO ₂	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2
CaO	5.3	3.3	4.9	3.6	4.7
MgO	2.3	0.5	0.8	0.8	0.8
K ₂ O	1.5	2.3	1.1	0.9	0.9
Na ₂ O	4.6	4.0	4.7	3.5	4.3

T1, T2a, T2b, T3a, T3b: Depósitos.

b. El esqueleto está formado de fragmentos angulosos de fenocristales y de vidrios volcánicos. Los cristales conservan una parte de su coraza vitrosa. Estos piroclastos no son modificados por efecto de un transporte aluvial o eólico, como es frecuente en los loess.

3. Composición de los minerales pesados

La fracción de minerales pesados ha sido observada en diversos horizontes de varios perfiles. En el caso del perfil P.30 la distribución y la proporción relativa de ellos, revela la ocurrencia de series de depósitos piroclásticos. No hay aparentemente, de una serie a otra, combinación de minerales ni de aportes de otros materiales (calcáreos u otros) presentes en el ambiente que pudieran indicar un transporte por el viento como es el caso de los loess.

Así (Cuadro 1), la base de la serie T3 (horizontes 10 y 11) se distingue por la predominancia casi absoluta de la hornblenda. En tanto que la parte superior de la serie T2 (horizontes 3 a 5) presenta una tasa importante de piroxenos, sobre todo de hipersteno. El final de la serie T1 (horizontes 1 y 2) se nota por la abundancia (20%) de minerales pesados y la presencia notable de augita, hechos que indican que se trata de un material menos alterado y más básico.

4. Composición del Material Parental

La composición química del material parental (Cuadro 2), se obtuvo a partir del producto insoluble por ataque triácido; se trata de minerales primarios inalterados, esencialmente de fenocristales y de lapilli vítreos de tamaño considerable, los cuales representan al menos la mitad del suelo total.

Después de la evaluación de los contenidos elevados de sílice, de 67 a 78%, se concluye que se trata de materiales riolíticos a riolacíticos; lo cual está en concordancia con la composición mineralógica observada en láminas delgadas. Es posible notar también que hay una alternancia de los materiales más básicos y otros ricos en sílice y que la serie de depósitos superiores (T1) es la más básica y próxima a la dacita. Esto está relacionado con las proyecciones eólicas recientes de cenizas volcánicas del Popocatepetl, las cuales son de naturaleza andesítica.

CONCLUSIONES

El material original de los tepetates t2 y t3, así como de la mayor parte de los horizontes vecinos, salvo casos aislados y próximos a la superficie, no es un loess, sino simplemente un depósito de cenizas volcánicas finas.

Las curvas sedimentológicas muestran perfectamente que se trata de cenizas volcánicas finas, parcialmente alteradas, que han formado arcilla y limo fino. El esqueleto formado de clastos angulosos de vidrios y de minerales no corresponde a una distribución granulométrica, ni ha sido gastada por la acción del viento o del agua. La matriz permanece frecuentemente densa y poco fisurada. Estos materiales, densos y débilmente consolidados, de cenizas volcánicas finas son similares a una cinerita (toba fina). Ellos atestiguan las erupciones volcánicas muy violentas de tipo pliniano o freato-pliniano, que han recubierto la región de una y otra parte de la Sierra Nevada.

LITERATURA CITADA

HEINE, K. 1978. Neue Beobachtungen zur Chronostratigraphie der mittelwisconzinzeitlichen Vergletscherung und Böden mexikanischer Vulkane. *Eiszeitalter und Gegenwart* 28: 139-147.

HEINE, K. y E. SCHÖNHALS. 1973. Entstehung und Alter der "toba" Sedimente in Mexiko. *Eiszeitalter und Gegenwart* 23-24: 201-215.

MIEHLICH, G. 1984. Chronosequenzen und anthropogene Veränderungen andesitischer Vulkanischböden in drei Klimastufen eines randtropischen Gebirges (Sierra Nevada de México); im Fachbereich, (Tesis Doctoral, Univ. de Hamburgo, Alemania). *Geowissenschaften der Universität Hamburg, Germany.* 402 p.

MIEHLICH, G. 1991. Chronosequences of volcanic ash soils. *Hamburger Bodenkundliche Arbeiten* 15. 207 p.

PYE, K. 1987. *Aeolian dust and dust deposits.* Academic Press, London.

ZEBROWSKI, C., D. PEÑA y J. M. VALENCIA. 1989. Reincorporación de los tepetates a la producción agrícola II. Avances de los trabajos de clasificación y cartografía, p.3. *In: Memorias del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Montecillo, México.*

PATRONES MICROMORFOLOGICOS DE ORGANIZACION DE ARCILLAS EN TEPETATES (MEXICO)

Micromorphological Patterns of Clay Assemblages in Tepetates (Mexico)

Klaudia Oleschko ¹, Claude Zebrowski ², Paul Quantin ³ y Nicolas Fedoroff ⁴

¹ *Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.*

² *ORSTOM, México, México.*

³ *ORSTOM, Bondy, Francia.*

⁴ *INA, Grignon, Francia.*

Palabras clave: Tepetate, Agentes cementantes, Rasgos micromorfológicos, Patrones de organización de arcillas.

Index words: Tepetate, Cementing agents, Micromorphological features, Patterns of clay assemblages.

RESUMEN

En la fábrica de los tepetates, los revestimientos y los rellenos arcillosos son comunes. En algunas muestras llegan a ocupar hasta un 20% de la superficie total de la lámina delgada. El papel específico de los revestimientos y de los rellenos de arcillas en la cementación de los tepetates no está demostrado hasta el momento; sin embargo, la haloisita mezclada con sílice está constantemente en la lista de sus principales cementantes. En el presente trabajo se establecieron tres patrones micromorfológicos de arcilla en tepetates del Estado de México, con base en rasgos pedológicos (P1, P2, P3). Se concluyó que las principales diferencias en las características micromorfológicas de los patrones P2 y P3 están relacionadas con un proceso distinto de formación de arcilla, sea de haloisita en clima subhúmedo o de esmectita en clima subárido.

SUMMARY

Clay coatings and clay infillings are the most common micromorphological features observed in tepetates. These forms may occupy up to 20% of the observed surface of a thin section. The role of clay coatings and clay infillings as cementing agents in the tepetates has not been conclusively demonstrated. However, halloysite mixed with free silica always appears in the list of the most probable cementing agents. Three clay micromorphological patterns were established in tepetate samples of Mexico State from three pedological features (P1, P2, P3). The main difference between the micromorphological characteristics of the P2 and P3 patterns was related to a different process of clay mineral formation, either of halloysite in a subhumid climate or smectite in a subarid climate.

INTRODUCCION

Los revestimientos arcillosos ocupan generalmente 1-2% del volumen total del suelo, pero su papel en el comportamiento del suelo ha sido reconocido y resaltado por varios investigadores

(Miller *et al.*, 1971). En la fábrica de los tepetates los revestimientos y rellenos arcillosos representan los rasgos pedológicos más comunes (presentándose en un 90% de los casos analizados); en algunas muestras llegan a ocupar hasta un 20% de la superficie total de la lámina delgada. Aunque el papel específico de los revestimientos y rellenos arcillosos en la cementación de los tepetates no está demostrado hasta el momento, la arcilla haloisítica en una mezcla con sílice está constantemente en la lista de sus principales cementantes (Miehlich, 1991).

En el presente trabajo se describen los tres patrones micromorfológicos más comunes de arcillas que fueron observados en los tepetates, es decir, pseudomórfico, de revestimientos y de fábrica vértica.

MATERIALES Y METODOS

Las muestras estudiadas pertenecen a más de cien horizontes provenientes de suelos y tepetates de la cuenca de México. Entre éstas, 13 han sido estudiadas más detalladamente y pertenecen a tres perfiles de una secuencia descrita y muestreada por G. Werner y C. Zebrowski en Calpulalpan, Tlaxcala (Figura 1). La mayor parte de los suelos de la secuencia mencionada se ha desarrollado a partir de dos depósitos volcánicos (toba o proyecciones) de edad diferente. A partir del depósito más antiguo se han desarrollado los suelos arcillosos masivos, que se observan dentro del transecto de la secuencia. El segundo depósito, más reciente, ha dado origen a suelos que, a su vez, se distribuyen según una secuencia climática. En la parte alta, más húmeda, los suelos son francos, sueltos. En la parte baja, son más arcillosos, más masivos, con acumulaciones de CaCO_3 . Una capa de arena (proyección volcánica localmente transportada por agua) separa estos dos conjuntos de suelos. Finalmente, en la parte superficial de los perfiles, se observa una capa humífera, suelta (Faeozem), que puede corresponder a un tercer depósito, eólico-coluvial.

Las muestras estudiadas en el presente trabajo pertenecen a tres perfiles localizados en la parte baja de la secuencia, que corresponde a los suelos más masivos. La ubicación de las muestras en relación con los diferentes depósitos está indicada en la Figura 1.

Las muestras inalteradas de los horizontes de los perfiles estudiados fueron obtenidas directamente en el campo sin impregnación previa. En el laboratorio, las muestras se impregnaron en condiciones de vacío con resina epoxy HU-543. Después del endurecimiento las muestras se cortaron en láminas y se pulieron hasta que tuvieron un grosor de 30 μ .

El tamaño de las láminas delgadas fue de 2 por 4 cm. Se prepararon dos láminas delgadas por muestra. Una de ellas fue sometida al estudio micromorfológico con un microscopio óptico y la otra fue estudiada con un microscopio electrónico de barrido (SEM, mod. Cambridge), equipado con un analizador de rayos X (EDXRA-microsonda).

La descripción de las secciones delgadas se realizó con un aumento de $\times 80$, de acuerdo con el Handbook for Soil Thin Section Description (Bullock *et al.*, 1985). El concepto comparativo se aplicó como la base para la interpretación de las descripciones micromorfológicas.

Las láminas delgadas sin cubrir objeto, cubiertas con una capa homogénea de carbono en condiciones de vacío, se sometieron a observaciones directas con el microscopio electrónico. Cada punto de observación se escogió previamente con el microscopio óptico y se preparó el mapa del espacio poroso alrededor de cada punto de observación, lo que permitió encontrar más rápido la imagen de interés en el microscopio electrónico. En cada punto observado se realizó un análisis de la composición elemental con la microsonda. Se calculó la relación mol. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Ki), que posteriormente se utilizó como indicador de la mineralogía de las arcillas y del grado de acumulación de sílice en ellas. Los análisis de la arcilla de los revestimientos y rellenos y de la matriz se realizaron separadamente.

Para los estudios con microscopio electrónico de transmisión (TEM) se prepararon suspensiones en agua de la arcilla de los revestimientos y de la matriz. Una gota de la suspensión, previamente dispersada con ultrasonido, se depositó sobre las rejillas de cobre, especialmente preparadas para este tipo de análisis. Se esperó 24 horas para lograr un secado adecuado de las muestras, las que posteriormente se sometieron a observaciones conjuntas con TEM y STEM y al análisis cuantitativo de la composición elemental con una microsonda. Una atención especial en este tipo de estudio se consagró a la morfología y a la composición elemental de los fitólitos en los tepetates.

Posteriormente, en la etapa de interpretación de los resultados, se trató de establecer una relación entre los patrones morfológicos de la arcilla en los tepetates, la composición elemental de la arcilla (con especial atención en la relación Ki) y la dureza de las muestras, medida directamente en el campo, en muestras inalteradas.

RESULTADOS

Patrón Seudomórfico de Formación de Arcilla *in situ*

El primer patrón micromorfológico de la arcilla (P1) fue denominado patrón seudomórfico. Sus indicadores son: rasgos pedológicos amorfos o criptocristalinos, isotrópicos bajo la luz polarizada, que indican una formación de arcilla *in situ*. Los rasgos señalados son seudomorfosis de fenocristales, con un grado de fuerte a moderado. En el último caso se distinguen claramente los límites del cristal y su forma inicial. Una parte de las partículas se conservó sin alteración, lo que permitió determinar su naturaleza mineralógica, que en su mayoría es de feldespato. Así se asegura su identidad mineralógica anterior (Figura 2).

El P1 no mostró ninguna relación con la morfología del espacio poroso de las capas, los

seudomorfismos pueden ocupar hasta el 15-20% de la superficie total de las muestras. El P1 corresponde a la fábrica textural argílica mátrica de la clasificación de Fedoroff (1990).

El patrón seudomórfico de la arcilla es el menos representativo entre los patrones establecidos, aunque con características específicas y claras. En la toposecuencia en discusión solamente el horizonte 2 del perfil TP3 presentó los rasgos del patrón señalado. En total 14 capas tepetatosas, de más de 100 observadas, tienen P1.

La relación Ki en la arcilla del P1 (dentro de los seudomorfismos, TP3-2) es de 3.5. En la matriz dicha relación sube hasta 4.6.

Patrón de Revestimientos de Arcilla

El segundo patrón micromorfológico de la arcilla (P2) fue el más común en los tepetates y se presentó tanto solo, como en conjunto con P1 y P3. El P2 es el patrón de los revestimientos y rellenos arcillosos. Sus indicadores independientemente del origen de la capa cementada, son rellenos densos, completos o incompletos, de los macroporos y revestimientos arcillosos laminares típicos, en algunos casos con alternancia de capas de arcilla pura y de limo o de material limo-arcilloso. El grosor de los revestimientos puede llegar a 3.4 mm. La arcilla de los rellenos y revestimientos tiene una orientación de baja a moderada y fuerte.

El P2 tiene una estrecha relación con el tipo y la magnitud del espacio poroso de la capa donde se presenta, desarrollándose mayormente en los macroporos (lo que indica su relación con los flujos preferenciales del agua). Según el color de la arcilla en el P2, que va de amarillo (10 YR 8/6) a amarillo-rojizo (7,5 YR), se puede concluir que tiene un alto contenido de hierro. Según los análisis con microsonda, el porcentaje de óxido de hierro en la arcilla de P2 fluctúa entre 7.2 y 11.5% (Figura 2); no obstante, solamente una parte del hierro proviene de óxidos libres, y la otra pertenece al mineral arcilloso.

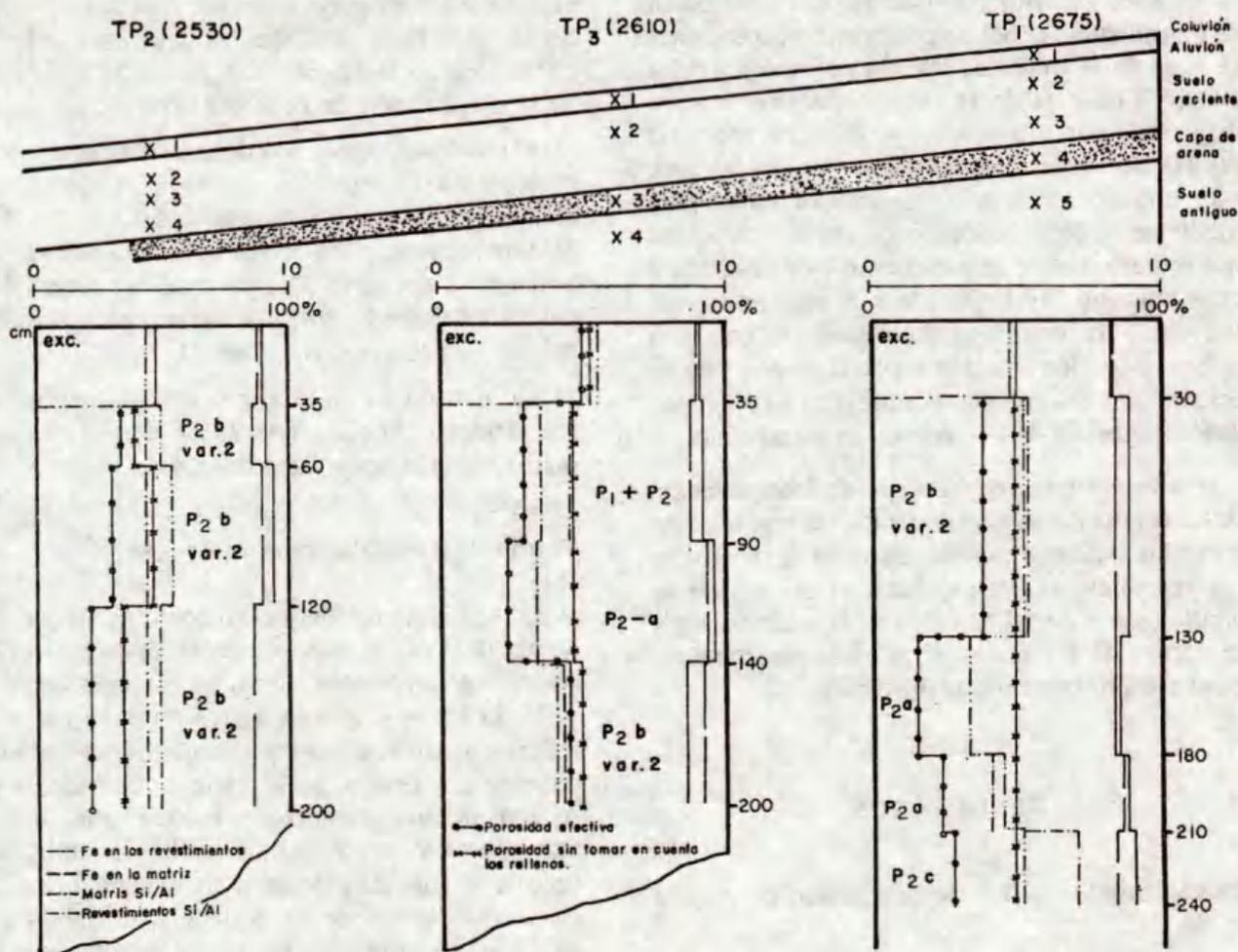


Figura 1. Ubicación de los perfiles estudiados.

El P2 se presentó en horizontes con diferentes texturas, desde migajón-arcillo-arenosa, arcilla-limosa, migajón-arenosa, hasta arena. La microfábrica correspondiente al P2 es de porfirica abierta a cerrada, con una porosidad efectiva de 19 a 35%. Según el origen de los materiales, la textura de las capas con P2, la porosidad total y su relación con la porosidad efectiva y el espacio poroso ocupado por la arcilla de los rellenos y revestimientos, y tomando en cuenta la relación K_i en la arcilla de los rellenos y revestimientos en comparación con la matriz, se distinguieron tres subpatrones de P2.

Subpatrón de relleno de arcilla o de "fábrica argílica frágica"

El primer subpatrón (P2-a) se presenta en los materiales piroclásticos, poco intemperizados, arenosos, semejantes por su mineralogía a los materiales parentales de los otros horizontes de los perfiles estudiados: con un predominio de vidrios volcánicos (40%), feldspatos (30%) y piroxenos (Fig. 3). Los rellenos y revestimientos arcillosos en P2-a están formados por poros de empaquetamiento simple y provocan una disminución promedio de la porosidad de las capas de

39 a 19%. El contenido de hierro en la arcilla varía entre 7.5 - 9.8%, lo que determina su color, que va de amarillo a café-amarillo. Como resultado de la formación de una red completa de rellenos y revestimientos, el espacio poroso interconectado es reemplazado por poros aislados, entre los cuales empiezan a predominar los poros cámaras (40%) y las cavidades (vughs-40%). Las fisuras ocupan sólo el 10% del volumen total del espacio vacío, lo que impide la circulación libre de todos los flujos dentro del horizonte. La relación K_i en la arcilla de los revestimientos de P2-a es mínima en las capas tepetatosas estudiadas y llega sólo a 3.3 (Fig. 5). El P2-a corresponde a una fábrica argílica frágica en la clasificación de las fábricas texturales de Fedoroff (1990).

La formación del subpatrón P2-a se relacionó con la existencia de pantallas texturales dentro de los perfiles estudiados, ya que se presenta en las capas arenosas (TP3-3, TP1-3, TP1-4) limitadas en su parte inferior por horizontes con una textura migajón limoso-arcillosa (TP1-5, TP3-4). Este cambio textural es la razón principal de la disminución de la velocidad de los flujos en la frontera entre las capas y de la acumulación de sílice y de óxidos de hierro sobre la superficie de las arcillas y su endurecimiento irreversible durante el proceso de desecamiento de las capas mencionadas. En total seis capas tepetatosas estudiadas tienen P2-a.

Subpatrón de revestimientos laminares de arcilla

El segundo subpatrón (P2-b) tiene los mismos indicadores y mismas características micromorfológicas (Fig. 4), pero se desarrolla en los materiales más arcillosos (la textura más común es migajón-arenosa). Además hay una reorganización completa de la masa basal en los bloques sub-angulares de diferente tamaño. Las superficies de los bloques están cubiertas completamente por revestimientos arcillosos microlaminares, que en algunas partes llegan a formar

rellenos densos, completos, en los macroporos. P2-b tiene dos variedades dentro de las capas tepetatosas, que se distinguen según el grado de orientación de la arcilla y el tamaño de los bloques sub-angulares.

* La primera variedad se caracteriza por una baja orientación de arcilla en los revestimientos. Estos últimos son muy gruesos (hasta 0.5 mm) y dividen la masa basal del suelo en bloques sub-angulares de tamaño macro homogéneo (1.4 - 3.2 mm). Esta primera variedad de P2-b (P2-b var.1) no se presentó en la toposecuencia TP en discusión, pero fue la más representativa en los horizontes tepetatosos del perfil P30 de San Miguel Tlaixpan, que sirve de referencia a los tepetates de las series T2 y T3 (Peña y Zebrowski, 1992).

Treinta y cuatro muestras observadas tienen el P2-b, var.1. Dependiendo del grado de desarrollo del patrón señalado, algunas de ellas se describen como tepetates y otras no son endurecidas. Según la clasificación de Fedoroff (1990) el P2-b, var.1 corresponde a las fábricas texturales argílica frágica o argílica limosa.

* La segunda variedad de P2-b (P2-b, var 2) se caracteriza por una orientación de la arcilla de moderada a perfecta en los revestimientos. Estos últimos son más finos (hasta 0.025 mm) y separan la masa basal en bloques sub-angulares heterogéneos por su tamaño (desde 0.09 hasta 6.00 mm). En algunas partes de las muestras con esta variedad de P2-b, los pequeños agregados, revestidos por arcilla perfectamente orientada, llegan a formar celdillas o redes de alvéolo, que se distinguen perfectamente bajo la luz polarizada (Figura 5). La arcilla en esta variedad de P2-b tiene relación no sólo con los macroporos, sino también con los microporos y corresponde a la fábrica textural argílica frágica de Fedoroff (1990). Se detectó un cambio importante en el valor de la porosidad efectiva de las capas con P2-b, var.2 sólo en presencia de la arcilla relacionada con las grietas.

La segunda variedad de P2-b fue la más representativa en la toposecuencia en discusión y

se presentó en las capas TP1-2, TP3-4, TP2-2, 3. Este último perfil tuvo P2-b, var.2 en las capas 2 y 3. La relación K_i en la arcilla de los revestimientos de la segunda variedad de P2-b varió en las capas señaladas entre 4.1 y 5.2. La misma relación en la matriz de las capas tepetatosas fue similar a la de los revestimientos, fluctuando entre 4.7 - 5.3 (Figura 2).

El P2-b, var. 2 se describió en 23 muestras observadas.

Subpatrón de relleno compacto de arcilla y sílice

El tercer subpatrón (P2-c) se presentó en las capas de las cenizas antiguas y tiene las mismas características micromorfológicas que P2-a, con la única diferencia de que se desarrolla por poros de empaquetamiento complejo. El P2-c se presentó en 17 capas estudiadas, incluyendo la capa TP1-5. El desarrollo de P2-C provoca una disminución considerable del espacio poroso efectivo de la capa: de 44% (antes de la formación de los rellenos) hasta 28%. En la toposecuencia TP, la capa 5 del perfil TP1, con P2-c, tiene una máxima concentración de SiO_2 en la arcilla de los revestimientos, en la cual la relación K_i alcanza un valor de 7.5. La misma relación en la matriz es sólo de 5.4%. Las capas con P2-c tienen una cierta concentración de biolitos, entre los que predominan los fitólitos.

Patrón Vértico de Plasma o "Fábrica Argílica Vértica"

El tercer patrón micromorfológico de la arcilla (P3) se presentó en las capas de ciertos paleosuelos arcillosos, con un predominio de esmectitas dentro de la matriz del suelo (Fig. 4). Los indicadores micromorfológicos de P3 son los rasgos pedológicos relacionados con los procesos alternados de expansión y contracción de arcillas y con el proceso de su iluviación. El P-3 se describió en 12 capas endurecidas (pero no definidas como tepetates en campo).

La fábrica de la masa basal de las muestras con P3 es porfirica abierta y no corresponde a ninguna de las fábricas texturales de la clasificación de Fedoroff (1990). Se propone llamarla fábrica argílica vértica. La fábrica de birefringencia (b-fábrica) es de tres tipos:

- 1) separaciones de plasma relacionadas con las superficies: poroestriada y granoestriada,
- 2) separaciones de plasma no relacionadas con los poros (subcutánicas),
- 3) separaciones de plasma no relacionadas con las superficies, b-fábrica mosaica, reticular, ovoidal, etc.

Los poros predominantes fueron las fisuras (40%), las cámaras (40%) y los canales (20%). Además, se describieron rasgos pedológicos de revestimientos o nódulos de óxidos de hierro y manganeso en cantidad abundante. Existe también pseudomorfismos de alteración de diferentes minerales y microlitos de lavas. Los elementos estructurales predominantes son bloques sub-angulares. El complejo de características descritas es típico para los suelos vérticos, aunque puede presentarse en suelos no vérticos, arcillosos, con características de expansión y contracción alternadas (Blokhuis *et al.*, 1990).

En algunas de las muestras con P3 las grietas están rellenas de revestimientos laminares de arcilla, típicos del P2-b, que se sobrepone sobre el patrón P3. El relleno va acompañado por una disminución del espacio poroso efectivo de 45 a 20-30%. Se puede deducir que la matriz arcillosa estaba estabilizada antes de la formación de la red de revestimientos y rellenos, de depósitos periódicos; por la razón que un proceso vértico periódico debe cortar y destruir estos revestimientos.

La estabilización del sistema de grietas en estos paleosuelos puede explicarse por dos razones:

- 1) el proceso de relleno de las grietas empezó después de un brusco cambio climático (y este cambio tenía que ser de un clima más húmedo a uno más seco), lo que provocó la falta de humedad para la expansión completa del suelo;

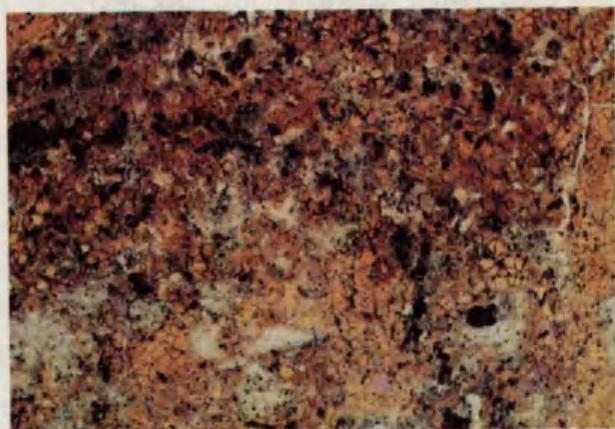


Fig. 2. El patrón P1 de la arcilla (muestra K-14b).

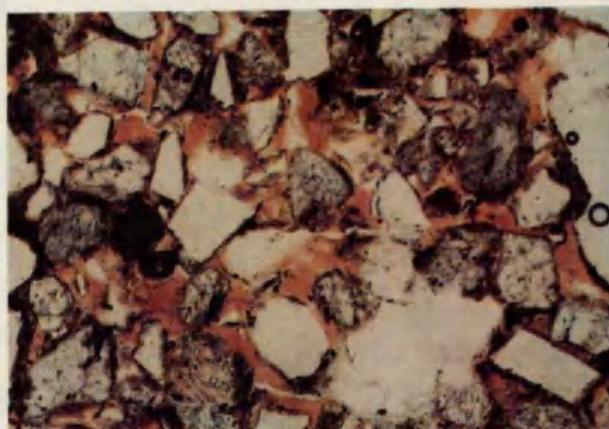


Fig. 3. El patrón P2-a de la arcilla (muestra TP1-3).

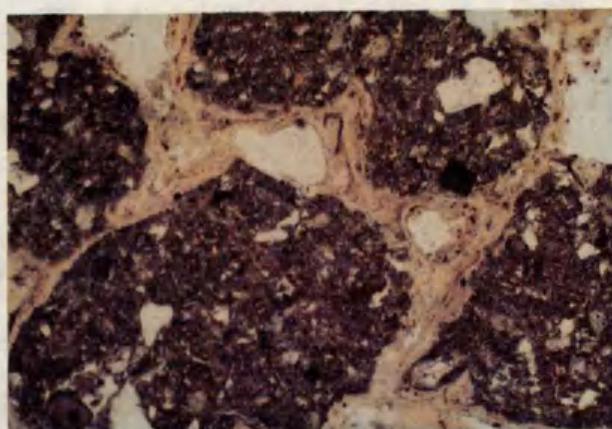


Fig. 4. El patrón P2-b, var. 2 de la arcilla (muestra A-13).

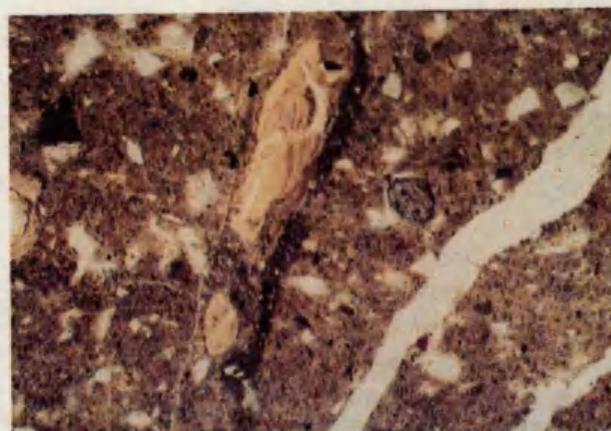


Fig. 5. El patrón P3 de la arcilla (muestra P27-3), con los rellenos arcillosos en los macroporos .

2) la matriz arcillosa del paleosuelo fue cementada antes de empezarse a formar el P2-b sobre el P3.

Esta segunda hipótesis parece más versátil, ya que la orientación perfecta de la arcilla en la matriz de las capas con P3 en relación con su composición de esmectita, hace suponer que el clima correspondiente a su síntesis fue sub-árido. No obstante, el espesor pronunciado de los revestimientos y rellenos demuestra su relación con flujos abundantes y periódicos de suspensiones de arcilla y limo; que podría tener una relación estrecha con el proceso de erosión hídrica (introducido en el área por el hombre).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El análisis de las relaciones mol. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Ki) en la arcilla de los revestimientos y de la matriz de las capas tepetatosas de la secuencia estudiada (Fig. 2) demuestra una similitud entre los valores señalados en ambas formaciones. Sin embargo, en la mayoría de los casos se presentó una tendencia hacia mayor concentración de SiO_2 dentro de la matriz (en un 17% en el caso máximo), con excepción del horizonte 5 de TP1 donde la concentración de SiO_2 en los revestimientos superó en un 28% la de la matriz. La relación Ki en la capa superficial del Faeozem (0-35 cm), sin evidencia de cementación, y con una fábrica biológica en los tres perfiles en discusión, es de 4.4 a 5.5, es decir, dentro del rango que se observa en las capas tepetatosas. No fue posible asegurarse que la silicificación durante la pedogénesis es el proceso principal de cementación de las capas tepetatosas evaluadas. Pero, en los horizontes con el patrón de arcilla P2, que tienen una predominancia de haloisita en su arcilla, de forma más esferoidal que tubular (en microscopia electrónica), el hecho que la relación Ki es mayor que 2, nos permite concluir que hubo una adsorción de sílice sobre la superficie de los minerales arcillosos. Este proceso se produjo en presencia de soluciones ricas en SiO_2 , debido a una intemperización

fuerte de piróclastos, durante el depósito o la formación de arcillas. Se observa también una adsorción local de óxidos de hierro.

La arcilla del patrón morfológico P2 en las capas endurecidas de los perfiles de la secuencia (TP1-3, TP3-3, TP2-2, 3, 4, TP1-2), juega un papel reorganizador de la masa basal, presentándose en forma de redes de rellenos y revestimientos, frecuentemente micro-laminares. Este hecho podría haber producido la reorganización física de la masa basal en los bloques sub-angulares con predominio de poros aislados de tipo cámaras y cavidades, los cuales pueden ser considerados como inactivos en los procesos de flujo de agua. La porosidad efectiva de las capas disminuye casi en un 50%. La alta concentración de SiO_2 en la arcilla puede ser responsable de la estabilidad significativa de los fragmentos mencionados, la que a su vez puede proporcionar una baja erosionabilidad de la capa. Sin embargo, ninguna de las muestras estudiadas presentó revestimientos de SiO_2 pura, lo que fue revelado por el estudio detallado de la composición elemental de SiO_2 de microláminas de los rellenos y revestimientos con la microsonda. No obstante, se observaron formas microcristalinas de sílice de tipo ópalo o calcedonia, pero muy escasas. Lo señalado no permite definir las capas mencionadas como duripanes, pero sí demuestra su semejanza con los fragipanes. Además, los estudios físicos demostraron que las capas con este patrón pueden ser recuperadas para el uso agrícola si se obtiene una distribución adecuada de tamaño de los fragmentos durante la preparación del terreno. Se propone llamar a estas formaciones como "argipanes".

El patrón P2 se reconoce como el patrón más común de endurecimiento de las capas con iluviación de arcilla. El desarrollo del P2 en las capas de cenizas antiguas se hace más complejo por la presencia de fitólitos. Estos últimos son lentamente solubles y pueden ser una fuente adicional de SiO_2 , a aquella que proviene de la alteración de vidrios y minerales volcánicos. El incremento del contenido de SiO_2 en el sistema resulta en su adsorción máxima sobre los

revestimientos y rellenos de la capa TP1-5, donde la relación K_i llega a 7.5 (Figura 2) y donde la cementación podría considerarse como un proceso complejo, que incluye una etapa biogénica de la acumulación de SiO_2 .

Las diferencias que presentan las principales características micromorfológicas de los patrones P2 y P3 están relacionadas con la distinta naturaleza mineralógica de la arcilla que predomina en cada material. Lo mencionado sirve como indicador de cambios climáticos durante su génesis.

El análisis conjunto de los resultados discutidos permite proponer la siguiente cadena de patrones morfológicos de la arcilla según la edad de su formación en la toposecuencia evaluada: $P3 > P2 > P1$, donde el patrón pseudomórfico se considera como el más reciente. Sin embargo, la presencia del P2 sobrepuesto al P1 en algunas de las capas estudiadas hace pensar en un proceso moderno de reorganización de la masa basal de éstas, que podría proporcionar su futuro endurecimiento.

LITERATURA CITADA

BLOKHUIS, W.A., M. J. KOOISTRA y L. P. WILDING. 1990. Micromorphology of cracking clayed soils (Vertisols), pp. 123-149. In: L.A. Douglas (ed). Elsevier Science Publishers, Soil micromorphology: a basic and applied science.

BREWER, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. John Wiley Sons, New York, USA.

BULLOCK, P., N. FEDOROFF, A. JONGERIUS, G. STOOPS y T. TURSINA 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications, England.

FEDOROFF, N. 1990. Notas del curso: Génesis de los suelos tropicales y subtropicales (in Ed.), México.

MIHLICH, G., 1991. Chronosequences of volcanic ash soils. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten. Band 15. Hamburg, Germany.

MILLER, F. P., N. HOLOWAYCHUK y L. P. WILDING. 1971. Canfield silt loam, a Fragiudalf: macromorphological, physical and chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 319-331.

PEÑA, D. y C. ZEBROWSKI. 1992. Los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. En este volumen.

LA CEMENTACION DE LOS TEPETATES: ESTUDIO DE LA SILICIFICACION

Cementation of Tepetates: Study of the Cementation by Silica

Claudia Hidalgo M.¹, Paul Quantin ² y Claude Zebrowski ³

¹ CEDAF, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

² ORSTOM Bondy, Francia.

³ ORSTOM México, México.

Palabras clave: Tepetates, Cementación, Silicificación, Suelos volcánicos endurecidos, Ópalo-Ct, Cristobalita, México, Gel de sílice, Sílice.

Index words: Tepetates, Induration, Silicification, Indurated volcanic soils, Opale-Ct, Cristoballite, Mexico, Silica gel, Silica.

la pedogénesis y la localización de la sílice que contribuye al endurecimiento. Se identificaron cuatro formas de sílice: gel, ópalo-Ct, sílice proveniente de alofano y sílice proveniente de aluminosilicatos. Finalmente se concluyó que la sílice no era la única causa del endurecimiento de los tepetates.

RESUMEN

Se estudió un perfil de suelo (San Miguel Tlaixpan) localizado en la vertiente oeste de la Sierra Nevada que presenta horizontes endurecidos, "tepetates", con el objeto de responder a las siguientes interrogantes: ¿Es la sílice el material cementante de estas capas?, ¿Es el endurecimiento un proceso geológico o pedológico? y ¿Cuáles son las diferentes formas de sílice presentes?

Se utilizaron diferentes métodos de caracterización: análisis químico total, difracción de rayos X, microscopía óptica y electrónica, además de análisis químicos con reactivos específicos para identificar las formas de sílice.

Los principales resultados indican que la presencia de sílice es evidente y aun cuando la silicificación podría ser un proceso reciente, queda por precisar la contribución secundaria de

SUMMARY

A soil profile which shows indurated horizons locally named "tepetates" located near San Miguel Tlaixpan in the west part of the Sierra Nevada (Mexico) was studied in order to answer the following question: Are the indurated layers cemented by silica?, Is the cementing process pedological or geological in nature?, and Which forms of silica are present in these layers?

Samples were subjected to soil chemical analysis to determine the total elemental content of selected tepetates. X ray diffraction, electronical and optical microscopical techniques, as well as specific chemical reactions were used to identify silica forms.

The presence of silica was evident. Four silica forms were identified: gel, opale-Ct, silica from allophane, and silica from layer aluminosilicates. It was not possible to determine if secondary

silica accumulation was a pedogenetical contribution, neither the exact location of the silica contributing to the induration. In addition, it was concluded that silicification it is not the solely cause of tepetate induration.

INTRODUCCION

Los tepetates descritos en la vertiente occidental de la Sierra Nevada corresponden a horizontes de material volcánico endurecido. Zebrowski *et al.* (1989) distinguen dos fases de depósitos piroclásticos que denominaron T2 y T3, por las semejanzas de éstas con el material original de dos series estratigráficas de "Toba", 2T y 3T, descritas primero por Heine (1978) y luego por Miehllich (1984). Quantin (1991), mostraron que el material que da origen a los tepetates se trata de proyecciones de cenizas riolíticas finas y no de loess.

Los tepetates de la parte media de la vertiente oeste (altitud de 2,500 a 2,800 m) están constituidos de material arcillo-arenoso y presentan una estructura masiva o prismática con una consistencia de "fragipán" (duro en el estado seco y friable en el estado húmedo).

El objetivo de este trabajo es determinar si el cemento de estas capas endurecidas es silíceo, como lo afirman: Miehllich (1984) y Werner (1986) para el caso de los tepetates de la vertiente oriental de la Sierra; Chadwick *et al.* (1987) en el caso de los "duripanes" (capa dura en estado húmedo y seco) y Dubroeuq *et al.* (1989) para el caso de los tepetates silicificados de la región de Xalapa, Veracruz. Por otro lado, es necesario definir si esta cementación es de origen geológico o pedológico, así como las diferentes formas de sílice presentes.

MATERIALES Y METODOS

Los tepetates estudiados provinieron de un perfil de suelo típico de la zona cercana al pobla-

do de San Miguel Tlaixpan (Edo. de México), al que nos referiremos como (P 30), el cual se localiza en el piedemonte de la Sierra Nevada a una altitud de 2,550 m en una zona de clima subtropical de altura con una larga estación seca (precipitación aproximada de 700 mm por año).

El perfil fue observado hasta 5 m de profundidad y está compuesto por 11 horizontes repartidos de arriba hacia abajo en tres series de materiales:

1) Un suelo coluvio-eólico del Holoceno que forma los horizontes 1 y 2,

2) Después cinco horizontes (3 a 7) de textura limo-arcillosa y de color café claro, los cuales son semejantes a la serie volcano-sedimentaria T2. Esta serie se subdivide en T2a (horizontes 3 a 5) y T2b (horizontes 6 y 7). Dichas series presentan dos horizontes cuya consistencia es semejante a la de un tepetate, el t2a (horizonte 5) y el t2b (horizonte 7),

3) Finalmente cuatro horizontes (8 a 11) de textura limo-arcillosa y de color café-rojizo, correspondientes a la serie volcano-sedimentaria T3. La serie T3 se subdivide en T3a (horizontes 8 y 9) y T3b (horizontes 10 y 11), sin embargo, presenta sólo un tepetate, el t3 (horizonte 11) que se localiza en la base del perfil (Hidalgo, 1991).

Las determinaciones hechas y los métodos empleados en este estudio fueron los siguientes:

a) Determinación de la composición química del suelo ($<2 \mu\text{m}$) y del producto de alteración, que se hizo primeramente en el material disuelto por el reactivo triácido y posteriormente en el residuo que quedó después de la fusión. Los resultados fueron normalizados y la composición se expresó como porcentaje de los óxidos anhidros una vez deducida la pérdida por calcinación. Para la determinación de los óxidos de hierro, aluminio, titanio y manganeso se utilizó un autoanalizador Technicon, en tanto que los óxidos básicos (Na, K, Ca y Mg) y el óxido de silicio se cuantificaron por espectrofotometría de absorción atómica, emisión de llama y de plasma.

b) La composición mineralógica del suelo y de la fracción arcillosa se obtuvo por análisis de difracción de rayos X.

c) Se realizaron observaciones en láminas delgadas con microscopio óptico, las cuales se complementaron con estudios por microscopía electrónica de barrido (M.E.B.) y microanálisis *in situ*, empleando para ello una microsonda (técnicas del laboratorio del ORSTOM, Bondy).

d) Se practicó un análisis químico diferencial para identificar las diversas formas de Al, Fe y Si, que se realizó a través de una secuencia de extracciones empleando los siguientes reactivos específicos: oxalato de amonio a pH 3, en la oscuridad (Blakemore, 1983), citrato-bicarbonato-ditionito de sodio a 80°C (Mehra y Jackson, 1960) e hidróxido de sodio 0.5N a 20 y 50°C (Quantin y Bouleau, 1983). La determinación de los diferentes elementos se realizó por espectrometría de plasma.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de los análisis químico global y mineralógico de cada horizonte y en forma separada, de la fracción <2 μm , fueron los siguientes:

1. Composición Global del Material Parental

Los resultados obtenidos por Hidalgo (1991) señalan la abundancia de minerales primarios residuales alterados tales como: vidrios riolíticos, plagioclasas, hornblenda, magnetita, trazas de cuarzo, y algo de cristobalita; así como pequeñas cantidades de hipersteno y de augita en la parte superior del perfil.

La alteración del material volcánico es parcial y limitada, lo cual se confirma con los resultados del análisis químico total (Cuadro 1). Los horizontes tienen elevados contenidos de sílice (>62%), bases (>7%) y del residuo que queda después del ataque fluoro-perclórico (al menos 45%) que es característico de los minerales primarios más estables. Estos resultados indican que el producto de alteración tiene una composición cercana a la del material original.

Por otra parte, en los horizontes 5, 7 y 11 con tepetate, las tasas de residuo son más elevadas en

relación a los otros horizontes de la misma serie volcánica que los recubren (4, 6 ó 10), lo que puede indicar que el tepetate está menos alterado o más silicificado como en T3.

2. Composición del Producto de Alteración

La composición mineralógica de la fracción arcillosa (Cuadro 2) muestra que en los horizontes correspondientes a la serie T2a (3, 4 y 5) abundan las esmectitas mal cristalizadas (aproximadamente 60%) y hay al menos 40% de haloisita; en tanto que en los horizontes correspondientes a la serie T2b (6 y 7) la esmectita alcanza hasta un 80% y es más cristalina que en T2a y existe un 20% de haloisita. Por el contrario, en la serie T3 (8, 9, 10 y 11) se tiene de 80 a 90% de haloisita y menos esmectita (10%). Adicionalmente, todos los horizontes del perfil presentan cristobalita (5 a 20%) que aumenta hacia la base del perfil (horizontes 10 y 11).

La composición química del producto de alteración (Cuadro 3) muestra contenidos de SiO_2 y bases más bajos que los porcentajes globales (residuo+extracto triácido) correspondientes, pero porcentajes de Al_2O_3 y Fe_2O_3 más elevados. Los valores elevados de la relación "ki" ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ mol) muestran claramente que se trata de minerales arcillosos y de sílice (cristobalita, ópalo) que se encuentran íntimamente combinados.

Si se comparan los valores de "ki" característicos de las arcillas presentes (haloisita y esmectita) y los correspondientes al extracto triácido, es posible hacer una estimación de la tasa "libre" de sílice (forma de cristobalita):

- horizontes 4 y 5, ki (triácido): 3.5 \rightarrow 5 a 10% cristobalita,
- horizontes 6 y 7, ki (triácido): 4.0 \rightarrow < 5% cristobalita,
- horizontes 10 y 11, ki (triácido): 3.15 a 3.55 \rightarrow 15 a 20% cristobalita.

Se puede notar que la cristobalita es más abundante en la base del perfil.

Cuadro 1. Composición química global (Extracto triácido residuo). Valores normalizados.

Horizonte	30-3	30-4	30-5	30-6	30-7	30-8	30-9	30-10	30-11
%									
SiO ₂	67.29	67.75	67.50	62.90	64.80	66.18	65.32	63.59	65.16
Al ₂ O ₃	19.69	20.28	19.64	22.30	20.54	20.33	21.33	22.01	20.14
Fe ₂ O ₃	5.52	5.21	4.74	7.00	5.93	6.03	6.75	6.47	6.01
TiO ₂	0.81	0.78	0.71	1.00	0.97	0.88	1.06	1.09	0.92
MnO ₂	0.07	0.10	0.12	0.10	0.07	0.09	0.14	0.17	0.14
P ₂ O ₅	0.05	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05
CaO	2.20	1.89	2.32	2.30	2.86	2.07	1.96	2.52	3.18
MgO	1.13	0.89	0.84	1.50	1.52	1.31	1.05	0.96	1.01
K ₂ O	1.12	1.11	1.56	0.70	0.89	1.16	0.67	0.83	0.75
Na ₂ O	2.14	1.96	2.53	2.10	2.41	1.91	1.66	2.32	2.66

Cuadro 2. Resultados de la difracción de rayos X. Fracción < 2µm.

Horizonte	Plagioclasas	Cristobalita	Haloisita 7 Å	Haloisita 7-10 Å	Esmectitas
%					
30-3*	tr	5	—	40	60
30-4	tr	5	—	40	60
30-5	tr	5	—	40	60
30-6*	tr	10	20	—	80
30-7*	tr	10	20	—	80
30-8°	—	15	80-90	—	>10
30-9	—	15	80-90	—	>10
30-10°	—	20	80-90	—	>10
30-11°	—	20	80-90	—	>10

* O.G.C: orientadas, gliceroladas, calcinadas.

°: Calcinación a 550°C

tr: <5%

--: no se detectó

Cuadro 3. Composición química normalizada del extracto triácido.

Horizonte	30-3	30-4	30-5	30-6	30-7	30-8	30-9	30-10	30-11
%									
SiO ₂	59.810	57.790	57.360	59.300	58.760	58.020	55.940	53.860	55.540
Al ₂ O ₃	25.220	27.950	27.320	25.180	24.950	26.490	28.210	28.970	26.610
Fe ₂ O ₃	9.677	9.492	9.933	10.100	10.180	10.110	11.030	11.800	11.960
TiO ₂	1.441	1.413	1.515	1.440	1.711	1.496	1.727	2.010	1.855
MnO ₂	0.103	0.175	0.233	0.111	0.086	0.133	0.224	0.311	0.256
P ₂ O ₅	0.066	0.057	0.072	0.041	0.051	0.055	0.077	0.073	0.088
CaO	1.050	0.886	1.093	0.944	1.079	0.910	0.768	0.751	1.221
MgO	1.606	1.329	1.242	1.988	2.138	1.698	1.267	1.330	1.270
K ₂ O	0.618	0.548	0.646	0.629	0.672	0.647	0.480	0.601	0.586
Na ₂ O	0.453	0.359	0.596	0.265	0.367	0.445	0.269	0.279	0.610
ki	4.02	3.50	3.56	3.99	3.99	3.71	3.36	3.15	3.54

k_i= SiO₂/Al₂O₃ mol.

MICROMORFOLOGIA

Se analizaron micromorfológicamente los horizontes 4 y 5 de la serie T2a, el 7 de la T2b, el 8 de la T3a y los 10 y 11 de la serie T3b. De los anteriores, sólo los horizontes 5, 7 y 11 se consideran como tepetates.

1. Microestructura

La mayor parte de los horizontes presentan una microestructura masiva, fragmentada solamente por las fisuras de retracción y por la penetración de tubos biológicos. Como lo muestra la Figura 1, el fondo matricial no presenta orientaciones plásmicas como en el caso del horizonte 5 (tepetate t2a), pero sí un arreglo del esqueleto de tipo porfírico, similar a la estructura de una cinerita. Se observan también restos de vidrios y minerales alterados.

El horizonte 7 (tepetate t2b) presenta rasgos característicos de un suelo vértico: microestructura poliédrica angulosa y orientaciones plásmicas reticuladas. Por otro lado (Fig. 2), en la parte baja del perfil, los horizontes 10 y 11 (el último es el tepetate t3), muestran un fondo matricial café-rojizo "punteado" similar al de los suelos fersialíticos.

2. Rasgos Pedológicos

Se limitan por lo general a los revestimientos y rellenos al interior de los tubos biológicos, poros vesiculares y algunas ocasiones en las fisuras, también a los nódulos ferruginosos, mangánicos (horizontes 10 y 11) o calcáreos (horizonte 7).

Los revestimientos y rellenos son de diferentes tipos: rellenos microlaminados (Fig. 3) que corresponden a los ferri-argilanes típicos, algunas veces intercalados con silanes al interior de los tubos biológicos, y revestimientos amarillo-claro límpidos (Fig. 4) un poco silicificados y/o rellenos "degradados" (Fig. 5), que presentan una silicificación mayor.

Los revestimientos amarillo-claro se presentan en los horizontes 10 y 11 de la serie T3 y también al interior de algunas fisuras, así como en el borde de los poros en los horizontes 4 y 5 de la serie T2a.

MICROSCOPIA OPTICA DE BARRIDO (M.E.B.) Y MICRO-ANÁLISIS *IN SITU*

Estos estudios se realizaron con el objeto de verificar la presencia de material silicificado en las láminas delgadas observadas bajo microscopio óptico. Los resultados se presentan en el Cuadro 4.

1. Plasma Matricial (Fracción fina isótropa del fondo matricial)

En todos los casos, excepto en el horizonte 7, la composición del plasma matricial es parecida a la de los vidrios volcánicos que componen el material original; es decir, las tasas de sílice y bases son elevadas difiriendo bastante de la composición de los minerales arcillosos, mientras que en el horizonte 7 (que presenta un carácter vértico) hay una correspondencia entre la composición de la matriz y la presencia de esmectitas.

La alteración parcial de los vidrios de la parte fina de la matriz, se cree que ocurrió después del momento del depósito; ¿Podría ser éste el origen del cemento de los tepetates?; sin embargo, algunas partes claras de la matriz en el horizonte 10 están un poco silicificadas lo que se denota por un aumento de la relación "k_i" (SiO₂/Al₂O₃ mol). ¿Esto último podría corresponder a una silicificación discreta del plasma matricial?

2. Rellenos Arcillosos

Estos son los rellenos microlaminados o ferri-argilanes típicos. Presentan una composición próxima a la del producto de alteración como lo

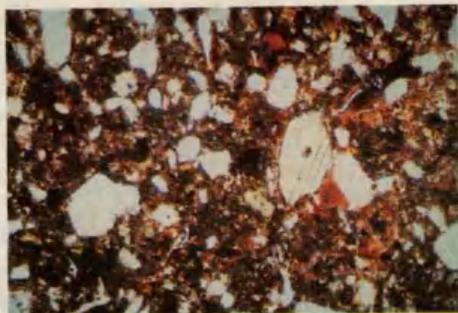


Figura 1. Microestructura masiva del fondo matricial del tepetate t2a (Luz natural).

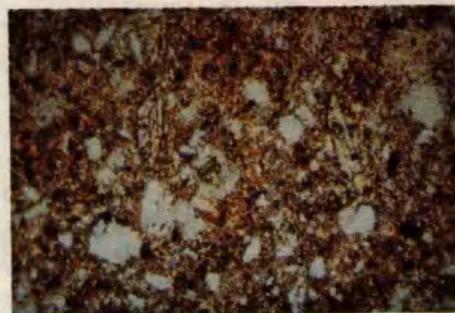


Figura 2. Fondo matricial café-rojizo punteado del tepetate t3 (Luz natural).



Figura 3. Rellenos microlaminares o ferriargilanes y silanes del tepetate t2a (Luz natural).

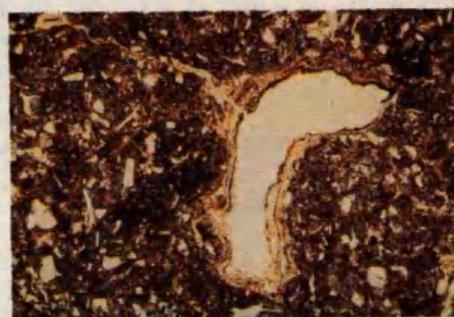


Figura 4. Revestimientos amarillo claro del tepetate t3 (Luz natural).

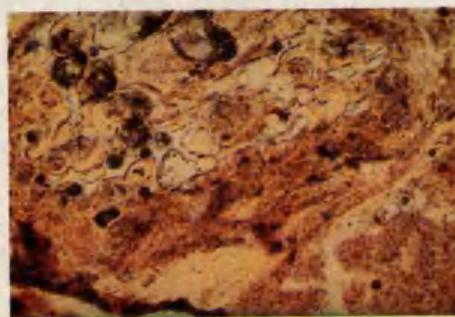


Figura 5. Rellenos amarillo claro limpidos, un poco silicificados del tepetate t2a (Luz natural).

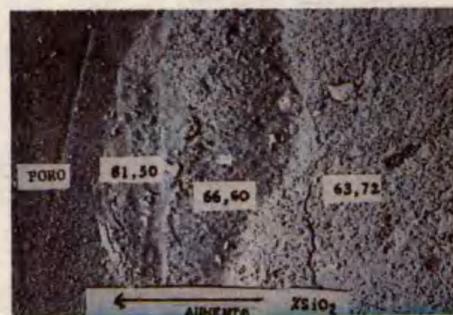


Figura 6. Microscopía electrónica de barrido de un revestimiento y microanálisis. Aumento del contenido de sílice de la matriz hacia el centro del poro (x 2600).

muestran los análisis químicos del extracto "triácido" y la microsonda. En todo el perfil, excepto el horizonte 7, los contenidos de sílice son elevados y por tanto los valores de "ki" lo son también. Lo anterior es particularmente evidente en los horizontes 8, 10 y 11 de la serie T3, en donde la haloisita es la arcilla que predomina. Los valores obtenidos para la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ mol. estuvieron entre 3.3 y 3.6. Siendo que dichos valores para el caso de la haloisita son de 2 a 2.2, sugieren que se presenta un incipiente desarrollo de silicificación en los argilanes mismos.

3. Revestimientos y Rellenos Silicificados

Los resultados obtenidos muestran que no hay rasgos de silicificación en los horizontes 6 y 7 (carácter vértico). El aumento de la cantidad de sílice es neta en los revestimientos claros, poco marcada en los horizontes 4 y 5 (parte superior del perfil) y bastante evidente en los horizontes 8, 10 y 11 en la parte inferior del perfil. Sin embargo, los niveles de sílice en los tepetates no se distinguen de los de su horizonte sobreyacente en la misma serie volcánica.

En la Figura 6 se puede observar que el aumento del contenido de sílice se presenta desde el borde cercano de la matriz hacia el centro del poro, lo cual sugiere que la silicificación podría corresponder a un proceso reciente ligado a la pedogénesis; esto coincide también con el aumento de las cantidades de cristobalita fina en la fracción arcillosa.

ANÁLISIS QUÍMICO DIFERENCIAL

Como resultado de la disolución selectiva con tres reactivos específicos: oxalato de amonio ácido (TAMM), ditionito-citrato-bicarbonato de sodio (CBD) e hidróxido de sodio (NaOH), se identificaron cuatro orígenes de sílice; en función a su grado de estabilidad a la disolución y a los valores de la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ mol ("ki") del producto disuelto. La sílice identificada que corresponde a la forma libre (gel y ópalo-Ct) y a la que proviene de los aluminio-silicatos (alofano y minerales arcillosos).

Cuadro 4. Resultados del micro-análisis *in situ* por microsonda.

Lámina observada	Zona de observación	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	CaO	k_i 1)	k_i^* 2)
%										
30-5	Masa Basal	68	21	4	0.70	1.50	2.00	1.10	5.80	
	Rellenos Micro. 3)	61	27	7	1.13	0.38	0.70	0.83	3.93	3.60
	Reves. Am-Cl 4)	57	29	9	1.00	0.25	0.60	0.60	3.38	
30-7	Mas. Bas. Arc. 5)	60	27	8	1.70	0.45	0.70	0.80	3.80	
	Rellenos Micro. 3)	61	25	7	2.30	0.70	0.70	1.20	4.06	4.00
30-10	Masa Basal	67	23	5	0.65	0.98	0.52	1.08	4.94	
	Mas. Bas. Silic. 6)	76	15	5	0.60	0.54	0.76	0.36	5.80	
	Rellenos Silic. 7)	91	5	1	0.15	0.20	0.10	0.26	>10	
	Reves. Silic. 8)	91	8	1	0.38	0.20	0.23	0.45		
30-11	Masa Basal	63	23	8	0.80	1.10	0.80	0.93	4.24	
	Rellenos Micro. 3)	57	29	9	1.00	0.10	0.60	0.80	3.30	3.50
	Rellenos Degra. 9)	72	16	4	1.20	2.00	0.60	3.20	9.40	
	Reves. Silic. 8)	63	20	6	0.90	1.50	1.10	3.20	5.30	

1) $k_i = \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ mol.

3) Rellenos Micro.: Rellenos Microlaminares (Argilanes)

5) Mas. Bas. Arc.: Masa Basal Arcillosa.

7) Rellenos Silic.: Rellenos de Sílice.

9) Rellenos Degra.: Rellenos "Degradados".

2) k_i^* : k_i del extracto triácido.

4) Reves. Am-Cl.: Revestimientos Amarillo-Claro (Cutanes).

6) Mas. Bas. Silic.: Masa Basal Silicificada.

8) Reves. Silic.: Revestimientos Silicificados (Cutanes).

Cuadro 5. Fases de solubilidad para la extracción con NaOH 0.5N a 20 y 50°C (en 8 extracciones).

Horizonte	Extracción a 20°			Extracción a 50°		
	a	b	c	a	b	c
30-4						
SiO ₂ (%)	0.40	0.35	0.91	0.60	0.55	2.43
SiO ₂ libre (%)	0.36	0.26	0.59	0.51	0.25	1.18
Al ₂ O ₃ (%)	0.04	0.08	0.27	0.08	0.26	0.59
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	17.00	7.44	5.73	12.75	3.60	7.00
30-5						
SiO ₂ (%)	0.20	0.20	1.12	0.70	0.30	3.15
SiO ₂ libre (%)	0.09	0.06	0.76	0.47	0.09	1.35
Al ₂ O ₃ (%)	0.10	0.12	0.31	0.20	0.18	0.85
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3.40	2.84	6.22	5.95	2.51	6.31
30-6						
SiO ₂ (%)	0.45	0.50	0.89	0.95	0.65	1.44
SiO ₂ libre (%)	0.43	0.31	0.69	0.67	0.49	0.66
Al ₂ O ₃ (%)	0.02	0.16	0.17	0.24	0.14	0.33
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	38.20	5.31	8.87	6.73	7.89	7.41
30-7						
SiO ₂ (%)	0.40	0.45	0.80	0.80	0.60	1.59
SiO ₂ libre (%)	0.33	0.40	0.64	0.70	0.36	0.91
Al ₂ O ₃ (%)	0.06	0.04	0.14	0.10	0.20	0.29
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	11.30	19.12	9.95	13.6	5.10	9.25
30-8						
SiO ₂ (%)	0.30	0.40	0.92	0.75	0.35	2.62
SiO ₂ libre (%)	0.25	0.33	0.69	0.59	0.17	1.84
Al ₂ O ₃ (%)	0.04	0.06	0.20	0.14	0.15	0.53
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	12.80	11.34	7.97	9.11	3.96	8.42
30-10						
SiO ₂ (%)	0.35	-	0.82	0.30	0.35	1.96
SiO ₂ libre (%)	0.35	-	0.51	0.21	0.17	1.12
Al ₂ O ₃ (%)	0.00	-	0.26	0.08	0.15	0.57
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	-	-	5.36	8.50	3.13	4.68
30-11						
SiO ₂ (%)	0.25	-	0.85	0.35	0.65	2.66
SiO ₂ libre (%)	0.25	-	0.57	0.28	0.33	1.62
Al ₂ O ₃ (%)	0.00	-	0.24	0.06	0.19	0.71
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	-	-	5.67	9.92	5.81	6.36

a, b, c: Fases de solubilidad.
SiO₂/Al₂O₃= relación molar.

a: muy soluble, b: intermedia, c: lentamente soluble.
%SiO₂ libre: por estimación y deducción de la sílice de las arcillas.

1. SiO₂ del alofano

Se obtuvo a partir de la extracción con TAMM; los valores < 0.2% en los horizontes del perfil, corresponden a contenidos de alofano de 0.2 a 0.4% (Hidalgo, 1991).

2. Sílice en forma de gel

Esta forma se identificó a partir de cuatro extracciones sucesivas con CBD (Hidalgo, 1991) y, paralelamente, con NaOH 0.5N a 20°C en ocho extracciones sucesivas (Cuadro 5), habiendo sustraído en ambos casos la sílice correspondiente al alofano.

Los valores obtenidos para el gel de sílice fueron de 0.4 a 0.6% con la extracción en CBD y de 0.2 a 0.7% con NaOH. En los horizontes con tepetate se tiene 0.5% en t2a, 0.7% en t2b y 0.3% en t3. Esta forma de sílice corresponde a la fase más soluble de la extracción con NaOH a 20°C (Cuadro 5).

3. Sílice como ópalo-Ct

Corresponde a la fase lentamente soluble (fase "c") de la extracción con NaOH 0.5N a 50°C (Cuadro 5). En este caso, se sustrajo el SiO₂ de las arcillas (haloísita o esmectita) detectadas por análisis químico (valor de k_j) y por rayos X. Los valores obtenidos se encuentran entre 1.1 y 2.3%. En los tepetates: 1.44% en t2a, 1.3% en t2b y 2% en t3.

4. Sílice libre total

Se estimó a partir de ocho extracciones sucesivas con NaOH 0.5N a 50°C (Cuadro 5). Los valores obtenidos varían entre 1.5 y 2.6% y corresponden a las tres fases de disolución (a+b+c) mostradas en el Cuadro 5. En los tepetates estos valores fueron: 2% en t2a y t2b y 2.2% en t3; los valores máximos obtenidos corresponden a los horizontes arcillo-limonosos: 2.5% en 3 y 2.6% en 8.

A partir de los resultados anteriores se puede decir en forma general que los tepetates contienen al menos 2% de sílice libre; sin embargo, su disolución no es completa en las ocho extracciones sucesivas con NaOH 0.5N a 20 ó 50°C. De la sílice libre hay al menos 0.7% en forma de gel, forma que disminuye hacia la base del perfil en donde hay un aumento de la fase menos soluble y más cristalina de ópalo-Ct.

No hay diferencias significativas de la tasa de sílice presente en los tepetates y en los horizontes sobreyacentes; es decir, entre los horizontes 5 (t2a) y 4 ó entre 7 (t2b) y 6; pero hay una diferencia débilmente positiva de +0.7% entre el horizonte 11 (t3) y el 10.

CONCLUSIONES

1. Los tepetates no manifiestan una diferencia significativa de sus constituyentes en relación a los horizontes de la misma serie volcánica que los recubren. Éstos son producto de una alteración parcial (< 50%) de cineritas riolíticas.

2. La presencia de sílice libre es evidente en el plasma matricial y en la fracción arcillosa, algunos de los revestimientos claros están un poco silicificados, sobre todo en la base del perfil (serie T3).

3. La silicificación secundaria de los argilanes (relenos microlaminares) es debida a un proceso pedológico reciente; sin embargo, esto sólo representa una pequeña cantidad de la sílice libre y dado que está muy localizada, por sí sola no justifica la cementación de los tepetates; bajo la forma de gel, esta sílice podría explicar las propiedades de fragipán del tepetate.

4. El plasma matricial presenta una silicificación difusa y discreta, es posible que esta silicificación se produzca después de una primera alteración de los vidrios volcánicos al momento de su depósito. Queda por precisar la contribución secundaria de la pedogénesis a partir de

observaciones por ultramicroscopía verificando si se presenta una película de sílice que reviste las láminas de los filosilicatos,

5. Los horizontes de tepetate t2a y t2b están muy poco o no están silicificados respecto al

horizonte que está situado sobre ellos. Sólo el tepetate t3, que es el más duro, está un poco más silicificado que el horizonte que lo recubre; lo que indica que la sílice no es la única causa del endurecimiento de los tepetates.

LITERATURA CITADA

- BLAKEMORE, L. C.** 1983. Acid oxalate-extractable iron, aluminium and silicon. ICOMAND Circular Letter 5. New Zealand Soil Bureau; Appendix 1.
- CHADWICK, O. A., D. M. HENDRICKS y W. D. NETTLETON.** 1987. Silica in duric soils: I. A depositional model. *Soil.Sci. Soc. J.* 51: 975-982.
- DUBROEUCQ, D., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI.** 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. *Terra* 7: 3-12.
- HEINE, K.** 1978. Neue beobachtungen zur chronostratigraphie der mittelwisconzinzeitlichen vergetschlerung und böden mexikanischer vulkane. *Eiszeitalter und Gegenwart* 28: 139-147.
- HIDALGO M., C.** 1991. Contribution à l'étude des sols volcaniques indurés ("tepetates") de la région de Mexico, (cimentation, induration). Mémoire DEA de Pédologie. Université de Nancy I, Nancy, France.
- MEHRA, O. P. y M. L. JACKSON.** 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clays Minerals*, 7th Conf.: 317-327.
- MIEHLICH, G.** 1984. Chronosequenzen und anthropogene veränderungen andesitischer vulkanaschböden in drei klimastufen eines randtropischen gebirges (Sierra Nevada de México). Habilitation Thesis, Fachbereich Geowischn-schaften, Universität Hamburg, Hamburg, BDR. 417 p.
- QUANTIN, P. y A. BOULEAU.** 1983. Détermination des constituants minéraux amorphes et cryptocristallins d'Andosols par analyse cinétique de leur dissolution par HCl et NaOH. *Science du Sol* (3-4): 217-234.
- QUANTIN, P.** 1991. Etude des sols volcaniques indurés "tepetates" des bassins de Mexico et Tlaxcala (Mexique). Deuxième rapport annuel d'avancement des travaux, 31 mars 1991. ORSTOM, Bondy, France.
- WERNER, G.** 1986. Los suelos en el estado de Tlaxcala, altiplano central Mexicano. Investigaciones relacionadas con su desarrollo, extensión, erosión y su utilización bajo la influencia de actividades agrícolas en 3,000 años. Universidad. Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, México. 132 p y apéndices.
- ZEBROWSKI C., D. PEÑA H. y J. M. VALENCIA.** 1989. Reincorporación de los Tepetates a la producción agrícola II. Avances de los trabajos de clasificación y cartografía, pp. 3. *In: Memorias. XXII Cong. Nac. de la Ciencia del Suelo*, Montecillo, Méx.

CARACTERIZACION DEL TEPETATE BLANCO EN TEXCOCO, MEXICO

White Tepetate Characterization in Texcoco, Mexico

Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena y Carlos Alberto Ortiz Solorio

Centro de Edafología, C.P. Montecillo, México.

Palabras clave: México, Tepetate blanco, Carbonatos de calcio, Rasgos calcíticos.

Key words: Mexico, Tepetate, Calcium carbonate, Calcitic pedofeatures.

similar to the calcareous zones but they have different parent material. The slope and altitude play an important role in their formation. Besides, the calcium carbonate has influence on weathering of the tepetate layers and rocks.

RESUMEN

El presente estudio tiene la finalidad de identificar los rasgos pedológicos, su origen y su influencia pedogenética en once perfiles con tepetate blanco que se ubican en el municipio de Texcoco, Edo. de México. Los resultados indican que los rasgos calcíticos de esta zona son semejantes a los de zonas calcáreas pero su origen difiere en cuanto al material parental. La pendiente y la altitud juegan un papel relevante en su formación. Además los carbonatos de calcio influyen en la disgregación del tepetate original y de las rocas.

SUMMARY

The calcitic pedofeatures, their origin and its pedogenetic influence in eleven soil profiles with tepetate layers of Texcoco, Mexico were studied. The results show that the calcitic pedofeatures are

INTRODUCCION

Uno de los problemas más serios a los que se enfrentan las áreas rurales de nuestro país, es la presencia de suelos delgados y el afloramiento de capas endurecidas (tepetate), como producto del proceso de desertificación. La cuenca de México es una de las áreas que más han resentido este tipo de deterioro en sus recursos naturales por los que la investigación básica sobre tepetates constituye una necesidad sobre todo para el entendimiento de sus procesos de formación.

El tepetate blanco es uno de los materiales más cementados y presenta un problema en cuanto a su roturación. Sin embargo, se ha observado que los carbonatos de calcio que forman parte del tepetate blanco tienen influencia pedogenética en la disgregación del tepetate original y de las rocas. Motivo por el cual surge el presente estudio con el objetivo de caracterizar sus rasgos calcíticos, su origen y desarrollo y su influencia pedogenética.

REVISION DE LITERATURA

Tepetate Blanco y Carbonatos de Calcio

De acuerdo con Williams (1972), los aztecas dividían el reino mineral en tres grupos: suelo, roca y un material intermedio entre los dos primeros. En este último grupo se incluía a las capas endurecidas que genéricamente se denominan como tepetates (Tetl: piedra y petatl: lecho). Término que aún en nuestros días es de uso común para los agricultores del Valle de México, quienes lo clasifican de acuerdo a su color en tepetate blanco, tepetate amarillo y tepetate rojo. En este trabajo se estudia específicamente el tepetate blanco, el cual es rico en carbonatos de calcio que le imparten un grado de dureza variable, es decir, puede ser extremadamente duro o muy friable (Gutiérrez, 1988), que de acuerdo al lenguaje pedológico puede ser considerado como un horizonte cálcico o un petrocálcico.

Por lo tanto para caracterizar el tepetate blanco resulta indispensable conocer el origen de los carbonatos de calcio, su morfología, procesos de acumulación y endurecimiento, características que han sido ampliamente estudiadas en los suelos y para los cuales existen varias teorías.

En zonas ígneas, la principal fuente de Ca es la anortita, feldespato cálcico, fácilmente intemperizable, que al reaccionar con el agua produce hidróxido de carbono y al reaccionar con el dióxido de carbono forma carbonatos de calcio más agua.

El CaCO_3 de acuerdo con Flach *et al.* (1969), Boul *et al.* (1981) y Duchaufour (1984) se mueve dentro de los suelos como bicarbonato, dicha transformación ocurre en presencia del agua y CO_2 . Esta reacción es reversible y rápidamente se puede convertir el bicarbonato en carbonato, al evaporarse el agua y disminuir el CO_2 . Siendo en los poros grandes cuando se seca el suelo, los principales sitios donde se precipita el CaCO_3 .

Gile *et al.* (1966), Flach *et al.* (1969), Wieder y Yaalon (1982), Duchaufour (1984) y Courty (1987), indican que los carbonatos se lixivian de los horizontes superiores y se depositan en el subsuelo, incrementando su contenido. La profundidad de la acumulación de los carbonatos depende de la cantidad de lluvia, por lo que en zonas áridas y semiáridas este tipo de acumulación se presenta más cerca de la superficie.

Rabenhorst y Wilding (1986), propusieron un modelo para la acumulación de carbonatos a partir de procesos de alteración de la caliza, que se realiza a través de la disolución *in situ* y reprecipitación de los carbonatos. Read (1974), suma al proceso anterior la influencia de los polvos eólicos de carbonatos en su acumulación en los suelos.

Con el incremento de la acumulación de carbonatos, se forman masas homogéneas, tapan los poros y aumentan la densidad, formándose un horizonte cálcico si no está cementado y si lo está un horizonte petrocálcico (Soil Survey Staff, 1990).

Gile *et al.* (1966), propusieron una secuencia de cuatro etapas en la formación de un horizonte petro-cálcico, que comienza con la distribución uniforme de los carbonatos de calcio y termina con la formación de una costra laminar sobrepuesta a una zona masiva y con un suelo libre de carbonatos; mientras que Rabenhorst y Wilding (1986) siguiendo estas mismas etapas, indican que el suelo puede contener carbonatos.

El desarrollo de la cementación se demuestra por el incremento en las concentraciones de carbonatos, un aumento en la densidad y por el incremento en la separación de los granos primarios con cristales de carbonato de calcio en continuo crecimiento. A medida que la acumulación aumenta se tiene una distribución de carbonatos más continua y uniforme por el horizonte, restringiendo la conductividad hidráulica y provocando que la solución del suelo saturada con carbonatos cimente otras partes del horizonte (Flach *et al.*, 1969; Duchaufour, 1984).

Micromorfología de los Carbonatos de Calcio

Micromorfológicamente los nódulos de carbonatos representan la primera etapa en la formación del horizonte petrocálcico, pero su desarrollo está en función de la naturaleza del material (textura, porosidad), distribución de la arcilla, concentración de los carbonatos, su alta densidad, presencia de organismos y condiciones ambientales (Wieder y Yaalon, 1982).

Yaalon (1977), citado por Wieder y Yaalon (1982), define el nódulo como un compuesto químico local dentro del suelo que se origina por los procesos de formación.

En ambientes donde se presenta una precipitación moderada de CaCO_3 , sobre todo en los horizontes profundos, con textura gruesa se desarrollan cristales grandes, mientras que, donde predominan altas cantidades de arcilla o de carbonatos inhiben el desarrollo de los cristales y los que se forman son muy pequeños y alargados (Courtly *et al.*, 1987; Wieder y Yaalon, 1982).

Cuando las condiciones favorecen una precipitación rápida por fuertes evaporaciones, se originan cristales grandes y puros y forman una masa continua (Wieder y Yaalon, 1982).

En cuanto a la presencia de cristales aciculares existen controversias en cuanto a su origen. Wieder y Yaalon (1982), Duchaufour (1984) y Fedoroff (1990) mencionan que es un producto biogénico de la impregnación de los cristales en las raíces, Gile *et al.* (1966) los identifican como la primera etapa morfogénica en el desarrollo del horizonte petrocálcico, Sehgal y Stoops (1972) con la presencia del manto freático y Wieder y Yaalon (1982) con la pendiente.

Flach *et al.* (1969) observaron que los horizontes con la presencia de calcita acicular, son suaves y sin ningún efecto cementante. No obstante, Rabenhorst y Wilding (1986) reportan que este tipo de calcita forma fábricas convulutas al crecer y forma una malla que después es alterada a micrita por el envejecimiento y presión de los cristales en los sitios más densos.

En relación a los tamaños de los cristales se puede indicar que la micrita es de tamaño < 4 mm, la microsparita entre los 4-50 mm, relacionada con los procesos de recristalinización y la esparita de más de 50 mm son cristales puros y productos de la precipitación directa (Wieder y Yaalon, 1982).

MATERIALES Y METODOS

Área de Estudio

El área de estudio se ubica en el municipio de Texcoco en el Estado de México, al este del camino que une a los poblados de Coatlinchán y Huexotla. Las coordenadas extremas que la delimitan son $19^{\circ}25'$ y $19^{\circ}29'$ latitud norte y $98^{\circ}49'$ y $98^{\circ}54'$ longitud oeste. Cubre un intervalo entre los 2,300 y 2,550 msnm. Esta área pertenece a la Formación Tarango constituida por depósitos de polvo volcánico, pómez, lavas y tobas del Terciario inferior; su clima es templado subhúmedo con una precipitación media anual de 700-800 mm y una temperatura media anual entre 12 y 14° C; es una zona de lomeríos con pendientes convexas y terraceadas que oscilan entre 3 y 21%; su uso es predominantemente agrícola con cultivos de escarda, pocas parcelas con pastizal inducido y otras reforestadas con eucalipto y pino.

Metodología

La metodología incluye dos etapas: la de campo dirigida a la obtención y caracterización de perfiles de suelos con tepetate, y la de laboratorio donde se analizaron física, química y micromorfológicamente.

1. Para el muestreo del área se siguió un transecto altitudinal con dirección noreste-sureste. El transecto se compone de 11 sitios y cubre una distancia en línea recta de 13 km de largo y 4.5 km de ancho, con una superficie

aproximada de 6,000 ha. Esto se realizó con la finalidad de encontrar evidencias de la acumulación de carbonatos con la pendiente en tepetates no expuestos. En el Cuadro 1, se presentan las coordenadas geográficas, los datos de altitud y pendiente de cada sitio; su localización se muestra en la Figura 1.

2. El análisis de laboratorio de las muestras de suelo y de tepetate consistió en las siguientes determinaciones: pH, CIC, materia orgánica, CaCO₃, textura, densidad aparente y color en seco y húmedo, su especificación está contenida en el manual de prácticas del Laboratorio de Génesis Morfología y Clasificación de Suelos del Colegio de Postgraduados.

Las muestras inalteradas se impregnaron con resina poliéster y se analizaron en un microscopio petrográfico. El análisis micromorfológico se basó en la metodología propuesta por Bullock *et al.* (1985).

Cuadro 1. Coordenadas geográficas, altitud y pendiente de los sitios de muestreo.

Nº sitio	Coordenadas geográficas		Altitud msnm	Pendiente %
	Latitud 19° norte	Longitud 98° oeste		
1	27'50"	52'06"	2310	4
2	28'12"	51'12"	2335	15
3	28'12"	51'53"	2300	4
4	25'02"	51'36"	2335	6
5	27'27"	51'18"	2350	3
6	25'50"	51'00"	2365	5
7	26'16"	50'51"	2400	9
8	27'02"	50'30"	2395	12
9	27'27"	50'17"	2420	10
10	26'16"	49'49"	2360	21
11	27'02"	49'32"	2490	19

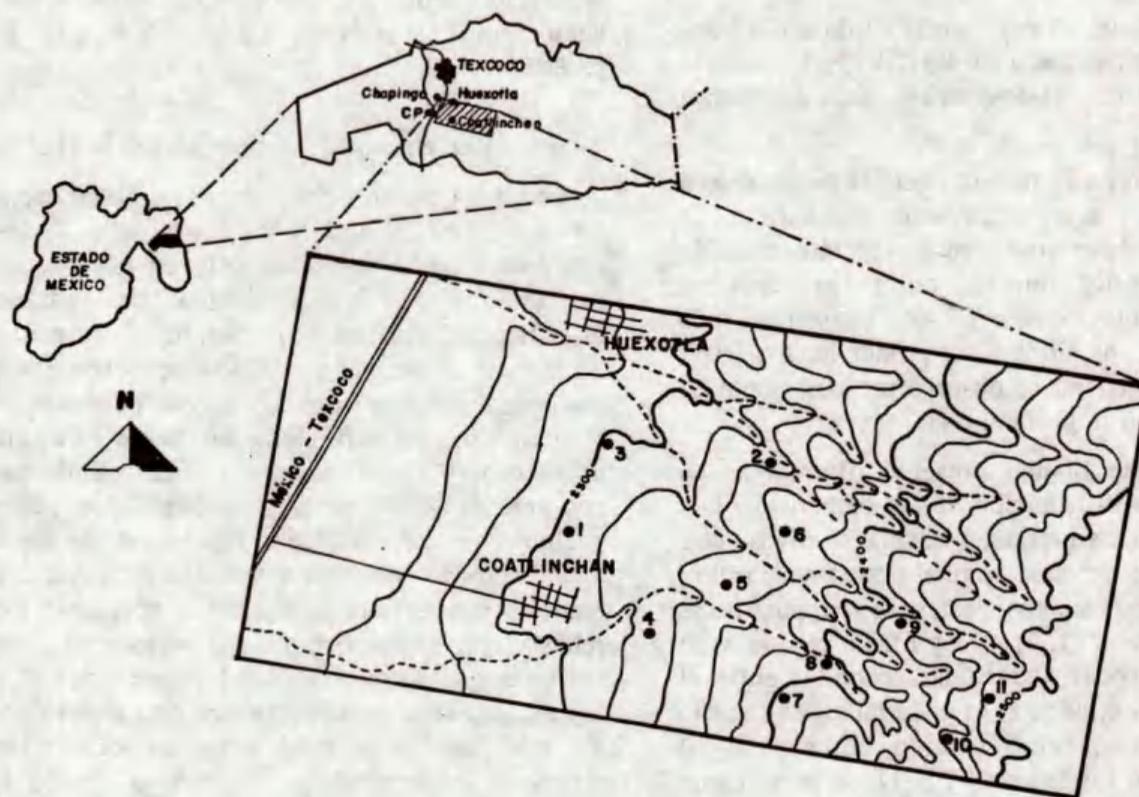


Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo.

RESULTADOS

Caracterización Morfológica

De los 11 sitios muestreados cuatro no presentaron tepetate antes de un metro de profundidad (2, 8, 9, 10), cinco con tepetate blanco (1, 3, 4, 5 y 6) y dos con tepetate amarillo (7 y 11).

En los sitios con suelo somero la profundidad a la que se presenta el tepetate es variable, entre 20 y 70 cm. Siendo los suelos con tepetate amarillo los más profundos y los que tienen tepetate blanco los más variables (entre 20 y 65 cm).

Abajo de los 2,400 msnm, se ubican los sitios con tepetate blanco y dentro de esta área arriba de los 2,350 los suelos suprayacentes no reaccionan al HCl (ausencia de carbonatos) y abajo de dicha altura el suelo reacciona al HCl al igual que los tepetates blancos.

La pendiente es más pronunciada en la zona de suelos con tepetate amarillo (10-25%), mientras que es más suave (4-6%) en las zonas de tepetate blanco.

En relación a la dureza, medida de acuerdo a la resistencia a ser excavados con barreta, en general, se determinó que el tepetate amarillo presenta menor dureza; entre los tepetates blancos destacaron por su alta resistencia a la penetración, los sitios 5 en primer lugar y el 3. Aunque en general se observó un incremento en la dureza con la profundidad.

El tepetate blanco presentó diferencias en relación a la distribución de los carbonatos. Los más cementados presentan láminas masivas entre las grietas del tepetate original (tepetate amarillo), estas láminas cementan a este material, pues no se separan entre si (1, 3, 4, 5 y 6). En el sitio 3, se observaron rocas andesíticas redondas entre el tepetate blanco, además el material rojizo cambió a color blanquecino cuando se expuso al ambiente. En los sitios 2, 7 y 11, se presentaron carbonatos con apariencia polvosa cubriendo el tepetate amarillo o rellenando de forma

incompleta las fisuras. En el sitio 4, los carbonatos se presentaron en forma laminar pero estas láminas no se combinaron con el tepetate amarillo y eran de una consistencia quebradiza.

De los cinco sitios estudiados con tepetate blanco, cuatro presentan capas que reúnen las características citadas por la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1990) para considerarse como horizonte petrocálcico y el sitio 4 se clasificó como un horizonte cálcico.

Análisis Micromorfológico de los Carbonatos de Calcio en el Tepetate Blanco.

Para el estudio micromorfológico se analizaron 220 muestras de orientación vertical y horizontal en forma de descripción resumida, sólo se analizaron detalladamente las secciones delgadas provenientes del tepetate blanco que fueron un total de 60 y de éstas se hizo una separación entre los tepetates blancos con suelo sin reacción al HCl y los que lo presentaron.

Tepetate Blanco con suelos sin reacción al HCl

Los sitios muestreados con estas características son los sitios 2, 4, 5 y 6. En el sitio 2, los carbonatos se identificaron sólo en las grietas, distribuidos en forma aislada, de tamaño micrítico, formando revestimientos delgados 30 mm y sobrepuestos a los revestimientos arcillosos. En este sitio los rasgos pedológicos texturales son principalmente arcillosos en forma de rellenos y revestimientos. Los revestimientos son gruesos (2,500 mm), macrolaminados, puros y algunas veces mezclados con limos, de color amarillo rojizo con impregnaciones locales de Fe amorfo, con extinción y límites abruptos; los rellenos son densos completos relacionados a las fracturas que hay dentro del tepetate original y las rocas. Estas últimas son del tipo andesítico. Tanto el tepetate original como las rocas están altamente intemperizados. En cuanto al sitio 4, éste presenta las mismas características que el anterior en cuanto a los revestimientos arcillosos,

pero los carbonatos forman nódulos de cristales microspartícos con una apariencia homogénea. Estos nódulos presentan límites abruptos por lo que la microporosidad es alta. Aquí los carbonatos aunque presentan una distribución laminar no forman una masa continua. La masa basal del tepetate es indiferenciada y se identificaron abundantes fitolitos.

En los sitios 5 y 6, los carbonatos que se identificaron en la parte superior del tepetate blanco, forman láminas con diferentes espesores, estas láminas con altos aumentos están formados por nódulos típicos, con límites abruptos y de un tamaño de 100 mm, los cristales que los conforman son microspartícos y sin minerales en su interior. Cuando estos nódulos tienen contacto con el tepetate amarillo, se colapsan y forman una masa continua y sólo algunos nódulos con límites abruptos se observan en las grietas y en los poros rellenando en forma incompleta. Dentro del tepetate blanco, los nódulos de carbonatos no se aprecian, sólo se observa una masa continua con baja porosidad. Se presentan algunos minerales redondos con cubiertas periódicas de carbonatos (nódulos nucleados) y escasos nódulos típicos complejos, formados por cristales micríticos en su interior y microspartícos en el borde.

La calcita en forma de aguja (acicular) se presentó principalmente en las grietas y en los poros, cavidad dentro de los carbonatos masivos. Éstos se observaron rellenando en forma incompleta como racimos y en malla densa.

Tepetates blancos con suelo que reacciona al HCl

Los sitios con estas características son el 1 y el 3. El suelo en ambos perfiles presenta una estructura compleja, con una porosidad dominada por poros de empaquetamiento simple, fisuras y cavidades. Entre los poros se identificaron nódulos de carbonatos compuestos por cristales micríticos, las raíces presentan hiporrevestimientos y dentro de ellos se identificaron minerales. Presencia de fitolitos y excrementos de ácaros. Abundantes revestimientos arcillosos, de

color amarillo oscuro, extinción difusa y relacionados a las fisuras y cavidades. En los horizontes más profundos, los revestimientos arcillosos son macrolaminados y presentan sobrepuestos carbonatos granulares microspartícos o en forma de aguja, algunas veces rellenan incompletamente a las grietas.

Los carbonatos en el tepetate son dominantes, rodean las cenizas volcánicas y penetran por las fisuras de las rocas andesíticas, con cristales de esparita y microsparita. Los nódulos son típicos con fábrica interna simple, no están colapsados cuando no tienen contacto con el tepetate.

En el tepetate blanco del sitio 3, los carbonatos se distribuyen en banda, de cristales espartícos, alternados con revestimientos arcillosos no orientados y dentro de estas bandas se identificaron rocas andesíticas. Se observan nódulos complejos formados por micrita y microsparita. Los carbonatos aciculares se presentan en las grietas rellenando incompletamente. Una sección delgada de orientación vertical de este sitio muestra diferentes acumulaciones de carbonatos alternados con materiales compuestos de arenas y limos.

DISCUSION

La altitud y la pendiente son factores que influyen en el desarrollo del tepetate blanco. Observándose el desarrollo de los carbonatos a través de todo el transecto estudiado, se apreció que en los sitios de mayor altitud, la acumulación de carbonatos es escasa y hasta nula sobre el tepetate amarillo, su forma es pulverulenta y en secciones delgadas, está formada por cristales de microsparita revistiendo algunas grietas. De acuerdo con Wieder y Yaalon (1982), este tipo de cristales se forma durante los procesos de recristalinización y moderada precipitación de carbonatos. Aunque se presenta una cobertura forestal, los suelos son migajón arenoso, lo que favorece que los carbonatos se precipiten o bien sean acarreados por la pendiente pronunciada que se presenta en estos sitios.

En la zona intermedia donde se presenta la mayor acumulación de carbonatos, la pendiente es más suave y el carbonato puede originarse *in situ*, ya que el tepetate amarillo está intemperizado. El modelo de desarrollo propuesto por Rabenhorst y Wilding (1986), para horizontes petrocálcicos concuerda parcialmente con la formación del tepetate blanco, al originarse éstos de material ígneo y no calcáreo. Otras evidencias sugieren que el carbonato es lixiviado de suelo suprayacente al no presentar éste reacción al HCl y en el análisis micromorfológico no se observara ningún rasgo calcítico.

En los sitios de la parte baja del transecto, existe una diferencia de altitud de 200 m con el sitio más alto muestreado. Los suelos presentan rasgos calcíticos, la morfología de los carbonatos es más compleja. En estos sitios la acumulación es más intensa debido a que continuamente este material es enriquecido por las aguas de arrastre, su evidencia micromorfológica es la presencia de cristales esparíticos, de distribución laminar tanto en forma vertical como horizontal.

De acuerdo a la micromorfología de los nódulos de carbonatos, éstos se han desarrollado en diferentes condiciones que influyen en su morfología. Los nódulos de micrita redondos que se parecen mucho a la fábrica tipo mosaico que reporta Courty *et al.* (1987), se formaron probablemente por la precipitación directa sobre el tepetate amarillo y no como un producto de la erosión eólica al presentarse enterrados. Aunque su tamaño es inferior al que se podría esperar bajo precipitaciones directas, éste es limitado por el sustrato cementado, además cuando tienen contacto con el tepetate, se colapsan y forman una lámina masiva, sólo las grietas formadas dentro de esta masa presentan nódulos redondeados. En los sitios cuando se presentan los nódulos en forma aislada (microspartíticos), el tepetate blanco es quebradizo, las láminas son separadas fácilmente por lo que constituyen la primera etapa en la formación del horizonte calcítico y culmina con el colapso total en los horizontes petrocálcicos.

En esta misma área se aprecia la recristalización de cristales esparíticos; se produce en las fisuras del tepetate amarillo y en las de la roca. En estos sitios el carbonato contribuye a la disgregación del material parental, cementando los fragmentos ya sea del tepetate o de la roca durante las estaciones secas y disgregándolo en períodos húmedos.

En lo que respecta al carbonato acicular, éste se presentó tanto en los horizontes con fuerte cementación (Rabenhorst y Wilding, 1986), como en los que no lo presentaron (Flach *et al.*, 1969) y relacionados a las fisuras y cavidades sin ninguna evidencia que hayan impregnado a las raíces (Courty *et al.*, 1987) o que estén influenciados por el manto freático (Sehgal y Stoops, 1972), ni con formas de hifas (Fedoroff, 1990), aparentemente se relacionaron más con la pendiente (Wieder y Yaalon, 1982).

Varios autores mencionan que el polvo calcítico influye en el desarrollo del horizonte petrocálcico (Read, 1974; Fedoroff, 1990), sin embargo, no se observaron evidencias micromorfológicas, además los vientos dominantes son descendentes y las tolvaneras son estacionales y recientes en esta área estudiada.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos es posible establecer las siguientes conclusiones:

1. Los rasgos calcíticos de las zonas ígneas son semejantes en su forma a los de zonas calcáreas, pero no coinciden en varias de las teorías sobre su origen, debido a que en la zona la pendiente y la altitud juegan un papel relevante.

2. Los carbonatos de calcio contribuyen en la disgregación del tepetate amarillo y de las rocas, por la fuerte recristalinización que se observa.

LITERATURA CITADA

- BOUL, S. W., F. D. HOLE y R.J. McCRAKEN.** 1981. Génesis y clasificación de suelos. Ed. Trillas, México, México.
- BULLOCK, P., N. FEDOROFF, A. JONGERIUS, G. STOOPS, G. y T. TURSINA.** 1985. Handbook of soil thin section description. Waine Research Publishing, Albrington, U.K.
- CHADWICK, O.A., D.M. HENDRICKS y W.D. NETTLETON.** 1987. Silica in duric soil: mineralogy. *Soil Sci. Am. J.* 51: 982-985.
- COURTY M., R. P. DHIR y H. RAGHAVAN.** 1987. Microfabrics of calcium carbonates accumulations in arid soil of Western India (Rajasthan). *In: Soil micromorphology. Proceeding of the VIIth International Working Meeting of Soil Micromorphology.* Paris, France.
- DUCHAUFOR, P.** 1984. Edafología. Edafogénesis y clasificación. Masson Publ., París, Francia.
- FEDOROFF, N.** 1990. Génesis de los suelos tropicales y subtropicales. Aspectos micromorfológicos. Curso intensivo. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- FLACH, K.W., W.D. NETTLETON, L.H. GILE y J.G. CADY.** 1969. Pedocementation: Induration by silica, carbonates and sesquioxides in the Quarternary. *Soil Sci.* 107: 442-453.
- GILE, L.H., F.F. PETERSON y R. B. GOSSMAN.** 1966. Morphological and genetic secuenes of carbonate accumulation in desert soil. *Soil Sci.* 101: 347-360.
- GUTIERREZ C.** 1988. Estudio micromorfológico de los cementantes de algunos tepetates del Valle de México y Tlaxcala. Tesis de Maetría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- RABENHORST, M.C. y WILDING.** 1986. Pedogenesis on the Edwards Plateau, Texas: II New model for the formation of petrocalcic horizons. *Soil Sci. Am. J.* 50: 693-699.
- READ, J.R.** 1974. Calcrete deposits and Quaternary sediments, Edel Province, Shark Bay, Western Australia. pp. 250-282.
- SEHGAL, J.L. y G. STOOPS.** 1972. Pedogenic calcitic accumulation in arid and semiarid regions of the Indo-Gangetic alluvial plain of erstwhile Punjab (India). Their morphology and origin. *Geoderma* 8:59-72.
- SOIL SURVEY STAFF.** 1990. Claves para la Taxonomía de Suelos. Trad.: C.A. Ortiz Solorio. Colegio de Postgraduados e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- WIEDER, M. y D.H. YAALON.** 1982. Micromorphological fabrics and developmental stages of carbonate nodular forms related to soil characteristics. *Geoderma* 28: 203-220.
- WILLIAMS, B.J.** 1972. Tepetate in the Valley of Mexico. *Annals of the ASSN of Am. Geog.* 62 (4): 618-632.

**LAS CONDICIONES REGIONALES DE DESARROLLO DE LOS TEPETATES
EN LA ZONA XALAPA-COATEPEC, VERACRUZ, MEXICO**
Localización, Condiciones Ambientales y Características Generales

**Regional Conditions of "Tepetates" Development in the Xalapa-Coatepec Region,
Veracruz, Mexico**
Localization, Environmental and General Characteristics

Jean-Pierre Rossignol ¹, Adolfo Campos C. ² y Paul Quantin ³

¹ ENITHP, Angers, Francia.

² Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., México.

³ ORSTOM, Bondy, Francia.

Palabras clave: México, Suelos volcánicos endurecidos, Tepetate, Duripán, Fragipán, Suelo ferralítico, Andosol, Vertisol, Génesis, Geomorfología, Alófana, Sílice, Hierro, Aluminio.

Key words: Mexico, Indurated volcanic soils, Tepetate, Duripan, Fragipan, Ferrallitic soil, Andosol, Vertisol, Genesis, Geomorphology, Alophane, Silice, Iron, Aluminium.

RESUMEN

La cartografía morfoedafológica de la zona cafetalera de Xalapa-Coatepec permitió poner en evidencia una secuencia topoclimática de los suelos que fue estudiada desde 4,000 m hasta 500 m de altitud. Esta diferencia de altitud crea fuertes variaciones de clima que pasan del frío y húmedo (3,500 m) al subtropical húmedo sin estación seca (1,500 m) y después al tropical contrastado con cinco o seis meses secos.

A lo largo del transecto se localizan varios tipos de suelos, desarrollados sobre cenizas volcánicas y flujos piroclásticos, que se relacionan con clima y altitud:

- Primero, entre 3,500 y 1,500 m, en clima húmedo, se ubican Andosoles húmicos, desaturados, a menudo melánicos, a veces perhidratados, ligeramente ácidos, que presentan un complejo de materia orgánica - alófana muy estable.

- Después, entre 1,500 y 900 m de altitud, en clima subtropical con dos o tres meses secos, aparecen suelos ferralíticos a haloisitas (10 Å), arcillosos, desaturados, con características "redóxicas", con fragipanes a la base del solum.

- En clima tropical con cinco o seis meses secos, se encuentran tepetates, endurecidos por sílice, que contienen haloisitas a 7 Å y nódulos ferromangánicos. Vertisoles "degradados" se yuxtaponen a los tepetates.

En la parte alta, las alófanas presentan enlaces fuertes con la materia orgánica. Ellas, por acción del clima y del tiempo se transforman en haloisitas (10 Å) que, ellas mismas, por deshidratación, dan haloisitas (7 Å). El hierro se concentra en los suelos ferralíticos en los horizontes "redóxicos". La sílice liberada por alteración se deposita en los duripanes (tepetates) bajo acción del clima caliente y contrastado.

SUMMARY

The morphopedological cartography of the Xalapa-Coatepec coffee plantation area, showed a soil topoclimatic sequence studied from 4,000 to 500 m of altitude. The strong difference in altitude, creates high climatic variations that went from a cold and humid climate (3,500 m) to a humid subtropical one without dry season (1,500 m) and to a tropical climate with 5 or 6 dry months.

Several types of soils are located along the transect, developed on volcanic ashes and pyroclastic flows, which are related to the climate and the altitude:

- First, between 3,500 and 1,500 m, in humid climate there are humic, unsaturated Andosols, often melanic, occasionally perhydric, lightly acid, which present a very stable organic matter-allophane complex.

- Second, between 1,500 and 900 m of altitude, in subtropical climate with 2 or 3 dry months, there are ferrallitic soils with halloysite (10 Å), clayey, unsaturated, with "redoxic" characteristics, with fragipan at solum base.

- In tropical climate with 5 or 6 dry months, "tepetates" are found, cemented by silica and containing halloysite (7 Å) and ferromanganic nodules. Degraded Vertisols are juxtaposed to tepetates.

In the highlands, the allophanes presents strong relationships with the organic matter, which, under climate and time actions are transformed into halloysite (10 Å) which, in their turn, yield halloysite (7 Å) because of deshydration. Iron is concentrated in redoxic horizons of ferrallitic soils. Free silica, by alteration, is deposited in the duripans (tepetates) due to the effects of a warm climate.

RESUME

La cartographie morphopédologique de la zone cafetière de Xalapa-Coatepec a permis de mettre en évidence une séquence topoclimatique

de sols depuis 4 000 m à 500 m d'altitude. Ces fortes différences d'altitude créent de fortes variations de climat qui passe du froid et humide (3 500 m) au subtropical humide sans saison sèche (1 500 m) puis au climat tropical contrasté avec 5 à 6 mois secs.

Le long du transect, différents types de sols ont été localisés. Ils se sont développés sur des cendres volcaniques et des flux pyroclastiques, en relation avec le climat et l'altitude:

- Premièrement, entre 3 500 et 1 500 m, en climat humide, on trouve des Andosols humiques, souvent mélaniques, parfois perhydratés, légèrement acides, présentant un complexe matière organique-allophane très stable.

- Ensuite, entre 1 500 et 900 m d'altitude, en climat subtropical avec 2 à 3 mois secs, apparaissent les sols ferrallitiques à halloysites (10 Å), argileux, désaturés, avec des caractéristiques "rédoxiques", et fragipans à la base du solum.

- En climat tropical avec 5 à 6 mois secs, on rencontre les tepetates, durcis par la silice. Ces sols contiennent des halloysites (7 Å) et des nodules ferromanganiques. Des vertisols dégradés se juxtaposent aux tepetates.

Dans la partie haute de la zone étudiée, les allophanes présentent de fortes liaisons avec la matière organique. Ils se transforment sous l'action du climat et du temps, en halloysites (10 Å) qui elles-mêmes, par déshydratation donnent des halloysites (7 Å). Le fer se concentre dans les sols ferrallitiques dans les horizons "rédoxiques". La silice libérée par altération se dépose dans des duripans (tepetates) sous l'action du climat chaud et contrasté.

INTRODUCCION

Los tepetates de la región de Xalapa-Coatepec forman parte de una secuencia topoclimática a lo largo de la vertiente este del eje neovolcánico que atraviesa México de oeste a este. Esta vertiente baja hacia el golfo de México. La zona estudiada se extiende de 4,000 m a 500 m de altitud.

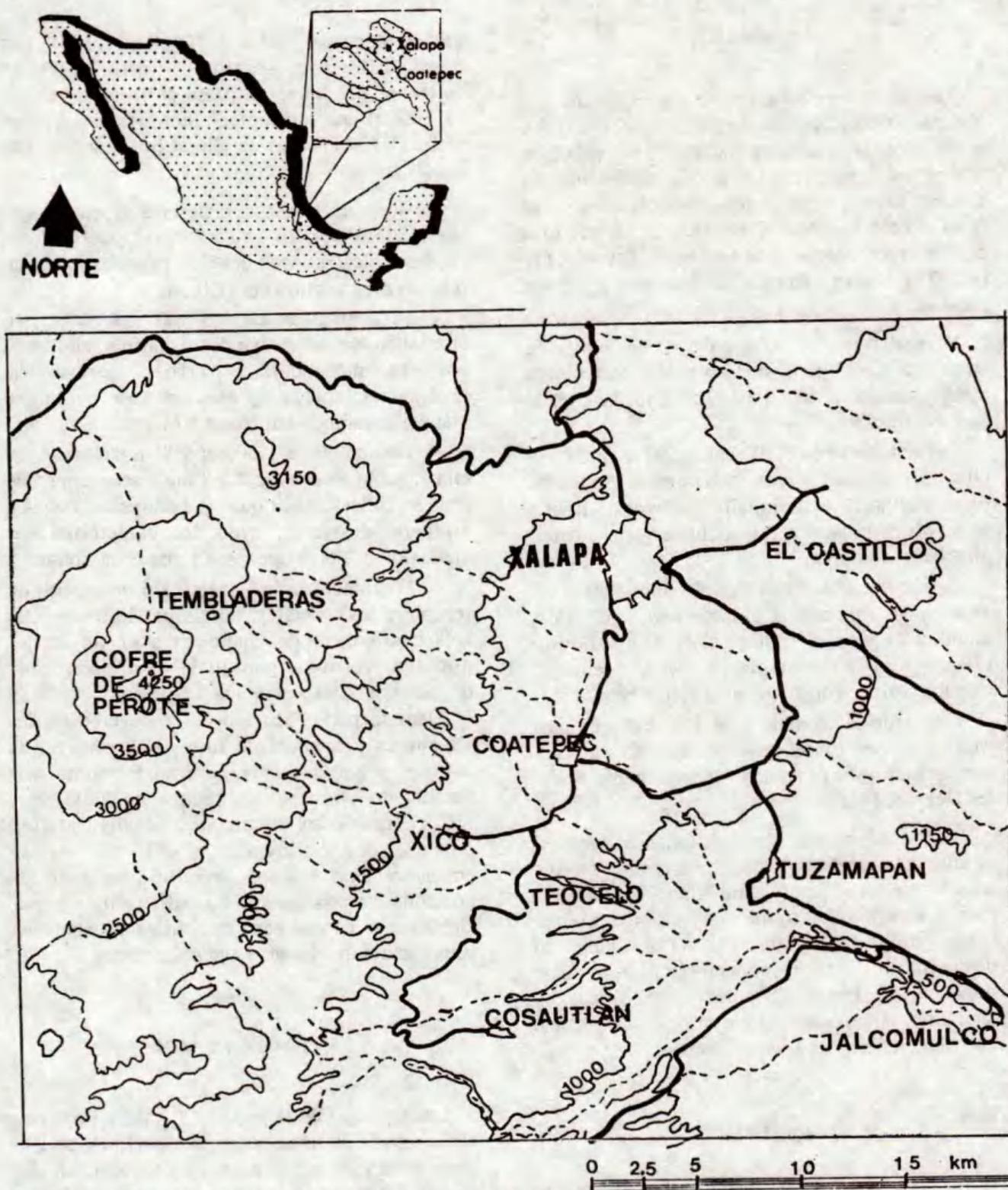


Figura 1. Ubicación de la zona Xalapa-Coatepec, Veracruz, México.

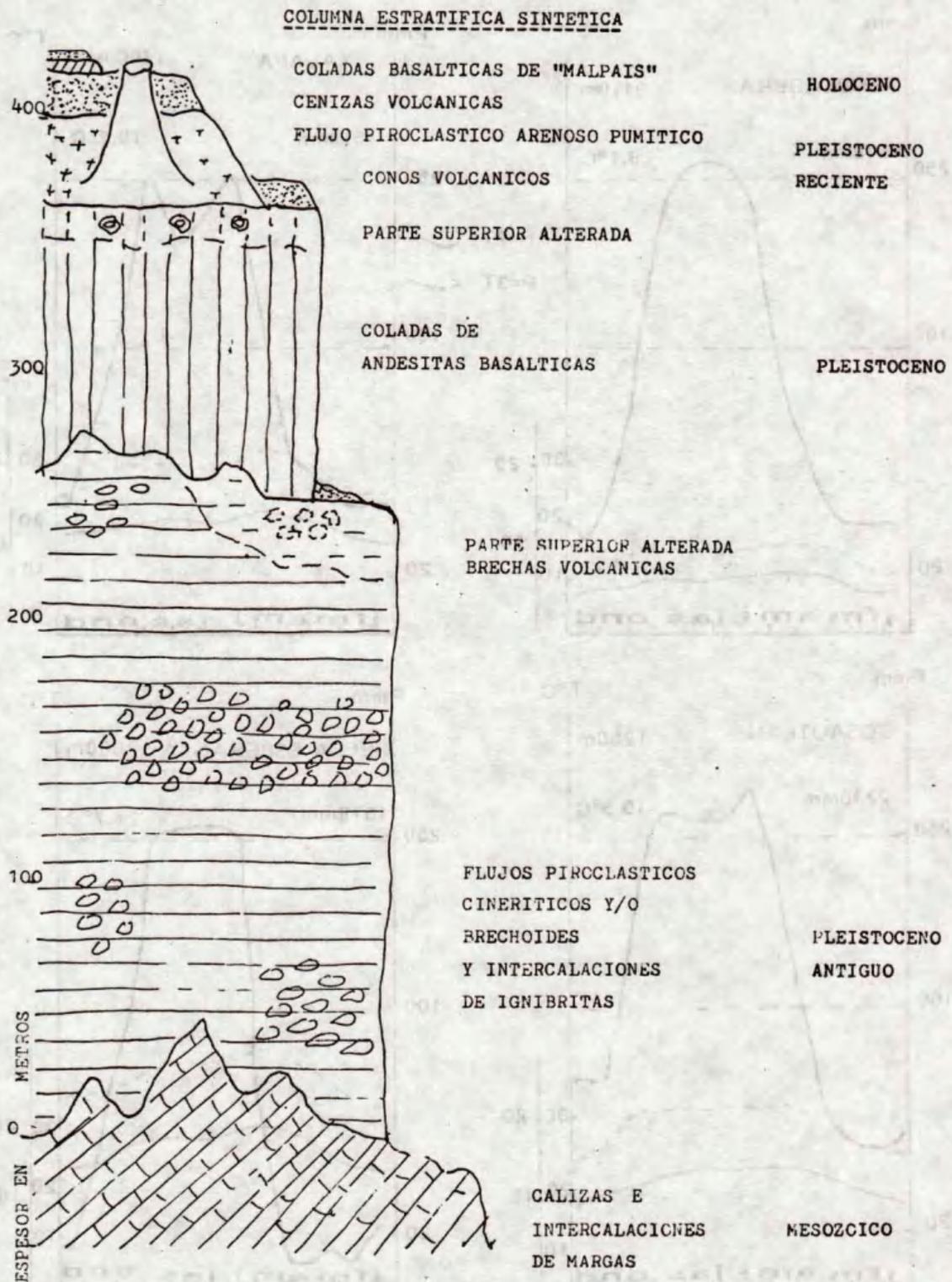


Figura 2. Columna estratigráfica sintética.

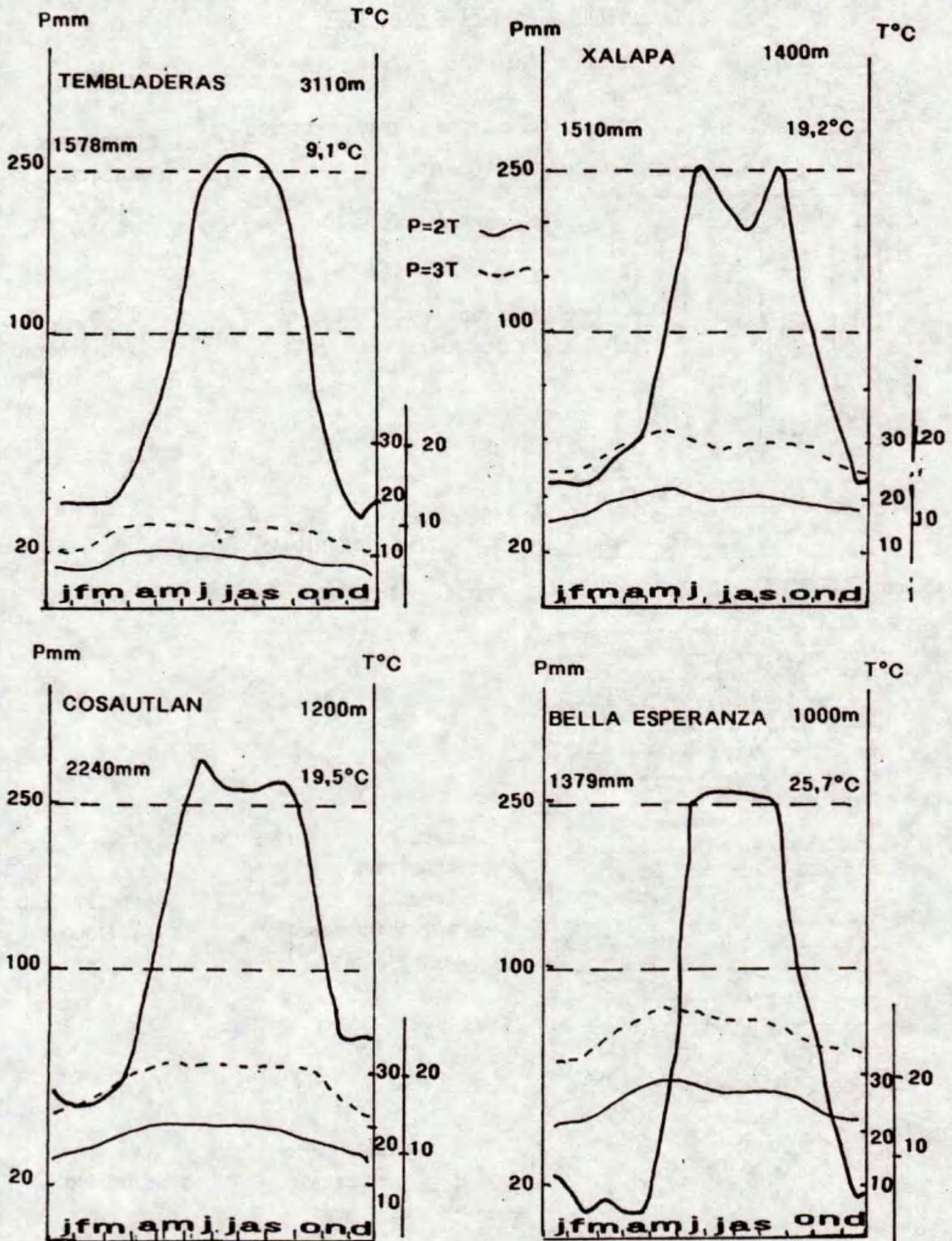


Figura 3. Diagramas ombrotérmicos de la zona Xalapa - Coatepec.

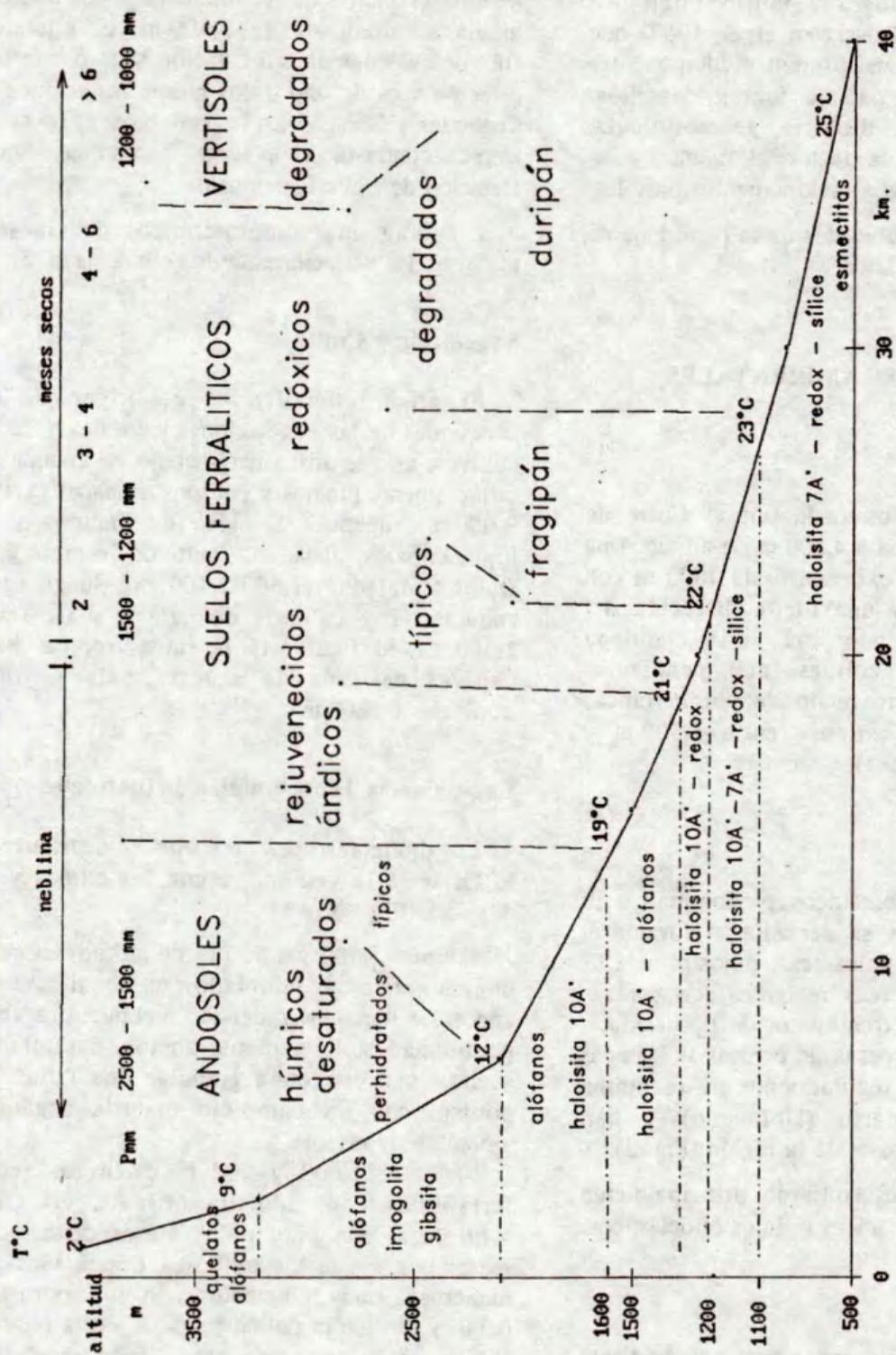


Figura 4. Secuencia topo climática de los suelos de la zona Xalapa-Coatepec, Veracruz, México.

Se hizo una cartografía morfoedafológica entre 1984 y 1987 (Rossignol et al, 1987) que cubrió 1,000 km². Los diferentes componentes de cada unidad de paisaje fueron descritos: fisiografía y relieve, litología, geomorfología, edafología, uso agrícola, factores limitantes a las producciones agrícolas y mejoramientos posibles.

Los tepetates son ubicados en la parte baja de la secuencia topoclimática.

CONDICIONES AMBIENTALES

Fisiografía

La región está dominada por el Cofre de Perote, el cual culmina a 4,200 m de altitud. Una zona de montaña se extiende hasta 1500 m con pendientes fuertes y una fuerte disección del paisaje; después sigue una zona ondulada ("planézes") y de colinas, con pendientes generales suaves pero recortada por barrancas profundas; ésta se extiende entre 1,500 m y 400 m de altitud (Fig. 1).

Litología

Los materiales volcánicos predominan a lo largo del transecto y se depositaron durante el Cuaternario: coladas volcánicas, flujos piroclásticos. Los productos más recientes son cenizas volcánicas y flujos piroclásticos de tipo riódacíticos. Capas poco espesas de cenizas volcánicas fueron depositadas regularmente en la última época del Cuaternario (Holoceno) y han recubierto una gran parte de la región (Fig. 2).

Los suelos se desarrollaron principalmente sobre las cenizas volcánicas y flujos piroclásticos.

Climatología

A lo largo de la vertiente existe una gradiente climática importante. En las zonas altas, el clima es frío y húmedo (3,000 m) con periodos de

neblina (estación de Tembladeras). En la parte mediana, alrededor de 1,500 m, el clima es subtropical húmedo sin estación seca o con una estación seca de uno o dos meses (estaciones de Cosautlan y Xalapa). En la parte baja, es un clima tropical contrastado con cuatro o seis meses secos (estación de Bella Esperanza).

Los diagramas ombrotérmicos de Gausson muestran las variaciones de los climas (Fig. 3).

Vegetación y Cultivos

El grado climático es al origen de las sucesiones de las vegetaciones naturales y de los cultivos; así, de arriba hacia abajo, se encuentran primeramente pinares y cultivos de papas (2,400-3,000 m), después bosques de encinos y de liquidámbar, ganadería, cultivos de maíz y de frutos templados (1,500-2,400 m), luego selva caducifolia y cultivos de café y maíz (800-1,500 m), al final está la selva tropical baja, cultivos de caña de azúcar, maíz y frutas tropicales (< 800 m).

La Secuencia Topoclimática de los Suelos

Los diferentes tipos de suelos se distribuyen a lo largo de la vertiente según los climas y las altitudes (Fig. 4).

a) Entre 3,500 y 1,500 m de altitud, en clima húmedo frío y templado se localizan los andosoles húmicos a menudo melánicos, a veces perhidratados, ligeramente ácidos, desaturados, sueltos, con estructura granular fina ("fluffy"), poroso, con un complejo materia orgánica-alófana muy estable.

b) Entre 1,600 y 900 m están los suelos ferralíticos con haloisita (10 Å), en clima subtropical con uno o dos meses de estación seca; éstos son suelos arcillosos, desaturados, con numerosas caras relucientes, con una porosidad débil, y estructura poliédrica fina. En la base del solum aparecen horizontes "redóxicos", los cuales se intensifican con el alargamiento de la estación seca y suben hacia la superficie del

suelo. Contienen nódulos ferro-mangánicos. A la base del solum, se constituyen horizontes de fragipán que presentan una red de vetas grises dibujando polígonos de 20 cm de ancho. Estos horizontes aparecen entre 1,100 y 900 m de altitud.

c) Abajo de 1,100 m, en clima tropical con cinco o seis meses de estación seca, los tepetates aparecen; los horizontes superficiales son "redóxicos", ricos en nódulos ferro-mangánicos, de textura limosa; las arcillas son haloisitas a 7 Å. El duripán subyacente está duro, cementado por la sílice, con una estructura poligonal.

En la parte baja de la secuencia topoclimática aparecen vertisoles degradados, yuxtapuestos a los tepetates.

LOS TEPETATES DE LA REGION DE XALAPA-COATEPEC

Condiciones Ambientales

El paisaje de la zona tepetatosa está compuesto de mesetas planas o ligeramente onduladas ("planézes") fuertemente disectadas por barrancas profundas. Los suelos con tepetates están localizados sobre las pendientes suaves de las colinas y las partes planas de las mesetas, así como sobre laderas fuertes de las colinas.

El sustrato de la mayor parte de la zona tepetatosa está constituido de varios flujos piroclásticos ácidos de tipos riolíticos, que pueden contener bloques y piedras andesíticos. Un manto delgado de cenizas volcánicas ha cubierto la mayor parte de la zona. Ellas no se observan en el terreno, pero se detectan gracias a los análisis totales de muestras de suelos, como se detalla más adelante. En algunos sitios como en Monte Blanco y en Las Trancas, el sustrato de los tepetates está constituido de una colada de andesita o de basalto.

Los tepetates se desarrollan en la zona de clima tropical cálido con larga estación seca de cinco o seis meses. La temperatura media anual es superior a 23°C, las precipitaciones entre 1,000 mm y 1,400 mm. En la estación climática

de Bella Esperanza las precipitaciones medias anuales son de 1,379 mm, la evapotranspiración calculada según el método de Thornthwaite es de 1,572 mm. El déficit hídrico anual, teniendo en cuenta una reserva de agua de 100 mm, es de 533 mm y el excedente de 311 mm.

Características Morfológicas de los Suelos

El suelo más representativo de la zona tepetatosa se describe a continuación; presenta dos variantes debido a su variación de la profundidad arriba del tepetate:

- en la primera, el suelo es superficial de menos de 40 cm, el segundo horizonte es a menudo discontinuo y el primer horizonte puede descansar directamente sobre el tepetate;

- en la segunda, el suelo es de profundidad media, entre 40 y 60 cm, el segundo horizonte tiene una espesor entre 20 y 40 cm.

Descripción:

0 - 20 cm : A1 -de color gris oscuro a pardo oscuro, textura limosa al tacto, estructura poliédrica poco neta, medianamente poroso; la parte inferior puede contener algunas manchas grises y ocre de óxido-reducción y nódulos ferro-mangánicos.

20 -20 / 50 cm: Eg, Sg -de espesor variable, algunos cm a 40 cm, textura limoso-arcillosa al tacto, de color pardo grisáceo, estructura poliédrica fina, medianamente poroso, numerosas manchas grises y ocre de óxidoreducción y nódulos ferro-mangánicos.

20 / 50 cm y más: tepetate -de color gris claro a pardo claro, generalmente duro, pero a veces débilmente duro, con estructura poligonal de 20 cm de largo y 50 cm de ancho, porosidad poco importante en forma de cavidades, vacuolas, vesículas y poros; las paredes de los vacíos están recubiertas por capas de sílice, algunas veces coloreadas por el hierro: es un horizonte de duripán.

Las variaciones conciernen el espesor del segundo horizonte que a veces no existe (las dos variantes). El hidromorfismo del suelo puede ser fuerte en caso de profundidad reducida o de

presencia de un tepetate duro y poco poroso. Un horizonte fino de algunos milímetros, emblanquecido, puede aparecer entre los horizontes dos y tres, entre suelo y tepetate.

Características analíticas

Los datos analíticos de los horizontes son los siguientes:

a) Granulometría: el suelo tiene de 20 a 30% de arcilla, 40 a 55% de limo y 15 a 30% de arena. El segundo horizonte puede tener hasta 40% de arcilla.

b) Materia orgánica: su tasa varía de 2 a 3% en la superficie, pero puede alcanzar hasta 6%. En el segundo horizonte pasa a menos de 1%.

c) El pH H₂O es ácido en superficie (4.4), moderadamente ácido abajo (5.7).

d) Capacidad de intercambio catiónico: la CIC es de 15 a 20 meq/100 g de suelo; la saturación en cationes alcalinos y alcalinotérreos es baja, entre 15 y 30%. La repartición de los cationes sobre el complejo arcillo-húmico se presenta en el Cuadro 2.

Los cationes se encuentran en escasa cantidad. Se puede decir que la concentración en fósforo es baja: de 4 ppm (P₂O₅) a trazas en el horizonte de superficie. Así, la fertilidad química es débil.

Cuadro 1. Granulometría y materia orgánica.

Hor. Prof. cm	Granulometría						M.O. 105°C	Hum.
	A.	L	F	L G	a F.	a G		
Ap 0-5	29.8	25.4	17.6	24.5	2.7	3.99	3.19	
ByA 5-24	30.8	25.1	15.5	23.6	4.9	1.51	4.60	
Eg 24-50	21.1	31.6	15.4	26.8	5.1	0.54	6.95	
Cm 50-56	19.3	37.8	14.6	24.4	3.8	0.37	6.95	

Análisis INIREB.

Cuadro 2. Repartición de Ca, Mg y K en el complejo arcillo-húmico.

Elementos	Ca Mg K		
	meq/100 g		
Horizonte de superficie	3.9 - 1.1	2.5 - 0.4	0.4 - 0.2
Segundo horizonte	1.8	1.5 - 1.0	0.1 - 0.04

Características Mineralógicas

Los diagramas de Rayos X. de la fracción inferior a 2 μ m dan los resultados siguientes (Cuadro 3) en un solum (n° 63, ubicado cerca de El Castillo Chico, 1,150 m).

La arcilla presente es la haloisita de 7 Å y los minerales más abundantes son la cristobalita y después el cuarzo.

Cuadro 3. Presencia relativa de minerales en la fracción < 2 μ m.

Horizontes	Haloisita 7Å	Hematita	Cristobalita	Cuarzo
A: 5-20 cm	++	+	++++	++
Eg: 20-50 cm	++	tr	++++	++
Cm: 50 cm	++	+	+++	+

tr = trazas ++ = mediano ++++ = muy abundante
+ = un poco +++ = abundante

Geoquímica

El análisis triácido de la "tierra fina" (fracción inferior a 2 mm) permite precisar la composición mineralógica (Cuadros 4 y siguientes).

La proporción de residuo indica que el suelo contiene cerca de 30% de minerales insolubles. El porcentaje disminuye con la profundidad de 29.5 a 25.3%.

Cuadro 4. Resultados del análisis triácido de la fracción < 2 μ m.

Horiz. Residuo	Composición del residuo			
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Q + Cr	F + Fm
	%	mol.	%	
A	29.5	16.7	69	31
Eg	22.0	24.4	88	22
Cm	25.3	30.5	89	21

	Soluble		Composición del soluble	
	%	mol.	%	
A	68.4	2.54	17.2	
Eg	77.2	2.90	15.5	
Cm	74.4	2.63	15.1	

Q: cuarzo F: feldespatos
Cr: cristobalita Fm: ferro-magnesianos

Cuadros 5a, 5b y 5c. Datos analíticos.

Hor.	pH			C	N	C/N	Complejo adsorbente					Sat.	P
	H ₂ O	KCl	NaF				CIC	Ca	Mg	K	Na		
				%	%		meq/100 g					%	ppm
Ap	4.30	4.14	8.44	2.32	0.26	8.9	18.0	2.70	0.18	0.2	0.41	19.4	3.91
ByA	4.32	4.20	8.89	0.88	0.12	7.3	17.1	2.35	0.15	0.15	0.37	17.7	3.6
Eg	4.23	3.81	8.74	0.31	0.04	7.8	18.3	2.13	0.17	0.16	0.49	16.1	tr.
Cm	4.20	3.73	8.07	0.21	0.03	7.2	22.9	1.86	0.28	0.21	1.04	14.8	tr.

Análisis INIREB.

Hor.	Pérdida 1000 C	Residuo total	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂ Al ₂ O ₃
%													
ByA	10.2	29.5	24.6	2.51	0.35	0.12	0.009	0.003	0.36	0.14	0.62	0.74	
Eg	9.65	22.1	19.4	1.35	0.20	0.09	0.005	0.002	0.18	0.04	0.34	0.41	
Cm	9.5	25.3	22.8	1.26	1.26	0.09	0.005	0.003	0.17	0.03	0.33	0.55	

Análisis ORSTOM.

Hor.	Soluble total	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂ R ₂ O ₃	SiO ₂ Al ₂ O ₃
%													
ByA	59.9	27.0	18.0	11.7	2.30	0.03	0.04	0.12	0.31	0.05	0.33	1.79	2.54
Eg	68.1	33.3	19.5	12.0	2.40	0.03	0.01	0.06	0.35	0.03	0.34	2.08	2.90
Cm	64.6	30.6	19.7	11.3	2.30	0.03	0.01	0.07	0.40	0.03	0.21	1.92	2.63

Análisis ORSTOM.

Además, con la composición química del residuo se evaluaron los tipos de minerales: aproximadamente contiene 70% de minerales silíceos, cristobalita y cuarzo, y 30% de feldspatos y de ferro-magnesianos.

Este último porcentaje disminuye hacia la profundidad de 31 a 21. Al contrario el porcentaje de minerales silíceos aumenta de 70 a 88. Esto demuestra el hecho que existen más minerales alterables en la superficie del suelo que en la profundidad. Entonces, el suelo fue rejuvenecido por un aporte delgado de cenizas.

La composición química del producto de alteración (soluble en triácido) muestra una proporción elevada de óxidos de hierro (15 a 17% de la fracción soluble) y en el mismo sentido de óxidos de titanio (7.5%). El valor SiO₂/Al₂O₃ molar es elevado (2.5 - 2.9) y no corresponde a la composición de una haloisita (valor del orden de 2). Existe entonces una parte de "sílice soluble" que no entra en el mineral de haloisita. Es probable que una parte del "hierro soluble" sea un constituyente del mineral arcilloso; en efecto

el valor SiO₂/Al₂O₃+Fe₂O₃ molar es de 1.8 a 2; otra parte constituye la hematita. Así, se puede decir que una parte de la "sílice soluble" es presente como sílice libre de tamaño pequeño, mal cristalizada o en forma de cristobalita.

PROBLEMAS AGRONOMICOS

La estabilidad estructural del suelo es débil, lo que permite una destrucción de los agregados y la transportación de los elementos. Una costra de "batidez" se forma a la superficie del suelo aumentando los procesos de escurrimiento superficial. La cubierta vegetal raquílica e incompleta no protege el suelo de la acción del escurrimiento superficial. Es una zona donde se desarrolla la erosión difusa y laminar así que en cárcavas. Es una zona frágil; un tapiz vegetal completo todo el año sería un factor de disminución del riesgo de erosión. El pastoreo y el pisoteo de los animales aumentan estos riesgos mientras que los cultivos como el café o la caña de azúcar preservan el

suelo en la medida en que se pueda cultivarlos en curvas de nivel o en bandas alternativas y regarlos.

CONCLUSIONES

El régimen hídrico de estos suelos presenta dos periodos: el primero en invierno y primavera, durante el cual la reserva de agua está agotada; el segundo en verano donde en el suelo existe un exceso de agua que no puede evacuarse verticalmente por la presencia del tepetate, y que circula lenta y lateralmente en los horizontes a lo largo de la pendiente (escurrimiento hipodérmico); los horizontes redóxicos son la consecuencia de estos procesos; se observa un blanqueado del suelo o de ciertos horizontes, en los cuales se producen procesos de degradación de las arcillas en medio ácido. La sílice así liberada,

se deposita en el tepetate. Otra fuente importante de sílice proviene de la alteración intensa de los vídrios riolíticos, ricos en sodio y que se encuentran en la parte superior del suelo.

La mineralogía del suelo es característica de la ferralitización con la mezcla de haloisita (7 Å) y de óxidos de hierro (hematita). Es una evolución similar a la de los suelos ferralíticos ubicados bajo un clima más húmedo con estación seca corta donde se observa presencia de haloisita 10 Å y de goetita (Quantin y Geissert, 1988) Pero un clima contrastado con estación seca larga es el origen de los procesos de deshidratación de las haloisitas y de los óxidos de hierro.

Estos suelos son frágiles y los procesos de degradación y erosión pueden rápidamente disminuir la fertilidad. Es necesario desarrollar métodos de conservación de estos suelos.

LITERATURA CITADA

CAMPOS, A. y J.P. ROSSIGNOL. 1987. Dinámica de la erosión en una unidad morfoedafológica sobre tepetates en el municipio de Cosautlan, pp. 85-92. *In:* J.F. RUIZ F. (ed). Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, Depto. Suelos, México. 222 p.

GEISSERT, D., J.P. ROSSIGNOL (Coord.), A. CAMPOS, R. GUTIERREZ y N. BARRERA. 1987. La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales, conceptos y primeras aplicaciones en México. INIREB-ORSTOM, Xalapa, Ver.

KILIAN, J. 1972. Les inventaires morphopédologiques. Conceptions. Application au développement agricole. *L'agronomie tropicale*, XXVII (9): 930-938.

QUANTIN, P. y D. GEISSERT. 1988. Características químicas y mineralógicas de un andosol y de un suelo ferralítico de Xalapa, Veracruz, México. INIREB, Xalapa, Ver., México. 24 p.

ROSSIGNOL, J.P., D. GEISSERT, A. CAMPOS y J. KILIAN. 1987. Mapa morfoedafológico del área Xalapa-Coatepec, 1/75.000. ORSTOM-INIREB, Xalapa, Ver., México.

ROSSIGNOL, J.P. 1987. Mapa de capacidad de uso, 1/75.000. ORSTOM-INIREB, Xalapa, Ver., Méx.

ROSSIGNOL, J.P. y D. GEISSERT. 1987. Mapa de recursos en tierra, 1/75.000. ORSTOM-INIREB, Xalapa, Ver. México.

ROSSIGNOL, J.P., A. CAMPOS, F. MARTINEZ y L. ESCRIBANO. 1987. Mapa morfoedafológico del área de Limones, 1/3000, Documento interno, ORSTOM-UACH-INIREB, Xalapa, Ver., México.

ROSSIGNOL, J.P. y A. CAMPOS. 1987. Los tepetates de la zona centro de Veracruz, pp. 38-49. *In:* J.F. RUIZ F. (ed). Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, Depto. Suelos, México. 222 p.

ROSSIGNOL, J.P. 1987. Morfoedafología del área Xalapa-Coatepec, perfiles de suelos: descripciones y resultados analíticos, documento interno INIREB-ORSTOM, Xalapa, Ver. 55 p.

ROSSIGNOL, J.P., A. CAMPOS, D. GEISSERT y P. QUANTIN. 1988. Morfoedafología del área Xalapa-Coatepec, Veracruz, y sus aplicaciones a los usos agrícola, pecuario y forestal; informe explicativo preliminar de los mapas morfoedafológicos de recursos en tierras y de capacidades de uso al 1/75.000. Doc. int. INIREB-ORSTOM-ENITHP, Xalapa, Ver.

**LOS TEPETATES DE XALAPA, VERACRUZ, (MEXICO):
RELACION CON EL RELIEVE MODELADO ACTUAL Y ESQUEMA
CRONOLOGICO**

**Tepetates of Xalapa, Veracruz, Mexico:
Relationships with Actual Landscape and Chronological Scheme**

Daniel Geissert Kientz

Instituto de Ecología, Xalapa, Edo. Veracruz, México.

Palabras clave: México, Veracruz, Suelos volcánicos endurecidos, Suelos ferralíticos, Geomorfología, Génesis, Haloisita, Plintita, Plioceno, Pleistoceno, Holoceno.

Key words: Mexico, Veracruz, Indurated volcanic soils, Ferrallitic soils, Geomorphology, Genesis, Halosite, Plinthite, Pliocene, Pleistocene, Holocene.

RESUMEN

Los tepetates de Xalapa se forman a partir de la alteración de una meseta de basalto-andesita del Pleistoceno inferior. A cada etapa de su desarrollo progresivo a lo largo de esta meseta se asocia un modelado típico, que va desde un lomerío convexo con tepetate incipiente (etapa inicial) hasta un lomerío plano-convexo y alargado con horizontes laminares endurecidos (etapa avanzada). La alteración ferralítica previa a la formación del tepetate ocurrió durante un período prolongado de estabilidad volcanotectónica y climática del Pleistoceno medio, mientras que las fases de endurecimiento se iniciaron en el Pleistoceno superior, extendiéndose hasta la actualidad.

SUMMARY

The tepetate formations of the Xalapa area are built on an old Pleistocene meseta of andesitic lava flows. Their expansion along the meseta surface is progressive and each stage corresponds to a typical landscape: convex hills with incipient tepetate (initial stage) that change gradually to straight flat-convex hills with laminar indurated layers (advanced stage). The ferrallitic weathering of andesite, previous to the formation of tepetate, occurred during a long period of volcanic and climatic stability, placed in middle Pleistocene. The indurations we find nowadays started during the young Pleistocene.

INTRODUCCION

Recientemente, se ha mostrado que los tepetates del área de Xalapa se relacionan con una paleosuperficie de alteración ferralítica del basalto-andesita (Geissert y Dubroeuq, 1990) y resultan de la transformación de los suelos arcillosos, mediante procesos de destrucción geoquímica de la haloisita seguidos por silicificaciones (Campos y Dubroeuq, 1990).

Este trabajo muestra que el desarrollo del tepetate es progresivo a lo largo de la paleosuperficie y que a cada etapa de su evolución se asocia un relieve modelado representativo. De esta asociación se deduce una cronología relativa de los eventos que favorecieron la alteración ferralítica y su posterior transformación en tepetate.

MATERIALES Y METODOS

1 Mediante una interpretación geomorfológica de fotografías aéreas B/N a escala 1:20,000 y 1:50,000, completada por verificaciones de campo, se delimitan los distintos modelados de la paleosuperficie.

2 Sobre transectos representativos de cada relieve modelado se realizan levantamientos topográficos detallados para determinar la sección transversal de las lomas y valles.

3 Se describen la estratigrafía del material y el tipo de suelo asociados a cada sección

topográfica y se establecen las etapas de formación del tepetate.

4 Se elabora la escala cronológica de los eventos volcano-tectónicos y climáticos que favorecieron el desarrollo del tepetate.

RESULTADOS Y DISCUSION

Ambiente geológico

La meseta se encuentra inmediatamente al este de la ciudad de Xalapa y se extiende en dirección del SE (Fig. 1). El substrato geológico se compone de espesos derrames superpuestos de andesita básica (Composición química general: $\text{SiO}_2 = 56.7-57.1\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 17\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2.2-4.7\%$; $\text{MgO} = 4.3-4.7\%$; Negendank *et al.*, 1985), emplazados durante una fase eruptiva temprana, del Plio-Pleistoceno. La datación de un fragmento de lava tomado cerca del lugar El Sumidero indica una edad de 1.70 ± 0.20 ma B.P. (Before Present).

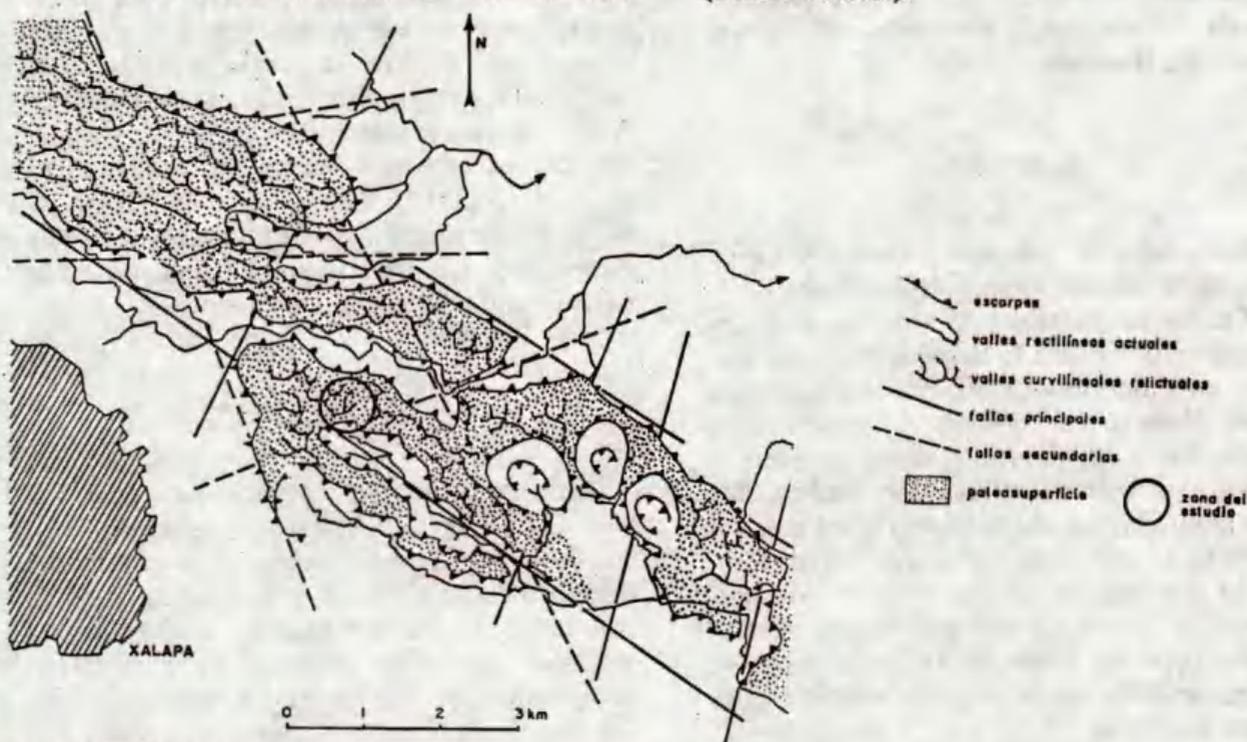


Fig. 1. Extensión de la meseta andesítica y de la paleosuperficie

Esta meseta bordea el valle de la Concepción, estructura tectónica de hundimiento a lo largo de fallas de tensión subverticales y de dirección NW-SE. La propia meseta está recortada por dos familias de fallas casi ortogonales: las principales de dirección NW-SE y NE-SW y las secundarias de dirección NNW-WSW. Estas fallas desnivelan la superficie en compartimientos escalonados y sobre ellas se calcan valles profundamente disectados.

Relieve modelado actual de los Tepetates

En la parte superior de la meseta (área el Sumidero, 1,320 m) existen lomas de forma convexa a levemente plana. De la cima hacia abajo las pendientes aumentan de menos 5% a 35%, siguiendo una sección semi-parabólica casi perfecta (Fig. 2a), y alcanzan el fondo del valle de forma cóncava a plana. El desnivel entre la cima de las lomas y el talweg oscila entre 10 y 15 m. Los valles separan las lomas y se ordenan según un patrón curvilíneo con orientación general en el sentido del derrame de lava. Estos valles son reliquias y no participan en el drenaje actual de la meseta. Los escurrimientos superficiales son escasos y deficientes, lo que propicia la formación de superficies pantanosas.

El suelo ferráltico, de varios metros de espesor, cubre todo el paisaje, salvo en ciertas cumbres en donde afloran algunos bloques de lava de la capa de alteración ubicada entre el suelo ferráltico y la roca sana. En la base del suelo ferráltico aparecen "manchas" grises dispersas que indican la formación de una plintita. Bajando la meseta, estas manchas se reorganizan en bandas sub-horizontales inclinadas en la misma dirección que la colada de lava (hacia el SE) y se empieza a desarrollar un tepetate dentro del suelo ferráltico.

En la sección intermedia de la meseta (área el Castillo-Las Trancas, 1,200 m) aparece un nuevo tipo de lomerío (Fig. 2b). Su forma superior, aunque más plana, sigue siendo convexa; pero luego, después de una leve ruptura de pendiente, una vertiente recta de 30-40% de inclinación

hace la unión con el fondo del valle que tiene una forma de V abierta. La profundidad del talweg es de 15 a 20 m. Los valles son generalmente rectilíneos y se calcan sobre las fallas que recorren la meseta.

En la parte superior convexa, ahora residual, se encuentran los suelos endurecidos con dos o tres discontinuidades laminares silicificadas dentro de 4 a 5 m de material de alteración arcilloso. Estos horizontes laminares alternan con otros, menos compactos y estructurados en forma de prismas.

Cuando el segmento de pendiente convexo cambia a recto, el tepetate se interrumpe y empieza a aflorar el suelo ferráltico. En el fondo del valle se alcanza la andesita meteorizada. Esto significa que un nuevo sistema de disección, favorecido por la fracturación de la meseta, incidió y profundizó los antiguos valles curvilíneos de fondo plano y recortó el tepetate en formación. La entalla en V se produjo por lo tanto después del inicio de formación del tepetate.

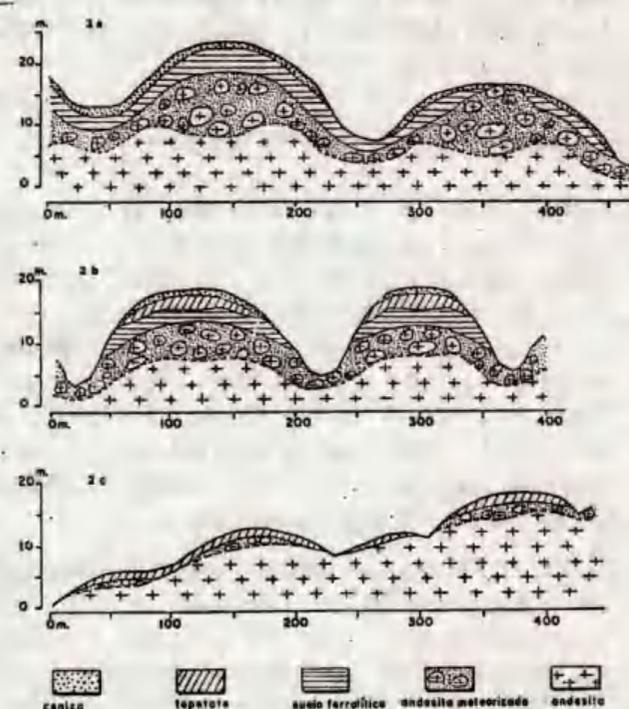


Fig. 2. Tipos de relieve modelado asociados al tepetate. 2a. Convexo; 2b. Mixto; 2c. Plano-convexo.

En la parte inferior de la meseta (área el Lencero, 1,080 m) la apariencia del lomerío es diferente. Conserva su aspecto convexo en la sección superior de las vertientes, pero su cima es plana y más ancha que anteriormente (Fig. 2c). Las lomas son alargadas y separadas por valles en V, rectilíneos y orientados en el mismo sentido que el derrame de lava. El desnivel entre la cima y el talweg es de unos 5 m apenas. En la superficie aflora un tepetate constituido por 6 ó 7 láminas muy duras, que descansan sobre menos de 1 m de alteración ferralítica o directamente sobre la andesita. En el fondo de algunos talwegs afloran bloques de lava meteorizada, descubiertos por la erosión.

El estudio del relieve modelado actual indica que el desarrollo del tepetate no es uniforme a lo largo de la meseta. Se extiende progresivamente de la parte baja al SE hacia la alta al NW, es decir que tiende a remontar la colada de lava. La tendencia evolutiva es hacia el aplanamiento generalizado del modelado como consecuencia del colapso de la estructura interna del tepetate (Campos y Dubroeuq, op. cit.) y hacia el endurecimiento del suelo.

Cronología de la formación del Tepetate

La edad de 1.70 ± 0.20 ma. B.P. antes mencionada sitúa la fase volcánica inicial en el límite entre el Plioceno y el Pleistoceno inferior (Fig. 3). Negendank *et al.* (1985) extienden esta fase efusiva de constitución del basamento andesítico a todo el Pleistoceno inferior, lo que concuerda con Robin y Cantagrel (1982), y Cantagrel *et al.* (1981) que colocan en este período la fase inicial del volcanismo andesítico en otras partes del eje neo-volcánico.

En el Pleistoceno medio y parte del superior ocurrió un largo período de calma volcánica y estabilidad tectónica, de por lo menos 1 millón de años, durante el cual se produjo la alteración ferralítica tropical del basamento, bajo un clima más cálido y húmedo que el actual y de duración suficiente para intemperizar la lava sobre varios metros de espesor. Tales condiciones imperaban

en el intervalo pluvial Mindel-Riss (Kansas-Illinois), el cual situamos provisionalmente entre 430 y 240 ma. B.P., de acuerdo a Oliver (1973). Después de este gran interglacial, el ritmo de los cambios climáticos se modifica y las alternancias entre períodos húmedos y secos son más frecuentes. Estas condiciones inducen la formación del tepetate al finalizar el Pleistoceno medio.

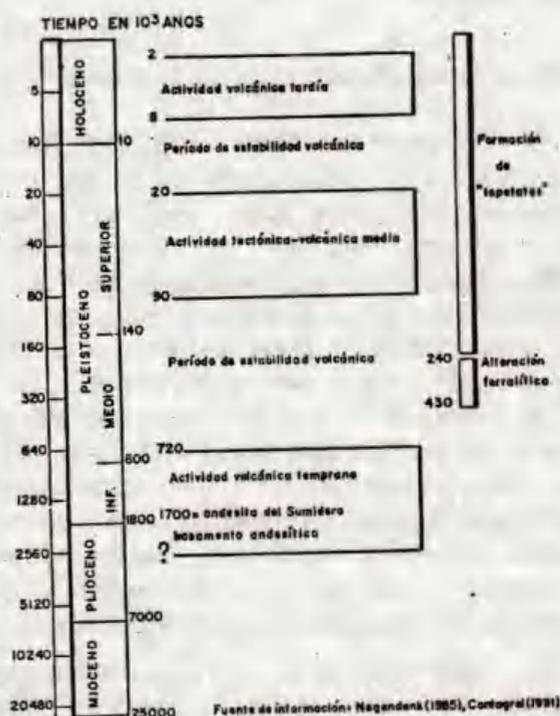


Fig. 3. Cronología de la formación del tepetate alrededor de Xalapa.

Posteriormente, en el Pleistoceno superior, durante un período estimado entre 90,000 y 20,000 años, se reintensificó la actividad volcánica (Negendank *et al.*, op. cit.) con nuevos derrames de lava y flujos piroclásticos, testigos de eventos explosivos de gran amplitud. A ella se asocia una dinámica tectónica caracterizada en la zona por una intensa fracturación y movimientos de bloques, responsables entre otros de la formación del valle de hundimiento de la Concepción. Este valle constituye un nuevo nivel de base local y provoca un cambio de dirección del drenaje

superficial, la incisión de los valles curvilíneos y la formación de nuevos valles que, guiados por las fallas, recortan los curvilíneos. Este nuevo sistema de disección, caracterizado por valles en V, se desarrolla durante un breve período de estabilidad tectónica situado a finales del Pleistoceno superior y principios del Holoceno, entre 20,000 y 8,000 años aproximadamente. A pesar de que el proceso de formación de tepetate sufre fuertes interferencias morfogénicas (disección, erosión), las condiciones climáticas siguen siendo favorables para su desarrollo.

En el Holoceno, una actividad volcánica tardía se manifiesta por la erupción de pequeños conos que arrojan lavas basálticas y cenizas. Dichos productos cubren parcialmente los depósitos anteriores y hasta los tepetates en algunos sitios. Ninguno de ellos presenta endurecimientos parecidos al tepetate.

CONCLUSIONES

El modelado actual del tepetate en el área de Xalapa, Ver. permite identificar tres etapas de evolución:

a) Etapa inicial, que corresponde a un lomerío convexo con talwegs curvilíneos, producto de la alteración ferralítica. La aparición de una plintita marca el inicio de formación del tepetate.

b) Etapa intermedia, que corresponde a un lomerío mixto, convexo con tendencia al aplanamiento de las cimas, recorrido por valles rectos en forma de V. El tepetate se presenta como alternancia de horizontes prismáticos poco compactos y laminares endurecidos.

c) Etapa avanzada, que corresponde a un lomerío plano-convexo, alargado y rebajado, en donde el tepetate está formado únicamente por horizontes laminares muy duros.

Este grado de evolución no es reciente; al contrario, resulta de un proceso de larga duración. La previa alteración ferralítica del substrato volcánico, indispensable para la formación del tepetate, requiere de un período largo, de por lo menos 200,000 años, situado en este caso en el Pleistoceno medio. Posteriormente, en un intervalo de por lo menos igual duración incluyendo el Pleistoceno superior y el Holoceno, se forman los endurecimientos. Las dos etapas, alteración y endurecimiento, suman un período superior a los 400,000 años.

LITERATURA CITADA

CAMPOS, A. y D. DUBROEUCQ. 1990. Formación de los tepetates en suelos provenientes de las alteraciones de materiales volcánicos. *Terra* 8 (2): 137-147.

CANTAGREL, J.M., C. ROBIN C. y P. VINCENT. 1981. Les grandes étapes d'évolution d'un volcan andésitique composite: exemple du Nevado de Toluca (Mexique). *Bull. Volcanol.* 44 (2): 177-188.

GEISSERT, D. y D. DUBROEUCQ. 1990. Los tepetates del área de Xalapa y su relación con una paleosuperficie. Una perspectiva cronológica. *Terra* 8 (2): 148-155.

NEGENDANK, J.W., R. EMMERMANN, R. KRAWCZYK, F. MOOSER, H. TOBSCHALL y D. WERLE. 1985. Geological and geochemical investigations on the eastern transmexican volcanic belt. *Geof. Int.* 24 (4): 477-575.

OLIVER, J.E. 1973. Climate and man's environment. An introduction to applied climatology. pp. 315-394. *In*: Part III. Climates of the past and climatic changes, John Wiley & Sons Publ.

ROBIN, C. y J.M. CANTAGREL. 1982. Le Pico de Orizaba (Mexique): Structure et évolution d'un grand volcan andésitique complexe. *Bull. Volcanol.* 45 (4): 299-315.

LOS TEPETATES DE LA REGION DE XALAPA, VERACRUZ (MEXICO): ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA PEDOLOGICA

Tepetates of Xalapa, Veracruz (Mexico): Structure of the Soil Mantle

Adolfo Campos C.

Instituto de Ecología, Xalapa, Edo. Veracruz, México.

Palabras clave: Tepetate, Cubierta pedológica, Veracruz, México, Suelos volcánicos endurecidos, Génesis, Sílice, Hierro, Aluminio, Agua del suelo.

Key words: Tepetate, Soil mantle, Veracruz, Mexico, Indurated volcanic soils, Genesis, Silica, Iron, Aluminium, Soil water.

RESUMEN

Las observaciones en un corte de 100 m de largo mostraron la formación de horizontes compactos y endurecidos (tepetate) a partir de un suelo ferralítico arcilloso con haloisita.

Los resultados de textura y densidad aparente evidencian la destrucción del plasma fino con un aumento en los limos y arenas, lo que ocasiona el colapso de las estructuras, el adelgazamiento de los horizontes y el aumento en la densidad aparente.

El análisis del agua de percolación en el período de lluvias, muestra notables contenidos de silicio que se acentúan al final del período. Las concentraciones de aluminio y hierro son menores. También las soluciones registran valores de pH ligeramente ácidos y los cationes se exportan a bajas concentraciones.

Los contenidos de silicio son mayores en el

horizonte laminar y tienen una participación importante en la formación de estratos endurecidos.

SUMMARY

Field observations along a 100 m cut show the formation of compacted and hardened horizons (tepetate) from a ferrallitic halloysite clay soil.

Result of particle size and field density measurements evidence a lateral fine plasma destruction with correlative increase of sand and silt contents, so that soil structure collapses, horizons get thinner and field density increases.

The internal circulating water was analysed during the rainy season. The water shows notable contents of silicon which increase at the end of the season while alumina and iron concentrations are smaller. These solutions are slightly acid and cations exist in very small quantities.

Silica contents are always higher in the water near the laminar horizons and are supposed to play an important role in the hardening process.

INTRODUCCION

La palabra "tepetate" involucra restricciones a la penetración de las raíces por impedimento

mecánico: los tepetates son horizontes compactos que cuando secos son de duros a extremadamente duros. Algunos son frágiles en estado seco y húmedo.

En la formación de horizontes endurecidos participan varios componentes del suelo como son arcilla, óxidos de hierro, sílice y carbonatos.

Varios autores estudiaron más específicamente estas capas duras. Campos y Dubroeuq (1990) identificaron en un corte de 100 m de largo, para la región de Xalapa, que los estratos endurecidos tienen un arreglo en láminas onduladas sobrepuestas y separadas por estructuras prismáticas.

Werner (1986) distingue por lo menos, cinco estratos con acumulaciones de silicio en cortes de suelo de la región de Tlaxcala. Estas acumulaciones siempre vienen en la base de un horizonte arcilloso. Este autor también menciona que las investigaciones químicas de solubilidad mineralógica y los estudios de micromorfología realizados en la región, dan evidencia de que la sustancia de unión consiste de una mezcla no separable de ácido silícico (en forma de gel silícico) y de haloisita (producto de la cristalización de los alófanos).

Nimlos (1989) en su estudio sobre los tepetates de México encontró que la densidad aparente varió de 1.00 a 2.11 g/cm³, el valor promedio de la resistencia a la compresión fue de 24.7 kg/cm². Subraya que el endurecimiento es mayor cuando los carbonatos se combinan con la sílice.

Quantin y Geissert (1988) reportan para la región de Xalapa, que las alteraciones ferralíticas las constituyen arcillas de tipo haloisita.

El propósito del presente artículo es demostrar cómo a partir de un suelo ferralítico arcilloso surgen horizontes compactos que llegan a formar tepetate. Esta transformación se manifiesta en la cubierta pedológica.

MATERIALES Y METODOS

El lugar del estudio se ubica en el ejido del Sumidero, a 5 km al noreste de Xalapa, Ver., en

las coordenadas 19°32'35" latitud norte y 96°52'30" longitud oeste. El substrato geológico se compone de varios derrames superpuestos de basalto-andesita, con orientación noroeste-sureste.

El sitio es un corte de 100 m de longitud que se orienta en el sentido del derrame de basalto-andesita. Corresponde a una porción de meseta que está intensamente alterada dentro de los 3 metros de espesor.

La geometría bidimensional de la cubierta pedológica se elaboró aplicando el método del análisis estructural (Boulet, 1988). La configuración del corte transversal de la loma se obtuvo a partir de un levantamiento topográfico y de la descripción morfológica de 25 perfiles distribuidos a lo largo del corte.

Se colectaron 45 muestras de suelo para determinar textura (método de la pipeta), densidad aparente (método de la parafina) y densidad real (método del picnómetro). Los métodos se ajustaron a las normas establecidas en Klute (1986).

En 22 muestras de agua de percolación colectadas en el período de lluvias de 1990, se determinó Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na y pH. El agua se colectó a dos profundidades (50 y 230 cm) por medio de tubos de plástico (PVC). A las muestras se les midió el pH, posteriormente se agregaron 3 gotas de HCl 0.1N y se mantuvieron en refrigeración. El análisis se realizó en el laboratorio de suelos de ORSTOM en Bondy (Francia).

RESULTADOS Y DISCUSION

La Cubierta Pedológica

La estructura de la cubierta pedológica (Fig. 1), se compone de un horizonte humífero de color pardo oscuro; un eluviado pardo pálido; un columnar pardo; un prismático amarillo; un plántico laminar; un prismático pardo y un poliédrico pardo. A partir de los horizontes

columnares y hasta la alteración, estos horizontes en el corte general se presentan en forma de láminas onduladas sub-horizontales y disminuyen en espesor a medida que se acercan a la superficie.

Los suelos ferralíticos arcillosos se sitúan en el borde del valle al lado noroeste del corte. En estos suelos el paso de un horizonte a otro es de manera gradual y se distingue una débil estructura prismática. En la base del perfil, el suelo tiene abundantes manchas grises en una matriz parda. Éstas se organizan en bandas horizontales en espesas (5 cm) vetas grises arcillosas.

La transformación del suelo ferralítico a tepetate principia en la base del suelo, inter-fase con el material de alteración y termina en la superficie del horizonte columnar. Los horizontes de la parte superficial (humífero y polvoso) no son afectados por la transformación y no varían morfológicamente a lo largo del corte.

Los suelos más transformados a tepetate se encuentran en el centro y al sureste del corte. Aquí las discontinuidades son mayores y la compactación aumenta.

Según la formación de los horizontes, el proceso en el paisaje se desenvuelve de manera lateral. El avance de la formación del tepetate sigue una dirección sureste-noroeste y remonta la cubierta ferralítica inicial.

La Morfología del Suelo

El suelo arcilloso ferralítico:

0 - 15 cm: Horizonte humífero, oscuro, migajoso, friable.

15 - 40 cm: Horizonte grumoso, pardo claro, friable.

40 - 120 cm: Horizonte prismático, pardo, arcilloso, estructura prismática con sub-estructura poliédrica.

120 - 250 cm: Horizonte poliédrico, pardo, arcilloso, friable, manchas grises.

250 - 300 cm: Horizonte de alteración, pardo, arcilloso, friable, esferas muy alteradas de basalto-andesita con sitios de color gris verdusco.

Los horizontes pasan de modo gradual de uno a otro y el suelo no muestra ninguna discontinuidad estructural. En todo el perfil el material es mayormente arcilloso y queda friable aún cuando seco, inclusive en el horizonte prismático.

El suelo con tepetate:

0 - 20 cm: Horizonte humífero, oscuro, grumoso, limo-arenoso, friable, excremento de lombrices.

20 - 50 cm: Horizonte polvoso, beige, arenoso, consistencia suelta.

50 - 80 cm: Horizonte columnar, café pálido, compacto cuando seco, limo-arenoso, líneas verticales de color gris separan las columnas.

80 - 85 cm: Horizonte laminar, gris claro, arenoso limoso, concreciones laminares de 1 cm de espesor, duras.

85 - 140 cm: Horizonte prismático amarillo, compacto cuando seco, limo-arcilloso, frecuentes nódulos de óxidos.

140 - 190 cm: Horizonte plúntico laminar, pardo amarillento, con bandas alargadas arcillosas de color gris.

190 - 195 cm: Horizonte plácico, pardo grisáceo, duro, compuesto de capas horizontales de 2 a 3 cm de espesor, separadas por bandas de arcilla gris.

195 - 230 cm: Horizonte prismático, pardo, limo-arcilloso, compacto, pseudo micelios de sílice recubren las paredes de los prismas.

230 - 270 cm: Horizonte poliédrico, pardo, arcilloso, agregados con caras lisas de presión y pseudo micelios de sílice, manchas grises en bandas horizontales de 2 cm de espesor.

270 - 300 cm: Horizonte de alteración, pardo, arcilloso, manchas grises dispersas en la matriz, esferas de roca meteorizada de color verdusco.

El perfil se caracteriza por la importancia de sus discontinuidades horizontales. Los horizontes compactos (tepetate) presentan planos verticales que delimitan el tamaño de las columnas o de los prismas. Los planos exponen un material de color blanco que se deposita sobre las paredes en forma de vetas conspicuas de unos milímetros de espesor. En un plano horizontal, los horizontes compactos dibujan un patrón poligonal.

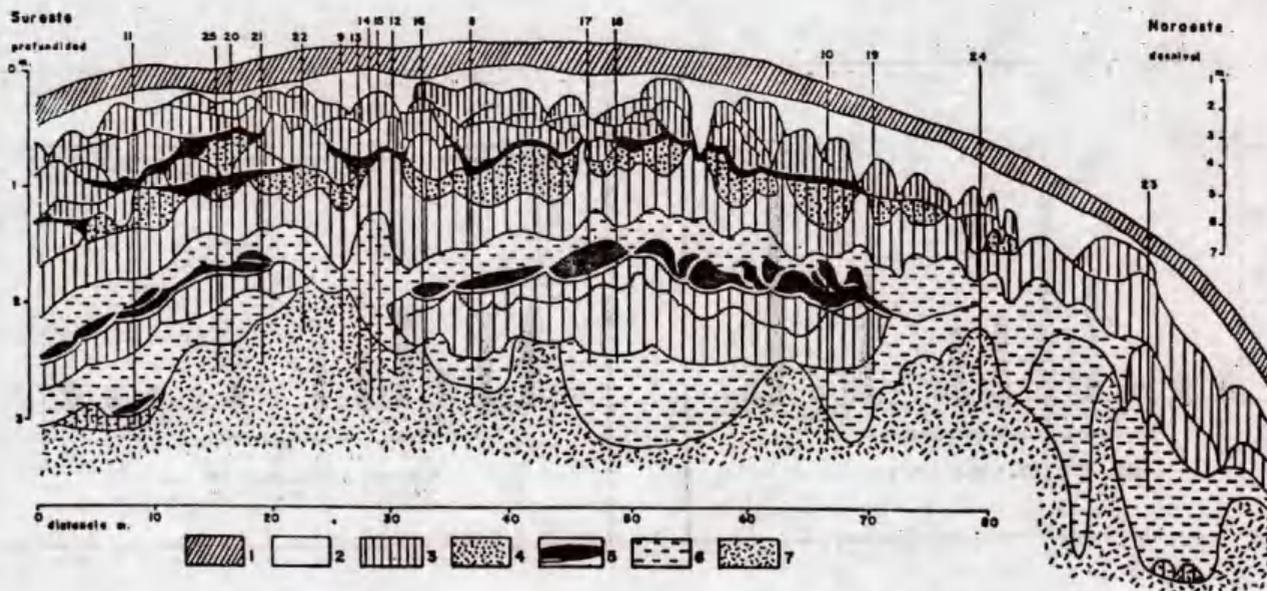


Fig. 1. Corte de la cubierta pedológica con los siguientes horizontes: 1 = humífero; 2 = polvoso; 3 = columnar y prismático; 4 = concreccionado; 5 = plácico; 6 = plántico laminar; 7 = poliédrico pardo.

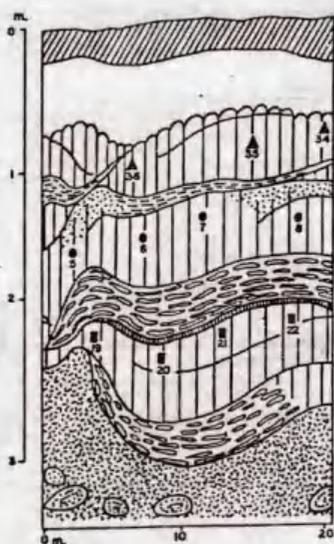


Fig. 2 a. Sección del corte con sitios de muestreo para textura y densidad aparente.

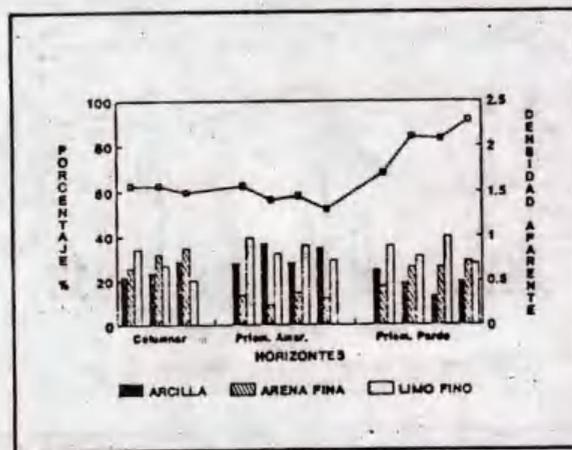


Fig. 2 b. Relación de textura y densidad aparente en los horizontes más compactos.

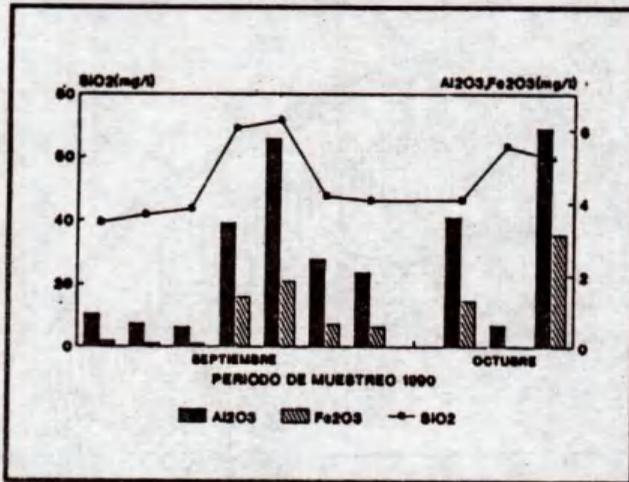


Fig. 3. Comportamiento del Si, Al, Fe en las aguas de percolación para el horizonte columnar (50 cm).

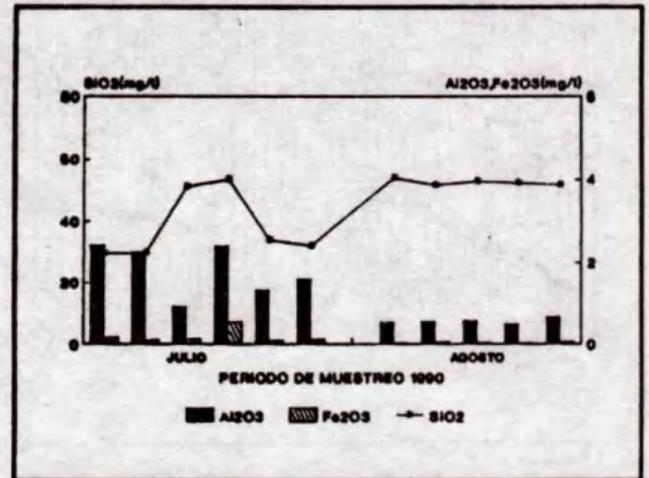


Fig. 4. Comportamiento del Si, Al, Fe en las aguas de percolación para el horizonte plúntico laminar (230 cm).

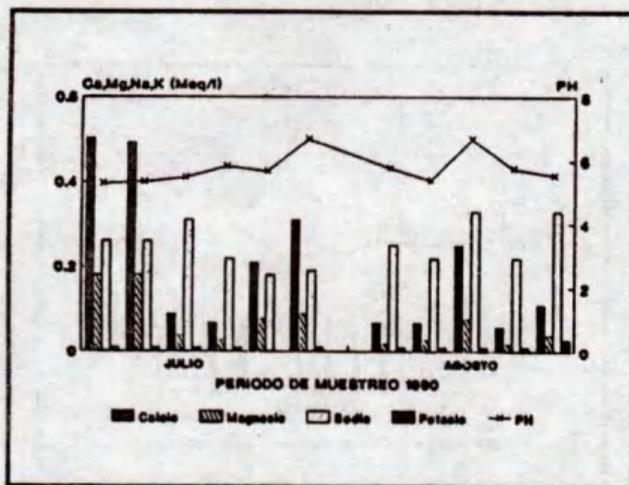


Fig. 5. Comportamiento de los cationes y el pH en las aguas de percolación para el horizonte columnar (50 cm).

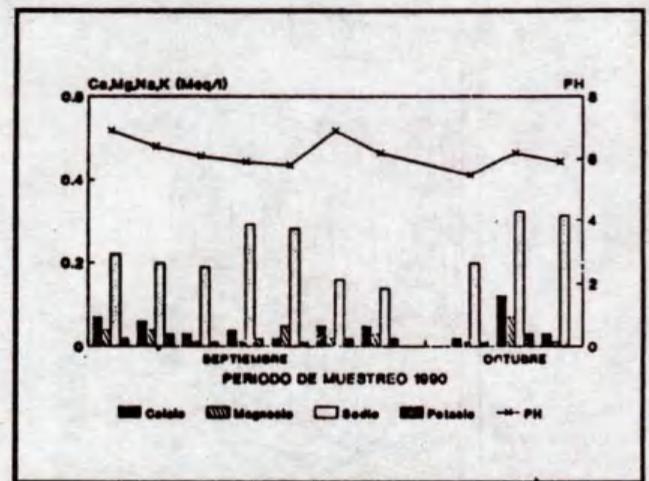


Fig. 6. Comportamiento de los cationes y el pH en las aguas de percolación para el horizonte plúntico laminar (230 cm).

Relación del Tamaño de Partículas con la Densidad Aparente

Existe una relación estrecha entre el tamaño de partículas, el espesor de los horizontes prismáticos, la densidad aparente y la compactación de los horizontes que forman el tepetate (Figuras 2a y 2b).

En el horizonte columnar, las columnas con mayor densidad aparente (1.56 g/cm^3) muestran una textura esencialmente limosa (arcilla 21.9%, limo fino 34.3%). Estas columnas son también más delgadas que aquéllas con menor densidad aparente (1.49 g/cm^3).

El horizonte prismático amarillo registra la densidad aparente más baja (1.31 g/cm^3) y el mayor contenido de arcilla (34.95%). Los prismas cortos tienen una densidad aparente mayor (1.56 g/cm^3) que los prismas largos (1.31 g/cm^3).

El horizonte prismático pardo contiene la densidad aparente mayor ($> 2 \text{ g/cm}^3$). Existe una proporción importante de limo fino y arena fina con disminución de arcilla. Aquí también las densidades mayores se observan en las estructuras más cortas y corresponden a partes delgadas del horizonte.

Los resultados evidencian que las ondulaciones de los horizontes prismáticos y columnares del corte general, coinciden con variaciones laterales de la densidad aparente a consecuencia de la destrucción pedológica del plasma fino. En el corte existen sitios preferenciales discontinuos donde ocurre la destrucción del plasma fino, ahí las estructuras se colapsan, el espesor del horizonte se reduce y la densidad aparente aumenta.

Características Químicas del Agua de Percolación

Se distinguen dos niveles de circulación de las aguas de percolación en el período de lluvia: uno en el horizonte columnar y otro en el horizonte plúntico laminar.

Comportamiento del Si, Al y Fe en la estación de lluvia (Figuras 3 y 4)

Los contenidos de silicio varían entre 30 mg/l y 70 mg/l . Las concentraciones en la solución del suelo son altas y no varían con el volumen si no con el período de las lluvias. Al inicio del período se registran las concentraciones menores y al final las mayores. De los dos niveles de circulación interna, es el horizonte plúntico laminar que registra las mayores concentraciones.

La presencia de altos niveles de silicio en las aguas de percolación al final del período de las lluvias y los pH de la solución menores a 7, son condiciones geoquímicas favorables para la precipitación del silicio.

Las concentraciones de aluminio son bajas y variables en la estación húmeda. Los contenidos van de 0.50 mg/l a 5.0 mg/l . Se observan pocas diferencias de concentración en los dos niveles de circulación del agua, sin embargo, los valores mayores se registran en el horizonte plúntico laminar. Las concentraciones de aluminio se relacionan a los volúmenes de precipitación. Los días con abundantes aguas de percolación registran los mayores contenidos de aluminio.

El hierro sigue el mismo comportamiento que para el aluminio pero a concentraciones inferiores. Los contenidos varían entre 0.03 mg/l a 3 mg/l . Las variaciones en concentración son menos acentuadas que en el caso del aluminio.

Comportamiento de los cationes y del pH en la estación lluviosa (Figuras 5 y 6)

La concentración de los cationes que se exportan en el agua de percolación es baja.

En el horizonte columnar los contenidos de calcio varían de 0.06 a 0.5 meq/l y los de magnesio de 0.02 a 0.18 meq/l , en tanto que en el horizonte laminar son de 0.02 a 0.12 meq/l y de 0.01 a 0.07 meq/l , respectivamente. Existe una disminución importante de estos cationes en el horizonte laminar.

Los contenidos de sodio y de potasio van de 0.18 a 0.33 meq/l y de 0.01 a 0.03 meq/l, respectivamente, en el horizonte columnar; de 0.14 a 0.32 meq/l y de 0.0 a 0.03 meq/l, respectivamente, en el horizonte laminar. Prácticamente las concentraciones se mantienen constantes.

El pH de la solución del suelo va de 5.7 a 6.18 en promedio y registra un incremento de 0.5 unidades en el horizonte laminar.

CONCLUSIONES

- La compactación del suelo es resultado del colapso del edificio estructural por la destrucción

del plasma fino y el aumento de la densidad aparente.

- El Si, el Al y Fe en las aguas de percolación se transportan a intensidades y ritmos diferentes. Las altas concentraciones de sílice en la solución interna del suelo y el incremento gradual al final del período de las lluvias, son evidencias de que la sílice precipita en los horizontes laminares y en los planos verticales de los prismas.

- El tepetate de la región de Xalapa se forma a partir de la degradación de un suelo arcilloso ferralítico a la que sigue una silicificación y fabricación de estratos endurecidos.

LITERATURA CITADA

CAMPOS, A. y D. DUBROEUCQ. 1990. Formación de los tepetates en suelos provenientes de las alteraciones de materiales volcánicos. *Terra* 8 (2): 137-147.

BOULET, R. 1988. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia, pp. 79-90. *In: Resumos. XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo.* Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Brasil.

GEISSERT, D. y D. DUBROEUCQ. 1990. Los Tepetates del área de Xalapa y su relación con una paleosuperficie. Una perspectiva cronológica. *Terra* 8 (2): 148-155.

KLUTE, A. (Ed.), 1986. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* 2 Ed. Agronomy Series Nº.9, ASA, SSSA, Madison, USA.

NIMLOS, T.M. 1989. The density and strength of Mexican tepetate (duric materials). *Soil Science* 147 (1): 23-27.

QUANTIN, P. y D. GEISSERT. 1989. Características químicas y mineralógicas de un andosol y de un suelo ferralítico de Xalapa, Veracruz, Méx. *INIREB.* 24 p.

WERNER, G. 1986. Los suelos en el estado de Tlaxcala: Altiplano Central Mexicano. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Centro de Estudios Municipales del Estado de Tlaxcala. 162 p.

LOS TEPETATES DE LA REGION DE XALAPA, VERACRUZ (MEXICO): UN ENDURECIMIENTO DE ORIGEN PEDOLOGICO

Tepetates of the Region of Xalapa, Veracruz (Mexico): a Pedological Hardening

Didier Dubroeuq

ORSTOM. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz. México.

Palabras clave: México, Suelos volcánicos endurecidos, Haloisita, Tepetate, Duripán, Sílice, Génesis.

Key words: Mexico, Indurated volcanic soils, Halloysite, Tepetate, Duripan, Silica, Genesis.

laminares que son una combinación de ópalo-cristobalita y de haloisita no diferenciables ópticamente.

RESUMEN

En la región de Xalapa (Ver.), los tepetates se originan en las espesas cubiertas arcillosas provenientes de la alteración ferralítica de mesetas de basaltos andesíticos. Los perfiles presentan dos o tres horizontes prismáticos superpuestos separados por horizontes laminares endurecidos y alcanzan 3 a 4 m de espesor hasta la roca meteorizada. En los horizontes laminares se observan espesos revestimientos con varios grados de endurecimiento. Por su microestructura, difieren de los argilanes y presentan en luz polarizada una red poligonal de bandas plásmicas entrecruzadas. En estos revestimientos, los difractogramas de RX confirman la presencia de haloisita y de cristobalita y los microanálisis indican un contenido mayor en sílice que en el material arcilloso parental. En los horizontes inferiores del suelo aparecen pseudomicelios blancos que son formas incipientes de acumulación de sílice. Asimismo, la movilización de la sílice existe en el suelo, pero se manifiesta de modo estable en los revestimientos

SUMMARY

In the region of Xalapa (Ver.), "Tepetates" are developed into thick clayey mantles originated from a ferrallitic alteration of andesite-basalt mesetas. The profiles display two or three superimposed prismatic horizons which are separated by hard laminar horizons. The whole profiles are three to four meters deep and reach the weathered parent rock. In the laminar horizons thick coatings with different grades of hardening are observed. Their microstructure is quite different from argilans: in crossed polarized light a polygonal pattern of cross banded birefringent plasma is observed. XR diffraction diagrams confirm that such coatings are essentially composed of halloysite and cristobalite, and microprobe indicates a higher content of silicon than in the parent clayey material. In the subsoil white pseudomyceliums are clearly visible and show incipient silica deposits. Therefore, silica movability exists in the whole soil but secondary silica remains stable and permanent in the laminar coatings which are composed of silica and halloysite, combined but not optically distinguishable.

INTRODUCCION

En México, las formaciones endurecidas llamadas "tepetates" son tierras estériles y erosionadas que se encuentran en el eje volcánico central, en zonas del altiplano con clima sub-húmedo a sub-árido, siempre con una estación seca bien marcada. Debido a su importante superficie (30,700 km²), estas tierras agrícolas, tradicionalmente descartadas o reservadas al pastoreo extensivo, despiertan ahora un nuevo interés en vista de ser incorporadas al uso agrícola, con la finalidad de aumentar el espacio cultivable y limitar los efectos de la erosión. En ese sentido se hace énfasis en los estudios agronómicos (Ruiz, 1987; Miranda *et al.*, 1989), pero las explicaciones científicas acerca de la formación de los tepetates quedan todavía oscuras, debido al gran número de formas de endurecimiento que aparecen y a la gran variedad de materiales volcánicos que los originan (Dubroeuq *et al.*, 1989).

En la región de Xalapa, los análisis de las aguas internas del suelo confirman que los tepetates se forman en un ambiente geoquímico con exceso de sílice (Campos y Dubroeuq, 1990). Este resultado concuerda con los análisis químicos de suelo realizados en la región de Tlaxcala (Werner, 1986), los cuales indican la presencia de la sílice en los materiales compactados y la probable ligazón de ácido silícico con las arcillas en los cementantes del suelo endurecido.

Sin embargo, al observar los tepetates en la región de Xalapa, son los aspectos morfológicos del suelo que llaman más la atención: aparecen varias capas de estructuras prismáticas gruesas sobrepuestas, separadas por horizontes laminares sub-horizontales endurecidos. En las estructuras prismáticas ocurre un empobrecimiento en arcilla (Campos y Dubroeuq, 1990), dando al material un color más blanco y una textura limosa y arenosa, mientras que en las estructuras laminares se exhiben los rasgos de una acumulación de plasma fino en forma de manchas arcillosas, grises y alargadas horizontalmente, que se endurecen en láminas.

El propósito del presente artículo es precisar en qué forma se deposita la sílice en los tepetates de Xalapa y, en particular, explicar la mineralogía y la constitución de las manchas grises de los horizontes laminares. Asimismo, se definen los caracteres que permiten separar claramente los revestimientos laminares de otros más comunes, ligados a la acumulación de las arcillas en los suelos.

MATERIALES Y METODOS

Los Suelos con Tepetates

Se estudiaron al Sureste de Xalapa, en la zona del ejido del Sumidero, a lo largo de un corte de 100 m de largo y en una secuencia de cinco pozos cavados hasta la roca meteorizada. El suelo alcanza profundidades de 4 m y la roca es una andesita del Pleistoceno inferior de 1.7 M.A. de edad, formando extensas mesetas inclinadas hacia el este y profundamente alteradas (Geissert y Dubroeuq, 1990).

El perfil promedio (Fig. 1) consta de 3 horizontes prismáticos (P) separados por 3 horizontes laminares (L). La capa prismática superior presenta formas redondeadas en columnas (C) con espesos revestimientos limosos en forma de cofia. El horizonte inferior (A) es esencialmente poliédrico, arcilloso y de color pardo. Abajo de 4 m de profundidad aparece gradualmente la andesita meteorizada en esferas.

Mediante secciones finas orientadas, se analizaron las estructuras de los diferentes horizontes por microscopía óptica y se observaron más específicamente los revestimientos por microscopía electrónica de barrido, tanto en los suelos del corte como de los pozos.

Los Análisis Mineralógicos

Se efectuaron los análisis mineralógicos en los laboratorios de ORSTOM en Bondy, Francia, por difracción de RX en muestras de suelo total y

fracción inferior a 2μ con un difractor Siemens D 500 con anticátodo de cobre, y por microanálisis elemental semi-cuantitativo efectuado sobre las secciones finas con microsonda electrónica EDS Link.

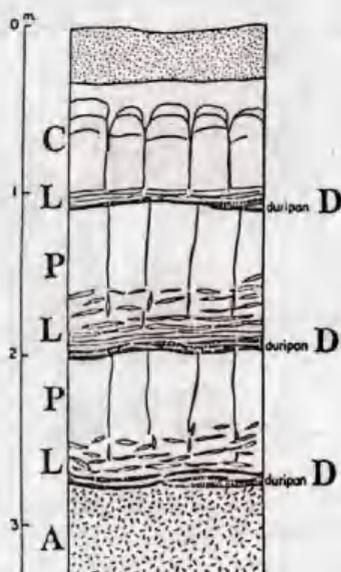


Figura 1. Corte esquematizado del suelo con tepetate. C= horizonte columnar. P= horizonte prismático. L= horizonte laminar con aspecto de plintita. D= duripán. A= horizonte de alteración de la roca andesítica.

RESULTADOS

Aspectos Generales del Suelo

La parte superior del suelo de 1 hasta 1.20 m de profundidad consta de un horizonte superficial orgánico blando y de un horizonte columnar muy compacto (Fig. 1). En ambos se observa un material volcánico reciente, poco meteorizado, con abundantes vidrios en escamas con burbujas (Fig. 2), feldespatos sódicos y potásicos (sanidina) y plagioclasas cálcicas (anortita). Su composición es globalmente riolítica. Se trata de una ceniza con un importante contenido en SiO_2 ($\text{SiO}_2=70.9\%$), probablemente depositada por caída atmosférica.

En los horizontes inferiores a 1.20 m de profundidad, y principalmente en los horizontes prismáticos, se observa un material muy evolucionado y denso con plasma arcilloso de haloisita y abundantes nódulos de óxidos. Las numerosas cavidades cerradas observadas en los prismas evidencian que una intensa pérdida de materia ocurre en estas estructuras y que la iluviación interna del plasma fino se dirige hacia abajo (Fig. 3).

En los horizontes laminares subyacentes a las estructuras prismáticas se observan manchas grises alargadas horizontalmente en el sentido de circulación de las aguas internas del suelo. Estas manchas son espesos revestimientos de plasma fino que hacen patente la acumulación de materia en los horizontes laminares. Los revestimientos se adelgazan y se endurecen hacia la base del horizonte, hasta formar láminas endurecidas en contacto directo con los prismas del nivel inferior (Fig. 1).

Las Acumulaciones de Arcilla y de Sílice

En los horizontes laminares, las manchas grises en microscopía óptica presentan una apariencia general de revestimiento arcilloso. Pero no se observan las orientaciones del plasma en las capas paralelas a los bordes de las cavidades como en los argilanes, sino un material homogéneo entrecruzado por grietas finas (Fig. 4). A una mayor magnificación aparecen en luz polarizada estructuras plásmicas en bandas entrecruzadas formando una malla ortogonal (Fig. 5).

Los diagramas de RX evidencian la presencia de haloisita y de cristobalita con un poco de cuarzo. Los picos de la cristobalita son más intensos y más agudos en los revestimientos endurecidos que en las manchas grises blandas, hasta acercarse a una cristobalita sintética (Fig. 6). Pero en los revestimientos blandos no se detecta la presencia de minerales silicosos poco cristalizados tales como el ópalo-CT y el ópalo-A, probablemente por la presencia de cuarzo que enmascara el pico secundario a 0.429 nm del ópalo-CT (Drees *et al.*, 1989).

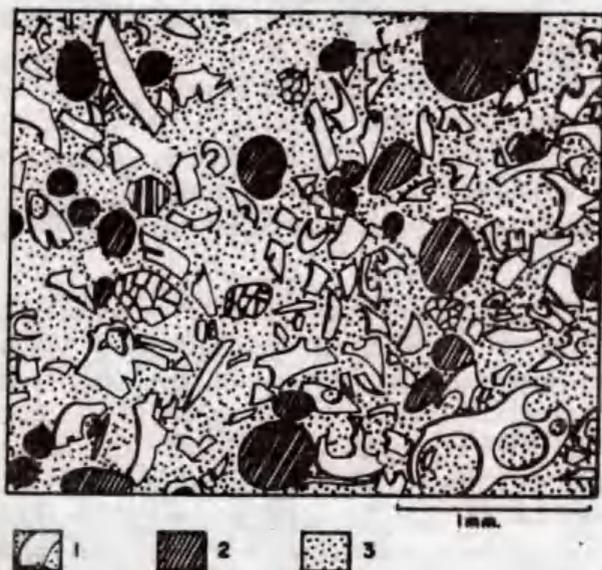


Figura 2. Micro-estructura del material de la parte superior del suelo. 1= vidrios volcánicos. 2= nódulos. 3= plasma limoso.

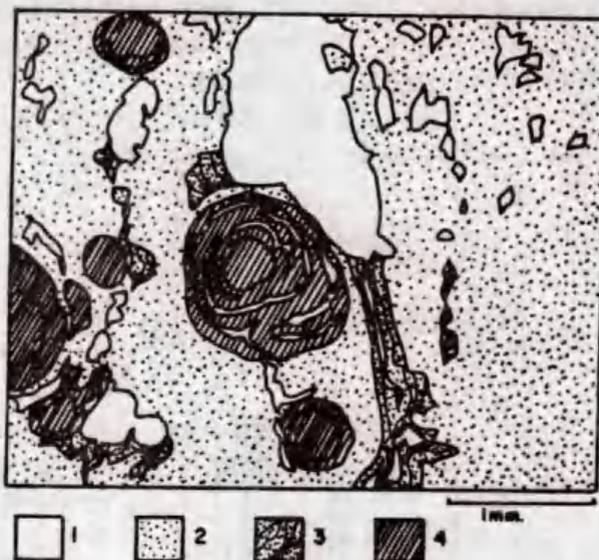


Figura 3. Micro-estructura del material de la parte prismática del suelo. 1= vacíos. 2= plasma arcilloso. 3= argilanes. 4= nódulos.



Figura 4. Micro-estructura de los revestimientos laminares. 1= plasma sílico-arcilloso liso. 2= matriz arcillosa. 3= vacíos.



Figura 5. Detalle del revestimiento en luz polarizada. 1= bandas plásmicas birefringentes. 2= zonas oscuras sin birefringencia. 3= micro-cristales secundarios de calcita.

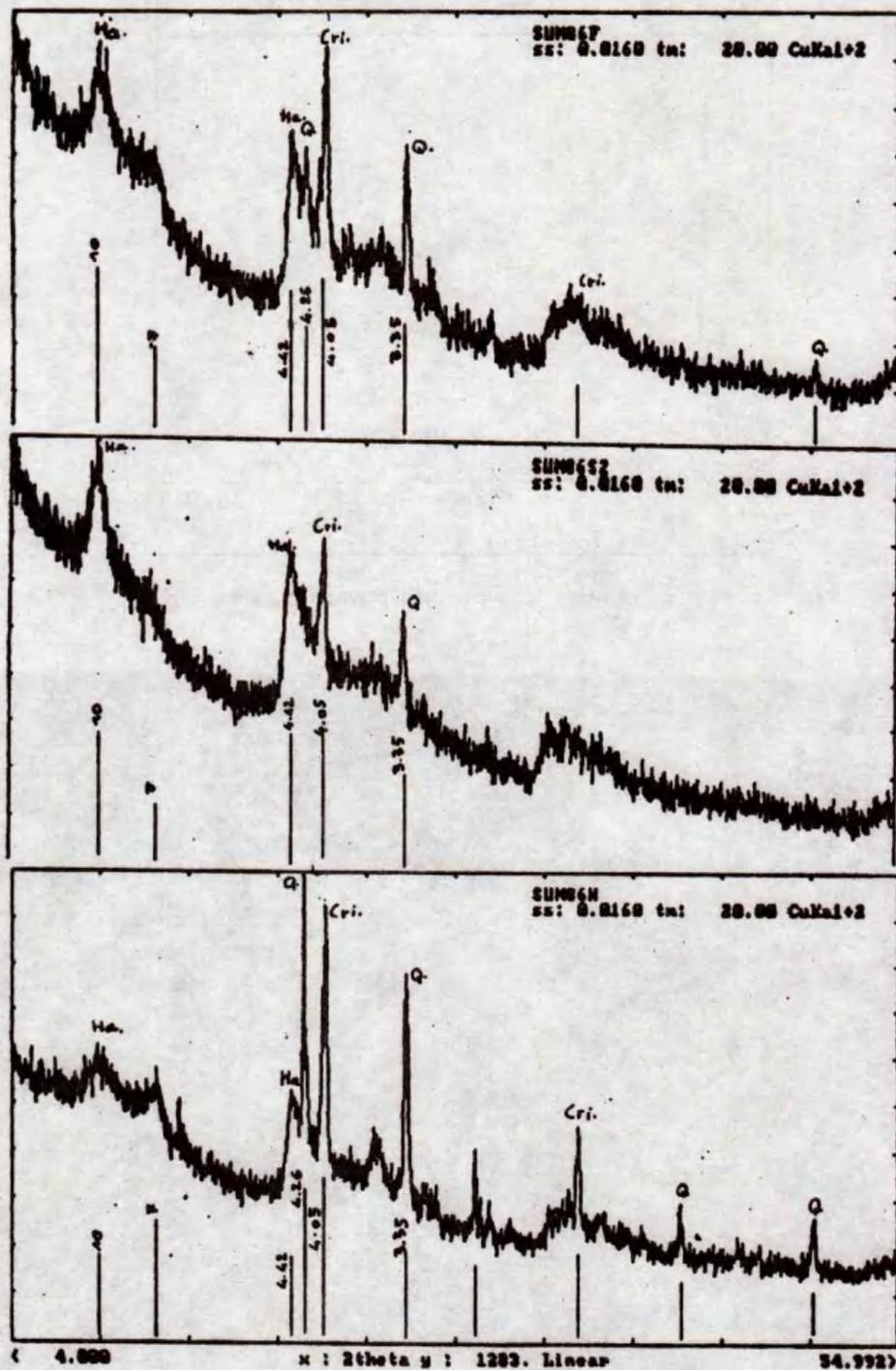


Figura 6. Diagramas de difracción RX de los revestimientos muy blandos (arriba), compactos (centro) a muy duros (abajo). Los picos de la cristobalita y del cuarzo se intensifican hacia abajo.

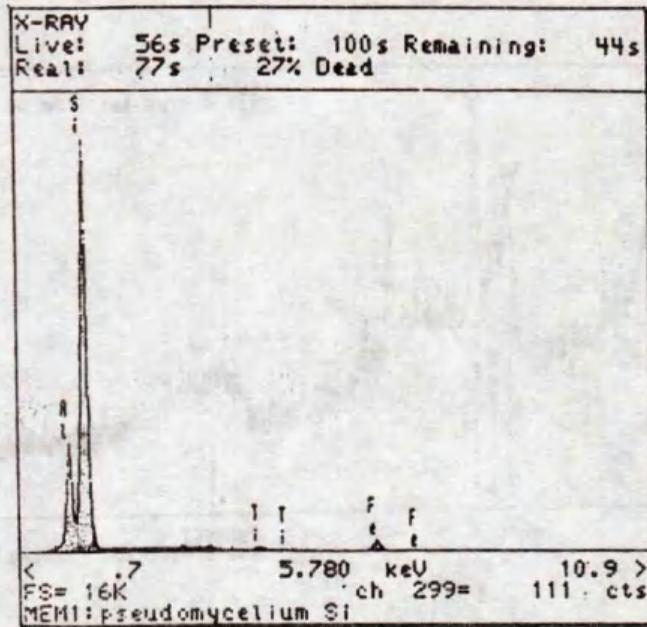


Figura 7. Diagrama de micro-análisis en un pseudomicelio.



Figura 8. Imagen de un pseudomicelio en microscopía de barrido. Se observan los filamentos silicosos compuestos de esférulas apiladas, envueltas en material amorfo.

Los análisis por microsonda indican que los revestimientos están compuestos esencialmente de silicio, cantidades menores de aluminio y muy poco hierro y titanio. Los coeficientes moleculares $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ varían entre 2.5 y 3 según el grado de endurecimiento de los revestimientos, mientras que la matriz arcillosa haloisítica externa presenta coeficientes de 2. El microanálisis de un revestimiento sílico-arcilloso en un horizonte laminar a 2.50 m de profundidad dio la composición siguiente $\text{Al}_2\text{O}_3=37.82\%$, $\text{SiO}_2=55.79\%$, $\text{FeO}=3.47\%$, $\text{TiO}_2=1.26\%$, coef. molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2.51$. Los demás elementos presentan valores $< 0.5\%$.

La microscopía de barrido revela que los revestimientos, debido al aspecto particularmente liso y uniforme de la superficie, se parecen más a un depósito amorfo que a un material cristalino. También confirma que las bandas plásmicas se relacionan con una red de micro-canales que entrecruzan los revestimientos.

En el horizonte de alteración se observan pseudomicelios blancos en los poros entre los agregados y a lo largo de los trayectos de raíces finas. Estos pseudomicelios están principalmente compuestos de sílice (Fig. 7). Su estructura evidenciada por microscopía electrónica de barrido, está formada de hilos de varias hebras, cada una compuesta de microdiscos apilados como en una columna de vértebras (Fig. 8).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las observaciones anteriores confirman que se acumulan arcilla y sílice en las estructuras laminares de los tepetates, mientras que las estructuras prismáticas son el sitio de una pérdida de plasma fino y una concentración relativa de material limoso y arenoso. También los pseudomicelios del horizonte de alteración son una forma de acumulación absoluta de la sílice. Estos rasgos pedológicos evidencian la transmigración de la sílice dentro de los tepetates y su depósito en varios niveles del suelo, incluso en los horizontes más profundos.

Pero ópticamente no se puede separar el ópalo de la haloisita. Los dos minerales aparecen ligados y llegan a constituir acumulaciones estables en forma de revestimientos. Por sus características micromorfológicas, se separan claramente de los argilanes. Su distribución en láminas orientadas lateralmente indica que es la circulación de las aguas internas lo que de manera más importante participa en su formación.

Tales aspectos morfológicos presentan una convergencia de facies con las formaciones silicificadas fósiles descritas en otras partes del mundo, en particular en Francia (Thiry *et al.*, 1983; Thiry y Millot, 1987) y en Australia (Milnes *et al.*, 1991; Thiry y Milnes, 1991). Asimismo, los tepetates de la región de Xalapa no se perciben como un fenómeno aislado y específico de una zona, sino más bien como una etapa en la edificación actual de silicificaciones de origen pedológico.

LITERATURA CITADA

- CAMPOS, A. y D. DUBROEUCQ. 1990. Formación de tepetates en suelos provenientes de las alteraciones de materiales volcánicos. *Terra* 8 (2): 137-147.
- DREES, R., L. P. WILDING, N. E. SMECK y A. SENKAYI. 1989. Soil Science Society of America, Book series N°.1: Minerals in Soil Environments. Madison, USA.
- DUBROEUCQ, D., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI. 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. *Terra* 7 (1): 1-3.
- GEISSERT, D. y D. DUBROEUCQ. 1990. Los tepetates del área de Xalapa de Veracruz y su relación con una paleosuperficie. Una perspectiva cronológica. *Terra* 8 (2): 148-155.

MILNES, A.R., M. J. WRIGHT y M. THIRY. 1991. Silica accumulations in saprolites and soils in South Australia. Soil Science Society of America, spec. pub. N° 26: Occurrence, characteristics, and genesis of carbonate, gypsum and silica accumulations in soils. Madison, USA.

MIRANDA M., M. E., M. E. DELGADILLO P. y B. R. RUIZ H. 1989. Evaluación de seis formas de roturación del tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la Cuenca de México, Tesis de Licenciatura, UACH, Méx., México.

RUIZ F, J.F. 1987. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Depto. de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Méx., México.

THIRY, M. y G. MILLOT. 1987. Mineralogical forms of silica and their sequence of formation in silcretes. J. of Sedimentary Petrology 57 (2): 343-352.

THIRY, M., J. M. SCHMITT, N. TRAUTH, R. COJEAN y M. TURLAND. 1983. Formations rouges "sidérolithiques" et silicifications sur la bordure nord du Massif Central. Rev. de Géol. Dyn. et de Géogr. Physique 24 (5): 381-395.

THIRY, M. y A. R. MILNES. 1991. Pedogenic and groundwater silcretes at Stuart Creek Opal field, South Australia. Journal of Sedimentary Petrology 61 (1): 111-127.

WERNER, G. 1986. Los suelos en el Estado de Tlaxcala, altiplano central mexicano. Investigaciones relacionadas con su desarrollo, extensión, erosión y su utilización bajo la influencia de actividades agrícolas en 3,000 años. Centro Estud., Univ. Aut. Tlaxcala, Tlax., México. 132 p.

CARTA PRELIMINAR DE UNIDADES EDAFOESTRATIGRAFICAS Y TEPETATES DE LA CUENCA DE MEXICO

Preliminary Mapping of the Soil Stratigraphy and Tepetates Units of the Basin of Mexico

Jorge F. Cervantes B., Magdalena Meza Sánchez y Gloria Alfaro Sánchez

Instituto de Geografía, UNAM, México.

Palabras clave: Cartografía, Suelos, Paleosuelos, Tepetates, Génesis, Edafoestratigrafía.

Key words: Cartography, Soils, Paleosoils, Tepetates, Genesis, Soil stratigraphy.

RESUMEN

La Cuenca de México es una zona eminentemente volcánica, incluso con manifestaciones más o menos recientes, de manera que la composición y edad de los materiales eruptivos son un determinante directo, junto con el clima y la geomorfología, de las características genéticas y morfológicas de los suelos. Otros factores como la pendiente y el drenaje imprimen también características importantes en el proceso edáfico, y son ellos los que han determinado en buena parte ambientes genéticos particulares en la transformación del suelo. Se puede establecer que las herencias pedogenéticas encontradas en los depósitos que abarcan el horizonte del Cuaternario Superior (Pleistoceno-Holoceno Q4/3) muestran, en términos generales, condiciones de ambiente árido/frío (Lorenzo, 1967), que se mantuvieron con poca oscilación durante el

Pleistoceno Tardío. Sólo al final del mismo, y durante el Holoceno se manifiestan cambios que indican una tendencia a condiciones más húmedas y cálidas.

Con estos elementos se ha establecido un marco de referencia espacial para comparar la distribución de los procesos edáficos y los suelos resultantes, en un intento preliminar para definir la sistematización formal de unidades edafoestratigráficas en la Cuenca de México.

SUMMARY

The volcanic deposits in the Basin of Mexico give to the soil peculiar characteristics. Composition and age of eruptive materials are determinants in genetic and morphological characteristics of the soil. Climate factors and other conditions, like slope and surface drainage, have been less important during the Upper Quaternary.

In the general frame of environmental changes of the Upper Quaternary (Upper Pleistocene and Holocene Q4/3), dryness and cold conditions were less favourable to development of soil forming processes. At the end of the Pleistocene and during the Holocene the climate changes to

humid and warm conditions in which soils processes were determinants to define the actual soil morphological characteristics.

Today it is necessary to set up a sistematic frame information system, in order to formalize stratigraphic soil units, in which the chronological and environmental Quaternary characteristics are being interpreted like pedogenetic effects.

INTRODUCCION

Definir y sistematizar los procesos edáficos del Cuaternario, su cronosecuencia y distribución espacial, así como la caracterización taxonómica de unidades edafoestratigráficas particularmente del Pleistoceno tardío (Q3) y del Holoceno (Q4), son los objetivos del programa "Estudios Geoecodinámicos del Cuaternario y Actual en el Sistema Volcánico Transversal" que a la fecha se desarrolla en el Instituto de Geografía de la UNAM.

De acuerdo con la Comisión Americana de Nomenclatura Estratigráfica (CANE, 1970). "*Una unidad edafoestratigráfica debe tener una morfología asociada a un proceso pedogenético particular que permita su identificación consistente y sistemática en espacio y tiempo*". Es necesario precisar que las primeras interpretaciones genético edáficas como las de Bryan (1948), quien dedujo condiciones cálidos-secas por procesos de acumulación de carbonatos de calcio (pedocalcificación), y de pedalferrización, como indicadores de condiciones frío húmedas, no fueron lo más acertadas, ya que actualmente se ha visto que la formación del caliche ocurre también en un ambiente frío-seco y no sólo en uno cálido-seco. Esto incluso fue corroborado con datos polínicos del caliche "Barrilaco", los cuales mostraron géneros típicos de ambientes fríos y secos (Xelhuantzi *et al.*, 1988).

Existe aún la necesidad de volver a definir y sistematizar el desarrollo y la evolución de los

ambientes del periodo Cuaternario de la Cuenca de México, particularmente del Pleistoceno tardío y el Holoceno, Q3 y Q4, y para ello, los paleosuelos constituyeron un recurso fundamental. Por lo anterior, es que la investigación genética de los procesos edáficos sobre los materiales parentales volcánicos de la cuenca, ha constituido el punto de partida para la formulación cartográfica de las unidades edafoestratigráficas (Morrison, 1967).

MATERIALES Y METODOS

El trabajo de levantamiento de suelos se ha realizado por foto-interpretación y muestreo de campo. La cartografía se realiza a la escala de 1:100,000 y la descripción de los perfiles se basa en la nomenclatura de la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975). A la fecha se cuenta con 250 perfiles de suelos descritos y muestreados, así como con 3,000 capas o estratos identificados y analizados.

Se determinaron propiedades físicas y químicas tales como: pH, conductividad eléctrica, textura, densidad aparente y real, materia orgánica, nitrógeno, calcio, magnesio, sodio, potasio, fósforo.

A capas con morfología sedimentaria se les practicó un estudio sedimentológico global (Blanck, 1976) para definir las condiciones ambientales y su agente de depósito.

A las muestras con indicadores paleoedáficos de interés y a las capas de tepetate se les hizo determinaciones palinológicas (Xelhuantzi *et al.* 1988), magnetismo residual y análisis químico total (Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn y Si), así como análisis de minerales arcillosos.

La definición espacial de las unidades cartográficas, fue desarrollada por extensión de las unidades de clasificación de suelos mediante la foto-identificación, en fotografías B/N a escala 1: 50,000 y la transferencia de contactos se hizo mediante sketchmaster.

RESULTADOS Y DISCUSION

En este trabajo sólo se incluye la distribución global de los dos tipos de paquetes volcánico-clásticos sedimentarios sobre los que se han generado los dos tipos de procesos que han formado "tepetates" en la Cuenca de México (Figura 1).

Los primeros y más recientes (Holocénicos), corresponden a capas superficiales de brechas volcánicas básicas de composición basáltica andesítica con mineralogía de plagioclasas sodico-cálcicas (andesina), vidrio, piroxenos de augita e hiperstena y micas (biotita). Estos materiales han generado tepetates con una composición mineralógica abundante en bases como calcio, sodio y magnesio y pobres en potasio y sílice. Su origen se ha identificado como del tipo "calcrete" y subyacen comúnmente a suelos de tipo Mollisol degradado, en las planicies y laderas bajas, o más comúnmente a Inceptisoles y Entisoles en laderas de volcanes o sierras bajas que conforman el norte y centro de la Cuenca de México.

Por lo que toca a los tepetates más antiguos y profundos, se constituyen de brechas volcánicas intermedias de composición andesítica y dacitica-riolítica, que se depositaron desde el Terciario hasta el Cuaternario medio. Su composición es más rica en potasio y sílice, micromorfológicamente conservan una fábrica más lítica de brecha volcánica que de suelo, en la que se observan materiales amorfos, vidrios, plagioclasa, hornblenda magnetita, augita, hiperstena y cuarzo. Se presentan a profundidades mayores de 2 m cuando no han sido exhumados por erosión y constituyen las capas más potentes en los taludes que conforman el pie de monte de las sierras mayores que rodean la Cuenca de México a excepción de la Chichinautzin al sur.

Entre estos dos tipos fundamentales de materiales genéticos se ha generado durante el Cuaternario una serie de suelos asociados con las diferentes fases de transición de ambientes fríos y secos del Pleistoceno Tardío a los ambientes

cálidos y húmedos del Holoceno. Todos dentro de un contexto de toposecuencias que globalmente se representan en la Figura 1, y en los que se definen las regiones pedogenéticas.

Las condiciones cálidas húmedas del Holoceno Medio, fueron las más favorables para el desarrollo del suelo. En tanto que en los ambientes fríos y húmedos del Holoceno Medio, que en los ambientes fríos y húmedos se mantuvo una condición estable, conspicua, durante todo el Pleistoceno Tardío; los ambientes fríos muy húmedos o cálidos sub-húmedos y/o muy áridos fueron los más destructivos del suelo.

Con el concurso de todos los factores anotados se han conformado en lo general tres regiones pedogenéticas para la cuenca de México (Cervantes, 1983). En ellas los procesos genéticos que rigen la evolución del suelo han tenido diferentes influencias ambientales y, por tanto, presentan una gama compleja de herencias paleogenéticas que complican sustancialmente la explicación morfológica de los perfiles (Fig. 2).

La primera sub-región se presenta por arriba de los 3,000 msnm, corresponde a las tierras altas de las cadenas montañosas mayormente afectadas por oscilaciones frías y cálidas ocurridas a fines del Pleistoceno y principios del Holoceno, con fluctuaciones drásticas del nivel de nieves y hielos perpetuos (Lauer, 1979).

En dichos terrenos se encuentran perfiles poco evolucionados del tipo ranker, con incipiente horizonte "A", de alto contenido de materia orgánica parcialmente descompuesta, que sobreyace y limita abruptamente un horizonte "C", de materiales piroclásticos parcialmente intemperizados, o también, la presencia directa de rocas o depósitos brechoideos. La riqueza de minerales primarios en el perfil, la mínima proporción de arcilla y la presencia en cambio en la fracción menor a 2 micras de feldespatos, micas y silicatos, son testimonio que en estos suelos dominan las alteraciones físicas sobre las químicas, es decir, procesos de gelifracción y gellurbación típicos de un medio glacial o periglacial.



Figura 1. Distribución de tepetates en la cuenca de México.

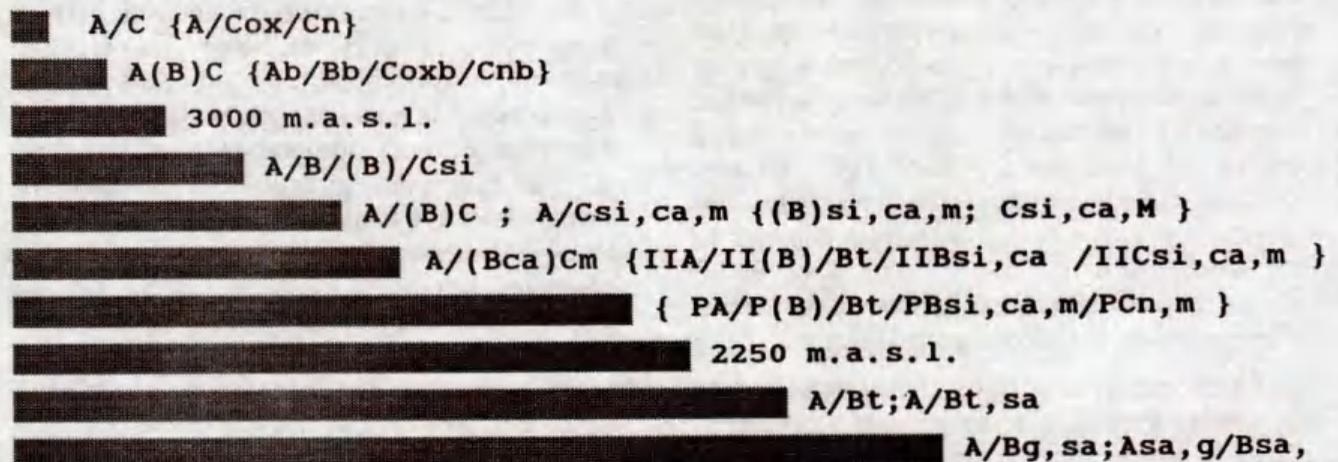


Figura 2. Distribución de los perfiles de suelos en una transección de las montañas a la planicie.

Los perfiles de los suelos se presentan aquí con una estructura de horizontes del tipo A (B) C y AC, dependiendo lo anterior del tipo y edad del material parental, la posición topográfica y la orientación al sol. No obstante, el ambiente general frío determina condiciones de baja actividad microbiana que permite una lenta descomposición y acumulación de la materia orgánica con una ligera humificación de tipo Mohr; morfológicamente los horizontes presentan una marcada transición en el perfil, los horizontes "A" son de colores negros o marrones oscuros, en tanto que los subyacentes presentan una coloración más viva de tonos pardos amarillentos o rojizos, dados por el grado de descomposición de las cenizas volcánicas ricas en vidrio, anfíboles, piroxenos y óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. El pH aumenta de ligeramente ácido en la superficie, a neutro o ligeramente alcalino en profundidad, lo que manifiesta un proceso de mínima lixiviación, independientemente de la influencia que en ello tiene la gran capacidad amortiguadora de la alófana.

Por lo anterior, es claro que para su clasificación estos suelos responden más a características de material parental que a procesos edafogenéticos, los cuales, tal como se ha visto, han sido poco favorecidos. Por ello, en lo general se pueden ubicar como típicos Inceptisoles en los que domina el suborden Andept, que corresponde al de un suelo formado de cenizas volcánicas, en las que éstas conservan aún gran parte de las propiedades originales de su estructura primaria.

La segunda sub-región situada entre los 2,300 y los 3,000 msnm forma parte del talud transicional que comunica las planicies y depresiones bajas con las tierras altas. Es, por tanto, un área de elevada energía potencial que constituye el terreno donde se han confrontado las acciones extremas de los cambios ambientales del Cuaternario, particularmente las del Holoceno. En este espacio se desarrollaron, transformaron y desaparecieron unidades ambientales diversas. Por ejemplo, durante las

épocas frías y secas las masas forestales se tornaban en praderas alpinas, en tanto que, durante las cálidas húmedas, se transformaban en bosques mixtos incluso perennifolios, y en fases de aridez se dio lugar a la formación de extensos pastizales y matorrales. Todo ello como consecuencia de los cambios climáticos que, como se ha visto antes, caracterizaron el umbral Pleistoceno-Holoceno (Cervantes et al., 1989).

Durante dichas evoluciones los procesos morfodinámicos hídricos y eólicos fueron muy efectivos en la denudación de las vertientes, acarreado y acumulando grandes cantidades de material, según lo muestran los cortes situados en los taludes medio y bajo, donde la acumulación de los coluvión-aluviones y depósitos de la deflación eólica se extienden a lo largo y ancho de estas unidades con una potencia variable.

Por lo anterior, la mayor parte de los suelos de estas unidades ha evolucionado de material transportado en el que se mezclan materiales de diferente edad, grado de alteración y transporte. Se presentan, entonces, perfiles sumamente heterogéneos en sus capas y morfología, variando sus espesores con la posición topográfica y las condiciones de la vegetación. En general presentan una capa superficial de sedimentos holocénicos eólico-coluviales con espesores de 10 a 80 cm, capa que, propiamente, es la que presenta los procesos pedogenéticos recientes y su formación puede ser bien relacionada con procesos de degradación de la cobertura vegetal.

Por abajo de esta capa se presentan los "tepetates", o sea, capas endurecidas principalmente por sílice y óxidos e hidróxidos de hierro, resultantes del intemperismo de las cenizas volcánicas ricas en vidrio volcánico, andesinas, hornblendas y piroxenos, sobre las que actuaron fases húmedas y sub-húmedas del Cuaternario inferior y medio, que generaron progresivamente soluciones silicadas y carbonatadas. En estos materiales domina la metahalosita y se presenta poca esmectita. Posteriormente con la degradación y desaparición de los perfiles superiores por erosión, el desecamiento progresivo provocó

el endurecimiento de dichas capas, adoptando micro y macroestructuras de tipo prismático y columnar en los horizontes B y C, mismas que hoy son características de los fragipanes que forman una estructura típica y permanente de los suelos que ocupan este umbral, los cuales, por su estado de degradación, han adquirido propiedades morfológicas de suelos incipientes (Inceptisoles) (Cervantes *et al.*, 1989), aunque en realidad se trate de suelos viejos erosionados.

La tercera sub-región edafogenética se ubica por abajo de los 2,260 msnm, por el talud inferior sobre las planicies y depresiones que constituyen el piso inferior de la Cuenca de México. Se presenta como una unidad de acumulación de baja energía que en el pasado estuvo sujeta a inundaciones temporales y permanentes. Por funcionar como cuenca de recepción presenta herencias de condiciones ambientales palustres y fluvio-lacustres.

Aunque con niveles relativos diferentes, esta sub-región siempre quedó sujeta a la captación de sedimentos eólicos, fluviales, volcánicos y lacustres que determinan una cierta complejidad en las formas pedogenéticas que tienen evolución poligenética. En ellos es común que se presente una cerrada concordancia entre las capas sedimentarias y las de suelos, de manera que existe un problema crítico en la separación de ambos,

particularmente cuando se trata de diferenciar paleosuelos en el paquete estratigráfico.

Dentro de las condiciones superficiales se tienen perfiles A/B/C, AB/C; con problemas de gleyzación, enriquecimientos arcillosos dominados por esmectitas y en menor proporción metahaloisitas. Asimismo carbonatos y bicarbonatos de Ca y Na, materia orgánica y otras sales solubles.

Las diferencias en las propiedades del suelo varían con su posición desde la parte final del talud inferior, hasta la distal en el centro de las depresiones (Cervantes, 1983). Sin embargo, lateralmente existe una diferencia estratigráfica notable, por causa de las lluvias de cenizas volcánicas, las oscilaciones del nivel de los vasos lacustres y los procesos erosivos en la parte superior del talud. Todo lo cual ha propiciado una gran mezcla del material, que hace mucho más difícil su diferenciación espacial y temporal. Es por ello que esta unidad es la que mayor atención merece, en cuanto a que precisa de mayor cantidad de información para lograr una sistematización detallada de las unidades edafoestratigráficas. Dado que esta información no existe a la fecha, ni en el tipo, ni en la calidad y cantidad necesaria, éste es entonces el reto que los cuaternaristas especializados en paleosuelos tendrán que realizar en el futuro inmediato.

LITERATURA CITADA

BLANCK, J. P. 1976. Analyse granulométrique par densimétrie des particules inférieures a 50 microns des sédiments meubles". Revue de Géomorphologie Dynamique. Géodynamique externe. Etude intégrée du milieu naturel. Paris, France.

BRYAN, K. 1948. Los suelos complejos y fósiles de la Altiplanicie Mexicana en relación con los cambios climáticos. Bol. Soc. Geol. Mexicana 13: 1-20.

CANE. 1970. Código de nomenclatura estratigráfica. Versión en castellano. Instituto de Geología, Sociedad Geológica Mexicana de Geólogos Petroleros, México.

CERVANTES B., J.F. 1983. Génesis, morfología y clasificación de los suelos de la cuenca de México. Tesis Doctoral en ciencias (Biología). Fac. de Ciencias, UNAM, México, D.F.

CERVANTES B., J.F., G. ALFARO S. Y M. MEZA S. 1989. Características de los suelos rojos fersialíticos de la Cuenca de México. Ann. de Edafología y Agrobiología 48 (1-2): 61-71.

LAUER, W. 1979. Medio ambiente y desarrollo cultural en la región de Puebla Tlaxcala. Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 16: 16-50.

LORENZO, J.L. 1967. "La etapa lítica en México". Publicaciones 20. Departamento de Prehistoria, INAH. México, DF. 49 p.

MORRISON, R.B. 1967. Principles o Quaternary soil stratigraphy. p. 1-69, *In*: R.B. Morrison and H.E. Wright. Jr. (eds.). Quaternary soils: Internat VII Cong. Assoc. Quaternary Res., Proc.: 9.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil Taxonomy. Agriculture Handbook N° 436. USDA. Washington, D.C., USA.

XELHUANTZI LOPEZ, S., M. MEZA SANCHEZ, E. MARTINEZ HERNANDEZ, J. F. CERVANTES BORJA y S. LOZANO GARCIA. 1988. Deducción de cambios climáticos en el norte de la cuenca de México. Cuaderno de trabajo 39. Subdir. de Serv. Acad. del INAH, D.F., México.

FABRICA DE ALGUNOS TEPETATES DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES

Fabric of Tepetates from Aguascalientes, Mexico

Francisco Orozco Ch.¹, Klaudia Oleschko ², Gloria Alfaro Sánchez ³, Ernesto Caballero O.¹
y Pablo Rodríguez M. ¹

¹ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

² Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

³ Instituto de Geografía, UNAM.

Palabras clave: Suelos endurecidos, Tepetate, Caracterización, Génesis, Micromorfología, Sílice, Porosidad.

Index words: Hardened soils, Tepetate, Characterization, Genesis, Micromorphology; Silicon, Porosity.

masiva. Esta última característica es indicador de una reorganización completa de la masa basal de las capas endurecidas, la que, a su vez, provoca cambios considerables en la magnitud y morfología de su espacio poroso.

RESUMEN

El análisis de la fábrica del suelo toma una importancia adicional para el caso de los tepetates, ya que permite detectar, en muestras inalteradas, los rasgos específicos relacionados directamente con el origen y la distribución de los cementantes. Este trabajo muestra los resultados del análisis micromorfológico de tres perfiles de suelo localizados en el estado de Aguascalientes, dos de los cuales corresponden a Planosoles éutricos con una capa endurecida encontrada a 40 y 49 cm de profundidad, respectivamente; el tercero es un Xerosol háplico con la capa endurecida a 73 cm de profundidad.

La fábrica de las capas endurecidas es diferente de aquéllas sin problemas de cementación. En los tepetates la distribución relacionada es porfirica, la fábrica de birrefringencia es poro y grano-estriada, y la microestructura de subangular a

SUMMARY

The soil fabric analysis is very important in tepetates because it helps to detect the specific features related with the origin and distribution of cements. This work presents the results of the analysis of three soils profiles from the State of Aguascalientes, Mexico; two of them are Eutric Planosols where the duric horizons were found between 40 and 49 cm, the third one is from Haplic Xerosol, with the duric horizon at 73 cm.

The fabric of the hardened layers is different from the other layers that have no cementation. In tepetates the related distribution is porphyritic, the birrefringence fabric is poro-striated and grano-striated, with a subangular microstructure. The last characteristic is an indication of a complete reorganization of the basal mass of the hardened layers which, in turn, causes considerable changes in the magnitude and morphology of their pore space.

INTRODUCCION

La fábrica del suelo, definida como de la organización total del suelo, expresada por el arreglo espacial de sus componentes (sólidos, líquidos y gases), su forma, tamaño y frecuencia, se considera desde los puntos de vista configuracional, funcional y genético (Bullock *et al.*, 1985). El análisis de la fábrica del suelo se realiza en muestras inalteradas, lo que toma una importancia adicional para el caso de las capas tepetatosas, ya que este estudio permite detectar los rasgos específicos de las capas endurecidas, incluyendo la morfología y la geometría del espacio poroso, relacionado directamente con los cementantes. Según algunos autores, el mecanismo de cementación está definido por el tipo de equilibrio que existe entre las fuerzas de cohesión y adhesión del cementante químico y la matriz del horizonte endurecido. Del análisis de la fábrica del horizonte cementado se pueden inferir los valores relativos de las fuerzas de adhesión y cohesión del cementante y de la matriz (Chadwick and Nettleton, 1990).

Además de lo mencionado, los métodos micromorfológicos ayudan a identificar el origen mineralógico y químico de los cementantes potenciales de las capas endurecidas y a compararlas con los cementantes de otras formaciones (Chartres y Fitzgerald, 1990). Éste fue el objetivo principal del presente estudio, donde se efectúa la descripción y caracterización de la fábrica de las capas endurecidas de tres perfiles representativos del Estado de Aguascalientes.

MATERIALES Y METODOS

Se analizaron tres perfiles de suelos del estado de Aguascalientes considerados como los representativos del área estudiada. Se describieron 12 horizontes genéticos en total, que fueron muestreados para el análisis micromorfológico. Para este último se consideraron también los horizontes de transición. Los perfiles estudiados

se localizan en el estado de Aguascalientes (Mesa Central de la República Mexicana). Los perfiles 19 y 20 se encuentran ubicados en los Llanos de Ojuelos y el perfil 18 en los Valles de Zacatecas.

El clima que domina en la región corresponde a un BSikw, seco con una temperatura media de 20°C y una precipitación de 594.5 mm.

La vegetación está compuesta por mezquite, huizache y nopal, en el perfil 18; maíz en el 19 y pastizal y matorral en el 20.

Las muestras inalteradas se prepararon siguiendo el procedimiento de Brewer (1964).

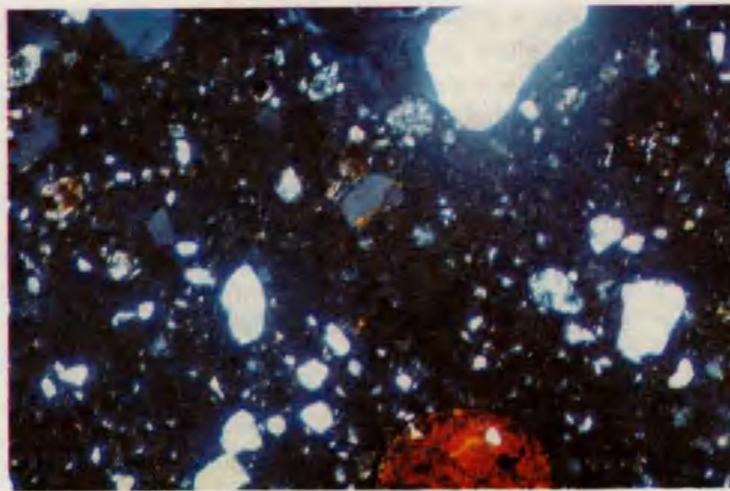
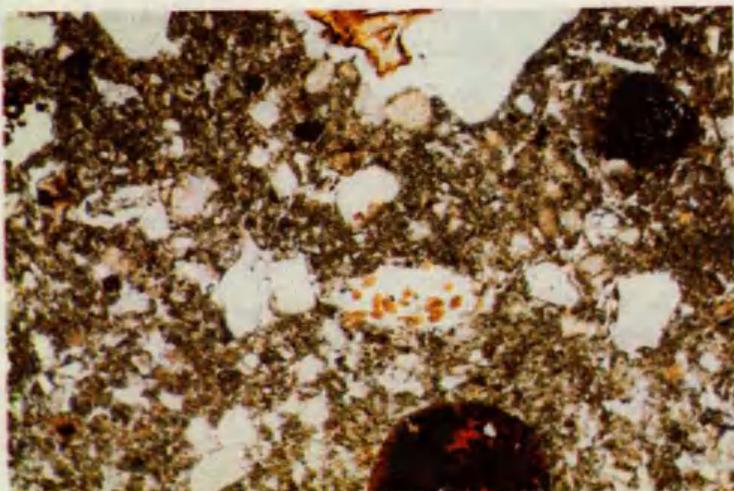
Para la descripción de las láminas delgadas se utilizaron aumentos de 40 a 200 en un microscopio óptico Olympus BH. 2. Se aplicó la terminología aceptada por ISSS y descrita por Bullock *et al.* (1985).

Dos de los suelos estudiados, que pertenecen a los perfiles 18 y 20, son Planosoles eútricos, con horizontes de diagnóstico ótrico (A1) y cámbico (E). Este último presenta un límite abrupto con la capa endurecida, descrita en campo como Duripán. La capa endurecida se presentó a 40 y 49 cm de profundidad en el perfil 18 y 20, respectivamente. El suelo del perfil 19 fue descrito como Xerosol háplico con horizontes de diagnóstico ótrico (A) y cámbico (Bw), la capa endurecida se presentó a 73 cm de profundidad y fue descrita como Duripán.

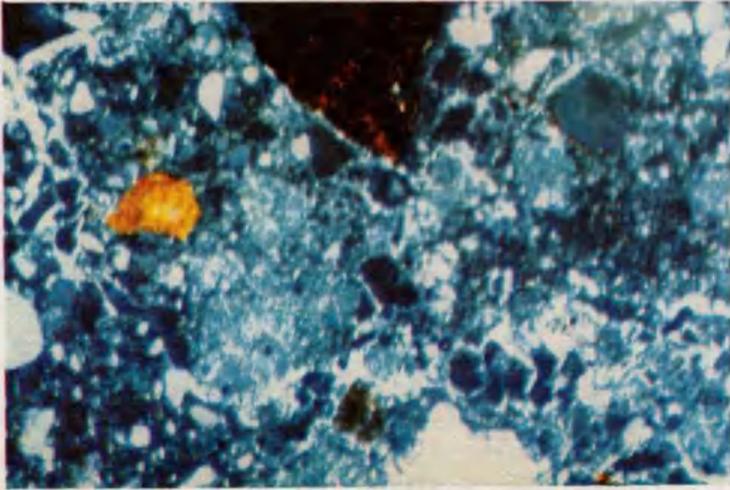
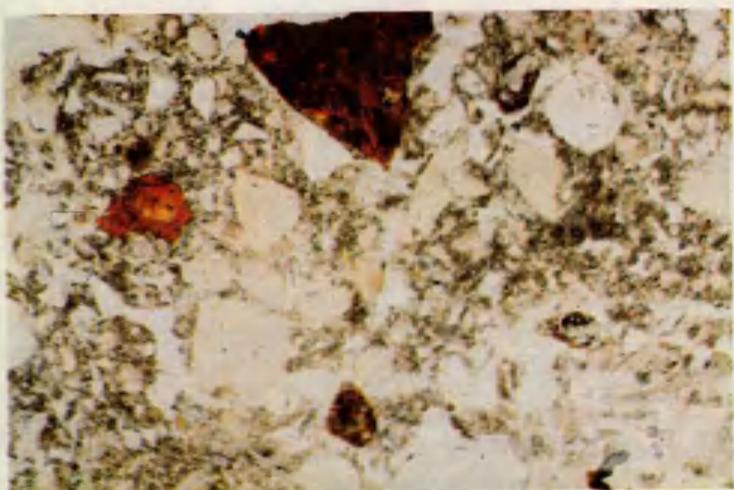
RESULTADOS Y DISCUSION

La fábrica textural de las capas endurecidas de los perfiles 18 y 20 es argílica nítica con revestimientos arcillosos finos sobre la superficie de los micropedos (Figuras 1 a 4).

En el caso del perfil 20 los cutanes forman una red casi completa dentro de la masa basal. En la capa endurecida del perfil 18, los revestimientos se presentan localmente, formando redes incompletas. El color de la arcilla de los revestimientos es café pálido (10YR8/4).



Figuras 1 y 2. Perfil 18 (0-16 cm). Principales rasgos micromorfológicos. Distribución relacionada; gefúrica. Fábrica de birrefringencia; indiferenciada. Restos orgánicos de órganos vegetales, excrementos de artrópodos. Nódulos típicos de Fe y Mn. Poros de empaquetamiento compuesto. Fábrica excremental.



Figuras 3 y 4. Perfil 18 (40 cm). Distribución relacionada porfírica. Fábrica de birrefringencia: poro y grano-estriada. Revestimientos de arcilla típicos no laminares. Nódulos típicos y pseudomórficos de Fe y Mn.

En la capa endurecida del perfil 19 se presentó la fábrica textural argílica, con mayor grado de presencia de arcilla en los revestimientos que tienen en promedio un grosor de 0.15 mm. La arcilla de los revestimientos tiene color café pálido (10YR8/4).

La participación de la arcilla en la formación de las capas endurecidas de los tres perfiles estudiados es menor que la de los tepetates del estado de México (Oleschko, 1990). La fábrica de birrefringencia predominante en las capas endurecidas es poro y grano-estriada, aunque en el perfil 19 la arcilla tiene orientación moteada en mosaico.

La distribución relacionada de las partículas gruesas y finas en las tres capas endurecidas es similar y corresponde a la porfírica abierta.

La porosidad total de las capas edáficas no endurecidas tiene un promedio de 40% en los tres perfiles estudiados y se mantiene casi sin cambios en los horizontes endurecidos de los perfiles 18 y 20, aunque en este último la porosidad efectiva es de 35%. De este modo se puede afirmar que en la fábrica textural argílica náutica de las capas endurecidas no hay cambios considerables en la porosidad efectiva. Por el contrario el cambio mencionado es típico para la fábrica argílica frágica, donde, en el caso de la capa endurecida (perfil 19), la porosidad disminuye de 35-40% a 25-30% gracias a los rellenos arcillosos densos, completos e incompletos. Si las capas de diagnóstico sin problemas de endurecimiento de los tres perfiles estudiados tuvieron una microestructura predominante subangular, con la participación de migas y gránulos, las capas endurecidas presentan una microestructura del tipo masiva.

Aunque las capas endurecidas de los perfiles 18 y 20 no presentan cambios importantes en el valor de su porosidad total, la morfología de su espacio poroso sí cambia profundamente. Las capas superiores tienen predominio de poros interconectados (del tipo de empaquetamiento complejo), con sólo 10-20% de poros aislados-cámaras. En las capas endurecidas, estos últimos predominan ocupando hasta un 70% de la porosidad total junto con los poros del tipo cavidades.

Entre los rasgos pedológicos comunes para los tres perfiles estudiados se distinguen nódulos típicos y pseudomórficos de Fe y Mn, con grado de intemperismo e impregnación de moderado a fuerte. Además de las motas, los rasgos señalados fueron típicos tanto para horizontes no endurecidos como para los endurecidos, lo que demuestra una alta movilidad de Fe y Mn en los suelos.

La fábrica de las capas endurecidas es un indicador preciso del mecanismo de cementación y del origen del cementante principal. En el caso del perfil 19, la arcilla, posiblemente enriquecida con silicio, juega un papel importante en la reorganización de la masa basal del suelo, en la morfología y la geometría del espacio poroso.

Por sus características morfológicas el horizonte endurecido del perfil 19 es un fragipán. Aunque en el caso de la participación de silicio en la cementación, el horizonte tiene que ser denominado de un modo especial. Según nuestras especulaciones, la sílice juega un papel importante como cementante químico en el endurecimiento de las capas en los perfiles 18 y 20, por lo que las capas endurecidas de los perfiles 18 y 20 pueden reconocerse como duripanes, aunque la capa dura del perfil 19 tiene algunos rasgos específicos diferentes a los duripanes y fragipanes.

La génesis de los suelos que presentan capas endurecidas dentro del perfil parece influir directamente sobre el mecanismo de cementación y de la reorganización de la masa basal del horizonte cementado.

Dentro de los dos perfiles de Planosol éutrico de dos áreas diferentes, se formaron los horizontes endurecidos idénticos morfológicamente. Así como el Planosol éutrico y el Xerosol háptico de una misma área geoquímica presentaron rasgos micromorfológicos diferentes en el horizonte cementado. Posiblemente en el proceso de endurecimiento, el efecto de pantalla textural entre los horizontes arenosos y arcillosos tiene una gran importancia. Por ejemplo en el perfil 18 la capa arcillosa (16-40 cm) se continúa con una capa migajón arcilloso (40 cm).

LITERATURA CITADA

BREWER, R. 1964. *Fabric and Mineral Analysis of Soil*. John Wiley and Sons. New York, USA.

BULLOCK, P., A. JONGERIUS, N. FEDOROFF, G. STOOPS y T. TURSINA. 1985. *Handbook for soil thin section description*. Ed. Waine Research Publications. England. 152 p.

CHADWICK, O. A. y W. D. NETTLETON. 1990. Micromorphologic evidence of adhesive and cohesive forces in soil cementation, pp. 207-212. *In*: L. A. Douglas (ed). *Soil micromorphology: A basic and applied science*. Amsterdam, Nederland.

CHARTRES, C.J. y J.D. FITZGERALD. 1990. Properties of siliceous cements in some australian soils and saprolites, pp. 199-206. *In*: L. A. Douglas (ed). *Soil micromorphology: A basic and applied science*. Amsterdam, Nederland.

OLESCHKO, K. 1990. Cementing agents, morphology and its relation to the nature of "tepetates", pp. 381-386. *In*: L. A. Douglas (ed). *Soil micromorphology: A basic and applied science*. Amsterdam, Nederland.

RASGOS MICROMORFOLOGICOS DE LOS TEPETATES DE HUEYPOXTLA (ESTADO DE MEXICO)

Morphological Features of the Tepetates from Hueypoxtila (State of Mexico)

Gloria Alfaro Sánchez ¹, Klaudia Oleschko ² y Magdalena Meza Sánchez ¹

¹ Instituto de Geografía, UNAM, México D.F.

² Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Palabras clave: Suelos volcánicos endurecidos, Tepetate, Paleosuelos, Caracterización, Génesis, Micromorfología, Sílice, Porosidad.

Key words: Indurated volcanic soils, Tepetate, Paleosoils, Characterization, Genesis, Micromorphology, Silice, Porosity.

RESUMEN

Los estudios micromorfológicos de muestras inalteradas de capas endurecidas son muy útiles en el análisis del origen y de los mecanismos de cementación del suelo. El objetivo de este trabajo es describir y seleccionar el complejo de los rasgos específicos micromorfológicos de fábrica en los horizontes endurecidos del tipo "tepetate", provenientes del perfil piloto de la región de Hueypoxtila, Estado de México.

Las capas tepetatosas del perfil con una textura migajón areno limosa, en su mayoría presentan fábrica textural argílica de frágica a nística, con una distribución relacionada de las unidades básicas porfirica abierta, la b-fábrica poro y grano estriada, y una porosidad total media de 30%.

Según la morfología, predominan los poros de tipo cámaras, cavidades, canales, fisuras y de empaquetamiento simple.

El análisis de los resultados permite proponer un complejo de rasgos micromorfológicos como indicadores de capas tepetatosas, dentro de las cuales se distinguen los siguientes: 1. Distribución relacionada de las unidades de la fábrica: porfirica, 2. Fábrica textural: argílica frágica o nística, 3. B-Fábrica: poro y grano estriada o moteada en mosaico, 4. Porosidad total efectiva: de 30%, 5. Predominio de poros aislados de tipo cámara, 6. Microestructura masiva o de bloques subangulares, 7. Rasgos pedológicos: predominan los rellenos y revestimientos arcillosos, laminares, 8. Alto contenido de nódulos de Fe y Mn, 9. Diferentes formas morfológicas de carbonatos.

SUMMARY

This work attempts to establish a set of typical micromorphological fabric characteristics, good to identify indurated soils ("tepetates"), derived from pedogenetic processes. Tepetate samples were collected at a profile excavated in the Hueypoxtila volcanic region, State of Mexico.

The indurated layers from the Hueypoxtila profile presented an open porfiric fabric, with relational distribution of its components; the texture was sandy silt loam. The morphological characteristics are: voids type chamber, vughs, channel and simple packing.

The data analysis show the following micro-morphological characteristics deriving from the processes; 1. Porfiring relational distribution, 2. Argilic, fragic, nitic textural fabric, 3. Void and grainstriated mosaic speckled, 4. Total effective porosity 30%, 5. Predominant chamber voids, 6. Massive microstructure with subangular blocks, 7. The dominant pedological features are the clay laminar infillings coatings, 8. High content of nodule of Fe and Mn, 9. Different morphological forms of carbonates.

INTRODUCCION

Existe cierta dificultad para determinar el origen de los cementantes en los suelos endurecidos conocidos en México como "tepetates", que se relaciona con la complejidad de las formas tanto químicas como morfológicas de los agentes cementantes y con la dificultad de análisis tanto cuantitativo, como cualitativo de los compuestos involucrados. El uso de técnicas de micromorfología permite observar en las muestras inalteradas, la distribución de los cementantes dentro de la masa basal del tepetate y distinguir los rasgos específicos de la fábrica de diferentes capas endurecidas. Este tipo de análisis puede ser utilizado como base sólida para una clasificación detallada de los tepetates. En México los suelos endurecidos de tipo "tepetate", tienen origen tanto geológico como pedológico, lo que se expresa en los rasgos de la fábrica de las capas (Oleschko, 1990). Para establecer el conjunto de los rasgos típicos de los tepetates, se ha manejado una metodología descriptiva que intenta definir los indicadores de la fábrica de las capas endurecidas de origen tanto geológico como pedológico.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó con las muestras de un perfil piloto, con varias capas endurecidas,

ubicado cerca del poblado de Hueypoxtla, en la región noroeste de la Cuenca de México, que presenta condiciones ambientales templadas (con 17 °C de temperatura media) y semi-secas (con 800 mm de precipitación). El carácter natural del medio favorece una vegetación de matorral micrófilo subinermes con elementos de mezquite (*Prosopis juliflora*), palmilla (*Yucca sp.*), huizache (*Acacia farnesiana*), y otras como el nopal (*Opuntia streculata*), encino (*Quercus sp.*), zacate (*Gramineae*) y chicalote (*Papaveraceae*).

El sitio de muestreo se ubica en la parte superior de una ladera compuesta por material piroclástico de brechas y tobas volcánicas, interlaminadas con caliches alóctonos.

Se describieron 10 láminas delgadas, de los 10 horizontes descritos en el campo, del perfil estudiado. Las muestras se prepararon siguiendo el procedimiento de Brewer (1964).

Las láminas se analizaron por medio de la observación directa, con aumentos de 40x a 200x, utilizando un microscopio óptico (Olympus BH-2).

La descripción micromorfológica se realizó usando la terminología de Bullock *et al.* (1985).

Se determinaron el pH, la densidad aparente y real (Soil Conservation Service, 1976).

RESULTADOS Y DISCUSION

Nueve de las diez capas del perfil estudiado (Cuadro 1) se caracterizan por una alta densidad aparente, que varía en el rango de 1.7-1.9, y fueron descritas en el campo como capas endurecidas (tepetates). La capa 9a no presentó los rasgos de una capa cementada. Las diez capas evaluadas tienen pH alcalino en agua (en promedio de 8.2) y neutro o poco alcalino en CaCl₂. Sin embargo, el carbonato, como cementante, se presentó solamente en la capa superficial I y en la capa 6, aunque en la descripción de campo el carbonato de calcio se observó en

Cuadro 1. Principales rasgos micromorfológicos del perfil Hueyuxtla.

Horizon. Prof.	Textura	Tipo de agregado	Micro-estructura	Porosidad total	Poros	Poros de cámara	Color del plasma	Textura del revestimiento	Color del revestimiento	Amorfos
				%		%				
1a 0-50	arena migajosa	-	grano pelicular microagregados entre granos	30	empaquetamiento simple	-	10YR4/3	arcilla	7.5YR3/2	cristales típicos
2a 50-150	migajón arenoso-arcilloso	-	masiva	30	cámaras cavidades canales	16	10YR6/6	arcilla y limo	10YR8/8	motas y nódulos de Fe y Mn
3a 150-225	migajón arcillo-arenoso	-	masiva	30	cámaras cavidades canales	13	10YR6/6	arcilla	10YR7/8	motas de Fe y Mn
4a 225-295	arena	-	granular	35	empaquetamiento simple	-	10YR6/6	arcilla	10YR6/8	-
5a 295-407	arcillo-arenosa	bloques subang.	bloques subang.	35	planos cámaras	10	10YR7/4	-	-	nódulos de Fe y Mn
6a 407-562	arcilla limosa	-	masiva	25-30	empaquetamiento simple cavidades cámaras	13	10YR6/2	arcilla	-	cristales revestimientos CaCO ₃
7a 562-602	migajón arcillo-arenoso	migajosa	masiva migajosa	35	empaquetamiento com. cámaras canales	7	10YR4/3	arcilla	10YR7/8	motas de Fe y Mn
8a 602-695	migajón arcillo-arenoso	-	masiva	35-40	cámaras canales	20	10YR6/3	arcilla	7.5YR7/8	nódulos de Fe y Mn
9a 695-724	arcilla	bloques subang.	bloques subang.	40	planos cámaras	7	10YR5/4	arcilla	10YR7/3	nódulos y motas de Fe y Mn
10a >724	arcilla	-	masiva	20-25		6	2.5YR8/4	arcilla y limo	7.5YR6/8	motas de Fe y Mn

alta concentración en el perfil estudiado y se presentó en forma de rellenos de las grietas, como láminas horizontales finas o por el paso de las raíces. De este modo, el carbonato no es el cementante principal de las capas endurecidas del perfil de Hueyuxtla.

Las nueve capas de tepetate tienen un rasgo común: alto contenido de arcilla que forma los rellenos, y revestimientos microlaminares de diferente grosor en el espacio poroso.

El papel de la arcilla como cementante de los tepetates hasta el momento no es claro, sin

embargo, es indiscutible su importancia en la disminución de la porosidad efectiva de los materiales endurecidos.

Basándose en las descripciones micromorfológicas se definieron los rasgos comunes de los tepetates evaluados.

Las nueve capas endurecidas del perfil estudiado presentan una fábrica textural argílica (desde nítica hasta frágica) con una distribución relacionada de las unidades básicas porfirica abierta. La capa 9 sin problema de cementación, tiene una distribución relacionada de tipo mónica.

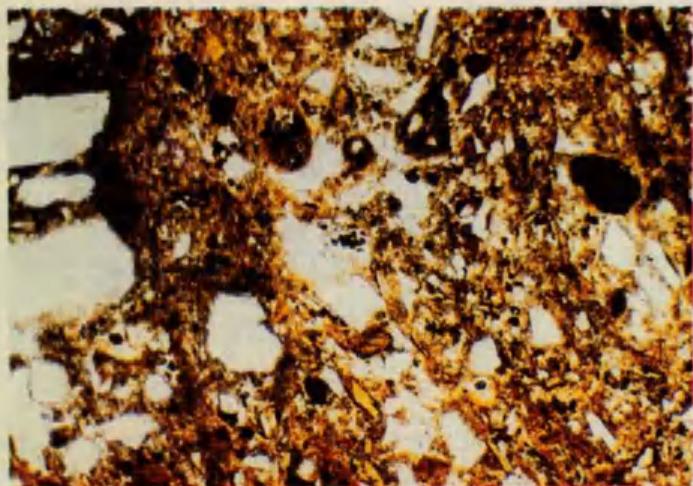


Fig. 1. Distribución relacionada: porfírica.

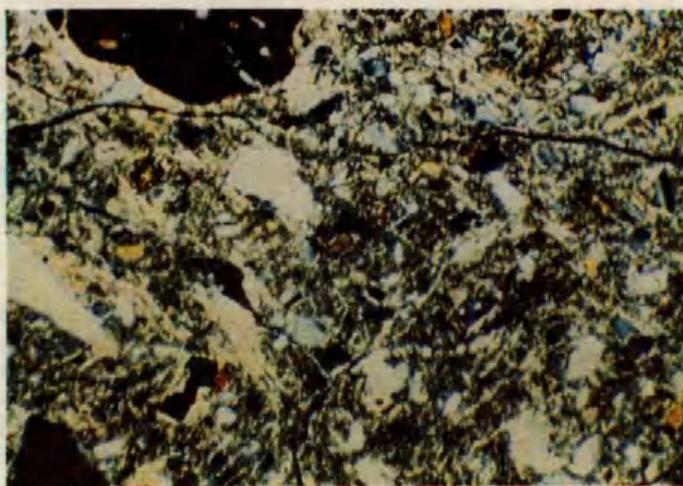


Fig. 2. Fábrica de birrefringencia: poro y grano estriado

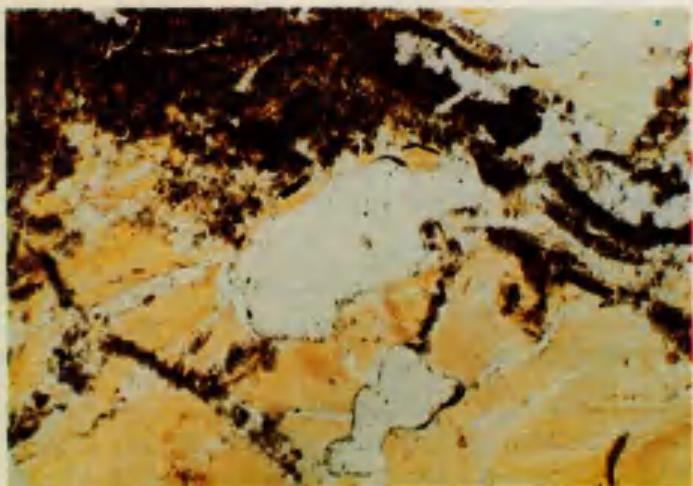


Fig. 3. Rasgos pedológicos: revestimientos típicos, rellenos densos completos e incompletos, microlaminares dominantes. Luz plana.



Fig. 4. Rasgos pedológicos: revestimientos típicos, rellenos densos completos e incompletos, microlaminares dominantes. Luz polarizada.

La fábrica de birrefringencia (b-fábrica) más representativa para todas las capas cementadas es de poro y grano estriada, seguida de la moteada en mosaico. La capa superficial muestra una fábrica cristalítica, con alto contenido de carbonatos. La porosidad total de las nueve capas varía de 25% a 40% con una media de 30%.

Según la morfología, predominaron los poros cámaras, (entre 6 y 20% del espacio poroso), cavidades, canales, fisuras y poros de empaquetamiento simple.

La textura de los materiales es de migajón arcillo arenoso (más frecuente), hasta arena (capa 4) y arcilla (capa 9 y 10), estos últimos horizontes pueden considerarse como paleo-suelos.

Las capas 5, 7 y 9 presentan una agregación fuerte, con los elementos estructurales en forma de bloques sub-angulares de tamaño macro, entre (1.8 a 5.7 mm). Las otras capas tuvieron micro-estructura masiva.

Los rasgos pedológicos que predominan en las capas cementadas son los rellenos y revestimientos arcillosos laminares de color amarillo amarillo, amarillo-rojizo, y café oscuro. El color es uno de los rasgos que puede ser utilizado como indicador cualitativo del contenido de hierro en la red cristalina de la arcilla, que en este caso varía del menor (amarillo) al mayor (café oscuro). Otros rasgos pedológicos comunes para las capas 3, 3-4, 5, 7, 8, 9, y 10, fueron los nódulos típicos y pseudomórficos, con tamaños de 0.08 a 0.8 mm. En menor cantidad se presentaron los motes de Fe y Mn. En las capas 1 y 6 se identificó la presencia de

cristales de carbonato de calcio. Las formas morfológicas más comunes de los carbonatos son las micritas y microspóritas.

CONCLUSIONES

Por los resultados anotados se puede concluir que en el perfil de Hueyboxtla existen tanto capas endurecidas por procesos geológicos (capa 4) como por pedológicos (el resto excepto la capa 9), con un predominio absoluto de estas últimas. Después del endurecimiento el complejo de los rasgos micromorfológicos de las capas cementadas es similar e incluye:

1. Fábrica textural argílica (de nística a frágica)
2. Distribución porfirica del esqueleto (Fig. 1).
3. B-fábrica: y grano estriada, moteada en mosaico (Figura 2)
4. Porosidad total efectiva: alrededor de 30% (con una disminución de la porosidad total por arcilla).
5. Predominio de poros de tipo cámara, con una alta proporción de cavidades. Las fisuras se presentan en los paleosuelos.
6. Micro-estructura: de masiva hasta bloques subangulares.
7. Rasgos pedológicos: los revestimientos típicos ash como rellenos densos completos o incompletos y microlaminares, nódulos y manchas moteadas de hierro y manganeso (Fig. 3 y 4).
8. En el caso de la presencia de los carbonatos predominan en forma de micrita y microspórita.

LITERATURA CITADA

- BREWER, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soil. John Wiley and Sons, New York, N.Y., USA.
- BULLOCK, P., A. JONGERIUS, N. FEDOROFF, G. STOOPS y T. TURSINA. 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications. 153 p.
- OLESCHKO, K. 1990. Cementing agents morphology and its relation to the nature of "Tepetates", pp. 381-386. In: Soil micro-morphology: a basic and applied science. Amsterdam, Nederland.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. 1976. Investigación de suelos, U.S.D.A. Washington, D.C., USA. (Traducción) Ed. Trillas, D.F., México.

DISTRIBUCION FISIOGRAFICA DE LOS SUELOS CON TALPETATE DE LA REPUBLICA DE NICARAGUA

Physiographical Distribution of Talpetate in the Republic of Nicaragua

Ignacio Rodríguez I. y Efraín Acuña E.

Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.

Palabras clave: Nicaragua, Talpetate, Suelos volcánicos endurecidos, Distribución, Caracterización.

Key words: Nicaragua, Talpetate, Indurated volcanic soils, Distribution, Characterization.

RESUMEN

A través de una síntesis, de una recopilación de datos y de las observaciones a lo largo de varios transectos de la región comprendida entre el lago de Nicaragua y la costa Pacífica, se trata de caracterizar y determinar el posible origen del talpetate, horizonte endurecido que se encuentra en Nicaragua, en los suelos de origen volcánico.

Llamado talpetate, este material es constituido por una o varias capas de espesor variable, con un color pardo amarillento, con límites abruptos con los horizontes subyacentes, y sigue generalmente el relieve de la superficie.

En cuanto a su origen, el talpetate en la planicie de Managua Tipitapa y Nindirí parece tener un origen geológico. Al pie de monte de la Cuenca sur del lago de Managua se trata de una toba fina clástica. Mientras que los talpetates de la subvertiente del pacífico parece tener un origen geo-pedológico; es decir, una transformación pedológica parcial de una toba piroclástica.

SUMMARY

The objective of the present work was to compile data and observations on *talpetate* from several transects running from Managua Lake to the Pacific Coast in Nicaragua in order to determine its origin. The *talpetate* is an indurated horizon within volcanic soils.

The *talpetate* are formed by one or more layer of variable thickness. The color is brown-yellowish and the limits between layers are abrupt and follow the surface relief.

Most probably the *talpetate* from the Managua Tipitapa and Nindirí plain has a geological origin. At the South Side Basin of Managua Lake the talpetate is a fine clastic tuff. While the talpetates from the Pacific Ocean Basin seems to be of geo-pedological origin, i.e., a partial pedological transformation of the piroclastic tuff.

INTRODUCCION

En la República de Nicaragua se denominan suelos con talpetate a aquéllos originados por diversos materiales volcánicos del Cuaternario, caracterizados por tener una o más capas o estratos en bloques, amarillentos y endurecidos.



Subgrupos Taxonómicos (US Soil Taxonomy)

AA Udic Haplustolls +
Fullic Haplustolls
AB Vertic Tropaqueils
AC Lithic Tropudalfs +
Lithic Haplustalfs
AD Typic Tropudalfs
AE Ultic Tropadolls
AF Vertic Tropidalfs
AG Vertic Tropadolls

EA Lithic Ustorthents (rocoso)
EB Lithic Ustorthents
EC Typic Ustorthents
ED Ustorthents indiferenciados
EE Typic Hidaquents
EFO Acuic Ustipsaments
ES Typic Troporthents
EH Acuic Tropopsaments
EI Acuic Tropic Fluvaquents
EJ Lithic Troporthents

IA Mollic Vitrandepts
IB Typic Eutrandedpts
IC Durandpts
ID Typic Ustropepts
IE Vertic Tropquepts
IG Typic Tropaquepts
IH Aeric Tropaquepts
II Typic Eutropepts
IJ Typic Distropepts y
Typic Humitropepts
IK Lithic Ustropepts
IC-A Typic Durandpts +
Mollic Vitrandepts
HA Hidric Trophemist
MA Lithic Haplustalfs +
Lithic Argiustalfs
MB Entic Haplustolls +
Fluventic Haplustolls

MC Duric Haplustolls +
Typic Durustolls
MD Acuic Haplustolls +
Vertic Haplustolls
ME Udic Haplustolls +
Nertic Haplustolls
MF Acuic Argiustolls +
Vertic Argiustolls
MG Duric Argiustolls
MH Udic Argiustolls +
Pachic Argiustolls
MI Lithic Haplaquells
MJ Typic Argiaquolls +
Vertic Argiaquolls
MK Entic Hapludolls
ML Acuic Argiudolls
MM Typic Hapludolls
MN Typic Argiudolls +
Vertic Argiudolls

(MI) C Complejo
Duric Haplustolls +
Typic Durandpts +
Mollic Vitrandepts
ML Duric Argiustolls
OA Ultic Haploroxs
UA Ustic Tropahumalfs
UB Oxlic Haplustalfs
UC Acuic Trophomalfs
UD Plinthic Tropadolls +
Plinthic Tropudults
UE Distropeptic Tropudults
UFG Typic Tropudults +
Typic Trophumults
UH Ortotoxic Tropudults
VA Typic Pellusterts
VB Acuic Cromuderts
VC Typic Pelludert

Figura 2. Mapa de sub-grupos taxonómicos de los suelos de la República de Nicaragua al 1/5,000,000 aproximadamente (Proyecto CRIES-MAG, 1979).

Se encuentran discontinuos, fracturados y generalmente, con límites abruptos a los horizontes subyacentes, siguen el relieve de la superficie encontrándose a distintas profundidades de la misma y con diferentes espesores.

Talpetate es el nombre popular que se origina de la lengua nahuatl.

Los suelos con talpetate identificados y descritos por el Departamento de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de 1962 a 1968 y por el Catastro de Recursos Naturales (CRN) de 1969 a 1971, tienen una extensión de 1,480.76 km² (1% del territorio nacional y 30% de la región del Pacífico), forman un bloque compacto entre los lagos de Managua y de Nicaragua, y el Océano Pacífico, ocupando parte de las subvertientes hidrográficas de los lagos y del Océano Pacífico, donde se ubica el centro socio-económico de deterioro de los recursos naturales y la carga de contaminación ocasionados por la sobreactividad antrópica de diversos órdenes.

Sobreponiendo el mapa de subgrupos taxonómicos de suelos, escala 1:1,000,000 (Fig. 1) y el mapa de grupos y formaciones geológicas de Nicaragua (Fig. 2 y Cuadro 1), observamos que los suelos con talpetate corresponden a los subgrupos taxonómicos con duripán: Duric Haplustolls más Typic Durustolls (MC), Duric Argiustolls (MG), el complejo Duric Haplustolls más Typic Durandepts (MI+C), la asociación Duric Haplustolls más Typic Usthorhents (MC+EC) y el subgrupo Typic Durandepts (IC).

Los suelos con talpetate tienen como materiales litológicos originarios: piroclastos (Qv) y sedimentos volcánicos (Qsv) del Cuaternario, así como piroclastos, tobas y brechas del Grupo Las Sierras (TQs) del final del Terciario e inicio del Cuaternario (Fig. 2).

Otros suelos con horizontes endurecidos son los de los Subgrupos Lithic Haplaquolls (Mi) y Typic Argiaquolls (MJ), los cuales están sobre cenizas volcánicas cementadas por carbonato de calcio. Este material recibe los nombres de caliche, toba calcárea y toba petrocálica, en cuyo caso no son duripanes.

Cuadro 1. Superficie ocupada en Nicaragua por los distintos subgrupos taxonómicos.

Ordenes	Area	
	km ²	%
Entisoles	19,277.40	5.0
Histosoles	403.75	0.0
Vertisoles	8,875.43	7.0
Inceptisoles sin Talpetate	14,072.58	10.0
Inceptisoles con Talpetate	663.23	0.5
Molisoles sin Talpetate	16,193.57	12.0
Molisoles con Talpetate	817.53	0.6
Alfisolos	1,491.07	9.3
Ultisoles	34,401.44	26.0
Oxisoles	500.00	0.3
Lagos	9304.00	7.0
Area sin estudio	14,000.00	11.0
Total	130,000.00	100.0

El objetivo de este estudio es correlacionar los diferentes suelos y sus talpetates con las condiciones fisiográficas, (geomorfología, clima y geología), como también las características macromorfológicas del talpetate con su posible origen.

MATERIALES Y METODOS

Los materiales usados para este estudio son: el material cartográfico y bibliográfico sobre clima, zonas de vida, geomorfología, geología y suelos; recopilados a escala 1:250,000 y 1:50,000 para efectuar un estudio de reconocimiento para la comprobación de la geomorfología, geología y los suelos.

El método consistió en seleccionar transectos mediante la superposición paramétrica de la información fisiográfica elaborada por CRN (1971) y el reconocimiento de campo de los suelos con talpetate. Por la sobreposición paramétrica de zonas de vida, pisos altitudinales, geomorfología y geología, se seleccionaron cuatro transectos (Fig. 3a):

- 1 Managua-las Nubes,
- 2 Managua-Cerro Apoyeguc,
- 3 Cerro Coyotepe-Titipa,
- 4 Masachapa-El Crucero.

Cuadro 2. Características macro-morfológicas de los suelos con talpetate. Transecto Masachapa-El Crucero.

Características del talpetate	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8
Prof (cm)	45	5	15	27	27	18	18	13
Espesor (cm)	8	6	19	15	23	12	22	36
Límite	Abrupto	Abrupto	Abrupto	Abrupto	Abrupto	Abrupto	Abrupto	Abrupto
Homogeneidad	Mixto 2 capas	Homogéneo	Mixto 3 capas	Mixto 3 capas	Mixto 3 capas	Heterogéneo	Mixto	Mixto
Continuidad	Semicontinuo	Semicontinuo	Continuo	Semicontinuo	Semicontinuo	Semicontinuo	Discontinuo	Discontinuo
Estratificación	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	No evidente	Regular	No evidente
Estructura	Láminar o bloques	Bloques	Láminar o bloques	Bloques	Bloques	Bloques dispersos	Bloques	Láminas
Dureza (Mohs)	2.5 a 3	2.5 a 3	2.5 a 3	2.5 a 3	2.5 a 3	2.5 a 3	2.5 a 3	2.5 a 3
Porosidad	Micro/macro	Micro/macro	Micro/macro	Micro/macro	Micro/macro	Microporos	Micro/macro	Micro/macro
Color superf.	7.5YR5/8	7.5YR5/6	7.5YR5/6	7.5YR5/6	7.5YR5/8	10YR5/6	7.5YR5/6	2.5YR4/4
Color matriz	10YR5/8	10YR5/8	10YR5/8	10YR5/8	10YR4/2	10YR5/6	10YR3/3	5YR5/6
Textura matriz	Fina/gruesa	Fina	Fina/gruesa	Fina/gruesa	Fina/gruesa	Fina/gruesa	Fina/gruesa	Fina

En los tres primeros transectos se efectuó un estudio de reconocimiento en cortes de camino. En el cuarto transecto se describieron y clasificaron tentativamente ocho perfiles, analizando en detalle la macromorfología de los talpetates de estos perfiles, descritos hasta 150 cm de profundidad (Fig. 4 y Cuadro 2).

RESULTADOS Y DISCUSION

Relación Suelo/Geología (fig. 3b)

Los suelos con talpetate tienen como material madre una sobreposición de diversos tipos de materiales volcánicos del Cuaternario (Plio-Pleistoceno y Holoceno) conformados por: tobas, brechas y lapilli (escoria pómez y cenizas volcánicas) del grupo Las Sierras (TQS), y depósitos de piroclastos recientes, expelidos por el grupo de volcanes de la Cordillera "los Marrabios" que en el área de talpetates son un conjunto de conos volcánicos, lagunas y valles intercratéricos con orientación NW-SW. Al hacer un recorrido del volcán Masaya hacia Tipitapa y Managua se encuentra una secuencia de materiales expelidos.

Los talpetates del área parecen estar constituidos por una matriz de ceniza volcánica endurecida por cementación. Los talpetates de la planicie Managua-Tipitapa-Nindirí están formados por

una ceniza volcánica de textura media y fina. El estrato o lámina de talpetate que sobreyace a la toba tiene un color grisáceo amarillento, parecido a una toba gris subyacente. Las capas superiores de talpetate tienen un color amarillo parduzco similar a las rocas basálticas intemperizadas superficialmente. Según los geólogos, las tobas del área son de tipo basáltico igual que las escorias.

Los suelos originados de escoria basáltica tienen una capa de estratos de talpetate similar a los talpetates sobre tobas mencionados anteriormente; por lo que suponemos que ambos talpetates tienen íntima relación con las tobas y escorias subyacentes. En los suelos con talpetate, de los 600 hasta los 900 msnm, de la cuenca sur del lago de Managua y del Crucero hasta Masachapa, incluyendo la parte oeste del área de talpetate, las escorias y cenizas son de menor grosor (medias finas y muy finas), y la matriz de las tobas y brechas también está compuesta de cenizas finas y muy finas. Los talpetates de los suelos del área mencionada son de color amarillo naranja y amarillo rojizo que contrasta con los horizontes sobre y subyacentes (horizonte A-Talpetate horizonte B). No hay una relación tan clara, como en el caso de la planicie de Managua-Tipitapa-Nindirí y del pie de monte de la Sierra de Managua, por lo que suponemos que los procesos de cementación de ambos tipos de talpetate pueden ser diferentes.

Relación Suelo/Geomorfología (Fig. 3 c)

Los suelos del orden Mollisol (Typic Durustolls) se encontraron en las planicies de Tipitapa, Nindirí, Managua, y al pie de monte de la cuenca sur del lago de Managua. Los Duric Haplustolls se encontraron al sur de los Typic Durustolls en la planicie de Managua y al pie de monte de las Sierras de Managua hasta la cota 600 msnm, los Typic Argiustolls se encontraron al NE del Lago de Managua y en la Península la Chiltepe.

En el transecto Masachapa-El Crucero se encontraron Duric-Udic Haplustolls; en la planicie de Sto. Domingo y Sn. Rafael del Sur, 50 a 100 msnm, la asociación Mollisoles-Inceptisoles y en el sistema de lomas redondeadas y cañadas los Inceptisoles. Typic Durandeps se encontraron en la montaña volcánica de las Sierras de Managua (Transecto Masachapa-El Crucero) 500 a 900 msnm, y de los 900 a 600 msnm (Cuenca sur del lago de Managua).

Relación Suelo/Clima (Fig. 3 d)

Los suelos clasificados por CRN (1971) como Duric Haplustolls, Typic Durustolls, Duric Argiustolls y Typic Durandeps se encuentran en la zona climática "tropical de sabana" (Köppen) con un período lluvioso y seco de 6 meses. Con una temperatura promedio anual de más de 18°C del mes más frío. Los climas de las zonas de vida del área de suelos con talpetate (de 50 a 900 msnm) son Bs-s, Bs-s Bs-TA, Bh-s, Bh-s y Bh-PT; con precipitaciones promedio de 1,100 a 1,600 mm y con temperaturas de 27 a 22°C.

Suelos del área de estudio (Fig. 3 e)

Los suelos clasificados como Duric Haplustolls y Duric Argiustolls se deben clasificar como Duric Udic Haplustolls y Duric Udic Argiustolls. Los suelos de la planicie de inundación del

lago de Managua que están sobre ceniza volcánica cementada con carbonato de calcio se clasificaron como Typic Haplaquolls (CRN, 1971) y se deben llamar Halic Haplaquolls y Natric Haplaquolls, sin tener en cuenta el horizonte petrocálcico, el cual no se consideró como talpetate.

En los transectos del área de talpetate estudiados se encontraron en el área de la cuenca sur del lago de Managua, Mollisoles a 50 a 600 msnm y en la subvertiente del Pacífico a 50 a 900 msnm, una asociación de Mollisoles con Inceptisoles a 200 a 400 msnm y a 500 a 900 msnm se encontraron Inceptisoles del subgrupo Typic Durandeps.

RELACION DE LOS TALPETATES Y SU POSIBLE ORIGEN

La Figura 4 presenta una síntesis de las características del medio ambiente y antrópico, así como de los suelos que se distribuyen a lo largo del transecto que va de Masachapa (Costa Pacífica) al pueblo de El Crucero (Alto de la Sierra de los Marabios, 960 msnm) se presenta de manera sintética.

Ocho perfiles representativos de las principales unidades de suelos encontrados fueron descritos en detalles haciendo énfasis sobre el talpetate. El Cuadro 2 muestra las características de los talpetates encontrados en cada uno de dichos perfiles.

Los talpetates del primer grupo sobre toba o escoria basáltica, con matriz de ceniza volcánica media y fina, con color parecido al de la intemperización de las tobas basálticas, podrían estar cementados por productos de una primera alteración de tipo hidromagnético (Quantin, 1986; Prat, 1989, 1991; Pilatos, 1991).

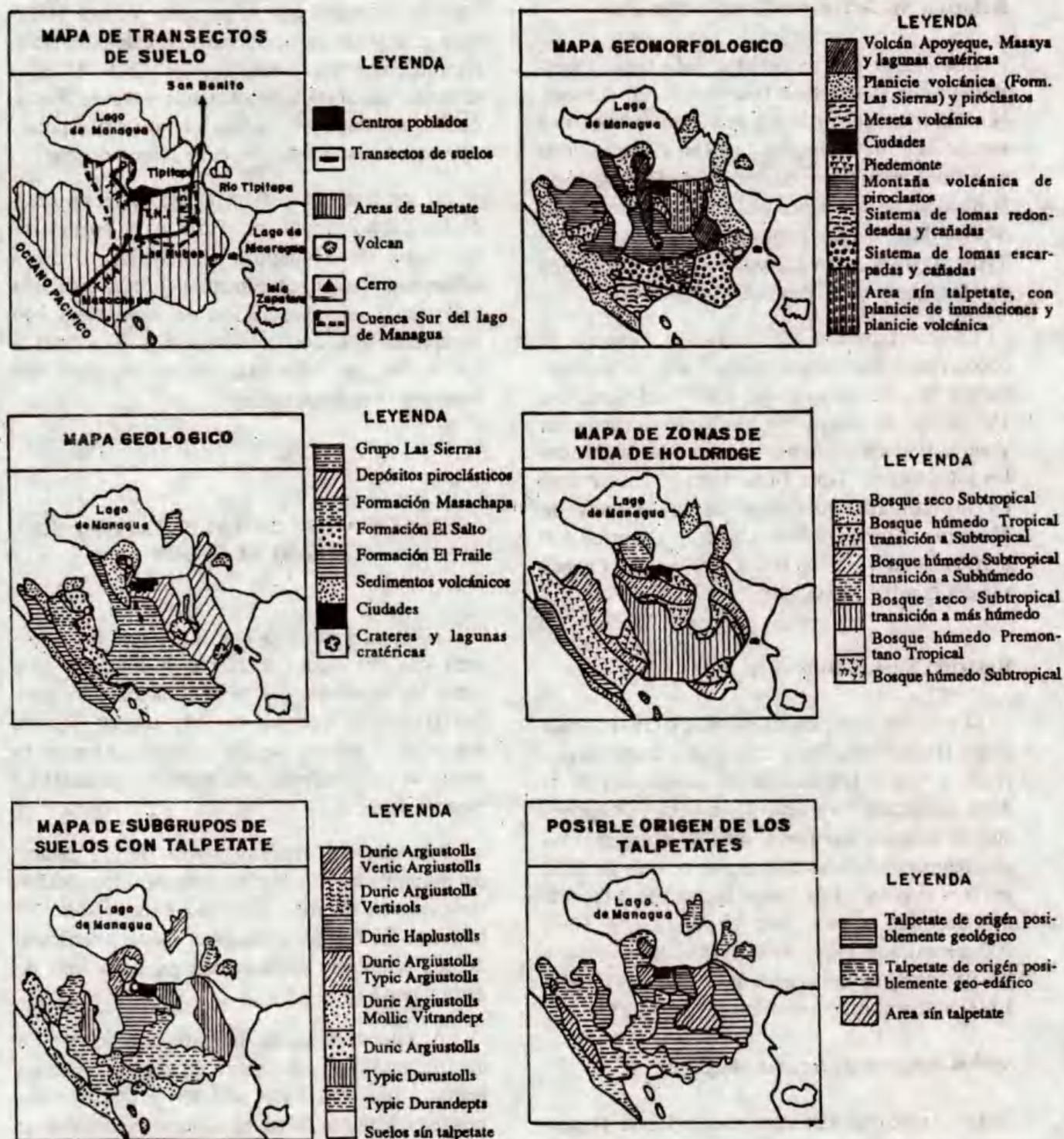
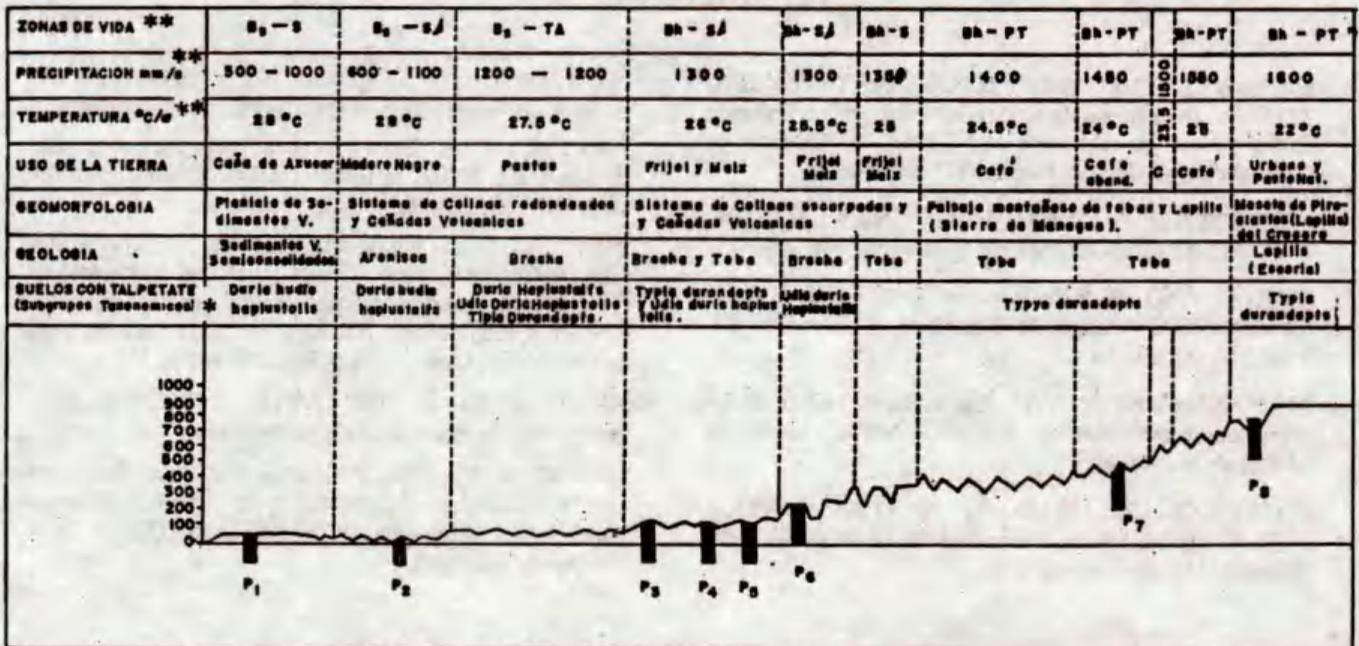


Figura 3. Características de la zona estudiada. a) Ubicación de los transectos estudiados; b) Geomorfología; c) Geología; d) Zonas de vida según Holdridge; e) Subgrupos de suelos con talpetate y f) Posible origen de los talpetates.



* Clasificación tentativa.

** Información tomada del Vol. II del plan de ordenamiento y manejo de la Cuenca Sur del lago de Managua (1983).

Bs - S Bosque seco Subtropical

Bs - S Δ Bosque seco Subtropical transición a más húmedo

Bs - T Bosque seco Tropical transición a Subtropical

Bh - S Δ Bosque húmedo Subtropical transición a subhúmedo

Bh - S Bosque húmedo Subtropical

Bh-PT Bosque húmedo Premontano Tropical

Figura 4. Distribución fisiográfica de los suelos con talpetate. Transecto Masachapa-El Crucero.

Los talpetates del segundo grupo sobre un horizonte B, de ceniza fina y muy fina de color amarillo naranja y amarillo rojizo podrían tener, según Morin *et al.* (1971), un cementante de sílice, hierro y aluminio, que se formó por un proceso pedológico de iluviación (Manzanares, 1991). Pero, según Prat (1991), se trata más de un proceso de meteorización, acumulación relativa de Fe y Al, y arcilificación, que de una iluviación. En cuanto a una cementación por disolución y deposición de sílice relacionado con procesos edáficos, este autor (en esta publicación) no observó claramente estos fenómenos.

CONCLUSIONES

El talpetate aparentemente es de origen geológico en la planicie de Managua Tipitapa y Nindirí. Al pie de monte de la cuenca sur del lago de Managua se trata de una toba fina clástica (Fig. 3f).

El origen de los talpetates de la subvertiente del pacífico parece ser geo-pedológico; la transformación pedológica parcial de la toba piroclástica podría reducir la infiltración de la lluvia.

LITERATURA CITADA

CATASTRO y RECURSOS NATURALES. 1971. Levantamiento de los suelos del pacífico Tomo 1: Descripción de los suelos, Tomo 3: Génesis y clasificación de Suelos- Managua, Nicaragua.

CATASTRO y RECURSOS NATURALES. 1971. Mapas geomorfológicos, geológicos y de suelos.

IRENA. 1983. Planificación y ordenamiento de la Cuenca Sur del Lago de Managua. Tomo II y III. Managua, Nicaragua.

MANZANARES P. 1991. Explicación verbal de los procesos de cementación con sílice, hierro y aluminio. Managua, Nicaragua.

MORIN E., E. UBEDA y J. VIRAMONTES. 1971. Contribución al conocimiento de la génesis del talpetate. Managua, Nicaragua.

PILATOS A. 1991. Explicaciones verbales de la meteorización de las tobas mixtas basálticas en talpetates.

PRAT C. 1989. Ponencia oral sobre el talpetate. Presentación de los resultados del programa PICSUR, ORSTOM-IRENA. Managua, Nicaragua.

PRAT, C. 1991. Etude du talpetate, horizon volcanique induré de la région Centre-Pacifique du Nicaragua. Genèse, caractérisation morphologique, physico-chimique et hydro-dynamique, son rôle dans l'érosion des sols. Tesis de Doctorado, Univ. Paris 6, Paris, Francia. 350 p.

PRAT, C. y P. QUANTIN. 1992. Origen y génesis del talpetate. En este publicación.

QUANTIN P. 1986. Ponencia oral sobre los horizontes volcánicos endurecidos y el talpetate. Avances anuales del programa PICSUR, ORSTOM-IRENA. Managua, Nicaragua.

ORIGEN Y GENESIS DEL TALPETATE

Horizonte Endurecido de Suelos Volcánicos de la Región Centro-Pacífico de Nicaragua

Origin and Genesis of the Talpetate

Indurated Horizon of Volcanic Soils of the Central-Pacific Region of Nicaragua

Christian Prat¹ y Paul Quantin²

¹ ORSTOM, IRENA, Managua, Nicaragua.

² ORSTOM, Bondy, Francia.

Palabras clave: Nicaragua, Masaya, Talpetate, Suelos volcánicos endurecidos, Duripán, Fragipán, Andosol, Brunisol, Mineralogía, Micromorfología, Caracterización, Génesis.

Index words: Nicaragua, Masaya, Talpetate, Indurated volcanic soils, Duripan, Fragipan, Andosol, Brunisol, Mineralogy, Micromorphology, Characterization, Genesis.

Mots clefs: Nicaragua, Masaya, Talpetate, Sols volcaniques indurés, Duripan, Fragipan, Andosol, Sols bruns, Mineralogie, Micromorphologie, Caractérisation, Genèse.

RESUMEN

Algunos suelos de Nicaragua poseen un horizonte llamado *talpetate*, cuyo nombre vernáculo, del mismo origen náhuatl que el término mexicano *tepetate*, indica que se trata de un horizonte endurecido.

En la región Centro-Pacífico de Nicaragua, se estudió un *talpetate* mediante observaciones morfológicas de perfiles de suelos a lo largo de toposecuencias laterales y transversales de pequeñas cuencas, observaciones microscópicas de láminas delgadas, y análisis mineralógicos, físicos y químicos.

El *talpetate* estudiado se define esquemáticamente como un horizonte endurecido, pardo oliváceo claro (10YR5/6) en seco y pardo oscuro (10YR3/2) en húmedo; limoso fino; de estructura masiva, atravesada por numerosos tubos biológicos, grietas y raíces. El *talpetate* presenta una superposición de capa masiva y de capa con nódulos acorazados de acreción, y ocasionalmente se observa la presencia de huellas de hojas en su parte basal. Este horizonte de unos centímetros hasta más de un metro de espesor, se localiza cerca de la superficie. En ciertos casos, se encuentra a tres metros de profundidad. Su densidad aparente es inferior a 1 g/cm³.

El *talpetate* está constituido por cenizas de andesita basáltica de labradorita y pigeonita de la serie toleítica. La mayor parte de los vidrios volcánicos fueron "palagonitizados" al momento, o poco después del depósito, formando así esmectitas férricas. Sin embargo, a esta alteración primaria se sobrepone otra posterior meteórica, que conduce, bajo un clima tropical con estación seca bien marcada, a la formación de haloisita. En un clima más húmedo, donde un andisol cubre al *talpetate*, se observa formación de gibsitaneos, manganes y alófana. La porosidad de este material es elevada ($\leq 65\%$ del peso seco) y

RESUME

Certains sols du Nicaragua possèdent un horizon appelé "talpetate" dont le nom vernaculaire de même origine nathuatl que le terme mexicain "tepetate", indique qu'il s'agit d'un horizon induré.

Nous avons étudié un "talpetate" de la région Centre-Pacifique du Nicaragua, à partir d'observations morphologiques de profils de sols le long de toposéquences latérales, transverses et dans de petits bassins versants, ainsi que microscopiques à partir de lames minces et d'analyses minéralogiques et physico-chimiques.

Le *talpetate* que nous avons étudié peut-être caractérisé schématiquement comme un horizon induré; brun olivâtre clair (10YR5/6) à l'état sec et brun foncé (10YR3/2) à l'état humide; limon fin; structure massive; traversé par de très nombreux tubes biologiques, des fentes et des racines. Le *talpetate* présente une superposition de couches massives et à nodules accrétonnés "cuirassés". On note occasionnellement des empreintes de feuilles dans sa partie basale. Son épaisseur varie de quelques centimètres à plus d'un mètre. Localisé près de la surface, cet horizon induré peut également se rencontrer dans certaines conditions jusqu'à trois mètres de profondeur. Sa densité apparente est inférieure à 1 g/cc.

Le *talpetate* est constitué de cendres d'andésite basaltique "à labrador et à pigeonite", de la série tholéiitique. La plupart des verres basaltiques ont été "palagonitisés" lors du dépôt du tuf, ou peu après, formant ainsi des smectites ferrières. Toutefois, à cette altération primaire s'est superposée une altération secondaire, météorique, qui a conduit à la formation d'hallowysite sous climat tropical à saison sèche bien marquée. Sous climat plus humide, on observe la formation notamment de gibbsitane, de manganèse et d'allophane, liée à la présence d'andisols recouvrant le *talpetate*. La porosité est très élevée ($\leq 65\%$ du poids sec) et est constituée principalement par les vides formés par l'empilement des microlites.

Les résultats de cette étude montrent que la distribution du *talpetate* couvre une surface d'environ 2,500 km². Elle est orientée selon un axe est-ouest à partir de l'ouest de la caldeira de Masaya. Le *talpetate* est issu d'une ou de plusieurs "déferlantes" ("surge" en anglais) émises au moment de l'explosion phréato-magmatique ayant entraîné la formation de l'actuelle caldeira de Masaya, il y a environ 2 000 ans, comme l'indique notre découverte archéologique. Son origine phréato-magmatique explique la présence de nodules "cuirassés" de cinérite accrétonnée, la superposition de couches "massives" et "à nodules cuirassés", sa distribution dans les sols et selon la géomorphologie.

C'est pourquoi nous proposons d'abandonner le terme ambigu de *talpetate*, ou de "tuf de Masaya" ou "tuf d'El Retiro", au profit de celui de "tuf palagonitisé de Masaya", pour désigner dans la région Centre-Pacifique du Nicaragua, ce matériau volcanique induré.

INTRODUCCION

En ciertos suelos volcánicos de Nicaragua, México y otros países de América Central, se encuentra un horizonte endurecido de origen controvertido, llamado "*talpetate*", que dificulta las labores agrícolas.

La palabra *talpetate* deriva de *tepetate*, vocablo Náhuatl (*teitl* = piedra, y *petatl* = cama, colchoneta) que significa "cama de piedra" (Sahagún, 1956; Simeon, 1977; Incer, 1985). Aun cuando la etimología indica que este horizonte es endurecido, no da mayor información acerca de lo que lo endurece. En Nicaragua, como en los otros países de Mesoamérica (Dubræucq *et al.*, 1989), existe cierta confusión en torno a este término, ya que se llama *talpetate*, tanto a horizontes que presentan acumulación de carbonatos, como a tobas volcánicas.

Según los geólogos, el *talpetate* de los edafólogos podría ser el equivalente a una toba formada por depósitos volcánicos aéreos (Bice,

1980), llamada por algunos "toba de Masaya", mientras que para otros, se trataría de la "toba del Retiro", que es una colada piroclástica que proviene de una explosión freato-magmática (Williams, 1983). En ambos casos, se señala a la caldera de Masaya como la fuente de emisión de este material.

Hasta ahora, los edafólogos consideran al *talpetate* como un depósito aéreo de cenizas volcánicas finas, posteriormente cementadas por lixiviación y acumulación de arcilla, sílice y óxidos de hierro y aluminio, como ocurre en un horizonte B en el caso de un suelo estudiado y descrito por Marín *et al.*, (1971) y por Rodríguez (1985, Comunicación personal).

Esclarecer el origen y la génesis del *talpetate* es el objetivo de este trabajo.

Esquemáticamente se define a este material, que se encuentra en los suelos de origen volcánico de la región Centro-Pacífico de Nicaragua, como un horizonte: endurecido, pardo oliváceo claro (10YR5/6) en el estado seco y pardo oscuro (10YR3/2) en el estado húmedo, limoso fino, de estructura masiva, atravesado por numerosos tubos biológicos y grietas rellenas de tierra fina y de raíces en buen estado sanitario, cuya espesor varía entre unos centímetros y un metro, generalmente localizado cerca de la superficie, pero que puede encontrarse en ciertas condiciones hasta 3 metros de profundidad, de densidad aparente inferior a 1 g/cm^3 , y que presenta una superposición de capa masiva y de capa con nódulos acorazados, y en los cuales ocasionalmente se observa la presencia de huellas de hojas en su parte basal (Fig. 6 y 7).



Figura 1. Geografía física de la región Centro-Pacífica de Nicaragua.

MATERIALES Y METODOS

1. Zona de Estudio

La zona de estudio, que cubre alrededor de 5,000 km², está delimitada por el océano Pacífico al oeste, las riberas del lago de Managua al norte y el lago de Nicaragua al sureste (Fig. 1).

Esta región pertenece al dominio meridional (América Central Istmica) de la placa de los Caribes y donde la placa de Coco pasa por debajo de la de los Caribes. Debido a esta tectónica, la geología del área se divide en tres grupos:

1. rocas sedimentarias del Terciario, localizadas paralelamente en la costa pacífica;

2. productos volcánicos que pertenecen a la serie calco-alcalina (productos típicos de un volcanismo de subducción), tales como andesita, andesita a olivina, latita, dacita y hasta riocacita;

3. materiales aluvio-coluviales, que ocupan el fondo de los valles, depresiones y cárcavas.

Las variaciones del clima a lo largo de la toposecuencia longitudinal que va del lago de Managua hacia el Pacífico, son progresivas, pero marcadas en cada una de sus extremidades. Se pasa de una pluviometría anual de menos de 1,000 mm repartida en 6 meses, en las planicies del graben (tropical a subtropical seco), a alrededor de 1,800 mm que caen durante 9 a 10 meses en la parte alta del relieve (tropical húmedo).

En general, la distribución de los suelos es la siguiente (Referencial pedológico francés, AFES 1990): Vertisoles y Alfisoles a la orilla de los lagos, Brunisoles con carácter ándico en la planicie y al piedemonte, Andisoles desaturados sobre la meseta, y Fluvisoles en los fondos de los talwegs.

A pesar de que en el mapa de suelos de Nicaragua, levantado con la metodología de FAO (1976), no aparece el *talpetate* como tal, si se encuentra en el levantamiento de suelos de la región Pacífico de Nicaragua, realizado entre 1968 y 1971 (CATASTRO, 1971, 1978). Este

horizonte está mapeado como Durandeps, o como Argiustolls, Durustolls o Haplustolls. El *talpetate* cubriría, según los edafólogos, una superficie de 2,500 km² (CATASTRO, 1971, 1978; Marín *et al.*, 1971); en tanto que para los geólogos (Mc Birney *et al.*, 1956, 1965; Zoppis *et al.*, 1958, Zoppis, 1968; Bice, 1980; Walker, 1982; Sussman, 1982; Williams, 1983), esta superficie correspondería a sólo 1,800 km².

El bosque natural ha sido sometido a la acción del hombre desde hace miles de años, y ha desaparecido casi completamente abajo de los 500 m. Arriba de este nivel ha sido reemplazado por plantaciones de café bajo sombreado por los restos del bosque primitivo.

La Figura 2 y el Cuadro 1 sintetizan las características del medio ambiente y humano del área de estudio.

2. Métodos de Estudios

Se analizaron varios perfiles a lo largo de toposecuencias longitudinales y laterales, y a nivel de pequeñas micro-cuencas experimentales. Se compararon, en particular, dos *talpetates* ubicados, el primero, bajo un Brunisol con carácter ándico en el pie de monte, donde el clima es tropical seco con 6 meses sin lluvias y, el segundo, bajo un andisol desaturado, a 900 m de altitud, donde el clima tropical húmedo mantiene el suelo constantemente húmedo, a pesar de tener 3 meses sin precipitaciones.

Se estudiaron las características físicas y químicas y la composición petrográfica y mineralógica del *talpetate*. Se realizaron observaciones al microscopio electrónico de transmisión (MET) y de barrido (MEB) y micro-análisis con una micro-sonda de Castaing.

La comparación de los resultados nos permitió concluir, de manera definitiva, sobre el origen y la génesis del *talpetate* de la región Centro-Pacífico de Nicaragua.

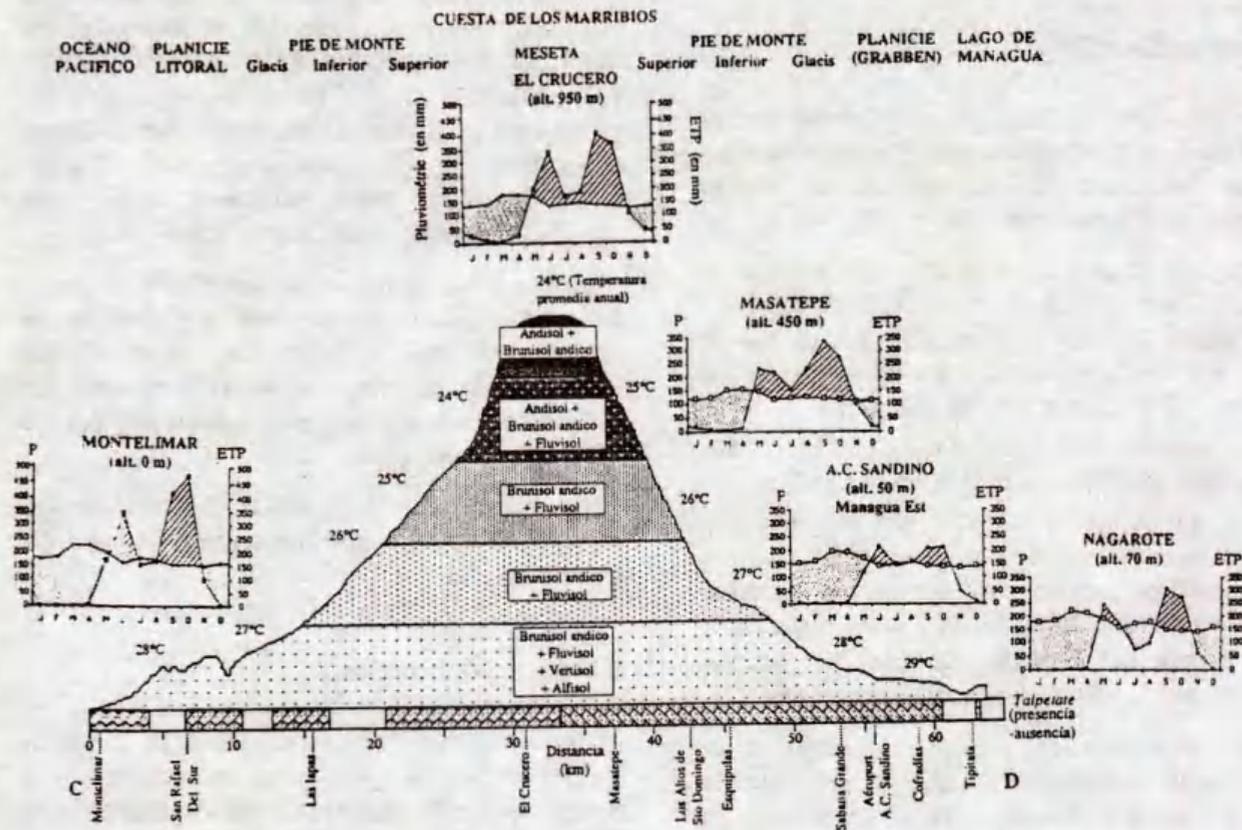


Figura 2. Toposecuencia esquemática Este-Oeste del medio natural e humano de la región Centro-Pacífico de Nicaragua.

Cuadro 1. Cuadro sintético de los parámetros del medio natural e humano de la región Centro-Pacífico de Nicaragua.

Lugar	Altitud msnm	Geomorfología	Pendiente %	Geología	Clima		Zona de vida (Holdridge)	Suelos	Propiedad	Cultivos	Prácticas culturales
					Pluv. anual mm	Temp anual °C					
Tiptapa, Nagarote, Mateare, Montelimar	0-50	Planicie de hundimiento (Graben)	0 - 5	Depósitos volcánicos (IV) y aluviales (III)	1000	29	Sub-tropical seco	Vertisols, Alfisols, Fluvisols, Brunisols andicos	Cooperativa, Propiedades grandes y pequeñas, UPE	Algodón, maíz, café, sorgo, arroz	Muy mecanizado, riego
		Planicie costera		Depósitos volcánicos (IV) y sedimentarios (III)	1600	28	Sub-tropical húmedo				
Granada, Cofradías, Managua, Masaya, Sabana Grande San Rafael del Sur La Trinidad	50-250	Glacis de piedemonte	2 - 15	Depósitos volcánicos (IV) y aluviales (III)	1200	27	Tropical seco	Fluvisols, Brunisols andicos	Cooperativa, Propiedades grandes y pequeñas, UPE	Granos básicos	Mecanizado, tracción animal, manual
		Glacis de piedemonte Costa Pacifica		Depósitos volcánicos (IV) y sedimentarios (III)	1400	27	Sub-Tropical húmedo				
Managua, S. Judas, Los A.de S Domingo	250-450	Bajo de Piedemonte	5 - 30	Depósitos volcánicos (IV) y aluviales (III)	1300	27	Sub-Tropical húmedo	Fluvisols andicos	Cooperativa, Propiedades grandes y pequeñas, UPE	Granos básicos	Tracción animal, manual
		Bajo de Piedemonte Costa Pacifica		Depósitos volcánicos (IV) y sedimentarios (III)	1300	27	Bosque húmedo sub-tropical				
Santa Rita	450-800	Alto de Piedemonte, Zona interior	15 - 70	Depósitos volcánicos (IV)	1500	24	Tropical húmedo	Fluvisols andicos	Cooperativas, UPE, Grandes propiedades	Granos básicos, Café	Tracción animal, manual
		Alto de Piedemonte, Costa Pacifica		Depósitos volcánicos (IV) y sedimentarios (III)	1500	24	Bosque húmedo sub-tropical húmedo pre-montañoso				
Volcán Mombacho	> 800	Montaña	> 50	Depósitos volcánicos (IV)	>1600	22	Tropical húmedo	Brunisols andicos, Andisols	Cooperativas, UPE, Grandes propiedades	Café	Manual
Masatepe, Diriamba, Jinotepe, S. Marcos, El Crucero	400-700 > 900	Meseta	3 - 10	Depósitos volcánicos (IV)	1700	24	Tropical húmedo	Brunisols andicos, Andisols	Cooperativas, UPE, Grandes propiedades	Café	Mecanizado, tracción animal, manual

RESULTADOS

1. Distribución del Talpetate

El talpetate se presenta como una serie de capas sobrepuestas de espesor variable, en donde se alternan las masivas con las que contienen nódulos acorazados. El límite entre ellas es muy brusco, así como el límite entre el talpetate y el horizonte inferior es, en general, de tipo lítico (a menudo mal definido). Pero el límite del talpetate con el horizonte superior es más difícil de precisar, debido a que el hombre al destruir el talpetate durante el arrado, lo mezcla con la tierra.

En general, ya sea a nivel de un perfil o de una toposecuencia, lateral (Fig. 3, 6) o longitudinal, el talpetate se localiza cerca de la superficie, bajo de un horizonte Ap. Sin embargo, se presentan dos excepciones. En el primer caso, el talpetate no aparece en las rupturas de pendien-

tes de las vertientes y tampoco en el fondo de los talwegs principales o en algunas micro-depresiones. En el segundo caso, el talpetate aparece pero debajo de varios metros de suelos de origen aluvio-coluvial, reciente y actual, como lo confirman tiestos de barro y piezas de obsidias cuya edad (D. Rigat y R. González. 1990. Dpto de Arqueo-logía Nacional de Nicaragua. Comunicación personal.) va aproximadamente de 1,100 hasta 500 años B.P. (Before Present).

El talpetate se localiza siempre sobre una serie de depósitos piroclásticos y de suelos desarrollados a partir de los mismos, los cuales han sido descritos por varios geólogos (Mc Birney *et al.*, 1956, 1965; Zoppis *et al.*, 1958, Zoppis, 1968; Bice, 1980; Walker, 1982; Sussman, 1982; Williams, 1983). La comparación de la estratigrafía geológica y edáfica mostró que el talpetate corresponde a la "toba del Retiro", llamada también "toba de Masaya" (Fig. 4).

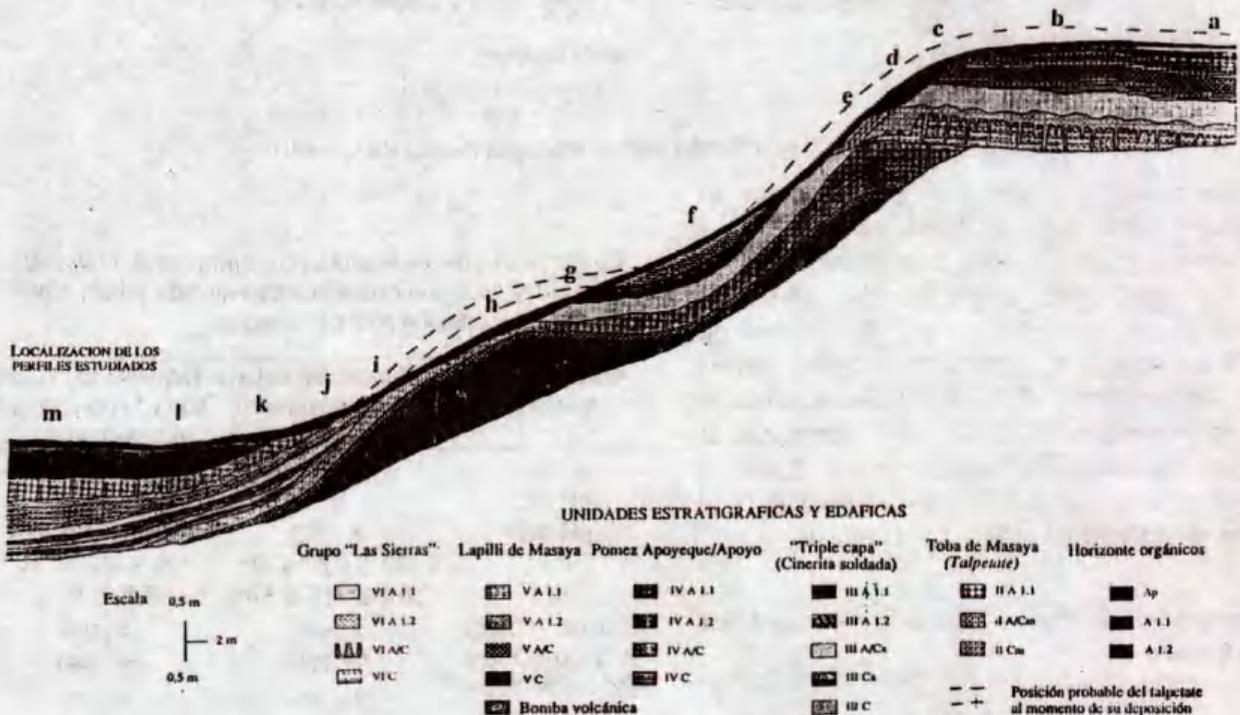


Figura 3. Toposecuencia de San Judas actual y al momento del depósito del talpetate (reconstitución) (Prat, 1991).

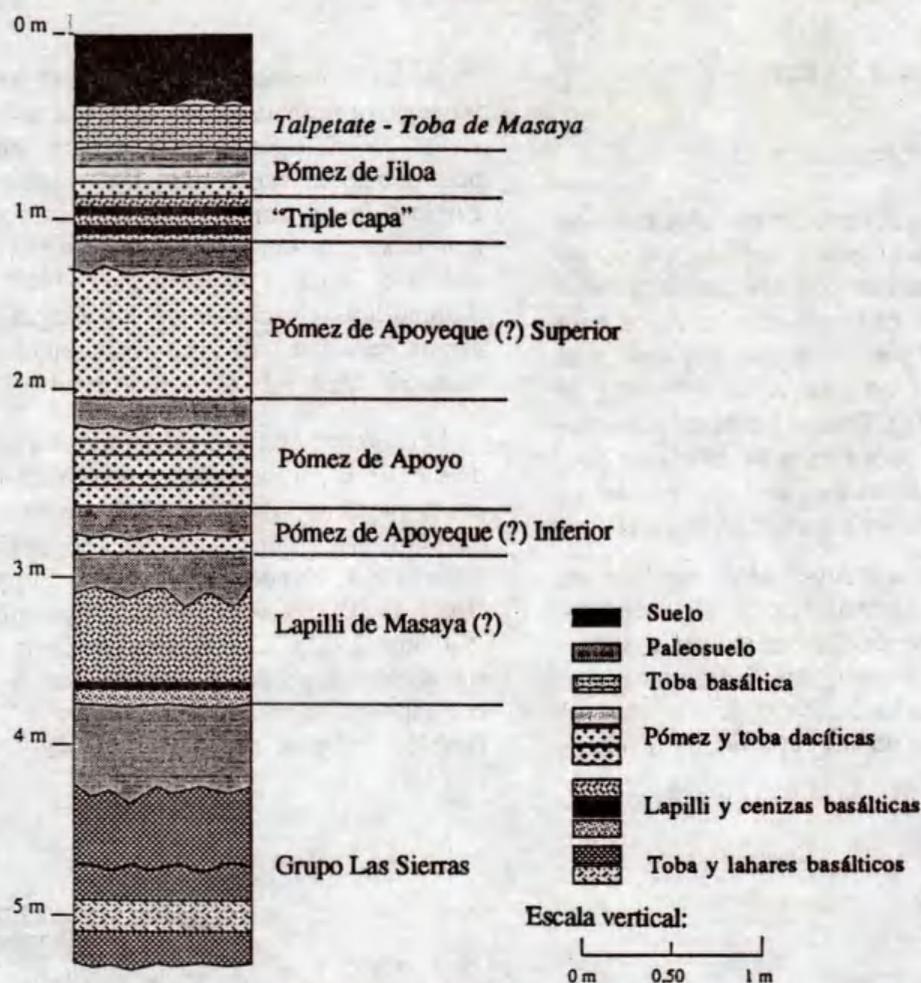


Figura 4. Estratigrafía edafo-geológica de la Cuenca Sur del lago de Managua (Según Bice, 1980).

Hasta nuestro estudio, se pensaba que el *talpetate* había sido formado entre 6,000 y 1,300 años BP, considerándose 4,000 años BP como la edad más probable. Sin embargo, gracias a un descubrimiento de restos de esqueletos humanos y de una cerámica entera debajo del *talpetate* (Prat, 1991), se estableció (por comparaciones de estilo) que pertenecen al periodo "bícromo en placa" (entre 2,400 y 1,500 años BP) y probablemente al final de este periodo, o sea entre 2,000 y 1,500 años BP.

2. Composición Mineralógica y Petrográfica del Talpetate

Los resultados de los análisis químicos mostraron que existen ciertas diferencias entre los *talpetates* de clima seco y húmedo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Algunas características químicas del *talpetate* bajo clima seco con estación seca marcada y bajo clima húmedo con estación seca casi ausente.

Características químicas	Talpetate bajo clima con estación seca marcada	Talpetate bajo clima húmedo con estación seca poco marcada
pH agua	7	6
pH KCl	≥ 5	≤ 5
pH NaF	8 - 8,5	9 - 9,5
CIC	20 ≤ CIC ≤ 40	20 ≤ CIC ≤ 40
S/T	20% ≤ S/T ≤ 50%	S/T ≥ 50%
P asim. (Olsen)	3 ppm	3 ppm
K dispo. (Olsen)	64 ppm	64 ppm
Oxidos de "hierro libre" (Olsen)	3 a 7%	3 a 7%

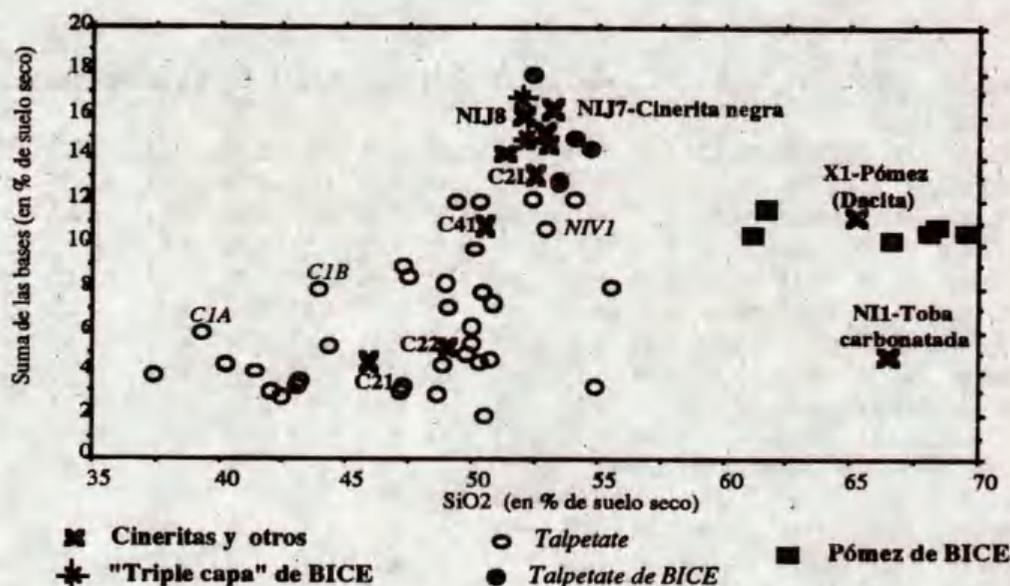


Fig. 5. Suma de las bases vs sílice (peso en %) de talpetate, cineritas, toba carbonatada y pómez (Prat, 1991).

2.1 Composición global

La cantidad de minerales primarios, que están poco alterados, es relativamente baja en comparación con los secundarios (Fig. 5, Cuadro 3). Los primeros están compuestos principalmente por feldespatos, de tipo plagioclasas, labradorita y andesina; piroxenos (augita) y magnetita. Existen también trazas de maghemita, hematita, cuarzo y cristobalita. Esta composición corresponde a una andesita basáltica de tipo andesina a labradorita y pigeonita.

Este material calco-alcalino, intermedio entre basalto y andesita, de la serie toleítica, es característico de un volcanismo de arco insular, en donde las lavas andesíticas provienen de un magma oceánico que fue un poco contaminado por materiales de la costra continental.

2.2 Composición del producto de alteración

El producto de alteración del talpetate está compuesto principalmente por esmectitas. Sin embargo, en las planicies y en los piedemontes, se observó la presencia de haloisita de 7 Å, y en menor proporción, haloisita de 10Å. La alófana se encuentra en cantidades muy pequeñas. En cuanto a las partes altas de la zona, la haloisita de

7 y 10 Å están ausentes, mientras que los productos alofánicos y mal cristalizados, en particular la gibbsita, se presentan en pequeñas cantidades.

2.3 Variación de la composición química dentro de un talpetate

El análisis químico total de muestras de talpetate provenientes de varios perfiles (Marín *et al.*, 1971; Prat, 1991) indica que, bajo un clima tropical bastante seco, las variaciones de composición química son débiles, pero bajo un clima tropical húmedo hay pérdidas de sílice y de bases, y un aumento de óxidos de hierro y de aluminio en la parte superior del talpetate; mientras que en su parte inferior, se observa el proceso inverso. Este hecho es la consecuencia de un proceso edafológico de alteración.

3. Micromorfología

3.1 Micro-estructura

El color del material es pardo a pardo anaranjado. La micro-estructura es masiva, presentando en ocasiones bandas paralelas sub-horizontales de unos milímetros de espesor, constituidas por microlitos de forma subeudrale a eudrale.

Muestra	Naturaleza	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Σ Bases	Residuos	Ki	Kr
El Crucero (Prat, 1991)															
C1A	Talpetate	39.32	28.26	23.53	1.97	0.75	2.74	2.03	0.24	0.83	0.31	5.84	9.85	2.36	1.53
C1B	Talpetate	43.91	25.21	20.43	1.77	0.54	3.95	2.66	0.22	1.00	0.32	7.83	13.50	2.95	1.94
C1C	Cin. g. Alt.	42.07	29.35	22.36	2.17	0.49	1.44	1.27	0.02	0.39	0.44	3.12	2.60	2.43	1.63
C1D	Cin. g. Alt.	42.40	29.48	22.20	2.13	0.51	1.36	1.20	0.02	0.34	0.36	2.92	2.60	2.44	1.64
CL	Cin. f. gris	52.65	17.48	14.94	1.38	0.30	6.90	3.32	0.80	2.00	0.22	13.04	25.20	5.10	3.29
C21	Cin. f. oliv.	46.05	26.15	20.86	1.87	0.48	1.81	1.55	0.22	0.87	0.14	4.45	8.40	2.98	2.19
C22	Cin. f. oliv.	48.88	24.86	19.58	1.81	0.41	1.83	1.61	0.25	0.67	0.10	4.36	8.95	3.33	2.21
C23	Talpetate	50.71	22.23	17.62	1.51	0.35	3.60	2.05	0.43	1.25	0.14	7.33	15.20	3.85	2.55
C31	Talp. nod.	49.75	24.70	18.58	1.62	0.40	1.85	1.89	0.40	0.78	0.03	4.92	9.55	3.41	2.30
C41	Cin. f. gris	50.64	20.15	16.36	1.48	0.34	6.01	2.66	0.35	1.87	0.14	10.89	20.70	4.26	2.80
Los Altos de Sto. Domingo (Managua) (Prat, 1991)															
SD2 20-30	Talpetate	48.97	23.04	17.69	1.55	0.40	4.81	1.64	0.46	1.33	0.12	8.24		3.60	2.41
SD2 30-40	Talpetate	50.04	21.66	16.46	1.45	0.40	5.68	2.11	0.54	1.51	0.15	9.84		3.91	2.63
SD2 50-60	Talpetate	50.35	20.12	15.52	1.43	0.38	6.76	2.62	0.71	1.93	0.18	12.02		4.24	2.83
SD2 60-70	Talp/cin.	54.03	16.51	12.80	1.26	0.28	7.12	3.72	1.41	2.63	0.23	14.88		5.54	3.70
SD2 80-90	Cinerita	51.30	18.48	14.12	1.33	0.34	7.21	3.30	1.20	2.49	0.22	14.20		4.70	3.15
Zambrano (Marín et al., 1971)															
V	Palagonita	37.45	36.64	19.80	1.90	0.03	1.24	2.15	0.30	0.19	0.30	3.88		1.73	1.28
B	Talp muy alt	49.06	25.40	16.31	1.62	0.35	2.91	2.77	0.53	0.77	0.29	6.98		3.27	2.32
A	Talpetate	47.48	25.44	16.38	1.70	0.28	3.48	3.17	0.84	1.06	0.17	8.55		3.16	2.24
C	Talp. alt.	49.34	21.46	15.34	1.45	0.22	6.09	3.23	1.06	1.65	0.16	12.03		3.89	2.67
D	Talp. no alt.	53.03	18.38	12.22	1.10	0.06	7.06	3.99	1.40	2.61	0.15	15.06		4.89	3.42
Los Cedros (Marín et al., 1971)															
1	Talp. sup.	49.97	26.29	15.63	1.41	0.25	3.68	1.25	0.60	0.67	0.24	6.20		3.22	2.33
2	Talp. m sup.	49.13	28.36	15.06	1.67	0.36	1.99	1.52	0.41	1.23	0.27	5.15		2.93	2.19
3	Talp. m inf.	47.23	26.85	14.79	1.60	0.24	2.51	1.79	0.36	4.26	0.37	8.92		2.98	2.20
4	Talp inf.	50.31	28.12	14.93	1.68	0.23	2.25	1.51	0.30	0.37	0.30	4.43		3.03	2.26
Toba de Masaya (Bice, 1980)															
153	TdM	54.02	18.99	12.95	1.58	0.19	6.93	3.23	0.84	1.17	0.09	12.17		4.82	3.35
152	TdM	53.11	17.01	13.39	1.35	0.19	8.75	4.16	0.81	1.14	0.10	14.86		5.29	3.51
151	TdM	52.44	15.74	12.21	1.19	0.19	9.78	3.87	1.18	3.03	0.33	17.86		5.64	3.77
154	TdM	54.71	16.98	11.95	1.33	0.22	7.77	4.03	1.29	1.42	0.29	14.51		5.46	3.76
"Triple capa" (Marín et al., 1971; Bice, 1980; Prat, 1991)															
Bice 204	"Triple capa"	52.51	18.36	12.18	1.31	0.22	8.39	3.56	1.17	1.99	0.33	15.11		4.84	3.40
Bice 203	"Triple capa"	51.96	18.75	12.80	1.44	0.18	9.06	4.82	1.13	1.77	0.10	16.78		4.69	3.26
Prat NIJ 7	Cin. negra	53.26	15.23	13.79	1.18	0.30	8.44	4.12	0.90	2.68	0.10	16.14		5.92	3.74
Prat NIJ 8	Cin. negra	52.12	16.44	13.90	1.20	0.30	8.19	4.51	0.89	2.28	0.16	15.87		5.37	3.48
SD2 80-90	Cinerita gris	51.30	18.48	14.12	1.33	0.34	7.21	3.30	1.20	2.49	0.22	14.20		4.70	3.15
Prat Cin1	Cinerita gris	54.03	16.51	12.80	1.26	0.28	7.12	3.72	1.41	2.63	0.23	14.88		5.54	3.70
Marín D	Talp no alt.	53.03	18.38	12.22	1.10	0.06	7.06	3.99	1.40	2.61	0.15	15.06		4.89	3.42
Xiloa (Prat, 1991)															
X1	Pómez	65.30	16.16	6.21	0.62	0.16	3.94	1.66	1.81	3.99	0.16	11.4	62.75	6.85	5.49
UNA (Prat, 1991)															
Nil	T. carbona.	66.49	25.37	3.96	1.10	0.08	1.76	0.44	0.71	1.81	0.08	4.72	60.70	4.78	4.31

Cin.: Cinerita; Talp.: Talpetate; f.: fino; g.: grueso; oliv.: oliváceo; m.: mediano; Sup.: Superior; Inf.: Inferior; nod.: nódulos; TdM: Toba de Masaya; T. carbona.: Toba carbonatada.

Cuadro 3. Composición química de talpetates y de materiales de referencia (Marín et al., 1971; Bice, 1980; Prat, 1991).

El fondo matricial es poco diferenciado, manchado, isóptico, con un esqueleto de tipo porfirico. Se nota la presencia de nódulos acorazados de ceniza acrecionada (Fig. 8 a 11).

Los vacíos, que son numerosos ($\geq 60\%$ de la superficie total), se distribuyen como sigue (porcentaje relativo):

- 15% originado por raíces,
- 30 a 40% son burbujas incluidas en los microlitos, principalmente los vidrios volcánicos. Sin embargo, la mayoría son llenadas totalmente o en parte por el material arcilloso,
- la mayoría ($\geq 60\%$) son vacíos ($\leq 40 \mu\text{m}$) que resultan del empaquetamiento entre los microlitos.

El esqueleto está constituido por:

- La palagonita que ocupa más del 60% del esqueleto. Se trata de microlitos ($\leq 2\text{mm}$) de color amarillento-miel de vidrio basáltico alterado, con bordes sub-angulares a angulares, que contienen burbujas generalmente llenas de un material pardo oscuro,

- Vidrios volcánicos (15%) andesíticos y algunos de tipo dacítico,

- Plagioclasas (10%), piroxenos (5%), principalmente augita, olivino ($<1\%$), magnetita (5%). El cuarzo está presente en raras ocasiones. La materia orgánica generalmente se observa bajo la forma de células vegetales en los vacíos originados por raíces.

3.2 Rasgos de alteración

En los *talpetates*, hay revestimientos órgano-arcillosos en los poros biológicos y en las zonas de contacto suelo/*talpetate*. Sin embargo, los rasgos de alteración más característicos corresponden al bordeado de los poros principalmente de tipo biológico, así como los "cortex" bajo la forma de anillos de alteración de la sideromelane alrededor de los poros de palagonita (Fig. 10).

Los transectos realizados con la micro-sonda, muestran dos situaciones al nivel de estos rasgos de alteración de la palagonita:

* Una alteración de la palagonita sin pérdida importante de elementos, en los cortex de alteración de los poros ocluidos, donde la relación molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (ki) del plasma matricial del material vítreo, que es de 6 a 7, alcanza un valor de 5, que corresponde, como lo confirman las fotos tomadas con el MET, a la presencia de esmectitas.

* Una alteración de la palagonita con pérdida importante de elementos, que se refleja en una disminución del valor del ki (a 2.8 y 1.8), debido a pérdidas de sílice y de bases, así como al aumento de la concentración de óxidos de aluminio y hierro. Estos procesos conducen a la formación de productos alofánicos y de haloisita.

En el caso del *talpetate* bajo clima húmedo, se añaden otros rasgos, pero que son limitados a la porosidad biológica y a las zonas de contacto suelo/*talpetate*; se trata, en particular, de la alteración con disolución y salida de material en la zona de contacto raíz/*talpetate*, y de la presencia de cutanes ferro-mangánicos y de gibsita.

3.3 El caso de los nódulos acorazados

En todos los casos se observaron nódulos acorazados, lo cuales son constituidos por un núcleo de microlitos de milímetros de largo recubierto por capas de cineritas finas acrecionadas, que forman recubrimientos sucesivos como los catáfilos de una cebolla.

3.4 El caso de las huellas de hojas

En ocasiones, en la parte inferior del *talpetate*, se observan huellas de hojas parecidas a hojas de *Ficus spp.*

DISCUSION E INTERPRETACION

Se comprobó que el *talpetate* tiene un origen volcánico. Tal conclusión se obtuvo por la presencia de varios rasgos morfológicos tales como:

- organización en capas masivas y nódulos con límites de tipo lítico;



Fig. 6. Estratigrafía edafo-geológica de la región Centro-Pacífico de Nicaragua (La Concepción, 500 msnm, bordo SO de la caldera de Masaya)



Fig. 7. El telpatete "masivo" y con nódulos "acorrazados" (Los Altos de Sto. Domingo)



Fig. 8. Micro-estructura de una cinerita no alterada (NIJ7). Microscopia óptica, luz natural.

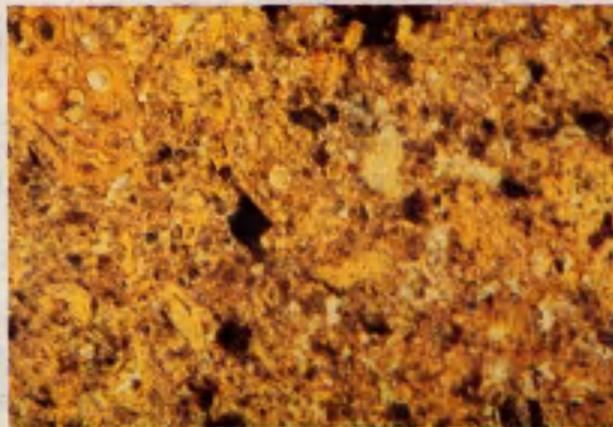


Fig. 9. Micro-estructura de un talpetate bajo clima seco (SD2 40-50). Microscopia óptica, luz natural.



Fig. 10. Detalle de un vídrio palagonitizado (SD2 40-50). Microscopia óptica, luz natural.

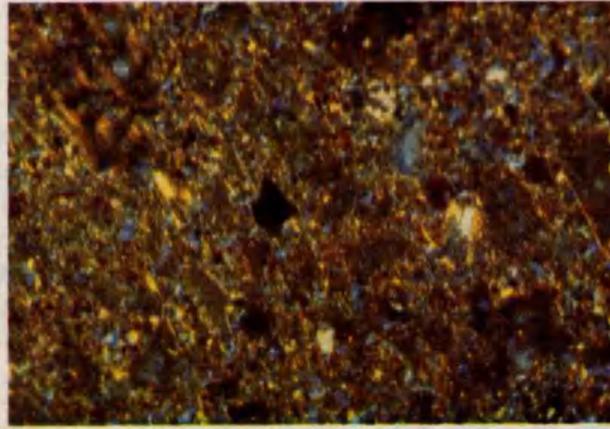


Fig. 11. Micro-estructura de un talpetate bajo clima seco (SD2 40-50). Microscopia óptica, luz polarizada.

- pendiente muy fuerte ($\geq 50\%$) que sigue generalmente la pendiente actual, en donde hay evidencias de destrucción del *talpetate* por la erosión (zona de ruptura de pendientes, parte superior de lomas, fondos de talwegs o de micro-depresiones) o de soterramiento por acumulación de sedimentos (fondos de talwegs o de micro-depresiones) (Fig. 3);

- presencia de huellas de hojas en la matriz, lo cual indica que se trata de material piroclástico que conformó una "batiente", o sea, una ola devastadora, llamada en inglés "surge" (Fisher *et al.*, 1984; Fisher, 1990; Sparks *et al.*, 1973; Sheridan *et al.*, 1979, 1983; Valentine, 1987);

- existencia de nódulos, identificados como nódulos acorazados de cineritas acrecionadas, que se pueden formar únicamente en explosiones volcánicas de tipo freato-magmática (Waters *et al.*, 1971; Self *et al.*, 1978; Fisher *et al.*, 1984; Fisher, 1990);

- presencia de magnetita, puntos negros de milímetros, distribuidos en la masa (se identifican fácilmente con un imán).

Los resultados de las determinaciones físicas y químicas, así como las mediciones y observaciones micromorfológicas del *talpetate* (Prat, 1991) confirman los datos de campo. El *talpetate* tiene una microorganización de toba fina, y está constituido por cenizas de andesita basáltica, de la serie toleítica. Su principal constituyente es la palagonita, formada a partir de la alteración de vidrios volcánicos basálticos. Peacock *et al.* (1928), Bonatti (1965), Honnorez (1967), Hay *et al.* (1972), entre otros, mostraron que la palagonita se forma durante y/o inmediatamente después de una explosión freato-magmática.

Este proceso de palagonitización conduce a la formación de esmectitas, en particular en medio cerrado. Una parte de la haloisita y de los interestratificados haloisita-esmectita, podrían provenir de las esmectitas por desilicificación y pérdida de magnesio (Quantín, 1974, 1991; Wada *et al.*, 1985; Delvaux *et al.*, 1989).

A esta alteración primaria de origen geológico se añade una alteración secundaria de origen

edáfico, que se nota principalmente en los *talpetates* ubicados bajo un suelo ándico y un clima tropical húmedo. Esta alteración consiste en la formación de argilanes, de gibsitales y de manganes en las zonas de contacto suelo/poros biológicos/*talpetate*, en la redistribución del hierro debido a la actividad de las raíces, y en la pérdida de sílice y de bases en la parte superior del horizonte. Estos procesos muestran que no se trata de una lixiviación y acumulación de elementos, ya que en este caso se hubiera formado un horizonte de tipo B, sino solamente de una alteración parcial del material endurecido. La abundante porosidad del *talpetate*, y su baja densidad aparente ($< 1 \text{ g.cm}^3$), son argumentos que se contraponen al proceso de acumulación y llenado de un horizonte de suelo por iluviación.

Con base en los mapas realizados por los geólogos y edafólogos, y a los análisis y observaciones, se estableció un esquema de la repartición del *talpetate* en la región del Centro-Pacífico de Nicaragua. El *talpetate* está distribuido alrededor de la caldera de Masaya, con una orientación este-oeste partiendo de la misma; pero como lo mostró Williams (1983), está ausente del fondo de este complejo volcánico. Estimamos que el *talpetate* cubre una superficie de 2,500 km², lo que corresponde a la mitad de la superficie de esta región (Fig. 12). Los cálculos de Bice (1980), establecidos sobre una superficie de "solamente" 1,800 km², indican que estos depósitos resultan de una de las más fuertes explosiones conocidas, comparable a la del Krakatoa.

CONCLUSIONES

El horizonte endurecido llamado *talpetate* que se encuentra en los suelos volcánicos de la región Centro-Pacífico de Nicaragua, es una toba volcánica andesítica basáltica constituida principalmente por palagonita. La caldera actual de Masaya es la fuente de emisión de este material. Fue formado por explosiones freato-magmáticas que originaron varias olas devastadoras o batientes (*surge* en inglés, *déferlante* en francés) que

aplastaron la vegetación existente, y que cubrieron alrededor de 2,500 km² en dirección de los vientos alisios (este-oeste). Estos acontecimientos, equivalentes a la explosión del Krakatoa se produjeron hace menos de 2,000 años, y probablemente tuvieron un impacto importante sobre las poblaciones de aquella época.

A la alteración primaria, de origen geológico del *talpetate*, que dio origen a la palagonita y a las esmectitas, se sobrepone una alteración secundaria de origen edáfico. Esta última es responsable, bajo un clima con estación seca de 6 meses, de la formación de haloisita en los *talpetates*. En condiciones húmedas, sin embargo, no se observa haloisita, pero hay productos alofánicos, así como

gibsitales y manganés. En ambos casos se nota la presencia de argilanes y de materia orgánica. Se puede observar, además, una disminución de la sílice y de las bases en la parte superior del *talpetate*, lo cual explica una eluviación fuera del perfil de este material provocada por la meteorización. Esta conclusión implica que la hipótesis vigente para explicar la formación y el endurecimiento de *talpetates* mediante procesos de lixiviación y de acumulación, no es válida.

Debido a las características físico-químicas, morfológicas y al origen, proponemos llamar al *talpetate* estudiado "toba palagonitizada de Masaya".

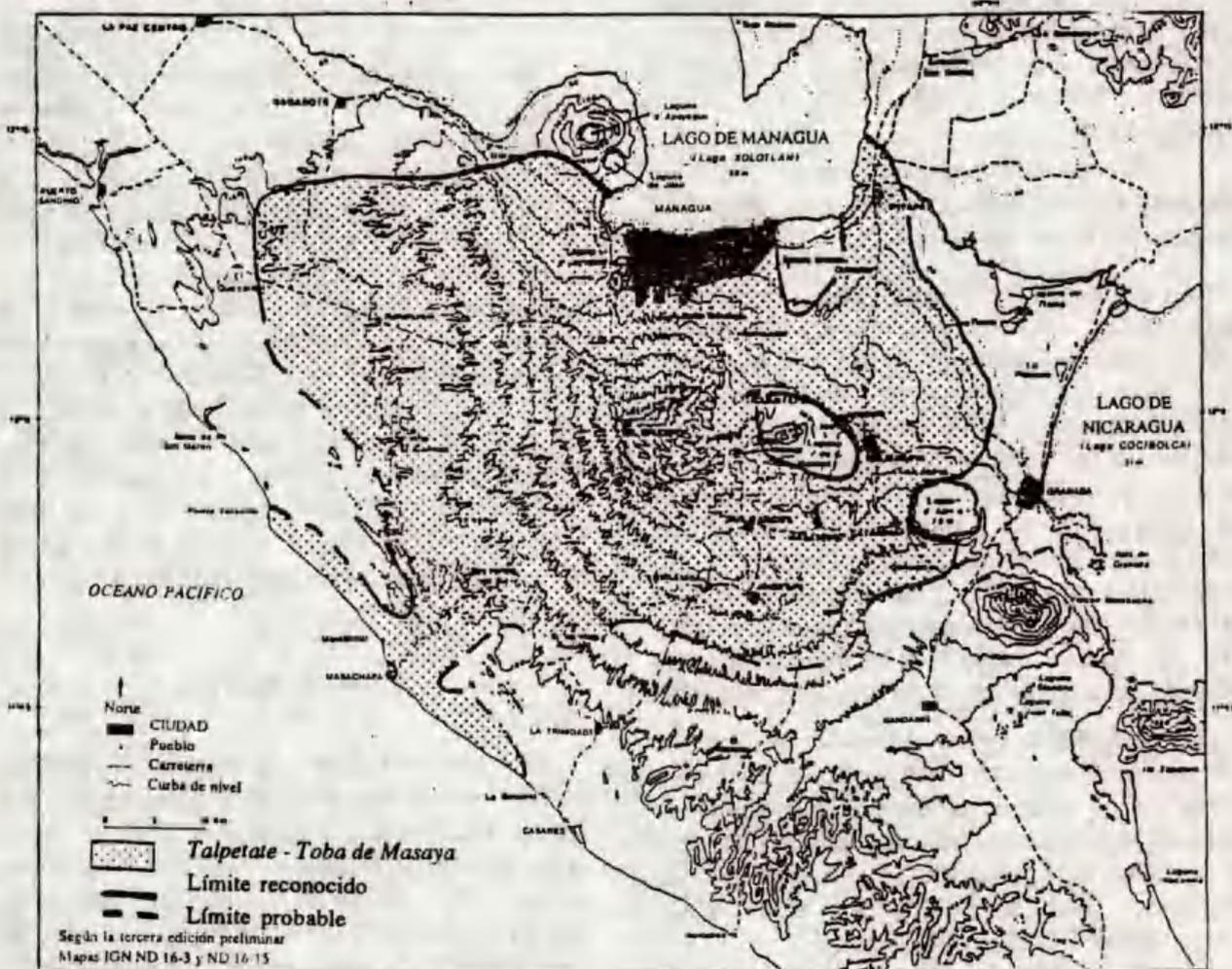


Figura 12. Distribución del talpetate-Toba palagonitizada de Masaya (Prat, 1991).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó de 1985 a 1991 como parte del programa de investigación PICSUR (Proyecto de Investigación de la Cuenca Sur del Lago de Managua) conducido por IRENA (Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente) y ORSTOM. También es parte de la tesis de C. PRAT (ORSTOM/Univ. PARIS 6). Este trabajo no se hubiera efectuado sin la valiosa colaboración

de los equipos de edafólogos de IRENA, del Laboratorio de Edafología de la UNA (Univ. Nacional Agraria de Nicaragua), del Depto de Arqueología Nacional de Nicaragua y del Laboratorio de Formaciones Superficiales de ORSTOM-Bondy. En particular, hay que destacar el apoyo decisivo de: E. Blandón, M. Herrera, M. Martínez, I. Rodríguez en Nicaragua, y de M. Amiot, A. Bouleau, H. Guenin, G. Millot y C. Hidalgo en Francia.

LITERATURA CITADA

AFES. 1990. 3^{ème} proposition du Référentiel Pédologique (Avril 1990). AFES, France.

BICE, D. C. 1980. Tephra stratigraphy and physical aspects of recent volcanism near Managua, Nicaragua. Ph. D., Univ. California, Berkeley, California, USA. 420 p.

BONATTI, E. 1965. Palagonite, hyaloclastites and alteration of volcanic glass in the Ocean. Bull. Volc. 28: 1-15.

CATASTRO. 1971. Levantamiento de suelos de la región Pacífica de Nicaragua. Min. de Agricultura y de ganadería (MAG), Managua, Nicaragua, II (3): 593-678.

CATASTRO. 1978. Mapa de suelos del Pacífico. Compilación de estudios realizados entre 1968 y 1978 por el MAG, Informe-mapa. Managua, Nicaragua.

DELVAUX, B., A. J. HERBILLON y L. VIELVOYE. 1989. Characterization of a weathering sequence of soils derived from volcanic ash in Cameroon. Taxonomic, mineralogical and agronomic implications. Geoderma 45: 375-388.

DUBRÈUCQ, D., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI. 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. Terra 7: 3-12.

FAO, UNESCO. 1976. Carte mondiale des sols 1:5 000 000. UNESCO, Paris, France. III: 1-104.

FISHER, R. V. 1990. Transport and deposition of a pyroclastic surge across an area of high relief: the 18 may 1980 eruption of Mount St. Helens, Washington. Geol. Soc. Am. Bull. 102: 1038-1054.

FISHER, R. V. y H. U. SCHMINCKE. 1984. Pyroclastic rocks. Springer-Verlag, Berlin, RFA.

HAY, R. L. y B. F. JONES. 1972. Weathering of basaltic tephra on the island of Hawaii. Geol. Soc. Am. Bull. 83: 317-332.

HONNOREZ, J. 1967. La palagonitisation: l'altération sous marine du verre volcanique basique de Palagonia (Sicile). Thèse, Université Libre, Bruxelles, Belgique. 227 p.

INCER, B.J. 1985. Toponomías indígenas de Nicaragua. Libro Libre, San José, Costa-Rica. 481 p.

MARIN CASTILLO, E. J., E. UBEDA GONZALES y J. VIRAMONTE OTERO. 1971. Contribución al conocimiento de la génesis del "talpetate". 3a Reunión de Geólogos de América Central, San José, Costa-Rica. Presentación coloquio, Managua. 31 p.

MC BIRNEY, A. R. 1956. The nicaraguan volcano Masaya and its caldera. Am. Geophys. Union Trans. 1 (36): 83-96.

MC BIRNEY, A. R. y R. L. WILLIAMS. 1965. Volcanic history of Nicaragua. California Univ. Pubs. Geol. Sci. 55: 1-65.

PEACOCK, M. A. y R. E. FULLER. 1928. Chlorophaeite, Sideromelane and Palagonite from the Columbia River Plateau. Am. Min. 13: 360-382.

PRAT, C. 1991. Etude du talpetate, horizon volcanique induré de la région Centre-Pacifique du Nicaragua. Genèse, caractérisation morphologique, physico-chimique et hydro-dynamique, son rôle dans l'érosion des sols. Thèse de Doctorat, Univ. Paris 6, Paris, France. 350 p.

QUANTIN, P. 1974. Hypothèses sur la genèse des andosols en milieu tropical: évolution de la "pédogénèse initiale" en milieu bien drainé, sur roches volcaniques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 12 (1) 3-12.

- QUANTIN, P.** 1991. Les sols de l'archipel volcanique des Nouvelles-Hébrides (Vanuatu). Etude de la pédogénèse initiale en milieu tropical. Thèse de Doctorat, Université Strasbourg, France. 490 p.
- SAHAGUN DE B.** 1956. Historia general de las cosas de la Nueva España. Porrúa Editorial, D.F., México.
- SELF, S. y R. S. J. SPARKS.** 1978. Characteristics of widespread pyroclastic deposits formed by the interaction of silicic magma and water. *Bull. Volc.* 41: 196-121.
- SHERIDAN, M. F. y K. H. WOHLETZ.** 1979. A model of pyroclastic surge. *Geol. Soc. America Spec. Paper* 180: 177-193.
- SHERIDAN, M. F. y K. H. WOHLETZ.** 1983. Hydrovolcanism: basic considerations and review. *J. Volc. Geotherm. Res.* 17: 1-29.
- SIMEON R.** 1885. Dictionnaire de la langue nathual ou mexicaine. 9 ed. 1992 Diccionario de la lengua nahualtl o mexicana. Siglo XXI, D.F., México. 784 p.
- SPARKS, R. S. J. y G. P. L. WALKER.** 1973. The ground surge deposit: a third type of pyroclastic rocks. *Nature Phys. Sci.* 241: 62-64.
- SUSSMAN, D.** 1982. The geology of Apoyo caldera, Nicaragua. Ph. D., Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, USA. 250 p.
- VALENTINE, G. A.** 1987. Stratified flow in pyroclastic surges. *Bull. Volc.* 49: 616-630.
- WADA, K. y Y. KAKUTO.** 1985. Embryonic halloysites in Ecuadorian soils derived from volcanic ash. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1309-1318.
- WALKER, J.A.** 1982. Volcanic rocks from the nejapa and Granada cinder cone alignments, Nicaragua, Central America. Ph. D., Rutgers Univ., New Brunswick, New Jersey, USA. 150 p.
- WATERS, A. C. y R. V. FISHER.** 1971. Base surges and their deposits: Capelinhos and Taal volcanoes. *J. Geophys. Res.* 76: 5596-5614.
- WILLIAMS, S. N.** 1983. Geology and eruptive mechanisms of Masaya caldera complex, Nicaragua. Ph. D., Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, USA. 170 p.
- ZOPPIS BRACCI, R.** 1968. Estudios geológicos de la hoja "Las Mercedes" (Depto. de Managua-Masaya). Ministerio de Economía, Industria y Comercio de Nicaragua, Servicio Geológico Nacional, Managua, Nicaragua. 73 p.
- ZOPPIS BRACCI, R. y D. GUIDICE.** 1958. Geología de la costa Pacífico de Nicaragua. *Bol. Serv. Geol. Nac. de Nicaragua* 2: 19-68.

INDURATED VOLCANIC ASH SOILS IN PERU

Los Suelos Volcánicos Endurecidos de Perú

Thomas J. Nimlos¹ and Carlos Zamora J.²

¹ School of Forestry, University of Montana, Missoula, Montana, USA.

² Universidad de Agraria, Lima, Perú.

Palabras clave: Suelos volcánicos endurecidos, Pampas eriazas, Duripán, Petrocálcico, Sillar, Pedocementación, Perú.

Index words: Indurated volcanic soils, Pampas eriazas, Duripans, Petrocalcic, Sillar, Pedocementation, Peru.

RESUMEN

Hay dos tipos de suelos volcánicos endurecidos en el Perú, ambos localizados al sur del país. El endurecimiento de uno es claramente de origen pedogénico, pero la génesis del otro es incierta. El primer tipo se presenta en la región costera, esa faja angosta de geoformas coluvio-aluviales, denominadas pampas eriazas que rodean al Océano Pacífico, con elevaciones generalmente menores de 2,000 m. Esta región es extremadamente seca, virtualmente sin vegetación; se clasifica según Holdridge en su mayoría como Desierto Sub-Tropical y en menor grado como Desierto Montañoso Bajo. Los cementantes presentes incluyen carbonatos (petrocálcicos), yeso (petrogípsicos), sílice (duripanes) y sales solubles (un horizonte cementado que hemos denominado petrosálico). La erosión acelerada no es un problema en estos suelos, ya que sus gradientes tienen pendientes menores de 5%, hay poca precipitación y la tierra no se trabaja. No existe presión por recuperar estas áreas.

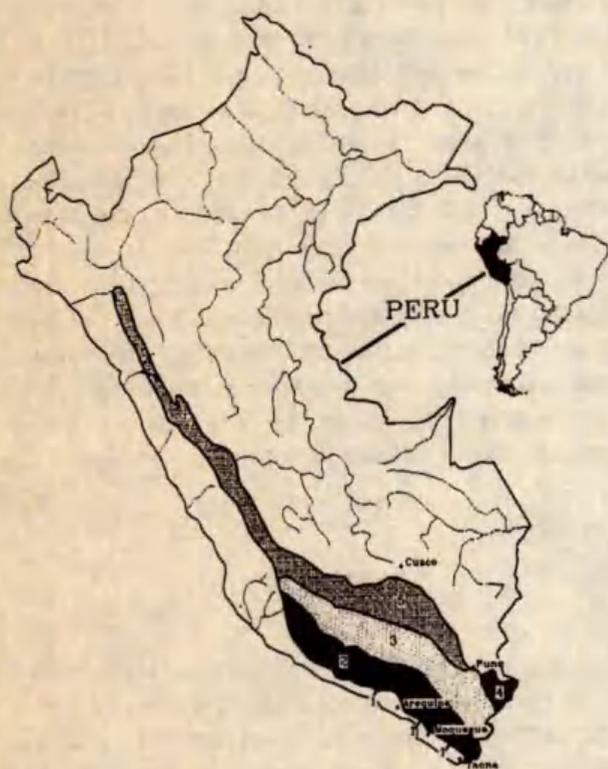
El segundo grupo de materiales endurecidos, localmente, se denominan sillares. Estos materiales se presentan en la parte sur de la sierra en el triángulo definido por las ciudades de Arequipa, Puno y Cuzco, generalmente en elevaciones de 2,000 a 3,000 m. Esta parte del sur de Perú es también relativamente seca (100 a 300 mm de precipitación) y según Holdridge se clasifican como Matorrales Desérticos / Bajo Montano y Matorral Desértico / Formaciones Montañosas. El sillar es un flujo de cenizas volcánicas riolíticas que presentan algunos procesos de pedocementación en la parte superior por deposición de sílice y carbonatos. Se presentan en pendientes uniformes de 40-70 %. Los suelos tienen serios problemas de erosión y aunque no hay un programa nacional de conservación, los incas históricamente han construido en los sillares denominadas andenes.

SUMMARY

There are two types of indurated, volcanic-ash soils in Peru, both located in the southern part of the country. The induration of one is clearly pedogenic but the other's genesis is less certain. The first group occurs in the coastal region, that narrow band of alluvial/colluvial landforms, called pampas eriazas, that borders the Pacific

Ocean with elevations usually less than 2,000 m. This region is extremely dry and virtually without vegetation; it is classified as belonging mostly to the Sub Tropical Desert formation of Holdridge and less commonly the Low Mountain Desert. Indurating cements include carbonates (petrocalcic), gypsum (petrogypsic), silica (duripan) and soluble salts (a cemented horizon we call petrosalic). Accelerated erosion is not a problem with these soils as slope gradients are usually less than 5%, there is little precipitation and the lands are idle. There is no pressing need to reclaim these lands. The second group of indurated materials is locally called sillar. These materials occur in the southern part of the Sierra,

in the triangle represented by the cities of Arequipa, Puno and Cuzco, usually at elevations between 2,000 and 3,500 m. This part of Southern Peru is also relatively dry (10-30 cm of precipitation) and is represented by Holdridge's Matorral Desert/Low Mountain and Matorral Desert/Mountain formations. Sillar is rhyolitic volcanic-ash flow tuffs that have probably had some pedocementation in the upper part of the deposit by silica and carbonates. It occurs on steep (40-70%), uniform slopes. Soil erosion is a serious problem and although there is no national reclamation program, Incas have historically built terraces, called andenes, of sillar.



Soil Taxonomy and FAO System

- 1** Vitrandepts and Duric Vitrandepts (Vitric Andosols and Vitric Andosols, duric phase) Aridic isothermic of the coastal plains.
- 2** Lithic Vitrandepts (Vitric Andosols, ashes phase) of the Aridic isomesic southwestern Andean flank.
- 3** Vitrandepts and Entic Cryandepts (Vitric Andosols and Haplic Andosols) ustic, isofrigid of the south Andean Highlands.
- 4** Vitrandepts (Vitric Andosols) ustic, isomesic-isofrigid of the southwest Altiplano.
- 5** Dystric Cryandepts and Umbric Vitrandepts (Umbric Andosols) udic, isofrigid of the Andean Highlands.

Figure 1. Geographical distribution of volcanic ash soils (Andepts) (Zamora y Bao, 1969).

INTRODUCTION

This meeting was organized to allow a national from each country to report on the indurated soils of his or her country. When a volunteer could not be located in Peru, the senior author of this paper offered to travel there to determine what was known about the indurated volcanic-ash soils of Peru. Fortunately, his contact in Lima was the second author, who had retired a few years earlier as head of the Dirección de Suelos de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) after 30 years of soils experience. Thus, the information for this paper comes from the senior author's experience in Mexico and Ecuador and the second author's many years of field work in Peru. A second introductory remark is needed. The best source of data on the coastal soils is a national soil inventory that was completed under the direction of the second author (ONERN, 1975). There is no comparable source on indurated, mountain soils.

Two types of indurated, volcanic ash soils occur in Peru, both occur in the south because this is the area of extensive and recent volcanism. In the pampas eriazas (arid plains or barren flats) of the Coastal Region are found various types of pedogenic hardpans, formed under extremely dry conditions. The second group of indurated materials are those in the Sierra of Southern Peru (western Andean flank) and are locally called sillar (Fenner, 1948). Because sillar is a geologic deposit and the induration of this second group

is not clearly pedogenic it might be argued that the material is not, in fact, soil and therefore should not be included in this paper. The group is included, however, because it is similar to other deposits in other countries under the rubric of this meeting. The indurated horizons of this second group is similar to tepetate of Mexico, talpetate of Nicaragua and cangahua of Ecuador.

The purpose of this paper is to describe the distribution, properties and use of the two groups of soils and their reclamation where that is required.

BACKGROUND

Peru is located on the western coast of South America, straddling the Andes Mountains (Fig. 1). It has three distinct major physiographic regions, as shown in Fig. 2 (IGN, 1989). The Coastal Region is about 114,000 km² and is the narrow north/south band on the western edge of the country, bordering the Pacific Ocean. It extends from the ocean to an elevation of about 1,800 m in the vicinity of Arequipa. The boundary between it and the Sierra Region is very sharp. Dominant land forms in the region are long, smooth, west-aspect slopes with little vegetation because of the extremely arid climate. These smooth slopes are called "pampas eriazas" (arid plains or barren flats) and are the site of many indurated soils. The region is transected by 53 irrigated alluvial valleys whose rivers descend torrentially from the abrupt western Andean flank.

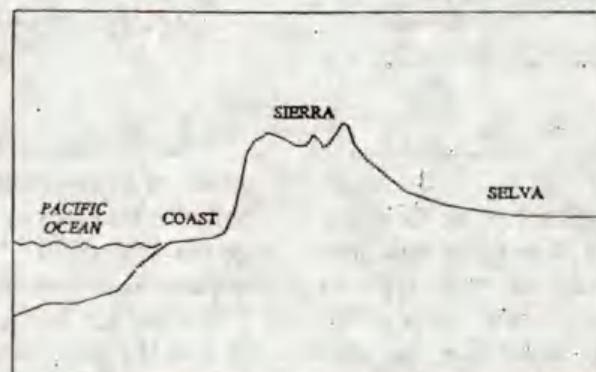


Figure 2. Physiographic regions of Peru.

The Sierra forms the mountainous backbone of the country as the Andes Mountains, with a gross extent of 390,000 km². Elevations in this region are very high; Misti Volcano, for instance, just east of Arequipa, is 5,822 m. Volcanoes in this region have provided the ash that has had such an impact on the morphology and properties of soils in southern Peru. The region's steep, mountainous slopes are the site of the second group of indurated soils.

The Selva Region comprises about 60% of the territorial surface of the country (781,000 km²). It slopes gently to the east, forming the Amazon drainage.

The relative area and population of the three regions are shown in Table 1. These data show that although the Coastal Region is only a small part of the country, half the population lives there, mostly in the irrigated valleys. The Selva, on the other hand, is a large area with relatively low population. Research on the soils of Peru reflects the population distribution; it has been concentrated on the irrigated regions of the coastal region. In the past, the Selva has been largely ignored by the federal government but recent international awareness of the conflict between economic development and resource depletion has shifted the attention of the federal government in Lima to the east - toward the Amazon.

Table 1. Relative area and population of the three physiographic regions in Peru.

Physiographic regions	Relative extent	Relative population
	%	
Coast	10	50
Sierra	30	40
Selva	60	10

A geology map of Peru (Instituto de Geología y Minería, 1975) shows the formations and their ages but, it does not indicate rock type or whether the bedrock is of volcanic origin. The distribution of volcanic materials is also illustrated in Fig. 1, which gives volcanic soil regions of Peru. This map shows that volcanism

has been a dominant part of Peru's Sierra: volcanic deposits are found throughout the country's length.

The climate of the Peruvian Sierra is semiarid to subhumid, and the Coastal Region is an arid desert, one of the conspicuous features of the country. The subtropical high stationed off the South American west coast and the Humboldt (Peruvian) current that sweeps north west of Chile combine to cause a very dry air flow into southern Peru. Precipitation increases with elevation due to orographic lifting. Air temperatures decline with elevation, as in all mountainous terrain.

The elevation distribution of ecological formations in southern Peru, according to the system developed by Holdridge (1967), is given in Tab. 2. These data show that some form of desert vegetation, if any, occurs to at least 3,100-3,900 m. This reflects the dry condition of southern Peru.

Table 2. Elevational distribution of ecological formations in Southern Peru (Holdridge, 1967).

Ecological formations	Elevation msnm
Sub Tropical Desert	0 - 1,800
Low Mountain Desert	1,700 - 2,300
Matorral Desert/Low Mountain	2,200 - 3,100
Matorral Desert/Mountain	3,100 - 3,900
West Paramo/Sub-Alpine (Puna)	3,900 - 4,500
Very Wet Tundra/Alpine	4,500 - 5,000

INDURATED SOILS OF THE PAMPAS ERIAZAS

The pampas eriazas (coastal plains) are the series of alluvial/colluvial deposits on long, gentle terraces that extend from the Sierra west to the ocean and from Chile north to Ecuador. The terraces have been dissected by steep-sided valleys. The alluvium in the valleys is of Holocene age; that in the pampas eriazas is of Pliocene/Pleistocene age, and it includes volcanic ash mixed in the alluvium.

The characteristics of the pampas eriazas are presented in Table 3. The dominant ecological formation (Holdridge) in the pampas eriazas is Sub Tropical Desert; perhaps as much as 90% of the pampas eriazas belongs to this formation. This zone is characterized by an almost complete lack of vegetation; only a few xerophytes, such as *Opuntia spp.* can be found here. A small amount of the pampas is of the Low Mountain Desert.

Table 3. Characterization of the pampa eriazas.

	Sub-Tropical Desert	Low Mountains Desert
Annual Precipitation (mm)	Trace - 100	80 - 150
Mean annual temperature (°C)	17 - 19	13 - 17
Slope gradient (%)	1 - 7	2 - 8
Elevation (m)	0 - 1,800	1,700 - 2,200
Vegetation	Little to none	<i>Opuntia spp.</i>
Climate	Extremely dry / semi cálido	Per aridic / temperate
Relative extent (%)	95	5

There are less than 3.5 million hectares of pampas eriazas in Peru; of these, we estimate that 1.8 million hectares have some form(s) of hardpan. They are always on the elevated plains and not at sea level. The types of hardpans and their cements are shown in Table 4. It is very common to have mixtures of cements and therefore combinations of hardpans. The terminology is taken from the USDA soil taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), except the term petrosalic, which we coined for those hardpans cemented by salts more soluble than gypsum and without gypsum crystals. Less than 15% of the hardpan is duripan; the rest is petrocalcic, petrogypsic or petrosalic. The duripans are very localized from Chaparra Valley to Sama (Caplima) Valley, in the southern coastal area.

Table 4. Type of indurated horizons (layers) in the coastal region of Southern Peru (Soil Survey Staff, 1975).

Types	Cement types	Cements
Petrocalcic	Carbonates	CaCO ₃
Petrogypsic	Gypsum	CaSO ₄ ·xH ₂ O
Duripan	Silica	SiO ₂
Petrosalic	Soluble salts	CaCl ₂ , NaCl...

Some characteristics of pampas eriazas soils are presented in Table 5. The data represent the composite of about 20 profiles (ONERN, 1975). The data show high conductivity, boron, exchangeable sodium and pH and low organic matter as is usually the case in very arid soils. The only profile development is the induration, which is commonly at 20-75 cm.

Table 5. Characterization of soils in the pampa eriazas.

C1	Conductivity (mmhos/cm)	4 - 200
C2	Boron (ppm)	1 - 200
C3m	Sodium (%)	2 - 14
Alluvial gravels	pH	7.2 - 9.6
	OM (%)	0.1 - 1.2
	Depth to C3m	20 - 75
Occasional Durinodes		

The soils of the pampas eriazas occur as complexes of the following (Soil Survey Staff, 1975; Dudal, 1970):

Table 6. Soils of the pampas eriazas.

USDA	FAO
Salorthids	Haplic Solonchaks
Gypsiorthids	Haplic Gypsisols
Calciorthids	Haplic Calcisols
Petrogypsic Gypsiorthids	Petric Gypsisols
Paleorthids	Petric Calcisols
Durorthids	Durandeps
Duric Vitrandepts	Vitric Andosols (duric phase)

The indurated horizon of the Paleorthids is a petrocalcic horizon that contains soluble salts.

INDURATED SOILS IN THE SIERRA

The second group of indurated materials, sillar, are those that occur commonly in the Sierra of southern Peru and the northern parts of Chile and Bolivia. The term sillar was apparently first used in the scientific literature in 1948 (Fenner, 1948) and its origin has been presented by Mendivil (1979). Sometimes called penco, it refers to ash-flow tuffs that are usually white or pink and which geologists call ignimbrites. Soil

development in sillar has received very little study, but similar deposits in similar climates in Mexico, Nicaragua and Ecuador have illuviated carbonates and silica and we assume these cements must be present in the upper parts of sillar.

Sillar occurs on smooth relief and steep (40-70%) slopes. Their distribution has not been mapped, but they occur in the vicinity of Arequipa, Moquegua and Tacna, on the west side of the Sierra. We estimate that there are about 1,000,000 hectares of sillar in southern Peru. The thickness of the sillar varies from 2 to 20-50 m. Its hardness is quite variable although it has never been quantified; in some places it is very hard but in others it is soft and can not be cut for ornamental tile.

Table 7 presents some estimates of sillar properties as they occurs in southern Peru. These data show that sillar is rhyolitic with a high percent of silica. It is of Pliocene and Pleistocene age and of the Barrose group.

Table 7. Characteristics of sillar in Southern Peru (Personal communication. D. Loayza, Director, Geology Division, ONERN).

Rock type	Rhyolite
Mineralogical composition (%)	
Silica	50 - 60
Orthoclase	20
Plagioclase	20
Other (ferromagnesium, ...)	10
Hardness (Mohs)	< 3
Color	White, also pink
Age	Pliocene / Pleistocene
Formation	Barrose group

A local industry has developed near Arequipa that uses sillar to make decorative tile from fired sillar and to make building blocks. The tile are very popular decorations for houses, walls and terraces. The building blocks are used for housing construction.

The porous soil overlying sillar is relatively thin (less than 80 cm) and erodes rapidly when heavily grazed or cultivated. Large areas have had the porous overlying soil eroded and the sillar exposed, creating a barren landscape. There

is no federal program to reclaim exposed sillar, although indigenous people (Incas) have reclaimed sillar by building terraces, called andenes. The group of terraces at Machu Picchu, Cuyo-Cuyo (Puno) and Cabanaconde (Arequipa) are the most famous complex of andenes built by the Incas. Chunks of sillar are used to construct the face of the terrace, and loose, uncemented soil is piled in behind the face.

Farming of the andenes varies with climate. Dry land farming (andenes de secano) is practiced in the eastern part (Moist Montane) and irrigation (andenes de riego) in the western part (Lower Mountain Steppe), where alfalfa, onions, corn, potatoes, etc. are grown.

ONERN initiated a program to rescue ancient agricultural techniques. They started by inventoring the areas of andenes and have mapped them in about 50% of the country but have had to terminate the program because of lack of funds.

CONCLUSIONS

There are two types of indurated, Peruvian soils formed in volcanic ash. The first group is in the pampas eriazas, barren terraces of the coastal zone which receive virtually no precipitation and are, therefore, almost void of vegetation. They are cemented pedogenically by carbonates gypsum, silica and very soluble salts. Reclamation is not needed in this group because of their limited agricultural potential.

The second group of indurated soils are those formed over ash-flow tuffs. The induration, locally called sillar, in this group is not entirely pedogenic: in fact, it is probably mostly geogenic. The soils are on steep slopes, have been farmed for many years and are highly eroded. They were reclaimed by the Incas for thousands of years. Bench terraces, locally called andenes, are built of chunks of sillar that serve as faces of the terraces, with the loose soil piled in behind them.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was funded in part by a travel grant from the Office of Science and Technology and in part

under Grant No. 10.288, Program in Science and Technology Cooperation, Office of the Science Advisor, both of the U.S. Agency for International Development, USA.

LITERATURE CITED

DUDAL, R. 1970. Key to the soil units for the soil map of the world. Soil Res. Dev. and Can. Ser. Land and Water Dev. Div. FAO, Rome, Italy.

FENNER, C.N. 1948. Incandescent tuff flows in southern Peru. Bull. of the Geol. Soc. of Am. 59: 879-893.

HOLDRIDGE, L.R. 1967. Life Zone Ecology. 2nd Ed. Tropical Science Center, San José, Costa Rica. 206 p.

INSTITUTO DE GEOLOGIA Y MINERIA. 1975. Mapa Geológico del Perú. Ministerio de Energía y Minas, República del Perú, Lima, Perú.

INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1989. Atlas del Perú. Ministerio de Defensa, República del Perú, Lima, Perú.

MENDIVIL, S. 1979. El sillar de Arequipa. Bull. 18, Revista Ingeniero Geólogo. Universidad Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

MENDIVIL, S. 1982. El sillar. Bull. 19, Revista Ingeniero Geólogo. Universidad Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales). 1975. Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la Costa. República del Perú, Lima, Perú.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Ag. Hbk. 436, USDA- Soil Cons. Ser., Wash. DC., USA.

ZAMORA, C. and R. BAO. 1969. Distribución geográfica, clasificación y uso de los suelos derivados de cenizas volcánicas del Perú.

REHABILITACION, MANEJO Y CONSERVACION

COMO HACER PRODUCTIVOS A LOS TEPETATES EN MEXICO

Reclaiming Tepetate Badlands in Mexico Comment Rendre Productifs les Tepetates au Mexique

Luis Pimentel Bribiesca

División de Ciencias Forestales, UACH, Chapingo, México.

Palabras clave: Suelos volcánicos endurecidos, Tepetate, México, Subsoleo, Rehabilitación, Reforestación, Micropresa.

Index words: Indurated volcanic soils, Tepetate, Mexico, Subsoiling, Reclamation, Reforestation, Micro-damming.

Mots clefs: Sols volcaniques indurés, Tepetate, Mexique, Sous-solage, Réhabilitation, Reforestation, Micro-barrage.

cauces, donde se han plantado también brinzales de árboles forestales, con resultados sorprendentes de sobrevivencia y crecimiento, a causa no solamente de la disponibilidad de agua suficiente, sino también por la formación de un nuevo suelo constituido por arena, limo, arcilla y materia orgánica, producto de las escorrentías.

RESUMEN

Los tepetates son materiales terrosos endurecidos de origen volcánico. Su dureza y bajas concentraciones de nitrógeno, fósforo y materia orgánica, los hacen difíciles de trabajar agrícolamente. Sin embargo, nuestros antepasados indígenas los hicieron productivos terrazeando los terrenos en ladera, con lo cual propiciaron la retención del agua. Esta misma técnica se ha empleado en trabajos de corrección de cuencas, pero utilizando maquinaria pesada con potentes subsoladores (hasta 1.2 m) a fin de facilitar la penetración del agua y el desarrollo radical de los árboles.

Por otro lado, reteniendo en presas de control de azolves todos aquellos materiales transportados por el agua, se han hecho rellenos en los

SUMMARY

Tepetate badlands are composed of hardened volcanic materials. Their hardness and almost nil amounts of nitrogen, phosphorus, and organic matter, render them useless and agriculturally forbidden. Nevertheless, ancient Mexican civilizations cropped the badlands using bench terraces on sloping lands where runoff was retarded and collected. Nowadays, the same technique is used to reclaim heavily eroded soils. Today, however, powerful subsoilers penetrate the badlands to a depth of 1.2 m to favor water infiltration and tree root development.

On the other hand, by retaining all material transported by runoff in small dams for sediment control, gullies have been refilled and have been used to plant tree samplings. The results have been surprising rates of survival and growth due, not only to the ample availability of water, but

also to the formation of new soil consisting of sand, silt, clay and organic matter, products of runoff, with a granular texture different from the parent tepetate.

RESUME

Les t petates sont des matériaux terreux, d'origine volcanique. Leur dureté et leur faible teneur en azote, phosphore et matière organique rendent leur utilisation agricole difficile. Néanmoins, nos ancêtres indigènes les ont rendus productifs en terrassant les pentes, ce qui favorisait la rétention de l'eau dans le sol. Cette technique a été utilisée lors des travaux d'aménagement des bassins versants, mais en utilisant de puissants tracteurs qui ont effectué un sous-solage (jusqu'à 1,20 m de profondeur) afin de faciliter la pénétration de l'eau et le développement racinaire des arbres.

D'autre part, des barrages ont été réalisés le long des cours d'eau afin de retenir les particules érodées et transportées par les eaux. Sur ces sédiments ont été plantés de jeunes arbres. Leur taux de survie et leur croissance ont été excellents. Ce qui s'explique par une bonne disponibilité en eau et par la formation d'un sol nouveau, aux caractéristiques différentes de celles des tepetates.

INTRODUCCION

Para nadie de los participantes a este evento será desconocida la palabra tepetate, pero muchos no sabr n que proviene del vocablo náhuatl tepetlatl, de tetl = piedra y petlatl = petate (Anaya y Rey, 1978). Lo cierto es que todos sabemos que es un material terroso endurecido, muy común en muchos otros países de América Latina como Nicaragua, El Salvador, Honduras (talpetate); Perú, Colombia (hardpan); Ecuador (cangahua); Chile (cangagua, tosca y moromoro)

(Zebrowski, 1991), y que ha causado serios problemas a los agricultores, cuando se le encuentra a poca profundidad o aflorando.

A medida que se asciende en el perfil de la cuenca de México, muchos de los terrenos que fueron o han sido utilizados para practicar una agricultura de subsistencia, han perdido poco a poco la capa arable, hasta quedar en condiciones poco productivas; por lo que muchos fueron abandonados y sometidos a un uso de pastoreo; acción que ha propiciado un aceleramiento de los procesos erosivos, a tal grado de que el tepetate aflora. Ya en tales condiciones, es difícil que la vegetación natural prospere, y si el acto de pastorear persiste, termina el terreno hecho un erial surcado por profundas cárcavas, costosas de corregir.

Las áreas de los ríos del oriente de la cuenca de México que presentaban condiciones alarmantes de erosión fueron corregidas mediante un programa hidrológico-forestal, auspiciado por el gobierno mexicano (Secretaría de Recursos Hidráulicos, Comisión Lago de Texcoco), en el cual se construyeron miles de terrazas sobre las vertientes y cientos de presas de control de azolves en los cauces de dichos ríos. De esta manera cambiaron las condiciones fisiográficas e hidrológicas de esas cuencas.

ANTECEDENTES

La incorporación de los terrenos tepetatosos a la producción forestal, utilizando maquinaria pesada en México, se remonta al año de 1967, cuando el Ing. José Verduzco Gutiérrez, consigue prestado un tractor, de tipo industrial, con la Unidad de Ordenación Forestal, San Rafael. En esa fecha se practicaban subsoleos sobre una franja pequeña a orillas de la autopista México-Puebla, a la altura del poblado San Marcos Huixtoco, Chalco, estado de México. En la mayor parte del terreno afloraba el tepetate o sólo contenía una pequeña capa de suelo, no superior a 20 cm. Sobre las líneas de subsolado,

con profundidades no superiores a los 50 cm, plantaron brinzales de *Pinus montezumae*, *P. michoacana*, *P. patula* y algunos ejemplares de *P. radiata*, así como *Cupressus lindleyi* y *Eucalyptus spp.*

Al año siguiente (1968), el Ing. Felipe Burgos Martínez, Director Técnico de la ya mencionada Dirección de Ordenación, emprende un programa de recuperación de áreas sumamente erosionadas, surcadas de muchas y profundas cárcavas (Burgos, 1969).

La técnica empleada en Ventudero -pareje perteneciente al poblado de Tequexquináhuac, Texcoco, Edo. de México-, consistió en practicar líneas de subsolado a dos metros de separación y distanciadas del siguiente par de líneas, a cuatro metros, aproximadamente. A las franjas de terreno así preparadas, se les interpuso un bordo que recibía y conducía, con su ligera pendiente (1-2%), las aguas que escurrían desde el bordo anterior, colocado a 50-60 m (Fig. 1). Las aguas así captadas iban a drenar a un cauce (río Chapingo).

La plantación se hizo sobre las líneas del subsolado, y después de probar los tractores D-4,

D-6 y D-8, se decidió trabajar con el D-6, empleando dos zancos en el centro o en los extremos de la barra portaherramientas.

De 1969 a 1971, el suscrito se hace cargo del Programa Demostrativo San Marcos, iniciado por el Ing. Verduzco en 1967, cambiando la tecnología a terrazas de absorción con subsolados intercalados. Durante este período se hacen demostraciones de la tecnología a diferentes dependencias; en Tepetlaoxtoc, estado de México (Dirección General de Reforestación); Villavictoria, Méx. (Comisión Federal de Electricidad), y en La Primavera, Guadalajara, Jal. (Comisión Forestal del estado de Jalisco).

La técnica de terraceo, combinado con subsolado, es adoptada por la empresa Protectora e Industrializadora de Bosques del estado de México (PROTINBOS) mediante la iniciativa del Ing. Antonio Sierra Pineda, quien además combina los trabajos manuales (cepa común y zanja trinchera) para aquellos terrenos donde subyace el tepetate a más de 30 cm de profundidad o donde las condiciones imperantes no permitían la entrada de la maquinaria pesada.

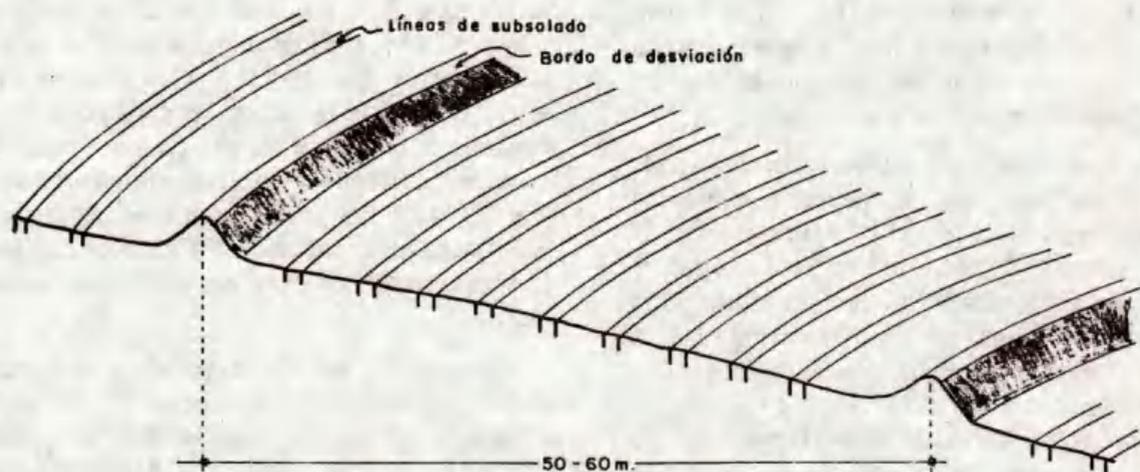


Fig. 1. Forma esquemática del subsolado practicado en la zona de Tequexquináhuac.

A partir de noviembre del '72 y hasta mayo de 1977, el suscrito emprende un programa de corrección hidrológico-forestal en la vertiente oriental de la cuenca de México. Sobre los cauces se construyen cientos de diques de diferentes tipos, según las características de los sitios: presas de palos y ramas, muros de tierra, muros secos, presas de gaviones, diques de mampostería y presas mixtas. Estas obras de control de azolves han sido más profusas en los ríos Chapingo y San Bernardino. En menor cuantía sobre los ríos Xalapango, Coxacoaco y Santa Mónica.

Sobre las vertientes de las cuencas se hicieron trabajos de reforestación, empleando técnicas tanto manuales (cepa común, zanja trinchera, sistema nezahualcōyotl y sistema gradoni) como mecánicas (subsulado en contorno, subsulado en fajas, terrazas de absorción y terrazas canal), en la preparación del terreno.

MATERIALES Y METODOS

Los suelos volcánicos endurecidos son difíciles de trabajar, ya sea que se usen para la producción de cultivos agrícolas o forestales; por tal motivo, la intervención en ellos tiene que ser energética, a fin de prodigar a las plantas un medio donde sus raíces puedan penetrar con facilidad, hasta alcanzar una profundidad que les permita arraigarse al suelo, y así soportar las ráfagas del viento y sobrevivir en épocas de sequía.

Se ha mencionado que en las vertientes de los ríos del oriente del Valle de México se presentan dos condiciones básicas: suelos someros donde el tepetate subyace a 30-50 cm de profundidad, y terrenos sin suelo donde el tepetate aflora. Para ambas condiciones se emplearon tanto las técnicas manuales como las mecanizadas, según las particularidades del sitio. Así por ejemplo, la cepa común (un hoyo de 40 x 40 x 40 cm) se utilizó en terrenos de ladera con suelo donde afloraban rocas, las cuales impedían la entrada de la maquinaria pesada, pero que no podían tampoco emplearse los métodos de zanja

trinchera o gradoni. Estos métodos se emplearon para lugares con pendientes moderadas o fuertes que permitían la elaboración de las zanjas o las terracillas. Quizá valga la pena hacer una pequeña explicación de estos métodos, para que se entienda mejor cómo interactuaban.

Zanja Trinchera

Se hacen zanjas de 3-7 m de longitud, siguiendo las curvas a nivel. Con la tierra producto de la excavación se forman, aguas abajo, unos bordos sobre los que se plantan los arbolitos (brinzales) (Fig. 2).

El fondo de la zanja debe quedar a nivel para que el agua que sea captada por ella se distribuya uniformemente en toda su longitud. La interrupción de la continuidad de la zanja está determinada por obstáculos del terreno (piedras, troncos, arbustos, etc.); de lo contrario, habrá que hacerlo dejando un tabique divisor del terreno natural para continuar con la siguiente.

Sistema Gradoni

En lugar de una zanja se construye una terracilla con una fuerte contrapendiente, a fin de que el agua se detenga en la cuneta de la misma. Su anchura debe ser alrededor de 80 cm. No se recomienda hacerlas de manera continua por más de 100 m de longitud (L). Con esto se evitan desperfectos por fallas en su construcción. Los brinzales se colocan a las tres cuartas partes de su anchura, evitando azolvamientos prematuros (Fig. 3), dado que los extremos de las terracillas están taponados, captando así grandes cantidades de aguas, que de otra manera escurrirían hasta los cauces.

Las tres formas de preparación del terreno (cepa común, zanja trinchera y gradoni) se aplicaban en forma mezclada o combinada, según las condiciones del sitio. Si la cepa común se intercala entre las líneas no trabajadas del terreno, el espacio se aprovecha al máximo, aumentando la densidad de plantación.

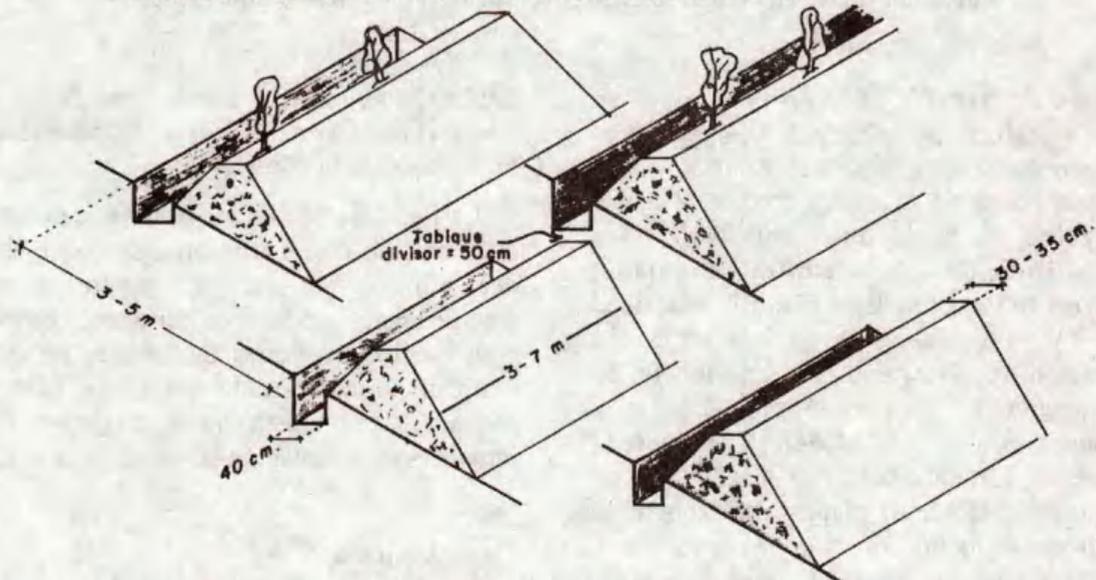


Fig. 2. Forma esquemática de la construcción de la zanja trinchera y su distribución sobre el terreno para una mejor captación de escurrimiento superficial.

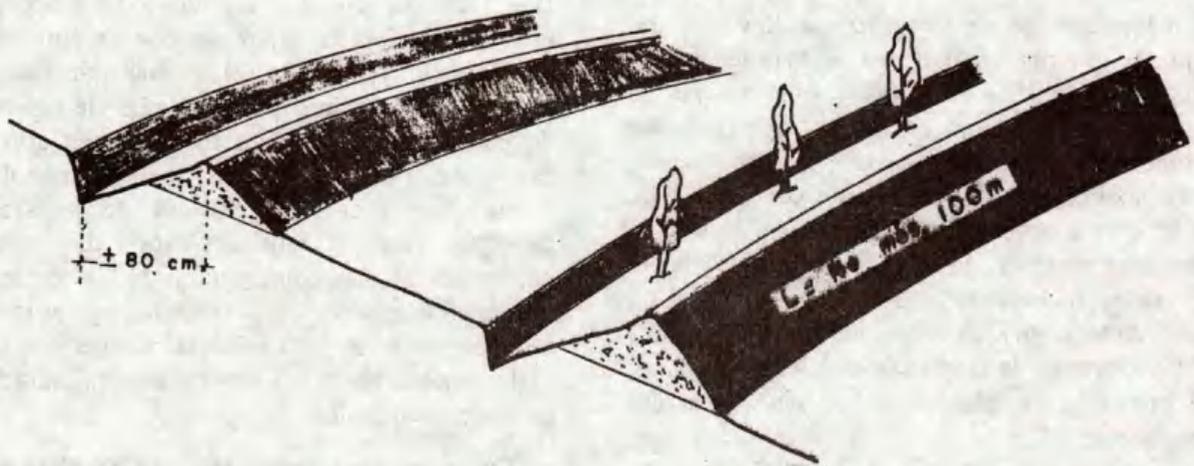


Fig. 3. Presentación esquemática de preparación del terreno con gradoni. Obsérvese la colocación de los brinzales a 3/4 de la anchura.

Es importante resaltar el hecho de que los sistemas manuales descritos no funcionan bien para terrenos tepetatosos, requieren que tengan una capa de suelo, sin importar la pendiente y cierto grado de pedregosidad.

Para aquellas áreas tepetatosas, surcadas de cárcavas, se empleó la maquinaria pesada combinando la construcción de terrazas de absorción y de canal.

Terrazas de Absorción

Se construyeron siguiendo las curvas a nivel. Si el terreno estaba muy irregular en su superficie, primero se les daba una mediana emparejada, tapando la mayor cantidad de cárcavas y/o rebajando los "tlateles" (montículos remanentes de las condiciones originales del terreno) o pináculos, que al mismo tiempo servían como material de relleno.

Después de señalar las curvas a nivel se procedía a realizar un subsolado, dando tantos pasos como fuera necesario, hasta cubrir más o menos la anchura de la futura terraza (4-5 m). Acto seguido se hacía una plantilla (terrazza burda) utilizando la cuchilla angulable (angledozer) del tractor. Esta plantilla aún tiene subidas y bajadas, pero bosqueja la configuración en el terreno. Posteriormente, se siguen subsolando las partes sobreelevadas y emparejando con el angledozer, hasta que la terraza quede formada según el diseño: a) con contrapendiente (5%), b) plana u horizontal, c) con pendiente (máxima 3%).

Se acepta una terraza a nivel longitudinal cuando su piso tiene variaciones (ondulaciones) de más, o menos, 5 cm. Estas hosquedades se rellenarán en las primeras lluvias.

La terminación de la terraza se lleva a cabo después de practicarle un subsolado final (Fig. 4), el cual se hace colocando un par de subsoladores en los extremos de la barra portaherramientas del tractor, lo que viene quedando con una separación de cerca de 2 m, por lo que a ambos lados de dichas líneas de subsolado quedan de 1-1.25 m libres de la anchura de la terraza. Si el tractor sólo trae un zanco (subsolador), el subsolado se realiza a 1/3 de la anchura de la terraza (más o menos 1.5 m). Los brinzales se plantan sobre las líneas del subsolado.

Terrazas Canal

Las terrazas canal se construyen de manera similar a las terrazas de absorción, sólo que la contrapendiente es del orden del 10 al 15%. Siempre llevan una sola línea de subsolado, la cual se recomienda se haga al centro.

Las terrazas canal juegan un papel importantísimo en la estabilidad de todo el sistema de terracedo. Deben desalojar el agua producto de roturas (por mala construcción) de las terrazas ubicadas aguas arriba de ellas; por tal motivo llevan una pendiente longitudinal de 4-5 al

millar. Estas terrazas canal, también se utilizan como vías de penetración y distribución de los brinzales para la plantación.

La intercalación de las terrazas canal entre las de absorción no es arbitraria, sino que tiene que determinarse en campo, según se note la fragilidad del sistema de terracedo, como son la construcción en zonas de relleno en donde se realizan grandes asentamientos; o bien porque ciertas partes tienen un área (entre terrazas) importante de captación de agua de lluvia.

Caso Agrícola

La transformación de una tepetatera a terreno agrícola, se puede lograr mediante la roturación del tepetate hasta una profundidad de 40-50 cm. Las técnicas pueden ser dos: 1) empleando maquinaria pesada capaz de operar con arados de discos muy potentes (80 cm de diámetro) que van sacando propiamente rebanadas de tepetate y después se desquebrajan los terrones con una rastra de tracción; 2) practicando subsolados totales (en seco y a 50 cm de separación máxima) con los mínimos tipos de tractores empleados para la construcción de las terrazas, y luego barbechar con tractor agrícola (en húmedo) para después rastrear. En los dos casos es indispensable la adición de fuertes cantidades de materia orgánica.

Con estos dos tipos de técnicas, muchos de los terrenos que se encuentran en las vertientes de los ríos Texcoco, Chapingo, Caxcacoaco, San Bernardino y Santa Mónica, se han incorporado al cultivo agrícola mediante un programa de transformación de terrenos tepetatosos a terrenos agrícolas, emprendidos por CODAGEM y lo que era antes la Comisión del Lago de Texcoco. Es importante señalar el hecho de que el método número 1 ha sido desarrollado en forma particular o privada por el Sr. Carlos Torales, en terrenos cercanos al Molino de las Flores, Texcoco, México; que por poseer dicha maquinaria, ha mejorado la profundidad arable de sus terrenos.

El campesino ha utilizado una técnica ancestral, desarrollada por Nezahualcóyotl (Rey texcocano), que consiste en hacer zanjas, siguiendo las curvas de nivel, y cuya tierra producto de la excavación, se coloca aguas arriba de dicha zanja, formando con ella un bordo que servirá para retener las partículas de tierra desprendidas y transportadas por la lluvia; formando

así paulatinamente una terraza sucesiva, cuya modelación sea creciente con los pasos de arado que voltean la tierra siempre al lado inferior, de tal manera que el piso de la futura terraza será el de la zanja que se hizo aguas arriba de la misma (Fig. 5). A este método se le conoce como sistema Nezahualcóyotl, y los campesinos lo suelen realizar con tracción animal o mecánica.

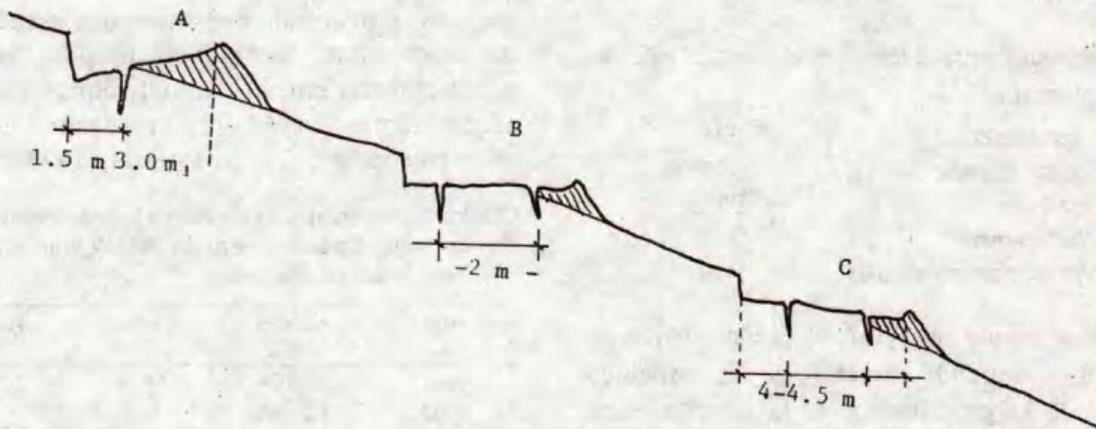


Fig. 4. Perfil esquemático de 3 tipos de terrazas A) con contrapendiente (5), B) horizontal (%) y C) con pendiente (1-3%). En A, cuando el tractor sólo cuenta con un zanco para realizar el subsolado. En B y C, cuando cuenta con más de dos.

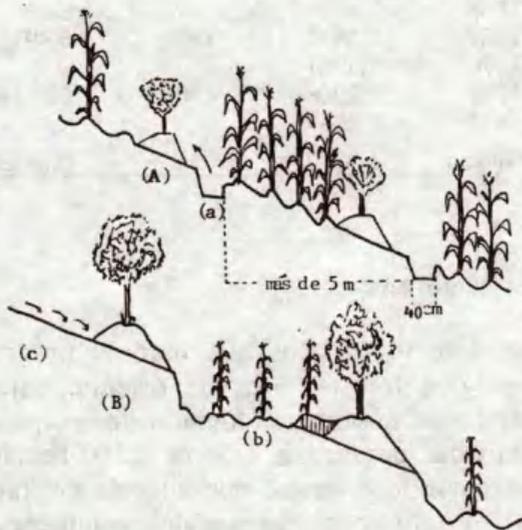


Fig. 5. El sistema Nezahualcóyotl se ha empleado en terrenos tepetatosos de Tequexquináhuac con mucho éxito, sobre todo para proteger sus áreas de cultivo de la erosión hídrica.

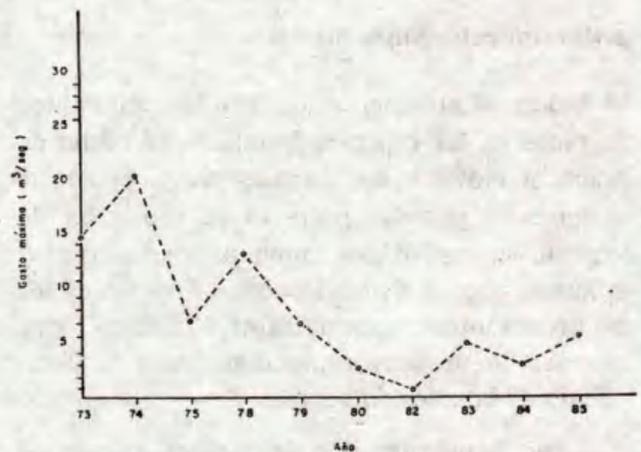


Fig. 6. Comportamiento del río Chapingo durante el período de 1973-85, para el escurrimiento superficial máximo.

RESULTADOS Y DISCUSION

A través del mejoramiento de las laderas tepetatosas de la cuenca del río Chapingo, San Bernardino y otros, empleando maquinaria pesada, se han logrado los siguientes resultados.

Prendimientos

Las siguientes especies se evaluaron al año de haberse plantado:

<i>Pinus michoacana</i>	62%
<i>Pinus montezumae</i>	65%
<i>Pinus radiata</i>	97%
<i>Pinus halepensis</i>	98%
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	94%

Como se puede observar, el prendimiento de las plantas depende mucho de la especie, inclusive de la procedencia de la semilla. Está bien claro, que si una especie al año de plantada tiene bajo prendimiento, a los 5 años tendrá sobrevivencias menores, que lo hagan a uno recapacitar como una especie o procedencia inadecuada a la zona.

Escurremientos Superficiales

Independientemente de los prendimientos logrados en las especies forestales, el hecho de practicar movimientos terrosos enérgicos con la maquinaria pesada, propició la brotación de vegetación espontánea como pastos, hierbas y arbustos, que de alguna manera influyeron en los escurremientos superficiales, mismos que provocaron un mayor prendimiento y aceleramiento de la sucesión vegetal.

Tanto la modificación fisiográfica del terreno (construcción de terrazas de absorción y subsolados), como los gastos máximos se fueron modificando con el tiempo como se puede apreciar en la Figura 6.

Presas de Control de Azolves

La construcción de una serie de diques transversales en las corrientes fluviales propiciaron la acumulación de una serie de materiales que sirvieron para modificar las pendientes de los cauces. Los materiales retenidos por las presas de control de azolves sirvieron para que de manera espontánea o inducida, creciera una vegetación que propiciaba un escurrimiento aún más pausado, provocando que las aguas escurridas, a través de ellas, fueran más limpias, como se puede apreciar en el Cuadro 1, donde se nota el efecto antes (1961-72) y después de la intervención hidrológico forestal (1973-1986).

Cuadro 1. Porcentajes de azolve en los escurrimientos del río Chapingo, durante el período 1961-72 (antes) y 1973-86 (después de la corrección).

Año	Azolve %	Año	Azolve %
1961	0.3596	1973	1.2374
1962	1.2156		
1963	1.3028	1974	1.2536
1964	1.1415		
1965	1.4602	1975	0.4760
1966	1.0403		
1967	1.7219	1984	0.3211
1968	2.4055		
1969	0.6012	1985	0.4913
1970	1.1961		
1971	1.2208	1986	0.5210
1972	2.2067		
Promedio:	1.3227		0.6453

Area Mejorada

Durante los 5 años que duró el programa hidrológico forestal, ríos de oriente, bajo la dirección del suscrito, se lograron reincorporar a la actividad productiva, más de 2,500 hectáreas de terrenos tepetatosos, que además de improductivos sólo aportaban grandes volúmenes de tierra a las corrientes de los ríos. Muchos de esos terrenos fueron mejorados en su topografía a través de la maquinaria pesada para ser más productivos agrícolamente.

Las tepetateras fueron capaces de producir pastos y otros tipos de vegetación, que aún soportan hatos de ganado, en beneficio de los campesinos lugareños.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los tepetates, aun siendo materiales endurecidos, son capaces de desarrollar vegetación arbórea cuando se les remueve con maquinaria pesada potente.

Los bajos crecimientos que las plantas tienen en áreas tepetatosas, se pueden mejorar con

especies poco exigentes en elementos nutricionales, siempre y cuando la captación de agua sea suficiente.

Los tepetates son materiales nobles, cuando se trabajan con maquinaria pesada eficiente.

La roturación de los tepetates se recomienda hacer en seco, para facilitar el desquebrajamiento del material.

La incorporación de materia orgánica es altamente recomendable en terrenos tepetatosos, para evitar otra vez su endurecimiento en años venideros.

LITERATURA CITADA

ANAYA G., M. y J. A. REY CONTRERAS. 1978. Recuperación de los tepetates de la parte oriental de la cuenca de México mediante la estimación del factor de erodabilidad (K). *In: Avances en la enseñanza y la investigación. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.* 253 p.

BURGOS M., F. 1969. Corrección torrencial, recuperación y reforestación artificial en Tequexquiháhuac, Texcoco, México. *México y sus bosques. Epoca III* 28: 4-10.

ZEBROWSKI, C. 1991. Les "tepetates", récupération et mise en valeur des terres volcaniques indurées au Mexique. *ORSTOM Actualités* 33: 13-18.

RECUPERACION DE TEPETATES EN LA VERTIENTE ORIENTAL DEL VALLE DE MEXICO

Tepetate Reclamation in the East Part of the Mexico Valley

F. Alberto Llerena Villalpando y Benjamín Sánchez Bernal

Desarrollo Agropecuario y Forestal del Proyecto Lago de Texcoco, México.

Palabras clave: Tepetate, Suelos volcánicos endurecidos, Proyecto Lago de Texcoco, Reforestación, Valle de México.

Key words: Tepetate, Hardened volcanic soils, Lago de Texcoco project, Reforestation, Valley of Mexico.

RESUMEN

La vertiente oriental del Valle de México es una zona con un pasado histórico brillante. El área del Lago de Texcoco es un ejemplo, donde el Rey Netzahualcōyotl realizó obras de conservación y mejoramiento de suelos y agua. Aunque se piensa que la Conquista Española estuvo involucrada en la degradación de los recursos, el crecimiento urbano desordenado y la demanda de bienes y servicios han estado relacionados con la devastación de los recursos en forma permanente. La erosión, causada por la deforestación y el cambio de uso del suelo, el transporte de sedimentos, la disminución del manto acuífero son algunos de los problemas del área de estudio.

Para solucionar esta situación de deterioro, el Gobierno Federal de México creó el Proyecto Lago de Texcoco en 1973, el cual atacó esta problemática a través de programas de recuperación y acondicionamiento de suelos, reforestación

y otras obras cuyas acciones han dejado beneficios como la incorporación de los tepetates a las actividades forestales y agrícolas, la disminución de la pérdida de suelo, el incremento en la recarga de acuíferos, el control de escurrimientos y, en general, beneficios al ambiente de la zona.

Estas acciones han tenido en los últimos años una gran aceptación y participación de las comunidades, lo cual ha permitido realizar convenios con productores para compartir el uso de maquinaria pesada logrando con ello reducir los costos y aumentar los avances para la recuperación de la vertiente.

SUMMARY

The east part of the Valley of Mexico is a zone with a brilliant history. The area of the Lake of Texcoco is an example where King Netzahualcōyotl performed different works for the conservation and amendment of soils and waters. Although it is thought that the Spaniard conquest was involved in the land degradation, a disorderly urban growth and the demand for goods and services have been related to a steady resource degradation. Erosion, due to deforestation and changes in land use, sediment transport, and reduced aquifer recharge are some of the problems of the study area.

The Federal Government of Mexico created Proyecto Lago de Texcoco in 1973 to solve the deteriorated situation of the watershed. That program involved land reclamation and amendment works, reforestation, and other works and activities. Several benefits were the result of such program, incorporation of tepetate to forest and agricultural activities, reduced soil loss rates, aquifer recharge, flood control, and, in general, an improvement of the environment.

Those works have had a wide acceptance among the population which have shown this by participating in the program. It has been possible to sign agreements with farmers for the use of heavy machinery, which has brought a reduced cost of the reclamation of the severely eroded areas, and an increase in the area covered.

INTRODUCCION

El irracional uso y aprovechamiento que el hombre realiza de los recursos naturales, sin valorar la importancia que representa el manejarlos integralmente, ha propiciado su agotamiento y deterioro a nivel mundial. Estos efectos negativos han sido provocados por las necesidades, ambiciones e ignorancia del hombre, a través de acciones tales como: tala inmoderada, deforestación, cambio de uso del suelo, sobrepastoreo, uso de técnicas agrícolas no apropiadas, incendios, etc. Las manifestaciones principales se observan a través de problemas de desertificación, erosión, arrastre de sedimentos, azolve de cauces y obras, avenidas y desbordamientos, menor recarga de acuíferos y en general, la degradación de los ecosistemas y fuertes alteraciones climáticas.

En la Vertiente Oriental del Valle de México, se observó que a finales de 1970 se tenía un deterioro tal que de las 150,000 ha que aproximadamente tiene esta zona, 54,000 ha presentaban diversos grados de erosión, apareciendo en esta superficie más de un 80% con tepetates, en los cuales según Figueroa (1975) se pierden más de 16,000 kg/ha/año de suelo, en comparación a

los ecosistemas que tienen cobertura vegetal, como el bosque de oyamel, donde tan solo se pierden 10 kg/ha/año.

Los anteriores datos muestran la importancia de contrarrestar esta problemática mediante un manejo integral de cuencas. Así, dentro de este manejo, se debe considerar la cuenca como una unidad ecológica, hidrológica y regional, que debe fungir como el eje ordenador fundamental y como marco de referencia, a partir del cual se generen las ideas, planes y acciones relacionadas con el aprovechamiento racional de los recursos naturales, en especial del suelo.

Atendiendo estos principios básicos, el Proyecto Lago de Texcoco ha tratado de enfocar el manejo de la Vertiente Oriental del Valle de México o Cuenca del Ex-lago de Texcoco desde 1971, realizando acciones en la parte alta, entre las cuales se encuentra la recuperación de suelos con presencia de tepetates.

ANTECEDENTES

Aspectos Históricos

La zona denominada Vertiente Oriental del Valle de México o Cuenca del Ex-lago de Texcoco, forma parte de la gran Cuenca de México (Fig. 1). Esta zona es y ha sido, desde el punto de vista político y económico, la más importante de México y Mesoamérica, lo que ha provocado que sea una de las zonas más densamente pobladas del mundo, lo cual conlleva a que se presenten múltiples problemas derivados de la interacción no equilibrada entre los recursos naturales y el hombre (Llerena *et al.*, 1989).

Estos problemas tienen como antecedente la Conquista de México, la cual ocasionó que la zona del Valle de México se convirtiera en un gran polo de atracción, que motivó una gran demanda de terrenos con fines urbanos, lo que aunado al problema de las inundaciones,

propició la desecación artificial del sistema lacustre, mediante diferentes obras que se iniciaron en el siglo XVI y que se intensificaron en el presente siglo. Esta desecación que drenó artificialmente los lagos, hizo partícipe de esta degradación progresiva al Lago de Texcoco y a su área de influencia, que por sus condiciones geológicas y edáficas, degeneró en una desertificación masiva que afectó la cuenca.

Características Generales de la Vertiente Oriental del Valle de México

Localización

La Cuenca del Ex-lago de Texcoco, está ubicada en la Vertiente Oriental del Valle de México y comprende la zona de influencia del Proyecto Lago de Texcoco abarcando una superficie aproximada de 144,180 ha, ubicándose entre los paralelos 19°22'30" y 19°30'00" norte y los meridianos 98°47'30" y 98°51'15" oeste.

Clima

El clima predominante de la cuenca, de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1973), es templado subhúmedo con verano fresco y con lluvias. La precipitación anual promedio es de 600 mm con variaciones desde 500 mm en la zona del Ex-lago de Texcoco hasta 950 mm en la parte alta. La temperatura media anual varía de 6° a 16°C, y las heladas comúnmente se presentan de noviembre a abril (SARH, 1990).

Topografía

La topografía es accidentada con desniveles desde 2,237 msnm hasta 4,120 msnm en el Cerro de Tláloc. Las partes medias y altas de la cuenca son las más deterioradas, y se encuentran entre los 2,400 y 2,800 msnm, siendo la zona con más problemas de erosión, debido a la interacción entre la topografía, el clima y la acción del hombre.

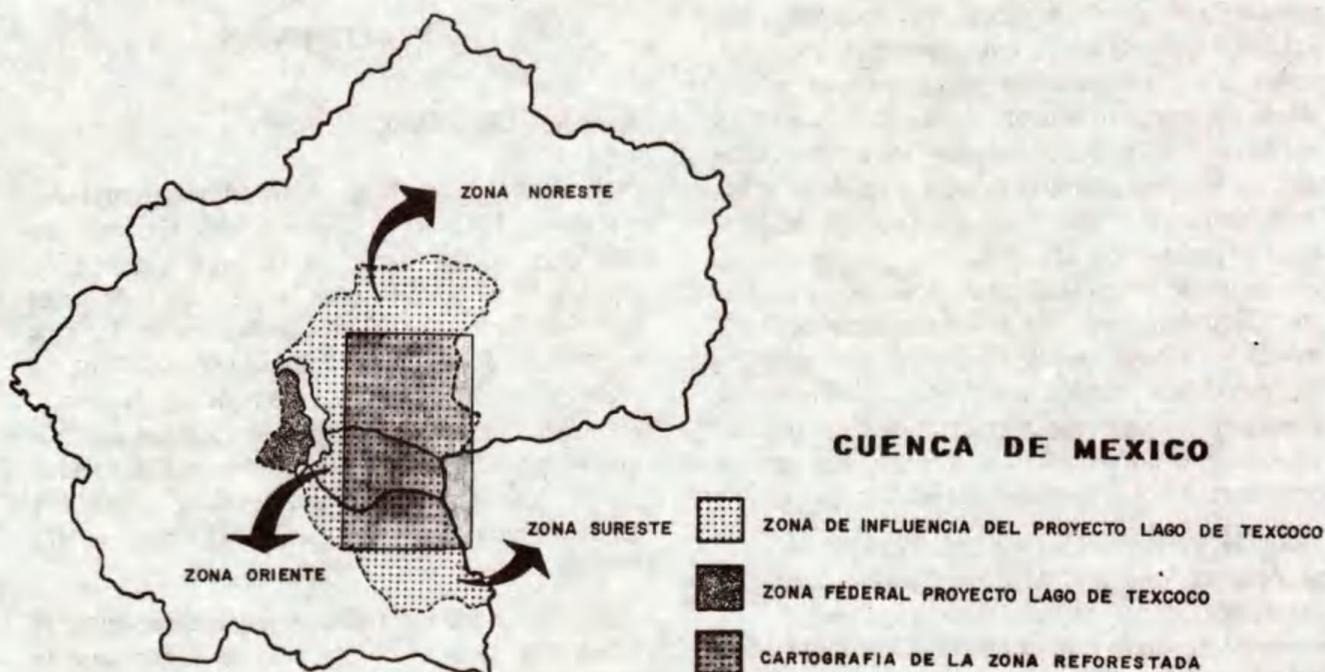


Figura 1. Localización de la Cuenca del Ex-lago de Texcoco.

Suelos

Los principales suelos identificados, de acuerdo a la clasificación FAO-UNESCO utilizada por INEGI, son como sigue: en la parte media, Litosoles, Cambisoles húmicos y eútricos y en la parte alta se encuentran Andosoles húmicos y mólicos y diferentes variaciones de Cambisoles. Además, estos suelos forman muchas asociaciones, siendo la más común en las zonas con obras de recuperación y reforestación, la de Litosol con Phaeozem.

Por otro lado, en la zona de Litosoles se tiene una heterogeneidad de capas endurecidas conocidas localmente como "tepetate", formadas principalmente por brechas y tobas volcánicas de diferentes colores: tepetate gris, rojo y amarillo (Rey, 1978, citado por SARH, 1990).

Vegetación

En las zonas de tepetates con lomeríos de la parte media, se tiene vegetación herbácea como gramíneas, leguminosas, cactáceas, liliáceas y compuestas; agricultura de temporal compuesta principalmente de maíz, frijol, cebada y haba. También existen manchones de vegetación forestal de *Pinus* y *Taxodium*. Finalmente, en la parte alta se tienen pastizales y vegetación forestal de *Pinus Harweggi*, *Juniperus depeana*, *Abies religiosa* y *Quercus sp.*

Hidrología

Hidrologicamente, la Vertiente Oriental del Valle de México fue una cuenca cerrada natural, donde existen once ríos que convergen en el Ex-lago de Texcoco (Cuadro 1). En esta vertiente, de acuerdo a la SARH (1975), se generan el 8.2% de los recursos hidráulicos superficiales y el 8.9% de los subterráneos de todo el Valle de México, siendo su superficie el 11.9% del total de toda la cuenca.

Cuadro 1. Areas de drenaje de la zona de influencia del Proyecto Lago de Texcoco (Fuente: SARH, 1990).

Zona	Río	Area km ²
Noreste	San Juan Teotihuacán	821.6
	Papalotla	491.0
	Xalapango	210.0
	Coxcoacaco	59.1
Oriente		61.5
		175.2
	Texcoco	31.2
	Chapingo	21.4
	San Bernardino	17.0
Sureste	Santa Mónica	55.7
	Coatepec	49.8
		445.0
	San Francisco	151.5
	La Compañía	293.5
TOTAL		1 441.7

Problemática de la Cuenca del Ex-lago de Texcoco

El problema de la Cuenca del Ex-lago de Texcoco, se divide en dos partes: La parte baja o lecho lacustre y la parte alta o de aporte de la cuenca. En este trabajo se mencionan únicamente los problemas de la parte alta, ya que es en esta zona en la cual se localizan e identifican los tepetates y en donde las acciones y trabajos de acondicionamiento de suelos se han realizado intensivamente desde 1973.

En la parte alta de la cuenca, se han presentado fuertes presiones sobre los recursos naturales, propiciados por su cercanía con la zona Metropolitana de la Ciudad de México y el acelerado crecimiento demográfico de la misma. Esta situación ha motivado la tala indiscriminada de los bosques, el sobrepastoreo, el cambio de uso de los suelos, incendios, prácticas agrícolas inadecuadas y otras actividades, que a su vez causaron enormes efectos de degradación, tales como la pérdida de zonas boscosas convertidas a parajes sin vegetación, erosión, arrastre de azolves, disminución en los niveles freáticos, lo cual se traduce en menor recarga, reducción de la productividad de los suelos, etc. Estas condiciones adversas a su

vez, han provocado que los once ríos de la cuenca que descargan en el ex-lago, arrastraran enormes cantidades de sedimentos, especialmente de los ríos Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica y Coatepec, ya que según Pimentel (1987) en 1975, estas corrientes arrastraron 95,434 m³/año, de azolves, dejando las áreas con presencia total de tepetates.

Por otro lado, según observaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, en los pozos profundos del área se ha observado un descenso en sus niveles de 1.0-2.0 m en promedio por año.

Acciones del Proyecto Lago de Texcoco

Las acciones realizadas se han avocado principalmente a implementar trabajos de conservación de suelo y agua, los cuales se iniciaron en 1973, teniendo como base los proyectos específicos siguientes: presas de control de azolves en los cauces de los ríos, terraceo-subsoleo, construcción de zanjas trincheras, cepa común, tinas ciegas, la producción y plantación de especies forestales y la asistencia técnica, agropecuaria y forestal en las comunidades rurales.

Los principales objetivos que se persiguen con estas obras y actividades son un control de la erosión, la retención de azolves, el control de escurrimientos, el incremento en la recarga de los acuíferos, el acondicionamiento de suelos para la plantación de árboles y/o actividades agrícolas, la restauración del ecosistema, motivar la participación de los beneficiarios, etc.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en la recuperación de tepetates de la Vertiente Oriental del Valle de México, son en base al estudio realizado por SARH (1990), así como los recorridos de campo y observaciones de los técnicos del Proyecto Lago de Texcoco, lo cual ha permitido detectar los principales beneficios de los trabajos realizados, cuyos datos se describen a continuación.

Resultados con base en el Estudio SARH-CNA-Proyecto Lago de Texcoco (1990)

Las obras principales que se han realizado son: terraceo, subsoleo, zanjas trincheras, tinas ciegas, reforestación y asistencia técnica, donde el uso de maquinaria, contratación de mano de obra campesina, y la participación de los beneficiarios se han conjugado para lograr el objetivo fundamental de recuperar el equilibrio ambiental de la zona.

Las cantidades de obra y de reforestación, para la recuperación de tepetates que el Proyecto Lago de Texcoco ha ejecutado desde 1973, hasta 1990 son: 6,535 ha de terraceo-subsoleo; 2,116 ha de zanjas, tinas y cepas; 1,135 presas de control de azolves de diferentes tipos y materiales; 21,000,000 de árboles producidos y 7,856 ha reforestadas.

Las diversas obras que se han realizado para el acondicionamiento de suelos (terraceo, subsoleo, zanjas trincheras, tinas ciegas y cepa común) complementados con el programa de reforestación, han permitido cubrir una superficie de 5,110.2 ha plantadas, con una densidad media de 531.5 árboles por ha y con un 23.1% de sobrevivencia. Estos resultados se consideran bastantes buenos, puesto que la reforestación se ha desarrollado en condiciones difíciles tales como: suelos duros (tepetates), talas, incendios, sobrepastoreo, plagas y otros.

Lo anterior originó que se tuviera que realizar más de una plantación en los sitios trabajados (un promedio de 1.6 plantaciones/sitio) lo cual ha limitado la superficie cubierta por el programa.

La tasa de pérdida de suelo estimada, si el programa de obras de recuperación de suelos y reforestación no se hubiera realizado, sería de 16.31 ton/ha/año, mientras que debido a su implementación en la cuenca, la pérdida actual es de tan sólo 0.261 ton/ha/año en las partes donde el proyecto ha trabajado. Esto equivale a una reducción actual del proceso erosivo de un 98%, con respecto a 1973, año en que se inició el programa.

El programa de obras y reforestación en terrenos degradados (con presencia de tepetate) ha

tenido gran repercusión en el ambiente, ya que las obras y la vegetación forestal han propiciado la aparición de 41 especies vegetales, logrando cubrir en un 55% las áreas rehabilitadas. Asimismo, reaparecieron muchas especies animales.

Las especies forestales más eficientes para el control de la erosión en tepetates, reducción de sedimentos y en general en el impacto ecológico son *Eucaliptus sp* y *Pinus montezumae*.

La reforestación en conjunto con las obras de acondicionamiento de suelos (terrazas, subsuelo, zanjas, tinas, cepas), han generado el aumento de la materia orgánica de los suelos, ya que se encontraron contenidos desde 0.27% hasta 5.36% en los terrenos tratados, lo cual se considera excelente ya que los trabajos son en tepetates, los cuales prácticamente no tienen contenido de materia orgánica (Rey, 1978, citado por SARH, 1990).

Datos Estimados por los Técnicos del Proyecto Lago de Texcoco con base en Recorridos de Campo

Se ha trabajado y recuperado en un 90% las cuatro subcuencas más deterioradas (Texcoco, Chapingo, San Bernardino y Santa Mónica) de la cuenca del Ex-lago de Texcoco, las cuales presentaban, en 1971, los mayores índices de arrastres de azolves, de áreas erosionadas con afloramiento de tepetates y desaparición de la cubierta vegetal en sus áreas de aporte (parte media y alta). Este porcentaje representa una superficie total beneficiada de 11,277 ha; al lograr recuperar 2,1200 ha que se encontraban erosionadas, en toda esta zona denominada Oriente.

El uso de prácticas mecánicas de recuperación de suelos y reforestación ha aumentado la recarga de acuíferos, lo que se traduce en mayor retención de agua en la cuenca, estimándose que tan sólo en una superficie de 17,520 ha, conformada por las subcuencas del oriente. (Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica y Coatepec) se han retenido 567.5 miles de metros cúbicos de agua en 2,100 ha tratadas;

aunque se infiere que esta cantidad es mayor, para lo cual se implementa un proyecto de evaluación geohidrológica para precisar este incremento en la recarga.

Actualmente existe una gran respuesta de las comunidades para realizar trabajos de recuperación de tepetates y plantación de especies forestales debido a los múltiples beneficios obtenidos con las obras que el Proyecto Lago de Texcoco ha establecido. Esto ha propiciado una fuerte participación comunitaria, manifestada por las frecuentes solicitudes que han presentado para esta finalidad.

Con base en esa gran demanda comunitaria, el Proyecto Lago de Texcoco ha establecido convenios de cooperación bilateral para el uso de maquinaria pesada, donde los beneficiarios proporcionan los gastos de operación y mantenimiento, lo cual ha permitido aumentar la eficiencia y el tiempo de operación de este equipo; así como el incremento en los avances de recuperación de áreas con tepetates.

CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo son las siguientes:

La fuerte devastación de la parte media de la Vertiente Oriental del Valle de México o cuenca del Ex-lago de Texcoco, originó que para la década de los 70's, ya se tuvieran fuertes problemas de degradación ecológica de la zona tales como: alteraciones de los sistemas hidrológicos provocando inundaciones, acarreo de azolves a las obras y servicio de drenaje en la parte baja, fuertes pérdidas de suelos en las áreas forestales, aparición de aproximadamente 54,000 ha con diversos grados de erosión, etc., lo que a su vez derivó en emigraciones a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, pobreza rural, etc.

Los trabajos y acciones de conservación, recuperación, rehabilitación y manejo de suelos y agua, realizados por el Proyecto Lago de Texcoco han

tenido gran impacto para la recuperación ambiental de la Cuenca del Ex-lago de Texcoco, ya que a la fecha, en la parte alta se tienen aproximadamente 8,000 ha recuperadas con obras de acondicionamiento de suelos (terraceo, subsoleo, zanjas, tinajas) y reforestación. Asimismo la corrección de más de 150 km de cauces con 1135 presas de control de azolves de diversos tipos.

En los 18 años de existencia del Proyecto Lago de Texcoco, se ha logrado concientizar a las comunidades para que participen directamente, estableciendo convenios bilaterales en la realización de obras de conservación de suelo y agua, así como en el cuidado de las plantaciones establecidas.

El programa de reforestación en complemento con las obras de acondicionamiento de suelos han obtenido una densidad de 531.5 árboles/ha, lo cual representa un 23.1% de sobrevivencia, siendo un buen porcentaje ya que las plantaciones forestales se realizan sobre suelos duros, con talas, incendios, plagas, sobrepastoreo

y falta de conciencia de las comunidades para el uso racional de los recursos.

La tasa de pérdida de suelo estimada, si el programa de acondicionamiento de suelos y reforestación no se hubiera establecido, sería de 16.31 ton/ha/año, mientras que con éste la pérdida actual es de 0.261 ton/ha/año en áreas trabajadas.

Se han recuperado en un 90% cuatro de las subcuencas más degradadas de la cuenca del Ex-lago de Texcoco, tales como Texcoco, Chapingo, San Bernardino y Santa Mónica.

Es de vital importancia para la total recuperación de las zonas medias y altas de la Cuenca del Ex-lago de Texcoco, el continuar los trabajos que el Proyecto Lago de Texcoco ha implementado, debido a los beneficios señalados con anterioridad, ya que actualmente se tiene una gran participación comunitaria, lo cual es fundamental en el manejo racional de los recursos naturales de la zona. Este último aspecto es necesario considerar, puesto que ya se observa mayor conciencia por parte de los beneficiarios para la ejecución de las acciones.

LITERATURA CITADA

COMISION NACIONAL DEL AGUA. GERENCIA DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO. PLAN LAGO DE TEXCOCO. 1989. Proyecto de abastecimiento de aguas tratadas de la zona aledaña al Ex-lago de Texcoco. Texcoco, México.

FIGUEROA SANDOVAL, B. 1975. Pérdidas de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del Río Texcoco. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

GARCIA, A.E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México.

LLERENA V., F. A., R. MARTINEZ E. y B. SANCHEZ B. 1989. La Cuenca del Valle de México: evolución y perspectivas. Ponencia. Simposium sobre aguas residuales en la zona metropolitana de la ciudad de México (Impactos y Perspectivas). Fundación Friedrich Ebert. D.F., México.

PIMENTEL B. L. 1987. Experiencias en el manejo de la cuenca del Río Chapingo. Ponencia. Taller internacional sobre proyectos de manejo integral de recursos naturales en cuencas hidrográficas. Durango, México.

SARH. COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO. 1975. Boletín hidrológico nº XI. D.F., México.

SARH. COMISION NACIONAL DEL AGUA. PROYECTO LAGO DE TEXCOCO. 1990. Evaluación del programa de reforestación del proyecto Lago de Texcoco. Instituto de Estudios, Investigaciones y Servicios Agripefor, Chapingo, S.C. Montecillo, México.

REHABILITACION DE TEPETATES: UNA ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCION AGROPECUARIA Y FORESTAL

Tepetate Reclamation: an Alternative for Agriculture, Livestock and Forestry Production

Héctor M. Arias R.

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.

Palabras clave: Tepetate, Rehabilitación, México, Agricultura, Ganadería, Forestería, Erosión.

Key words: Tepetate, Reclamation, Mexico, Agriculture, Livestock, Forestry, Erosion.

RESUMEN

La presión urbana sobre suelos con vocación agrícola ha provocado la migración de la agricultura a zonas en lomeríos, caracterizadas por suelos someros y susceptibles a la erosión. La erosión hídrica en estos terrenos ha permitido el afloramiento de capas endurecidas localmente conocidas como tepetates, los cuales han sido utilizados con fines productivos desde tiempos prehispanicos.

Los tepetates tienen limitantes para la producción agropecuaria y forestal; sin embargo, esfuerzos por incorporar estos terrenos a la producción han sido positivos. Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo dar a conocer: 1) las limitantes del uso de tepetates para la producción agropecuaria y forestal, 2) describir la metodología de rehabilitación, y 3) describir algunas experiencias desarrolladas en el centro del país.

Las limitantes para la utilización de tepetates son: dureza, retención de humedad, fertilidad y

manejo. La metodología de rehabilitación requiere uso de maquinaria pesada, implementos agrícolas, aplicación de fertilizantes (naturales o sintéticos), y prácticas de control de la erosión. Finalmente, se mencionan algunas experiencias en actividades agrícolas, pecuarias y forestales.

Siguiendo un adecuado manejo, la producción agrícola de temporal potencial de tepetates para maíz es de 3.2 ton/ha, mientras que la producción bajo riego con aguas residuales es de 4.0 ton/ha. Los dos rendimientos son mayores que el promedio nacional de 2.0 ton/ha. Cuando se hicieron reforestaciones sobre tepetate, *Pinus montezumae* mostró incrementos medios anuales en altura, mayores que sobre el suelo. Finalmente, en la rehabilitación de tepetates con fines pecuarios, el pasto llorón (*Eragrostis curvula*) y Rye grass (*Lolium perenne*) han mostrado la mejor adaptación en la zona centro del país.

SUMMARY

Urban pressure over agricultural soils have caused migration of agriculture to hillslopes, characterized by shallow erodible soils. Water erosion of hillslopes has allowed the surfacing of hardened layers, locally known as "tepetates".

"Tepetates" show limitations for agriculture, livestock and forestry production; however, efforts for the reclamation of those lands to production have been positive. Therefore, this paper has the aim to 1) analyze the limitations of the utilization of "tepetates" for agriculture, range and forest production, 2) describe the methodology for its reclamation, and 3) describe experiences of reclamation performed in Central Mexico.

The main limitations are: hardness, moisture retention, fertility, and management. The methodology for its reclamation involves the use of heavy machinery, agricultural implements, fertilizer applications (natural or synthetic), and erosion control practices.

Finally, experiences performed about each: agriculture, range, and forest conditions are described, where an adequate management can make those badlands productive.

Under an adequate management, the rainfed agriculture potential yield of corn of tepetates is up to 3.2 ton/ha. The average yield of corn under irrigation with sewage water is about 4.0 ton/ha. Those two figures are higher than the national average of 2.0 ton/ha. When reforestation was performed over "tepetates", *Pinus montezumae* showed larger mean annual increase in height than in soils. When reclaimed "tepetates" are used for rangelands, the Weeping love grass (*Eragrostis curvula*) and Rye grass (*Lolium perenne*) showed good adaptation in Central Mexico.

INTRODUCCION

Tepetate es un término local que se utiliza en México para describir capas compactadas endurecidas subyacentes a suelos de origen volcánico en zonas áridas o semiáridas. La palabra tepetate proviene de los vocablos náhuatl: tépetl, que significa piedra o roca, y petatl, que quiere decir cama o lecho; literalmente significa piso de piedra o roca. Existen otros términos en México para describir estas capas compactadas; en la

región Otomí se le conoce como Xido, y Sheri en la región Tarasca (Nimlos, 1987). Capas endurecidas similares localizadas en áreas volcánicas se les llama Talpetate en Nicaragua, en Ecuador se conocen como Cangahua, en Chile como Cancagua, Moromoro y Tosca, y en Japón Kora y Masa (Nimlos, 1987).

El interés en este material es debido a que por presiones demográficas, los agricultores han sido obligados a usar terrenos en ladera, donde el tepetate se encuentra casi superficialmente o simple y sencillamente aflorando.

Las zonas con afloramientos o presencia de tepetates se encuentran ubicadas en la parte central del país (Zebrowski *et al.*, 1989), donde se encuentra la mayor concentración de población y donde la agricultura de temporal es el uso agrícola predominante, seguida por el uso pecuario. El uso agrícola de estos terrenos está enfocado a la producción de cereales como maíz, cebada, avena, y leguminosas como frijol, haba, veza y otras. Debido a la actual dependencia externa del país en materia alimentaria es necesario proponer alternativas que permitan aumentar la frontera agrícola a través de la apertura de estas áreas potencialmente productivas para subsanar estas deficiencias.

Sin embargo, la incorporación de tepetates a la producción requiere eliminar algunas limitantes. El conocimiento de estas limitantes permitirá definir las soluciones o los tratamientos a llevarse a cabo. Para esto se revisarán tres aspectos importantes: 1) conocer las limitantes de la utilización de tepetates, 2) describir el proceso de rehabilitación, y 3) analizar algunas experiencias llevadas a cabo por instituciones gubernamentales o académicas.

LIMITANTES DE LOS TEPETATES EN LA PRODUCCION AGROPECUARIA

El uso de tepetates tiene cuatro limitantes, las cuales son convenientes conocer, ya que el manejo

que se les quiera dar depende del conocimiento de estos aspectos.

1. Dureza

La dureza de los tepetates impide el desarrollo radicular de las plantas, limitando su potencial de crecimiento, y dificulta las labores agrícolas y su mecanización. Además, los tepetates una vez expuestos al aire se endurecen aún más. Este comportamiento se pudo observar en los estudios realizados por Miranda y Arias (1990a), en los cuales se midió la dureza de tres capas de tepetates de un perfil típico de la Cuenca de México a dos contenidos de humedad correspondientes a Capacidad de Campo y Porcentaje de Marchitamiento Permanente. En el Cuadro 1 se observa que cuando las capas están secas su dureza es significativamente más alta, así mismo, la deformación es mayor cuando las capas endurecidas están secas que cuando están húmedas.

La dureza del tepetate se ha caracterizado de formas diferentes. Valdez (1970) utilizando penetrómetros obtuvo valores promedios de penetración de 1.8 cm, con variaciones de 0.6 a 3.8 cm en tepetates de la Cuenca de México. Nimlos (1989) utilizó pruebas de compresión axial encontrando que la resistencia de tepetates fue de 3-160 kg/cm², con un promedio de 24.7 kg/cm² en 18 muestras. De acuerdo a la clasificación de Terzaghi y Peck (citados por Nimlos, 1989) estas lecturas corresponden a la más alta clasificación de dureza (consistencias mayores de 4 kg/cm²). Aún más, el mismo autor encontró altas correlaciones ($r=0.80$) entre la densidad aparente y la dureza del material. Por otro lado, las mediciones en la cámara axial encontradas por Miranda y Arias (1990a) no fueron tan altas como las encontradas por Nimlos (1989), aunque es conveniente mencionar que las capas obtenidas por Nimlos fueron de lugares más secos y probablemente de otro origen.

Cuadro 1. Relaciones deformación-esfuerzo a diferentes contenidos de humedad para tres capas de un perfil típico con tepetates en la Cuenca de México (Miranda y Arias, 1990 a).

Capa	Humedad %	Condición Bars	Deformación %	Resistencia kPa
5	20.2	CC	6.0	2.1
5	4.6	Seco	1.3	2.7
9	19.0	CC	*	*
9	4.9	Seco	4.8	8.4
10	16.6	CC	3.4	4.6
10	3.2	Seco	2.5	16.5

* La muestra se desmoronó a ese contenido de humedad.

La anterior información permite concluir que el tratamiento de tepetates requiere altas cantidades de energía mecánica, dadas las magnitudes de dureza encontradas, pero también que puede haber un ahorro de energía si se trabajan cuando están húmedos.

2. Retención de Humedad

Una de las características del tepetate es su baja porosidad y consecuentemente, baja conductividad hidráulica. Sin embargo, una vez que el tepetate es molido, tiene "buena" retención de humedad, como se puede apreciar de estudios hechos por Miranda y Arias (1990b) que encontraron altos contenidos de humedad cuando muestras perturbadas fueron sujetas a tensiones de 0.333 y 15.0 bars, en comparación con muestras no perturbadas de las mismas capas (Miranda y Arias, 1990a) de acuerdo al Cuadro 2.

Cuadro 2. Contenidos de humedad a dos tensiones para un perfil típico de tepetates en San Miguel Tlaixpan, Edo. de México (basados en trabajos de Miranda y Arias, 1990 a, b).

Capa	Muestras perturbadas		Muestras no perturbadas	
	Tensión (kPa)			
	33.4	1520	33.4	1520
	% humedad			
5	26.4	22.2	20.2	4.6
9	25.7	19.2	19.0	4.9
10	33.0	25.0	16.6	3.2

En general, puede observarse que existe una alta retención de humedad potencial. Esto quiere decir que la densidad del material es una de las limitantes principales para la producción agrícola, como se puede observar de las bajas conductividades hidráulicas, que son un indicador de la escasa macroporosidad. Esto involucra alto potencial de escurrimiento, así como poca disponibilidad de agua para las plantas.

3. Fertilidad

Esta es quizá la limitante más crítica, ya que la ausencia de materia orgánica y nitrógeno no permite un crecimiento adecuado de las plantas. Un experimento en invernadero realizado por Avila (1963) al plantar lechuga en suelo y tepetate molido permite analizar las expectativas del tepetate una vez fertilizado (Cuadro 3).

El análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas (1%) para la fertilización, y significativas (5%) para el sustrato. Aunque las diferencias son pequeñas, existe un potencial de mayor producción para el tepetate (no caracterizado) en comparación con el suelo. Aunque no se menciona, presumiblemente el suelo es un Phaeozem háplico. Lo anterior permite concluir que los tepetates responden a fertilización nitrogenada y fosfatada, así como que el potencial de producción puede ser mayor que el del suelo, dado que la limitante de densidad y retención de humedad es eliminada.

Pruebas preliminares realizadas por el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Centro de Edafología del Colegio de Postgraduados (no publicadas aún) mostraron una clara deficiencia en la disponibilidad de fósforo para 4 tipos de tepetate.

Cuadro 3. Efectos de fertilización en el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) en invernadero en macetas con suelo y tepetate molido (Avila, 1963).

Tratamiento	Rendim. Suelo	Rendim. Tepetate
	g/maceta	
Testigo	0.123	0.177
+ PK	0.105	0.246
+ NK	1.621	2.221
+ NP	4.042	4.393
+ NPK	4.071	4.346

4. Manejo

Los tepetates se encuentran en lomeríos, donde el suelo es susceptible a la erosión hídrica. A pesar de la dureza de esta capa, este material es muy erosionable y provoca problemas de sedimentación en obras de embalse. Estudios realizados en un área con afloramiento de tepetate demostraron que este material es fácilmente removido y transportado por erosión hídrica, al hacerse mediciones en lotes de escurrimiento de 25 x 2 m (Arias y Figueroa, 1990) para ocho ecosistemas de la Cuenca del Río Texcoco (Cuadro 4).

Una razón de la susceptibilidad de los tepetates a la erosión hídrica es la escasa porosidad del material, mostrándose a través de los bajos valores de conductividad hidráulica, menores de 1 cm/h (Miranda y Arias (1990a). Por otro lado, Rey (1979) encontró que los tepetates grises son más erosionables que los rojos y anaranjados al comparar las tasas de erosión de tepetates.

Esto quiere decir que la aplicación de técnicas agrícolas no adecuadas puede llevar a un retroceso en el proceso de formación de suelo, como se vio en un estudio de Trueba (1979). Lo anterior permite observar que un programa de incorporación de tepetates requiere además la combinación con prácticas mecánicas para el control de la erosión hídrica, como pueden ser terrazas, zanja bordo, surcado al contorno; o prácticas vegetativas, como son el uso de cultivo en fajas, cultivos de cobertura, abonos verdes y otros.

Cuadro 4. Pérdidas de suelo anual promedio de ocho años, y ajustadas para ocho ecosistemas de la Cuenca del Río Texcoco (Arias y Figueroa, 1990).

Uso del suelo	Pérdidas de suelo promedio	
	Observadas	Ajustadas*
	kg/ha/año	
Bosque de pino	34.3	9.9
Zacatonal	24.6	8.2
Bosque de oyamel	3.9	0.3
Zona agrícola alta	1657.5	5156.1
Tepetates	9376.1	6134.3
Pastizal	277.2	93.7
Bosque de encino	5.3	0.8
Zona agrícola alta	2643.2	13838.7

* Los ajustes realizados fueron por diferencias de pendiente del terreno, con base en la ecuación universal de pérdidas de suelo.

PROCEDIMIENTO DE REHABILITACION DE LOS TEPETATES

La recuperación de tepetates es un proceso costoso debido a las dificultades para laborearse, la reducida fertilidad, y la necesidad de maquinaria pesada para la roturación, además del inconveniente de que los tepetates se encuentran asociados, a terrenos en pendiente.

El laboreo y la fertilización de los tepetates existen desde tiempos prehispánicos (Williams, 1972) a través del relleno con suelo fértil, o preparando el terreno con el rompimiento de la costra superior y la pulverización de los terrones, tlaluitectli, y la fertilización a través de la quema de hojas de maguey y su incorporación al suelo.

Estas técnicas, que aún se usan, han sido complementadas con el uso de maquinaria pesada, haciendo subsoleo y terraceo por CODAGEM (Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agrícola y Ganadero del Estado de México) y la Comisión del Lago de Texcoco (actualmente Proyecto Lago de Texcoco), e incluso la remodelación del paisaje usando pequeñas descargas de pólvora (comunicación personal, Ing. Jesús González Ríos, Colegio de Postgraduados).

En general, la incorporación de tepetates se realiza en función de la pendiente del terreno y del posible uso a través de la preparación del terreno y fertilización.

1. Preparación del Terreno

Terrenos planos o ligeramente ondulados

En este caso sólo se realiza una roturación utilizando un tractor de más de 250 HP, con un cincel (ripper) que penetra entre 0.30 a 0.60 m, en función de la dureza del material.

Terrenos con pendientes pronunciadas

Si el terreno está en ladera, se realiza la formación de terrazas, generalmente de banco (a nivel), y posteriormente se hacen roturaciones (subsoles), que pueden ser en un sentido o cruzados.

2. Uso Agrícola

Si los terrenos van a ser utilizados con fines agrícolas, después del paso del ripper se realiza el barbecho hasta que el tamaño de los terrones permita el paso de una disqueadora, que sería el último paso de energía mecánica.

3. Uso Forestal y Pecuario

Para los usos pecuarios o forestales no se barbecha ni se pasa el arado de discos. En terrenos en ladera, en lugar de terrazas se pueden construir zanjas bordo (zanjas con el bordo aguas abajo) construidas siguiendo curvas a nivel o surcado lister en caso de pastizales.

4. Fertilización

El siguiente procedimiento consiste en la aplicación de mejoradores del suelo o fertilizantes. El uso de estiércoles presenta ventajas porque la aplicación de materia orgánica sirve como un mejorador no sólo de la fertilidad sino también de las propiedades físicas relacionadas con la retención y conducción del agua del suelo. Sin embargo, la aplicación de fertilizantes también es utilizada, e incluso existen combinaciones de ambos.

EXPERIENCIAS EN LA REHABILITACION DE TEPETATES

En general, estas metodologías se han llevado a cabo en forma similar para diferentes actividades: agrícolas, pecuarias y forestales. Enseguida se hace una breve descripción de algunos trabajos de investigación, casi todos ellos realizados en la parte central del país.

1. Actividades Agrícolas

Trueba (1979), trabajando con dos tipos de tepetate, blanco (gris) y rojo, encontró que el

haba y la calabaza tuvieron una buena adaptación al tepetate recién roturado al que se le aplicó estiércol para compensar el bajo contenido de materia orgánica, aunque las producciones fueron menores a la producción promedio de la zona. En otro estudio, en el que se usaron prácticas mecánicas para controlar la erosión, se observó que al hacer el corte para las terrazas se tenía afloramiento de tepetate y que con adiciones de materia orgánica y los pasos de los implementos a los tres años se uniformizó el crecimiento de los cultivos (Trueba, 1978).

Actualmente, se está realizando un trabajo de evaluación de programas de conservación de suelos, resultados preliminares se presentan enseguida. En el Cuadro 5 se muestra la producción de maíz de tepetates de color blanco o amarillo con respecto al suelo. La producción promedio del área es de 0.5 ton/ha. A pesar de la enorme variación de la información colectada, se puede observar que las ganancias sumadas de los productores son mayores que las pérdidas. Los autores mencionan que las mayores producciones se combinaron con el uso de técnicas de aprovechamiento de agua *in situ* (contreo). Por otro lado, tres de los seis productores que tuvieron pérdidas se dedican a

actividades ajenas a la agricultura. De hecho, los dos con las mayores pérdidas, son comerciantes.

En el Distrito de Riego de Mixquiahuala, Hgo., donde se riega con aguas negras, la producción media de maíz para estos suelos es de 4.0 ton/ha, la cual es el doble de la producción media nacional.

2. Actividades Pecuarias

En un estudio de recuperación de terrenos con tepetate con fines de producción pecuaria, en el área de influencia de Chapingo, González (1981) hizo una evaluación de posibles especies forrajeras que incluyó 32 gramíneas y 10 leguminosas. Los experimentos fueron realizados en terrazas construidas en tepetates, encontrando que los pastos más adaptables son: Rhodes (*Chloris gayana*, Bells), Kikuyo Whittet (*Pennisetum clandestinum*), pasto Llorón (*Eragrostis curvula*), Bromo (*Bromus inermis*) y varios Buffel. Las leguminosas no tuvieron el éxito esperado, pero dada la importancia forrajera y de abono verde, las especies que tuvieron mejores resultados fueron Trébol ladino o blanco (*Trifolium repens*), Trébol Alsike (*T. hybridum*), Trébol rojo Kendal (*T. pratense*),

Cuadro 5. Producción de maíz en terrenos de productores que han realizado prácticas de rehabilitación de tepetates con fines agrícolas en la parte oriente de la Cuenca de México (Ortiz y Zebrowski, 1990).

Localidad	Sustrato	Tiempo años	Fertilización kg/ha	Rendimiento ton/ha	Beneficio miles \$
Tequexquahuac	Suelo		183 - 0 - 0	0.79	1 648
"	Amarillo	10	172 - 96 - 0	2.16	784
"	Amarillo	5	96 - 0 - 0	0.00	- 10
S. Pablo Ixayoc	Amarillo	12	16 - 7 - 0	1.13	135
" " "	Amarillo	7	266 - 133 - 0	3.80	3 000
" " "	Blanco	10	0 - 0 - 0	0.97	- 411
S. Dieguito	Blanco	1	381 - 381 - 0	0.39	- 562
" " "	Blanco	1	100 - 50 - 0	0.56	409
S. Miguel Tlaixpan	Amarillo	13	0 - 0 - 0	0.00	- 681
S. Juan Amanalco	Blanco + riego	15	233 - 116 - 0	2.36	2 494
" " "	Blanco + riego	6	-----	1.22	1 916
S. Juan Tezontla	Blanco	8	92 - 46 - 0	0.00	- 2 172
" " "	Blanco	8	92 - 46 - 0	0.00	- 1 264

Blanco + riego = tepetate blanco con riego.
Fertilización: kg/ha de nitrógeno-fósforo-potasio.

Rendimiento de grano únicamente.
El beneficio incluyó precio del grano y de rastrojo.

Trébol huban o dulce (*Melilotus alba annua*), y cuatro variedades de Trébol subterráneo (*T. subterraneus*). El principal problema de las leguminosas, con excepción del trébol ladino, trébol rojo Kendal, trébol huban y trébol madrid o amarillo, fue la falta de asemillamiento, aunque hubo inflorescencias. Es conveniente mencionar que para el desarrollo de esta investigación se aplicó fertilizante 40-30-00, con sulfato de amonio y superfostato triple como fuentes de nitrógeno y fósforo, respectivamente.

En una segunda fase del experimento, González (1984) utilizó Pasto Llorón y Rhodes para evaluar el crecimiento en terrenos con afloramiento de tepetate que habían sido roturados con maquinaria pesada en San Pablo Ixayoc, Estado de México, y que después tuvieron que acondicionarse. Los resultados mostraron que el pasto Rhodes fue el que mejor se adaptó a estas condiciones, ya que el pasto Llorón no logró asemillar al segundo año, excepto cuando se aplicó estiércol y fertilizante, observándose efectos altamente significativos debido a la aplicación de estiércoles y fertilizantes. La cobertura de ambos pastos fue mayor al 80%, lo cual es un factor importante en el control de la erosión.

3. Actividades Forestales

Se han hecho muchos trabajos de recuperación de tepetates a través de reforestación. Algunos resultados de esos trabajos se mencionan a continuación.

Pedraza *et al.* (1987), al analizar el programa de reforestación realizado por la Comisión del Lago de Texcoco, encontraron que el *Pinus radiata* crecía mejor en tepetate gris que incluso en el suelo, mientras que las Casuarinas y el Eucalipto lo hacían mejor en el tepetate rojo. Sin embargo, no mencionan las diferencias en tratamiento mecánico que realizaron, ya que algunas plantaciones fueron realizadas sobre terrazas, subsoleos o zanjas bordo, y combinaciones (especialmente de las dos primeras). Posteriormente, en los mismos lugares Arias y Figueroa (1990) encontraron que *Pinus montezumae* tuvo

mayores incrementos medios anuales en altura (cm/d) en tepetate rojo, que incluso en el suelo; de hecho, el tepetate rojo fue el siguiente mejor sustrato para las reforestaciones realizadas por el Proyecto Lago de Texcoco. Este programa de reforestación cubrió una superficie mayor a 5,000 ha.

En el sitio experimental Matlalohcan, Estado de Tlaxcala, Garzón (s/f) reporta varios experimentos de plantaciones forestales en tepetates. Al probar varios pinos en cepas de 50 x 50 x 50 con bordos encontraron que los pinos que mejor sobrevivieron después de 12 años fueron *P. teocote*, *pseudostrobus* y *brutia* (91.6%), siendo los primeros dos los que mayor altura y cobertura alcanzaron. En otro experimento, pero plantando pinos cada 2 m en terrazas de banco con subsoleo (30-50 cm) se encontró que el *Pinus pseudostrobus*, seguido por el *Montezumae* tuvo la mejor sobrevivencia, así como altura y cobertura. En otra plantación sobre terrazas de banco de 7 m con subsoleo (0.35-0.5 m) con aplicaciones de fertilizante (35-15-5) más 1 l de transplanfol y 0.5 kg de harina de maíz, se probaron diferentes especies de coníferas encontrándose a los 11 años que el *Cupressus lindleyii* tuvo la mejor cobertura (83.8%), pero la mayor sobrevivencia fue del *Fraxinus americana* (95.4%), y la mayor altura fue del *Pinus radiata* (4.79 m). Al comparar *Casuarina equisetifolia* con *Acacia retinoides*, la primera tuvo mayor sobrevivencia (95.7%) y crecimiento (2.73 m) después de 8 años al plantarse sobre cepas de 50 x 50 x 50 con bordo cada 1.5 m. Con esta misma metodología se evaluaron *Amelanchier denticulata*, *Buddleia cordata* y *Tecoma stans* encontrándose que la primera tenía mayor sobrevivencia (97.3%), cobertura (165.6 cm) y altura (1.6 m), pero *B. cordata* produce mayor hojarasca.

ASPECTOS ECONOMICOS

Experiencias en las cuencas de los Ríos Texcoco y Chapingo han demostrado que el proceso erosivo en tepetates puede ser controlado

con combinaciones de prácticas mecánicas y vegetativas suplementadas con trabajos de fertilización para acelerar el proceso de formación de suelos. Algunos trabajos han demostrado ser redituables económicamente siguiendo la metodología mencionada por Arias y Figueroa (1981). Esto quiere decir que los tepetates pueden ser recuperados en forma autofinanciable. Sin embargo, la aplicación de esta metodología depende del "tipo" de tepetate y el ambiente físico en el que se encuentra para poder extrapolar los resultados, ya que algunos tepetates no producen los mismos resultados. Es recomendable pues establecer metodologías específicas para los diferentes tipos de tepetate, ya que sus propiedades son diferentes.

CONCLUSIONES

En esta revisión, que tiene como finalidad encontrar un proceso metodológico para la incor-

poración de tepetates a la producción agropecuaria y forestal, se discutieron los siguientes aspectos:

Las limitantes de los tepetates para su rehabilitación, siendo ellas: dureza, alta densidad aparente, baja fertilidad, y erosionabilidad.

Las metodologías de rehabilitación, basadas en el punto anterior, que deben incluir: maquinaria pesada, labranza primaria (barbecho), aplicación de abonos naturales o sintéticos, y prácticas de control de la erosión.

Finalmente, se expusieron algunas experiencias en usos agrícolas, pecuarios y forestales, que permiten demostrar las posibilidades y potenciales de la incorporación de tepetates a la producción.

También es conveniente agregar la necesidad de caracterizar los tepetates, ya que se han encontrado amplias variaciones en las propiedades de los tepetates, y esto ha limitado la extrapolación de los resultados encontrados.

LITERATURA CITADA

- ARIAS R., H. M. y B. FIGUEROA S. 1981. Análisis económico de una obra de rehabilitación de suelos degradados por erosión hídrica, tomo II, pp. 838-864. *In*: Memorias del XIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 29/11 al 3/12. San Luis Potosí, México.
- ARIAS R. H. M. y B. FIGUEROA S. 1990. La ecuación universal de pérdidas de suelo en la cuenca del Río Texcoco, pp. 12-17. *In*: XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo. La Habana, Cuba.
- AVILA H. M. 1963. Recuperación de suelos erosionados de Chapingo, México, con plantaciones forestales. Tesis de maestría, Rama de Suelos, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- GARZON C. C. E. s/f. Avances de investigación en la introducción de especies forestales sobre tepetates del área experimental forestal Matlahohcan, Tlaxcala. INIFAP, Tlaxcala, México. pp 35-47.
- GONZALEZ R. J. M. 1984. Introducción y evaluación de gramíneas y leguminosas establecidas en áreas degradadas para su uso en conservación y producción de forraje en sistemas asociados con maíz. Tesis de maestría, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- GONZALEZ R. J. M. 1981. La producción de maíz para grano y forraje en tepetates recuperados mediante una práctica mecánica sencilla. Tesis profesional, Depto. de Zootecnia, UACH., Chapingo, México.
- MIRANDA M., M. E. y H. M. ARIAS R. 1990a. Caracterización de la dureza de un perfil típico en tepetates, p. 28. *In*: Memorias del XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- MIRANDA M., M. E. y H. M. ARIAS R. 1990b. Ajuste de curvas de retención de humedad para tepetates, p. 22. *In*: Memorias del XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.

NIMLOS, T. J. 1987. Nomenclatura de horizontes endurecidos en suelos de cenizas volcánicas. *In: Ruiz Figueroa, J. F., (ed.) Uso y Manejo de los Tepetates para el Desarrollo Rural.* UACH., Chapingo, México.

NIMLOS, T. J. 1989. The density and strength of mexican tepetate (Duric Materials). Enviado al *J. Soil and Water Conservation.*

ORTIZ S. M. DE LA L. M. y C. ZEBROWSKI. 1990. Sistema de producción de los tepetates del Oriente de la Cuenca de México. En preparación.

PEDRAZA C. E., C. RODRIGUEZ F. y A. M. FIERROS E. 1987. Establecimiento de cinco especies forestales en tres tipos de tepetate de la zona de Tequexquináhuac a Coatepec, Estado de México. *In: Ruiz Figueroa, J. F., ed. Uso y Manejo de los Tepetates para el Desarrollo Rural.* UACH., Chapingo, México.

REY C. J. A. 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la Cuenca del Río Texcoco en base al factor K. Tesis Maestría, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

TRUEBA C. A. 1978. Evaluación de la eficiencia de cuatro prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrimentos por erosión hídrica en terrenos agrícolas de temporal. Tesis Maestría, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

TRUEBA C. A. 1979. Reincorporación de terrenos degradados a la producción. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. DF, México.

VALDEZ M. L. A. 1970. Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de Tepetate de la cuenca de México. Tesis Maestría, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

WILLIAMS, B. J. 1972. Tepetate in the Valley of Mexico. *Annals of the Association of American Geographers* 62 (4): 618-626.

ZEBROWSKI, C., D. PEÑA H. y J.M. VALENCIA B. 1989. Reincorporación de los tepetates a la producción agrícola. II. Avances de los trabajos de clasificación y cartografía, p. 3. *In: Memorias del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.

ZEBROWSKI, CLAUDE, J. ETCHEVERS y H. ARIAS. 1989. Incorporación de tepetates a la producción agrícola. III. Avance en los trabajos de caracterización, p. 4. *In: Memorias XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.

SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS (TEPETATES) EN EL ESTADO DE TLAXCALA: DISTRIBUCION, REHABILITACION, MANEJO Y CONSERVACION

Indurated Volcanic Soils (Tepetates) in the State of Tlaxcala: Distribution, Reclamation, Management and Conservation

Gerd Werner

Tropeninstitut, Justus-Liebig-Universität-Giessen, Giessen, Alemania.

Palabras clave: México, Tlaxcala, Suelos volcánicos endurecidos, Fragipanes, Caracterización, Erosión, Rehabilitación.

Index words: Mexico, Tlaxcala, Indurated volcanic soils, Fragipans, Characterization, Erosion, Reclamation.

RESUMEN

Aproximadamente el 70% de la superficie total del Estado de Tlaxcala y del Sur del Estado de Hidalgo es de suelos volcánicos, que por sus propiedades originales y las condiciones climáticas en el Altiplano Mexicano, tienden a la formación de tepetates (Fragipanes).

Partiendo del hecho que el hombre, al hacer agricultura, es el causante primordial de la erosión en la Altiplanicie Mexicana se explica, con ejemplos en el Estado de Tlaxcala, las distintas etapas y fenómenos de la erosión en los suelos volcánicos y la formación de los tepetates correspondientes.

Asimismo se trata la problemática de la población campesina que vive en regiones tepetatosas, el manejo de estos suelos y su productividad, tomando en cuenta los esfuerzos gubernamentales para incorporar los tepetates al uso agrícola.

También se muestran ejemplos de una incorporación deficiente y un manejo inadecuado en suelos roturados, a veces con una enorme inversión de parte de las dependencias gubernamentales; se critica la manera de la roturación empleada por las dependencias de gobierno, así como el manejo que hacen los campesinos de los suelos roturados.

Se comparan los datos de erosión de tepetates no disturbados y tepetates roturados por maquinaria pesada obtenidos en parcelas experimentales instaladas en el Bloque de Tlaxcala. A partir de la interpretación de los valores de escurrimiento de precipitaciones y de la erosión del material, así como de los resultados de las parcelas con cultivo de maíz y leguminosas fertilizadas de diferente forma, se proponen indicaciones especiales para el uso y manejo adecuado de los tepetates roturados.

Uno de los resultados interesantes es que, en tepetates recientemente roturados, el frijol *Phaseolus coccineus* (ayocote) funciona como cultivo pionero.

Finalmente se hace énfasis en que para obtener una incorporación eficaz de los tepetates, las instituciones gubernamentales tienen que tomar en cuenta los parámetros naturales de los suelos volcánicos endurecidos, así como las condiciones climatológicas en las distintas regiones del Altiplano Mexicano.

SUMMARY

About 70% of the total area of the State of Tlaxcala and of the southern part of the State of Hidalgo consists of volcanic ash soils. Because of the especial qualities of the parent material and under the climatic conditions given in the Mexican Highlands, these soils tend to be transformed into tepetate (Fragipans). The different degrees of erosion in volcanic ash soils and of their tepetate formation are discussed.

Especial consideration is given to the fact that man interfering into his environment by agriculture causes soil erosion in the Central Mexican Highlands.

The paper also deals with the problems of the rural population who live in the tepetate regions, with the management of these soils as well as with their productivity. Special consideration is given to the efforts of the government to reclaim tepetate areas in order to make their usage possible.

Examples of unsuccessful reclamation and soil cultivation which had caused enormous investment of the government are given. The methods of reclamation as well as the inadequate management of the reclaimed soils by the small farmers are critically analysed.

Data of erosion plots of non-cultivated tepetate areas representative of the "Bloque de Tlaxcala" are compared with those of cultivated ones. Especial comments on adequate land management in the future are the result of the information gained by measuring precipitation, run off and soil loss and observing the behavior of fertilized plots with maize and leguminous plants. Experiments of recently reclaimed tepetate areas showed that "*Phaseolus coccineus*" could possibly be a pioneer plant.

The report concludes with the result that tepetate areas in the Central Mexican Highland can only be successfully cultivated if the soil physical and soil chemical parameters of hardened volcanic ash soils are taken into consideration as well as the given climatic conditions.

INTRODUCCION

Las investigaciones realizadas en los últimos años en el Altiplano Mexicano permiten mencionar lo siguiente:

1. Bajo las condiciones climatológicas imperantes en los últimos años en el Altiplano Central Mexicano, que forma parte del Eje Neovolcánico Transversal, excluidas las zonas de las altas montañas, se desarrollaron durante el Cuaternario, en sedimentos de toba, suelos de tipo Cambisol, con horizontes duros (tepetates) en el subsuelo. Según Aepli y Schönhals (1975) y Miehlich (1974), la formación de los tepetates se debe a la liberación de sílice en forma de SiO_2 por la meteorización de los sedimentos de toba. El sílice es lixiviado vertical y/o lateralmente bajo precipitaciones de 450 a 900 mm por año y temperaturas de 15 a 20°C. Esta lixiviación ocurre, como la de arcilla y la de calcio, hasta la profundidad donde alcanza la infiltración del agua en los poros grandes ($>10 \mu\text{m}$).

2. Si el suelo que sobreyace a estos Cambisoles es erosionado hasta dejar descubierto el sub-horizonte enriquecido por SiO_2 , se observa el siguiente fenómeno: la superficie de este sub-horizonte se endurece rápida e irreversiblemente por la cementación de los poros grandes ($>10 \mu\text{m}$), a causa de la sílice, impidiendo la infiltración de la lluvia, presentándose así escurrimientos superficiales que ocasionan el arrastre de los restos del Cambisol subyacente.

3. En el contacto entre la superficie del tepetate y el perfil del Cambisol se observa una erosión grave, causada por el escurrimiento de las precipitaciones pluviales, que provocan una desnudez mayor de los horizontes tepetatosos todavía cubiertos de suelo (Figura 1).

MATERIALES Y METODOS

a) Mapeo edafológico del Estado de Tlaxcala y del sur del Estado de Hidalgo con base en foto-

interpretación (Miehlich, 1974 y 1991; Werner, 1988 Y 1989; Werner et al., 1978). se empleó el siguiente material cartográfico:

Fotos aéreas de la región Puebla-Tlaxcala, (CETENAL, 1974; DETENAL, 1981)

Cartas topográficas de DETENAL-INEGI 1:50,000; hojas N°.: E14-B21, 22, 23, 24, 31, 32, 33, 34, 35, 42 Y 44.

b) Distribución de poros:

Se utilizó el procedimiento propuesto por el Soil Conservation Service de los EU (SCS, 1972) con ollas de presión con presiones diferentes de 2.5; 6.0; 10.0; 33.3; 100.0; 1,500.0 Kilo-Pascal (kPa).

c) Densidad real (D_r), densidad aparente (D_a) y porosidad total (VTP):

La densidad real se midió con picnómetro 100 ml (agua y xylol) y la densidad aparente con cilindros de 100 ml. La porosidad total se estimó con el método de Hartge (1965).

d) Infiltración:

Se determinó con el método de doble anillo (Hanus, 1965).

e) Erosión:

Para la medición de la erosión se instalaron parcelas de captación según Wischmeier y Smith (1978) de 22x2 m y de 2x3 m en tepetates desnudos, no roturados.

f) Se registró la precipitación diaria con pluviógrafo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Condiciones Fisiográficas y Geológicas

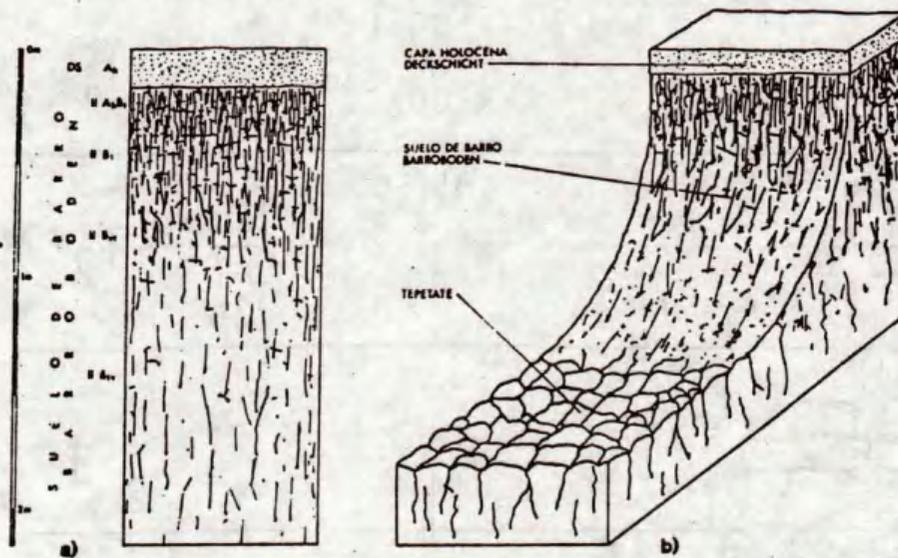
Si se examina el mapa de los suelos del Estado de Tlaxcala y se enfoca solamente la unidad fisiográfica llamada "Bloque de Tlaxcala", se nota que aproximadamente un 80% de la superficie de esta unidad del paisaje está cubierta por superficies tepetatosas. El restante 20%, es dedicado al cultivo agrícola intensivo. Aunque el Bloque de Tlaxcala, parece la prolongación de la Sierra Nevada hacia el noroeste, esto no es así, ya

que su base se formó por sedimentos lacustres del Mioceno-Plioceno los cuales, en la misma época (Terciario), se elevaron por movimientos telúricos, a una altura de 2,600 msnm, con una inclinación hacia el norte aproximada de 2° a 5°. Durante la época del Cuaternario, estos sedimentos lacustres, fueron cubiertos paulatinamente por cenizas volcánicas, que a veces fueron trasladadas por el viento, las cuales en el Altiplano Mexicano, se conocen con el nombre de sedimentos de toba (Heine y Schönhals, 1973). Después de la sedimentación de las diferentes capas de toba, se desarrolló un suelo de tipo Cambisol, pudiéndose distinguir en un perfil colectivo, hasta siete capas en las que se desarrolló siempre un suelo Cambisol (Fig. 2).

Es entendible que en las condiciones antes mencionadas, los horizontes tepetatosos que aparecieron en la superficie del paisaje actual, después de la erosión tienen propiedades químicas y físicas distintas.

Los Tepetates con Mayor Incidencia en el Bloque de Tlaxcala

La base del Bloque de Tlaxcala está cubierta de sedimentos de toba de color café, con una edad de más de 20,000 años, en la cual se han formado tepetates, cuyas edades no se pueden distinguir claramente. Arriba de las tobas de color café (T3) se encuentra con frecuencia una capa de toba de color gris claro (T2), que tiene una edad aproximada de 12,000 hasta 15,000 años, perteneciente al final del Pleistoceno (Wisconsin III). La capa más reciente, la fechamos en el Holoceno y la nombramos capa Holocena (Aeppli, 1973; Werner, 1989). Así a primera vista contamos, dejando la capa Holocena aparte, dos capas de sedimentos de toba en las que se desarrolló siempre un tepetate. Cabe mencionar, que la parte plana del Bloque de Tlaxcala, es dominada por la toba gris (T2) con suelo Cambisol vértico y el tepetate. En la parte con más relieve, que es el sur del Bloque, encontramos solamente algunos restos de toba gris, como islas testigo arriba de los tepetates de color café (T3).



a) Suelo de Barro con Capa Coluvial (DS)
 b) Suelo de Barro con Tepetate y Capa Coluvial (Capa Holocena)
 c) Erosión progresiva de un Suelo de Barro
 (Ilustraciones según AEPPLI y SCHÖNHALS 1975)

Figura 1. Formación de un tepetate en una capa de sedimentos de toba (Tomado de Aepli y Schönals, 1975).

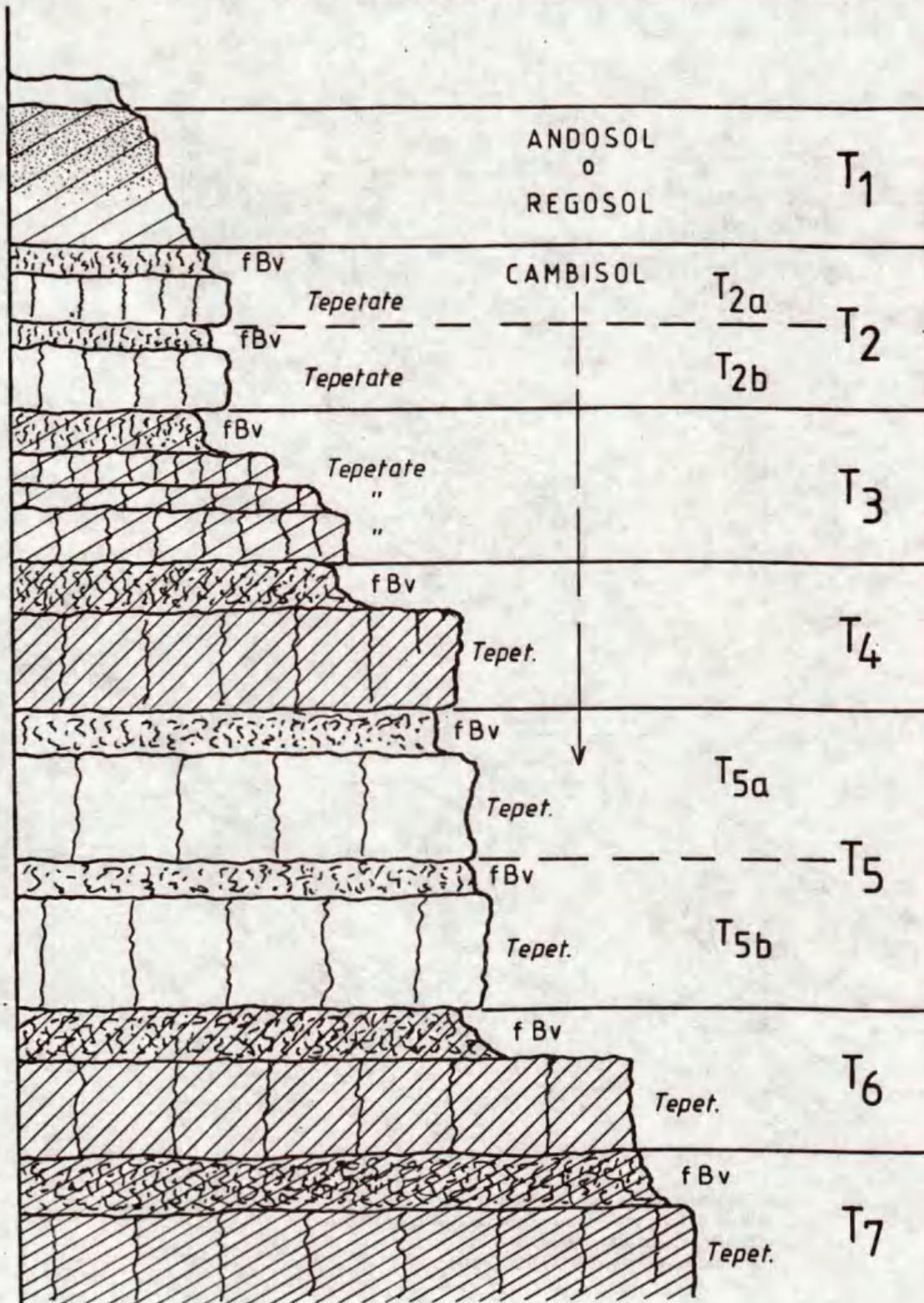


Figura 2. Perfil de los diferentes sedimentos de toba en el noreste de la Sierra Nevada y del Bloque de Tlaxcala (según Hessmann, 1991).

Cuadro 1. Características físicas de tepetates localizados al pie de la Sierra Nevada (Miehlich, 1991) y en el Bloque de Tlaxcala.

	Da g/cm ³	VTP %	Distribución de los poros (en %)			Arcilla %	Fed/Fet %	R kg/cm ²	I cm/s
			>10µm	10-0,2µm	<0,2µm				
Sierra Nevada									
tepetate de toba T2	1,3	52	26	15	27	47	12	347	3,4 10 ⁻²
tepetate de toba T3	1,45	48	9	9	30	45	34	366	4,6 10 ⁻³
Bloque de Tlaxcala									
tepetate de toba T2	1,35	50	12	7	20	22			1,4 10 ⁻⁴
tepetate de toba T3	1,47	45	10	12	12	25			4,2 10 ⁻⁴

VTP=porosidad total, Fed/Fet=hierro libre/hierro total, R=resistencia, I=infiltración

Ejemplos de Propiedades Físicas y Químicas de Algunos Tepetates

Los resultados de las primeras investigaciones químicas y físicas realizadas por Aeppli, 1973; Miehlich, 1974; Wegener, 1978; Werner 1988, 1989), y que nuevamente han sido comprobadas por los colegas de ORSTOM y del Colegio de Postgraduados de Montecillo, así como por nuevas investigaciones realizadas por Baumann *et al.* (1991), se muestran en el Cuadro 1.

Los promedios de la densidad aparente (Da) de los tepetates del Bloque de Tlaxcala coinciden con los de Miehlich (1991).

También se encontraron valores similares de porosidad total (VTP %). Los valores de resistencia medida con el penetrómetro, también coinciden. La resistencia es de 19 kg/cm² mayor en el tepetate café, que en el tepetate gris. Los valores de infiltración dependen de la continuidad de los poros mayores de 10 µm y no tanto de su cantidad. Aún en el Bloque de Tlaxcala los tepetate de la toba 2 y de la toba 3 muestran casi los mismos valores de los poros gruesos (12% en la toba 2 y 10 % en la toba 3) el gris tiene una menor infiltración que el tepetate café, debido a la discontinuidad de sus poros gruesos. Los valores de los poros medianos y los de los poros finos, no corresponden con los reportados por Miehlich (1991) tomados al pie de la Sierra Nevada. El alto porcentaje promedio de los poros finos en ambos tepetates de la Sierra Nevada, corresponde con el alto contenido de arcilla en las muestras.

Estos resultados coinciden con las observaciones de Hessmann (1991), que encontró que la mayoría de los poros gruesos de los tepetates, están sellados con una mezcla intensa de arcilla, cal y sílice.

La relación hierro determinado por el método de diotionito en relación al hierro total Fed /Fet es 12 en tepetate gris y 34 en tepetate café. Se podría interpretar esto como que el tepetate café muestra más resistencia a la erosión que el tepetate gris. Pero la realidad es contraria: los primeros datos de escurrimiento y pérdida de suelo obtenidos en las parcelas tipo Wischmeier en la época de lluvias de 1990 nos indicaron que hubo más escurrimiento y pérdida de suelo en el tepetate café, que en el tepetate gris. Las investigaciones durante el año 1991 muestran que en las mismas parcelas estos datos se repitieron, aunque la distribución de las lluvias en el año de 1991 hasta el final del mes de septiembre; fue totalmente distinto. Baumann *et al.* (1991), presentaron resultados preliminares de los escurrimientos, así como de pérdidas del suelo en los últimos dos años. Los resultados obtenidos en las parcelas de investigación muestran que con la roturación de los tepetates se creó un suelo que contiene suficientes poros medianos para el almacenamiento del agua; a tal grado, que teóricamente, puede soportar un cultivo de maíz durante la época de lluvias.

Para entender mejor la problemática de la física de los tepetates, se expone como ejemplo los datos de la distribución de los poros, de un

solo perfil de suelo Cambisol vértico (perfil Tlalpan en el Bloque de Tlaxcala). A causa de la erosión, el perfil investigado carece de un estrato con condiciones físicas que permitan el desarrollo del cultivo y que tampoco se encuentran en el tepetate restante (Cuadro 2).

Según el Cuadro 2, la capa Holocena, a la profundidad de 20 cm, tiene una porosidad mayor de 50% con una D_a de 1.2 g/cm^3 . El 21% de los poros grandes ($> 10 \mu\text{m}$), sobrepasan el valor crítico de 10% requerido para el intercambio gaseoso. El 14% de poros finos y 17.4% de poros medianos, suficientes para almacenar el agua aprovechable para las plantas.

La situación cambia en el horizonte vértico, a la profundidad de 50 cm, del 48% de la porosidad total, se tienen 27% de los poros finos por el alto contenido de las arcillas ($> 40\%$), menos que 9% de los poros gruesos (abajo del valor crítico de la aireación), aunque tenemos más del 12% con poros para la humedad aprovechable para el cultivo.

En la profundidad 60 y 85 cm encontramos el sedimento de toba gris, listo para transformarse en tepetate, si los primeros horizontes se eliminan por la erosión. No se observó mucha diferencia en la porosidad total, pero sí una declinación pronunciada en los poros gruesos (con valores menores al 5 %).

Entre 85 y 110 cm de profundidad observamos

que en el suelo fósil, los poros gruesos aumentaban de 10 a 15%.

A una profundidad de 185 cm ocurre el cambio brusco entre la toba 2 (gris) y la toba 3 (café); por el peso de los sedimentos de la toba 2 y por la cementación de los poros grandes, durante los procesos de desarrollo del suelo en los últimos 15 mil años. Un menor volumen en los poros gruesos (9%) se relaciona con el aumento de la D_a , y al mismo tiempo, con una porosidad total aproximada de 38%. La capacidad del almacenamiento de agua disminuye hasta un 7%.

Las muestras correspondientes del tepetate desnudo, tomadas a la misma profundidad de 185 cm, al igual que las muestras en el perfil, muestran un menor valor de los poros gruesos (7% aproximadamente).

Existe el peligro que al meter los cilindros en el tepetate para realizar el muestreo se puedan crear poros secundarios ($> 120 \mu\text{m}$), cuyo valor es de 4.2 % a causa de las vibraciones; por eso no habrá mucha infiltración de las precipitaciones. Las lluvias corren superficialmente con rangos entre 55 y 70% (Wegener, 1978).

Estos datos presentados como ejemplo, muestran que después de la erosión de los Cambisoles vérticos y de la toba 2 en total, se queda un tepetate que forma una superficie actual de la toba 3 y que sirve ahora como base para el escurrimiento provocado por las lluvias.

Cuadro 2. Perfil Tlalpan: distribución de los poros.

Horizonte	Profundidad	D_r	D_a	Poros grandes ($> 10 \mu\text{m}$)	Poros medianos ($0.2-10 \mu\text{m}$)	Poros pequeños ($< 0.2 \mu\text{m}$)	Porosidad total calculada
	cm	g/cm^3	g/cm^3	%	%	%	%
A1	20	2.62	1.23	21.18	17.44	14.43	53.05
A2	28	2.57	1.21	22.35	15.12	15.21	52.68
2B1	36	2.76	1.43	19.61	16.55	12.02	48.18
2B2	50	2.61	1.43	8.88	12.35	27.42	48.65
2B2	65	2.53	1.36	3.74	10.30	32.12	46.24
2C1m	85	2.53	1.41	9.26	7.01	28.01	44.27
2C2	110	2.57	1.34	14.51	4.66	28.69	47.85
2C2m	150	2.54	1.37	11.62	12.44	22.01	46.06
3B1m	185	2.61	1.61	9.62	7.29	21.55	38.46

Causas de la Erosión

Si se toma como base que los factores que causan la erosión son los mismos que forman un suelo, se tiene la siguiente ecuación:

$$S = f(G, R, C, T, V, F(1...n))$$

En la cual aparecen:

- f: función
- G: material parental (geología)
- R: relieve
- C: clima
- T: tiempo
- V: vegetación
- F(1...n): factores locales

Si se altera esta ecuación incluyendo al factor hombre (H), se reemplaza el material parental (G), por el suelo desarrollado (S) y se convierten los factores tiempo (T) y vegetación (V) en una constante (1), quedará una ecuación de la siguiente manera:

$$\text{Erosión (E)} = f(H, S, C, R, F(1...n))$$

Si se encuentran lugares en los cuales se convierten los factores de relieve y los factores locales en constantes permanentes, al final la ecuación se interpreta que la erosión (E) es una función (f) del hombre (H) y del suelo (S) bajo ciertas condiciones climatológicas (C):

$$E = f(H, S, C)$$

Si esta ecuación se adapta para el caso del Altiplano Mexicano resulta que bajo condiciones variables, el hombre está provocando, por su intervención constante en el suelo (después de haber eliminado la vegetación natural), una erosión permanente. En otras palabras, la actividad agrícola del hombre (uso del suelo) provoca inevitablemente la destrucción de la base de su alimentación, que es el suelo.

La red de las estructuras prehispánicas y la textura de los campos en la región Tlaxcala-Puebla como un ejemplo de los causantes de la erosión en épocas históricas

Según Tichy (1974, 1976) hay redes regulares autóctonas de poblados y campos prehispánicos en la cuenca de Puebla-Tlaxcala,

las que interpretó como "Direcciones Sagradas" de centros ceremoniales asociándolas con una cosmovisión en la época prehispánica. Tomando los resultados de Tichy como base, encontramos que la alineación de los campos en la época prehispánica, tenía su primordial razón, en la "Dirección Sagrada" y no en la paralelidad de las curvas de nivel según la altura. Al respecto, se exponen dos ejemplos:

a) La gran pirámide de Cholula tiene una desviación de 26° NE, por eso, la ciudad de Cholula y los campos de cultivo tienen la misma dirección, al igual que las parcelas de cultivo que se encuentran dentro del cráter del volcán Zapotecas ubicado en el noroeste de la ciudad.

b) La Calzada de los Muertos de Teotihuacán, tiene una desviación de 15.5° NE y su prolongación por la pirámide de la luna, vía la cima del Cerro Gordo, indica el punto exacto hacia el horizonte en la primera semana del mes de mayo, donde aparecen las estrellas de las Pléyades, en la configuración de Tauro. Las Pléyades están relacionadas, según las creencias de los pueblos prehispánicos, al Dios de la Lluvia (Tláloc). En el Altiplano Mexicano, la temporada de lluvias empieza la primera semana del mes de mayo, al mismo tiempo cuando aparecen en el horizonte las pléyades.

Ejemplos similares se encuentran en Tlaxcala en las faldas de La Malinche, en los cerros Nativitas y el Bloque de Tlaxcala.

Los pueblos prehispánicos siguen cultivando en "Direcciones Sagradas", y como resultado se observa que desde tiempos muy remotos los campesinos han trabajado la tierra en contra de los efectos naturales del relieve, es decir, los campos de cultivo y los caminos tenían que realizarse bajo el yugo de las "Direcciones Sagradas" en el sentido de la ladera, la erosión en cárcavas resultó como consecuencia en las áreas de sedimentos de toba en el paisaje inclinado. Esta direccionalidad consecuente de los pueblos indígenas prehispánicos, debió haber sido el paso decisivo en el cambio de los paisajes; y al mismo tiempo la iniciación de la destrucción de los suelos exponiendo los tepetates (Werner, 1989).

Los efectos de la destrucción de la vegetación en el suelo

En la época Clásica, alrededor del año cero, Tlaxcala estuvo densamente poblada (García, 1974). Su población llegó al apogeo en la fase de la cultura "Texcalac" (1,000 años D.C.) siendo imposible para los tlaxcaltecas ampliar su territorio, que estaba rodeado por otros grupos étnicos; los cholultecas en el sur, los huejotzingas en el sureste y los aztecas en el noroeste, norte y este, teniendo como única opción:

a) Intensificar su agricultura mediante sistemas de riego en terrazas, producción agrícola mediante el sistema de camellones y chinampas.

b) Convertir bosques en terrenos de cultivo; opciones que provocaron una destrucción de la vegetación natural y perturbaron la estructura del suelo, es decir, la erosión se manifestaba en estas épocas.

Se sabe que los volcanes de la Sierra Nevada, La Malinche y el Bloque de Tlaxcala, estaban cubiertos con bosques hasta una altitud de 2,500 msnm. La destrucción de los bosques, que comenzó en la época prehispánica, inició un proceso irreversible de erosión, que se aceleró bajo el dominio español, cuando se introdujo el arado. Hoy en día, la erosión se ha intensificado por el monocultivo de maíz, que ha sustituido al cultivo del maíz asociado con frijol y calabaza, por la ampliación del cultivo de papa y el pastoreo por cabras en los pocos bosques restantes, además de que los pastores ayudan al deterioro, ya que tienen como costumbre, quemar el pasto seco, con el propósito de dar lugar al crecimiento del pasto nuevo; ocasionando la quema de los árboles recién nacidos, así como la de las reforestaciones realizadas.

Otra causa de la erosión es la tala ilegal de los terrenos boscosos, seguida por una siembra inmediata de maíz en el suelo recién talado, limpiado de su vegetación natural. Por el almacenamiento de nitrógeno en la capa orgánica del suelo del bosque, los campesinos mantienen en los primeros años cosechas relativamente aceptables, incluso mejores que en las parcelas

tradicionalmente dedicadas al cultivo, razón por la cual continúan con el desmonte año con año.

El problema que se ocasiona con los hechos antes expuestos es bien conocido.

Los suelos volcánicos recientes, cubiertos con bosque, en su mayoría del tipo Andosol, con una D_a en el rango de 0.7 - 0.9 g/cm³ y una porosidad total de 70% son susceptibles a la erosión cuando se presentan lluvias intensas al faltar la protección del bosque, la cual frena el impacto de las gotas.

La fase última es una erosión en zanjas, que rápidamente se convierte en una erosión en cárcavas. Si existe el caso como en La Malinche o en el pie de la Sierra Nevada y en el Bloque de Tlaxcala, que Andosoles cubren sedimentos de toba con sus Cambisoles ya desarrollados, la erosión en cárcavas encuentra su primer retención en el tepetate, más que en el paquete de los sedimentos de toba.

Esto significa, que en el lapso de unos pocos años (5-10 años), fácilmente se pueden erosionar entre 1-2 m de suelo, después de la tala, equivalente a 150 ton/ha/año de pérdida de suelo.

Esta cantidad se reduce considerablemente en el momento en que el subhorizonte tepetate aparece en la superficie. Según las medidas efectuadas (Baumann *et al.*, 1991), la pérdida del suelo en el tepetate solamente alcanza valores entre 10 y 15 ton/ha/año.

Rehabilitación de los Tepetates para su Uso Agrícola

Según cálculos realizados por Zebrowski *et al.* (1991), que tienen como base los datos de INEGI para la República Mexicana, y los datos de Werner (1989) para Tlaxcala, solamente un 1.5% de la superficie de la República Mexicana cuenta con suelos tepetatosos. En cambio el 54% de la superficie total del Estado de Tlaxcala está en peligro de convertirse en zona tepetatososa, aunado a que aproximadamente la quinta parte del territorio está formado ya por superficies tepetatosas que están fuera de la producción

agrícola. Resumiendo, se puede decir que unas 160,000 ha de suelos bajo producción agrícola en el Estado de Tlaxcala presentan el peligro que en el futuro los horizontes tepetatosos sean expuestos a la superficie por erosión.

Desde hace años los gobiernos de Tlaxcala han tenido conocimiento de los problemas concernientes a los suelos volcánicos endurecidos, y por eso, desde hace tres sexenios se creó el "Programa de Rehabilitación de los Suelos Tepetatosos", programa que ha roturado con maquinaria pesada en los últimos nueve años 12,859 ha, esto significa que se roturan 1,428 ha/año con una inversión de 4,717,501 pesos/ha, (equivalente a 1,536 dls/ha) (MATET, 1991. Comunicación personal).

El programa de la rehabilitación de los tepetates parte de una demanda de los campesinos, quienes pidieron a las autoridades oficiales que fueran roturadas sus tierras tepetatosas como se hacía antiguamente. Lo más extraño es que, en todo el tiempo que lleva este programa, no existe ninguna investigación acerca de la validez de estas roturaciones.

Si valoramos las cosechas obtenidas en los primeros cinco años después de la roturación, tenemos que la inversión económica de la roturación hecha con la maquinaria de MATET (Maquinaria pesada del Gobierno del Estado) se recuperaría en 50 años aproximadamente. ¿Por qué se rotura el tepetate? La respuesta es muy fácil: por necesidad. En Tlaxcala no hay más terrenos de cultivo debido a la explosión demográfica y a la pérdida de terreno por la erosión. La opción sería convertir los bosques en terrenos de cultivo, pero ya no es posible, pues el límite del bosque actualmente se encuentra a 3,000 msnm, 200 m más arriba del límite altitudinal para obtener rendimientos seguros en los cultivos de maíz, que es de 2,800 m.

Existen vestigios de la recuperación de tepetates y su transformación en terrenos de cultivo desde la época prehispánica, realizada con técnicas rudimentarias por la necesidad de conservar los terrenos agrícolas (Williams, 1972). Técnicamente, una habilitación de este tipo de

estratos es posible en la actualidad, ya que hay unas capas de toba abajo del tepetate actual. En algunas regiones de Tlaxcala, hasta hoy día, los campesinos han recuperado tepetates empleando pico y pala; construyendo terrazas en el tepetate y cercándolo con cajetes, con el objetivo de captar la tierra que se erosiona en cada época de lluvias (González, 1979).

Tenemos que tomar en cuenta que la producción de los tepetates rehabilitados no garantiza su inversión, ya que con los bajos rendimientos que se obtienen de los suelos roturados no alcanza ni siquiera para pagar en los primeros cinco años, los gastos de insumos (fertilizantes, semillas, herramientas, etc.) y su propio trabajo. Estas inversiones sólo son justificadas para el gobierno bajo el aspecto político-social, evitando con esto de alguna manera la emigración a las grandes ciudades.

Efectos de la Roturación en los Tepetates y Primeros Resultados

El propósito de la roturación de los tepetates es: habilitar estos terrenos para la producción agrícola.

La meta de esta práctica es: proporcionar al campesino un terreno con una potencialidad de producción igual a la que tienen terrenos normales en condiciones de temporal. Como ya se explicó, los tepetates roturados:

a) carecen en el primer año de la cantidad suficiente de poros medios 0.2 a 10 μm para el almacenamiento de agua aprovechable para el cultivo;

b) en cambio, le sobran poros grandes (> 120 μm , en la mayoría, secundarios), creados por el buldozer durante la roturación;

c) carecen de materia orgánica y en consecuencia de microorganismos del suelo.

d) carecen de nutrientes aprovechables para las plantas.

Con maquinaria pesada de MATET, se creó en los años 1990 y 1991 parcelas de investigación en tepetates roturados en el Bloque de Tlaxcala.

El interés fue evitar fallas que se cometieron anteriormente en la construcción de las terrazas, haciendo una recompactación del material roturado, evitando así las grietas grandes. Según los datos de la distribución de los poros, los tepetates roturados en las parcelas de investigación se presentaron en forma óptima.

Con una D_a de 1.2 g/m^3 se llegó a $>50\%$ de la porosidad total (VTP%), un 20% de poros gruesos, un 20% de poros medianos y 11% de poros finos. La infiltración se estimó en un rango de $1.7 \cdot 10^{-4}$ a $4.2 \cdot 10^{-4} \text{ cm.s}^{-1}$ (Cuadro 3).

En coordinación con CIFAP-Tlaxcala, se sembró en tepetate gris roturado (TGR) y tepetate café roturado (TCR) maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), haba (*Vicia faba*) y ayocote (*Phaseolus coccineus*) en el año de 1990, con diferentes dosis de fertilizante, según el protocolo de fertilización de este organismo.

Los datos del Cuadro 4 son preliminares, su recopilación y publicación estarán a cargo de CIFAP-Tlaxcala. Información detallada de este experimento se encuentra en la publicación de Estrada (1991).

Resultados 1990

a) Las parcelas sembradas con maíz después de la roturación fracasaron casi totalmente, debido a un manejo inadecuado del tepetate, no se desarrolló ninguna mazorca. No obstante, existe una tendencia a una mayor producción de paja de maíz en el tepetate gris roturado (TGR), que en el tepetate café roturado (TCR) lo que se debe a un mayor almacenamiento de agua en los poros medianos del TGR ($>20\%$ en la capa arable).

b) Las parcelas de frijol fueron dañadas por plagas en el año 1990, igual que en el año 1991; no obteniendo rendimientos comparables.

c) Las parcelas de ayocote (*Phaseolus coccineus*) respondieron a la fertilización; presentando una tendencia altamente significativa similar a la que se observa en la producción de la paja de maíz. En el TGR se obtienen

rendimientos más altos que en el TCR, por su mejor abastecimiento de agua. Respecto a la fertilización observamos: que existe una mejor respuesta del ayocote al P que al N; las parcelas sin nutrientes (0-0-0) fracasaron, así como en aquellas en las que se hicieron aplicaciones de estiércol (por competencia por agua en la época de la germinación). Los rendimientos del ayocote muestran claramente que puede ser un cultivo pionero, inmediatamente después de la roturación de los tepetates (Cuadro 5).

d) El experimento con maíz criollo y haba intercalada en parcelas TCR roturadas hace cuatro años dejó mucho que desear por sus bajos rendimientos (Cuadro 4). Con la máxima aplicación de fertilizante (120-110-0) se logró solamente 1.6 ton/ha de maíz y 1.3 ton/ha de haba; sin fertilizantes (0-0-0) se cosecharon 0.052 ton/ha de maíz y 0.3 ton/ha de haba. Los rendimientos que en promedio se han tenido desde hace cuatro años de 1.0 ton/ha de maíz no ha justificado la inversión de insumos y de roturación que se realizó en esta parcela.

El tepetate (TGR) respondió de mejor manera, ya que la cantidad de poros grandes se quedó apenas en un 10%. Además se nota que los rendimientos entre los diferentes bloques de fertilización fueron semejantes; es decir, que estadísticamente no hubo ninguna diferencia entre la parcela sin fertilización y la de máxima fertilización.

SUGERENCIAS

Los primeros resultados de las investigaciones en tepetates roturados dan una idea de la validez de la roturación:

1. La rehabilitación de los tepetates es técnicamente posible, aunque no es rentable a corto plazo.

2. Bajo el punto de vista socio-económico y político la rehabilitación es aceptable.

Cuadro 3. Tepetate café roturado (TRC) en 1990: distribución de los poros (diámetros en μm).

Horizonte	Prof. cm	Da g/cm^3	Dr g/cm^3	VTP %	Vsat %	>120 %	120-50 %	50-30 %	30-10 %	>10 %	10-0.2 %	<0.2 %
Ap	10	2.38	1.23	53.23	48.4	6.91	4.67	2.95	4.35	18.88	22.83	11.52
B/C (rot.)	35	2.39	1.20	54.02	49.1	11.23	5.22	2.67	3.53	22.65	19.93	11.44
2C	55	2.40	1.45	45.07	41.7	4.34	8.05	2.34	4.67	19.40	11.84	13.83

Cuadro 4. Producción de maíz y haba obtenido en 1990, en tepetates roturados en Tlalpan (roturación en 1986) y en El Carmen (roturación en 1990).

Trat.	Fertilizante (kg/ha)			Tlalpan Rendimiento (ton/ha) en grano			El Carmen Rendimiento (ton/ha) de paja		
	N	P2O5	K2O	maíz TGR	maíz TCR	haba TCR	maíz TGR	maíz TCR	
1	60	80	0	1.786	1.143	1.313	0.660	0.032	
2	60	110	0	1.769	0.964	1.501	1.103	0.953	
3	90	80	0	1.721	1.494	1.196	1.742	1.123	
4	90	110	0	1.702	1.408	1.091	1.852	0.220	
5	30	80	0	1.877	1.000	1.004	0.438	0.007	
6	60	50	0	1.791	0.884	1.134	0.726	0.318	
7	120	110	0	1.861	1.625	1.360	0.286	0.084	
8	90	140	0	1.701	1.124	0.683	1.305	2.029	
9		Estiércol		1.943	0.180	0.549	-	1.048	
10	0	0	0	1.812	0.052	0.302	-	0.021	

Cuadro 5. Rendimientos de granos (en ton/ha con 14% H₂O) de *Phaseolus coccineus* (Ayocote), en el primer año de roturación (1990), en El Carmen.

Trata- miento	Fertilización			Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3		Repetición 4	
	N	P2O5	K2O	TCR	TGR*	TCR	TGR*	TCR	TGR*	TCR	TGR*
1	50	40	0	0.201	1.7451	0.052	1.074	0.381	1.019	0.159	0.091
2	50	60	0	0.175	1.591	0.156	1.349	0.289	1.007	0.245	2.066
3	75	40	0	0.076	0.331	0.643	0.973	0.253	1.200	0.179	0.091
4	75	60	0	0.029	1.853	0.102	1.391	0.612	1.403	0.119	2.227
5	25	40	0	0.202	0.861	0.294	1.036	0.562	0.077	0.394	0.151
6	50	20	0	0.061	1.261	0.059	0.721	0.139	0.201	0.041	0.049
7	75	80	0	0.078	0.843	0.263	1.321	0.335	0.198	0.142	1.633
8	100	60	0	0.056	1.599	0.065	1.361	0.881	1.460	0.228	0.231
9		Estiércol		0.008	0.046	0.091	0.561	0.152	0.004	0.231	0.001
10		Testigo		0.017	0.161	0.025	0.057	0.015	0.027	0.036	0.031

TGR=tepetate gris roturado de toba 2, TCR=tepetate café roturado de toba 3, *=valores altamente significantes.

3. La base del plan de roturación de los tepetates debe ser:

a) Investigación del tipo de tepetate por roturar.

b) Información a los campesinos sobre los problemas físicos y químicos que tienen los tepetates.

c) Incorporación de los campesinos en el plan de trabajo de roturación, así como en la ejecución.

4. Supervisión permanente de los trabajos de la roturación por un edafólogo y un ingeniero civil.

5. Asesoría técnica a los beneficiarios de la roturación de los tepetates al menos una temporada de cinco años después de la roturación en materia de:

a) Manejo adecuado de los tepetates roturados.

b) Fertilización adecuada según los análisis de suelo.

c) Selección de tipo de cultivo y de semillas.

d) Remodelación (si es necesario) de las terrazas, corrección de las pendientes, fijación de terrazas y de bordos para evitar una nueva erosión.

LITERATURA CITADA

AEPPLI, H. 1973. Barroböden und Tepetate. Untersuchungen zur Bodenbildung in vulkanischen Aschen unter wechselfeuchtem gemäßigttem Klima im zentralen Hochland von Mexiko. Diss., Giessen.

AEPPLI, H. y E. SCHÖNHALS. 1975. Los Suelos en la Cuenca de Puebla-Tlaxcala. Investigaciones acerca de su Formación y Clasificación. El Proyecto México de la Fundación Alemana para la Investigación Científica 8, Wiesbaden (Steiner). 153 pp.

BAUMANN, J., H. MUÑOZ, A. VERA, G. FLORES, S. OVANDO y G. WERNER. 1991. Resultados preliminares sobre la erosión en tepetates en el Bloque de Tlaxcala. (En este volumen).

CETENAL DETENAL INEGI. 1976-1985: Cartas topográficas, Esc. 1:50 000, D.F., México.

GARCIA COOK, A. 1974. Una secuencia cultural para Tlaxcala. Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 10: 5-22, Puebla, México.

GARCIA COOK, A. 1976. El Proyecto Arqueológico Puebla-Tlaxcala. Suplemento Comunicaciones, III, Proyecto Puebla-Tlaxcala, Puebla, México.

GONZALEZ J., A. 1979. Un Ensayo Ecológico Cultural. Ambiente y Economía en el valle Poblano-Tlaxcalteca, México. XLIII Internat. Congr. of Americanists. Vancouver, Canada.

HANUS, H. 1965. Eine Methode zur serienmäßigen Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 2: 159-167, Göttingen, BDR.

HARTGE, K.H. 1965. Bestimmung von Porenvolumen und Porengrößenverteilung. Z. Kulturtechnik 6: 193-206.

HEINE, K. y E. SCHÖNHALS. 1973. Entstehung und Alter der "toba"-Sedimente in Mexiko. Eiszeitalter und Gegenwart 23/24: 201-215, Öhringen, BDR.

HESSMANN, R. 1991. Micromorphological Investigations on "Tepetate". Formation in the "Toba" Sediments of the State of Tlaxcala Mexico (vea la publicación en este tomo).

MIEHLICH, G. 1974. Klima und altersabhängige Bodenentwicklung von Vulkanascheböden der Sierra Nevada de México. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 18: 360-369, Göttingen, BDR.

MIEHLICH, G. 1991. Chronosequences of Volcanic Ash Soils. Hamburger Bodenkundl. Arbeiten 15. Hamburg, BDR. 217 pp.

SOIL CONSERVATION SERVICE. 1972. Soil Survey Laboratory. Methods and Procedures for collecting Soil Samples. Soil Survey Invest. 1, Washington, D.C.

TICHY, F. 1974. Die Deutung von Orts- und Flurnetzen im Hochland von Mexiko als kulturellogische Reliktformen altindianischer Besiedlung. Erdkunde 18: 119-207. Bonn. (Dümmmlers), BDR.

TICHY, F. 1976. Orientación de las Pirámides e Iglesias en el Altiplano Mexicano. Suplemento comunica-

ciones, IV Proyecto Puebla-Tlaxcala, Puebla, México.

WEGENER, H.R. 1978. Bodenerosion und ökologische Eigenschaften charakteristischer Böden im Becken von Puebla-Tlaxcala, Mexiko. Diss. Giessen, BDR.

WERNER, G. 1988. Die Böden des Staates Tlaxcala im Zentralen Hochland von Mexiko. Das Mexiko Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft 20. Stuttgart (Steiner), BDR. 207 pp.

WERNER, G. 1989. Los suelos en el estado de Tlaxcala, Altiplano Central Mexicano. Investigaciones relacionadas con su Desarrollo, Extensión, Erosión y su Utilización bajo la Influencia de Actividades Agrícolas en 3,000 años (con aportaciones de G. Miehlich). Gobierno del Estado de Tlaxcala; UAT, Tlaxcala, México.

WERNER, G., H. AEPPLI, G. MIEHLICH y E. SCHÖNHALS. 1978. Los suelos de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores. Comentario a un mapa de suelos. Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala, VI: 1-95. Puebla, México.

WILLIAMS, B.J. 1972. Tepetate in the valley of Mexico. *Annales to the Assoc. of American Geographers* 62: 618-626. Washington, D.C., USA.

WISCHMEIER, H.W. y D. D. SMITH. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Agricultural Handbook, N° 537. Washington, D.C., USA.

ZEBROWSKI, C., P. QUANTIN, H. M. ARIAS R. y G. WERNER. 1991. Les "tepetates". Recupération et mise en valeur des terres volcaniques indurées au Mexique. ORSTOM Actualités. Paris, France.

LA CANGAHUA EN EL ECUADOR: CARACTERIZACION MORFO-EDAFOLOGICA Y COMPORTAMIENTO FRENTE A LA EROSION

The Cangahua in Ecuador: Morpho-Edaphologic Characterization and Susceptibility to Erosion

E. Custode ¹, G. De Noni ², G. Trujillo ¹ y M. Viennot ²

¹ Dirección Nacional Agrícola (M.A.G.), Quito, Ecuador.

² ORSTOM, Quito, Ecuador.

Palabras clave: Ecuador, Cangahua, Sierra volcánica, Mediciones de erosión.

Key words: Ecuador, Cangahua, Volcanic Sierra, Erosion measure.

RESUMEN

En la Sierra volcánica reciente del norte del Ecuador, en condiciones de clima a la vez seco y cálido, en un medio humano caracterizado por una fuerte presión agrícola del hombre, por erosión, la formación geológica derivada de los piroclastos del Cuaternario puede aflorar y presentar un alto grado de endurecimiento. La necesidad de aprovechar la mayor superficie posible hace que esta formación sea usada en la agricultura.

Para evaluar los problemas que presenta esta recuperación, se utilizaron los resultados de la estación de Tumbaco, ubicada en la hoya de Quito; 2,650 msnm, clima ecuatorial de montaña con 2 estaciones húmedas, suelo formado a partir de una cangahua endurecida. El dispositivo de la estación de Tumbaco permite comparar, a medio de parcelas, tres situaciones: "sin vegetación" o Wischmeier, tradicional cultivada y mejorada.

Se observan fuertes variaciones interanuales. Según el tipo de parcela, el escurrimiento anual pasa del 9% (mejorada), al 14% (tradicional) y hasta el 35% (sin vegetación) los meses de septiembre-octubre (siembra) y de abril-mayo (pre-cosecha) son los más críticos. Se notará que los meses de julio-agosto (verano seco) pueden presentar valores de escurrimiento fuertes. Las pérdidas anuales de tierra son respectivamente de 4.20 y 92 ton/ha. Los periodos más críticos son los de la siembra en el caso de la parcela mejorada, de la siembra y abril-mayo en el caso de la parcela tradicional mientras que las pérdidas permanecen a niveles críticos casi durante el año en el caso de las parcelas sin vegetación.

La simulación de lluvia demostró que sobre cangahua endurecida, el escurrimiento alcanza valores hasta de 80% cuando la intensidad es únicamente de 20 mm/h, lo que explica la dinámica erosiva muy activa sobre la cangahua.

SUMMARY

The recent volcanic sierra in Northern Ecuador, characterized by a dry and warm climate and, -due to erosion- by a high anthropic

pressure over land use, displays geological formations issued from piroclastics of the Quaternary which happen to crop out and harden. In view of the pressing need to use all the lands, even the cangahua has to be cultivated.

In order to evaluate the problem of cangahua we used the results of the Tumbaco research station. Tumbaco is located in the Quito valley: 2,650 m high) characterized by a mountainous equatorial climate, two rainy seasons (650 mm of annual rainfall), an average temperature of 16° C and a soil formed from Durandepth intergrade to Durustoll, from a hardened cangahua.

The experimental device compare three runoff plots: one without vegetation (Wischmeier), another with a traditional way of cultivation and the last, with an improved one.

Strong interannual variations were observed. According to the type of plots, the annual runoff go from 9% (improved), to 14% (tradicional), and even to 35% (no vegetation). Months of september-october and april-may (pre-harvesting season) were the most crucial. During the months of july-august very high runoff coefficients may occur. The annual soil losses are respectively 4.2 and 92.0 ton/ha. The most crucial season is the seedtime in case of improved plots, seedtime and april-may in case of traditional plot while, in plots without vegetation, the soil losses are high throughout the whole the year.

The rain simulation showed that the hardened cangahua presented runoff coefficients up to 80% with a rain intensity of 20 mm/h which explains the active and high erosion described on the cangahua.

INTRODUCCION

A pesar de que la cangahua plantea un sinnúmero de incógnitas científicas a nivel de su formación y evolución, es un término muy común y frecuentemente utilizado en el Ecuador. Se puede explicar en gran parte este pensamiento, que a primera vista puede parecer

contradictorio, por un lado porque dicha formación corresponde a un tipo de paisaje típico y bastante extendido de este país y por otro lado porque la cangahua tuvo desde siglos una incidencia fuerte sobre la vida campesina en un país que ha sido y sigue siendo agrícola. En efecto, la palabra cangahua es bien antigua por ser de origen quechua, siendo originalmente su escritura "cangagua". Quiere decir en este idioma ancestral: tierra dura estéril. Esta definición coincide plenamente con las descripciones de los grandes naturalistas del Ecuador entre los que se puede citar Wolf (1892) al final del siglo pasado, y Sauer (1965) en la primera parte del siglo actual. En sus comunicaciones de investigación consideraban a la cangahua como una toba endurecida que hace más pensar en una roca que en una tierra blanda o en un depósito suelto.

En lo que nos concierne, no entraremos en el debate de la génesis de la cangahua y no nos preguntaremos si existen diferentes tipos de cangahua, conscientes que se trata de un tema tan amplio y específico, cuya problemática parece ser más competencia de ciencias como la geología o la edafológica. Del lado nuestro, nos limitaremos al sentido común y consideraremos en esta ponencia que globalmente hay un solo tipo de cangahua y que se trata de un material fino endurecido. Es en este marco que trataremos por un lado de describir y de caracterizar el entorno morfoedafológico de la cangahua en el Ecuador y por otro lado de analizar las consecuencias de su endurecimiento sobre dicho entorno. Una de las principales consecuencias es el papel importante que juega la cangahua al aflorar y su papel posterior en el desencadenamiento de los procesos de erosión. Por dicha razón, reservaremos también una parte de nuestra intervención para analizar más de cerca dicho papel con base en los resultados de la estación piloto de Tumbaco, cuya instalación y manejo son el producto de un acuerdo internacional de cooperación entre la Dirección Nacional Agrícola (DNA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM).

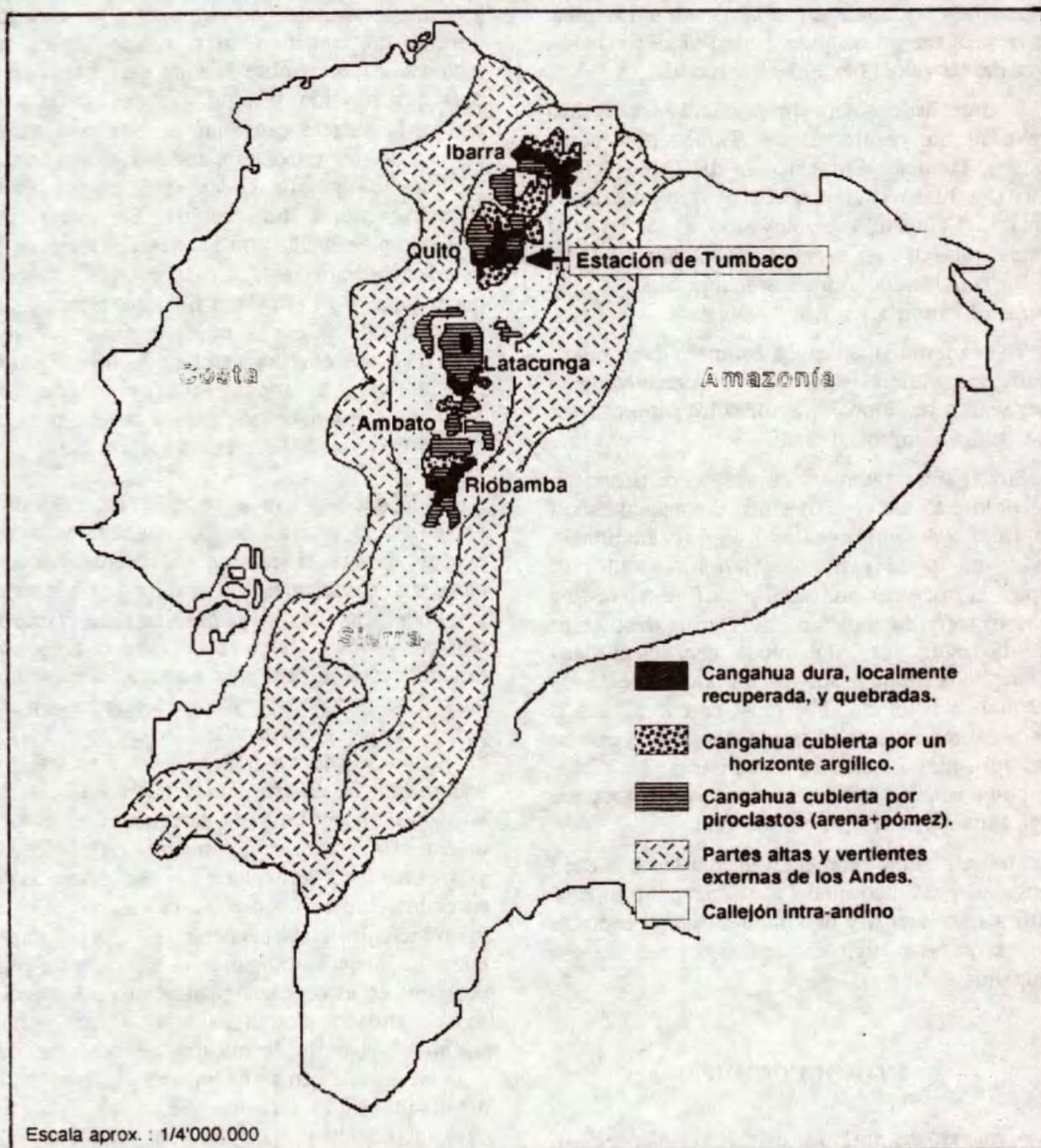


Figura 1. La cangahua en el Ecuador.

UN SUELO "VIEJO" Y ENDURECIDO EN UN ENTORNO MORFO-EDAFICO PARTICULAR

Un Suelo "Viejo" y Endurecido

Para poder fijar los límites del entorno morfo-edafoológico de la cangahua, es necesario definir previamente el contenido del objeto, o sea, determinar: ¿que es para nosotros la cangahua? Como punto de salida, consideremos que la cangahua es un material fino endurecido. En la actualidad, puede encontrarse sea en posición aflorante o sea cubierto por otras formaciones (ver mapa, Fig.1, realizado con base en los mapas de Colmet-Daage y Zebrowski, 1982-84). En el caso primero, se puede tener una superficie dura aflorante (duripán) o un suelo (durustoll y durandep) que es el resultado del ablandamiento de dicha superficie dura por el hombre. En la otra situación, los casos más representativos de recubrimiento de la cangahua pueden ser debidos a un material negro, generalmente de textura limo-arcillosa y siempre con un horizonte argílico al contacto con la cangahua (duriudoll) o por un material claro, poco evolucionado y con numerosos elementos gruesos, en contacto directo sobre la cangahua (psamment, vitrandep).

En estos casos, la cangahua, cuando no ha sido removida por movimientos naturales o por el hombre, se encuentra a poca profundidad (entre 2 a 5 m), predomina el color café amarillento, a pesar de que localmente se pueden apreciar algunos puntos milimétricos más oscuros debidos sea a nódulos rojizos de hidromorfía o sea a nódulos negros de hierro y manganeso.

Cualquiera que sea el sitio de muestreo, tiene aspecto de toba fina, no existen elementos gruesos a excepción de algunos nódulos blancos calcáreos de origen secundario. El endurecimiento es común a las muestras e independiente de la profundidad: parece ser debido a un cemento de naturaleza calcárea y silíceo. La densidad aparente, del orden de 1.7 - 1.8, es

superior a la de los otros suelos de la región. La tasa de materia orgánica es débil, en cuanto a los datos de granulometría son también bastante comparables de un sitio a otro (Cuadro 1).

Cuadro 1. Granulometría de las cangahuas.

Lugar	Granulometría					
	Arcilla	Limo		Arena		
		fino	grueso	fin	gruesa	
Chuspiaco	mini	12.5	27.3	16.9	19.1	2.4
	medi	16.3	33.7	21.6	23.9	4.4
	maxi	21.9	38.9	27.9	30.9	7.6
Tumbaco		23.3	22.5	15.3	25.9	6.3
Cangahua		9.2	16.9	13.0	10.9	15.1

La primera muestra tomada en Chuspiaco corresponde a una cangahua endurecida, en tanto que en Tumbaco y Cangahua, se trata de dos muestras de cangahua ablandada (los campesinos dicen "tolada") para el cultivo. Se notará en primer lugar que la repartición granulométrica es bastante pareja se trate de cangahua dura o de cangahua ablandada por la mano del hombre. Globalmente, la cangahua es un material poco homogéneo con bastante limo y arena y una tasa baja de arcilla.

Desde un punto de vista químico (Cuadro 2), los suelos derivados de la cangahua tienen un pH neutro, a pesar de estar frecuentemente desaturados los horizontes de superficie, y están siempre provistos de calcio de intercambio, así como de potasio. Las dos muestras del Cuadro 2 (Colmet-Daage et al., 1973) fueron recolectadas en la zona de cangahua de El Angel al extremo norte del país: la primera (A) corresponde a una cangahua ablandada y sub-superficial (0-20 cm), la otra (B) ha sido obtenida un poco más profundamente (20-40 cm) en un estado ligeramente endurecido:

Cuadro 2. Características químicas de la cangahua.

	Ca	Mg	K	Na	S	M.O.	N	C/N	pH H ₂ O	pH KCl
	----- meq/100 g -----					----- % -----				
A	9.5	4.5	0.81	0.30	15.1	3.9	0.247	9.3	6.0	5.4
B	14.4	11.4	1.94	0.86	28.6	2.1	0.107	11.6	7.2	6.2

A pesar de ser actualmente bastante pobre en materia orgánica y endurecida, esto no excluye que la cangahua haya sido un suelo, en el sentido edafológico de la palabra, en un período determinado de su evolución. Varios indicios nos conducen a opinar de tal manera. Dentro de los más probables, se puede citar las dos siguientes notas:

- no es raro observar en los numerosos cortes de cangahua que subrayan la topografía de la Sierra norte y central del Ecuador, la presencia en profundidad de capas u horizontes más oscuros que corresponden a una evidente acumulación orgánica y que atestiguan que dicha capa fue un suelo anteriormente;

- también, no es raro encontrar fósiles en la cangahua como lo testimonia el número bastante elevado de comunicaciones sobre el tema pareciendo ser la quebrada de Chalán (en las cercanías de Punín, en la Provincia de Chimborazo) un lugar rico en fósiles de mamíferos. Lo más particular, son las bolas de cangahua. Son esferas hoy endurecidas, de 5 a 10 cm de diámetro con un hueco de 1 a 2 cm que indica que fueron huecas originalmente. Para Sauer (1965), dichas esferas resultan de la acción de un insecto de tipo escarabajo cuyas construcciones típicas en bolas se pueden todavía observar hoy en día en Brasil y Chile.

Tomando en cuenta este conjunto de consideraciones, no cambiaremos nuestro punto de vista inicial al considerar un solo tipo de cangahua definiéndola como un material fino endurecido, al contrario no solamente nos ratificamos pero también pensamos que sería más acertado decir "suelo" en vez de "material" o sea definir la cangahua como un suelo viejo y endurecido (paleosuelo?). Tal endurecimiento puede ser atribuido a migraciones de elementos calcáreos y silíceos en el marco de procesos pedo-climáticos, por supuesto particulares pero en nada muy diferentes de los que se conoce actualmente en el callejón intra-andino u otras partes del mundo como por ejemplo Africa del Norte.

Habiendo tratado de conocer mejor el contenido de nuestro objeto, nos proponemos ahora caracterizar el entorno morfo-edafológico actual donde se encuentra la cangahua en el Ecuador.

El Entorno Morfo-Edafológico

Un origen andino

El Ecuador es un país tropical porque se encuentra a la latitud de la línea equinoccial. Es también un país andino porque la parte central del territorio está atravesada completamente de norte a sur por la grandiosa cordillera de los Andes, con más o menos 600 km de largo por un ancho de 150 a 200 km. Resulta de esta situación que el Ecuador está compuesto por un mosaico extraordinario de paisajes naturales: de cada lado de la cordillera llamada localmente Sierra, se encuentra al oeste la región costanera o Costa con una amplia fachada pacífica y al este una parte de la cuenca amazónica, el oriente, donde nacen algunos de los principales afluentes del río Amazonas (ver Figura 1). Sin embargo, a nivel regional, esta diversidad es aún más marcada en la Sierra por tratarse de un típico relieve de alta montaña donde las cumbres más elevadas culminan a 6,000 m. En efecto, las fuertes pendientes irregulares y la red hidrográfica modelada en profundos cañones y quebradas contribuyen, más ahí que en cualquier otra región del país, a modificar el curso de los vientos y de las nubes dando lugar sobre distancias cortas a una gama variada de micro-climas bastante originales y azonales bajo este tipo de latitud. Es en este entorno morfo-climático de los Andes que se encuentra la cangahua. Nunca se hace referencia a dicha formación en la Costa o en el Oriente.

Una situación intra-andina

La montaña andina está desdoblada en dos cordilleras identificadas simplemente la una como occidental porque mira hacia el Pacífico y la otra como oriental (algunos mapas dicen "real") por estar del lado amazónico. Ambas cordilleras están paralelas y en dirección meridiana, entre las dos se encuentra una estrecha depresión o callejón intra-andino, cuyo ancho máximo es del orden de 50 km. Este callejón está constituido por una sucesión de cuencas tectónicas de hundimiento de tipo "graben" que se localizan entre 2,200 - 3,200 m, separadas las

unas de las otras, entre 3,200 - 3,800 m, por pasos o nudos que son grandes bloques levantados ("horst"). Básicamente, la cangahua se encuentra en la zona intra-andina y no pasa 3,200 m de altura (Fig.1). La cangahua cubre de manera bastante uniforme toda la morfología intra-andina.

Una formación reciente de origen volcánico

Los numerosos cortes de terreno, sea de carretera o en las quebradas, hacen ver que la cangahua se encuentra sistemáticamente cerca de la superficie a un nivel de profundidad del orden métrico; en la gran mayoría de los casos dicha profundidad varía de 1 a 5 metros. En las zonas erosionadas, la cangahua aflora en grandes extensiones.

Se puede decir que la cangahua es concordante con los relieves preexistentes; fosiliza y cubre de manera bastante regular dichas formas. En la Figura 2 se esquematizó un corte de terreno típico del callejón intra-andino, situado entre Gualabamba y Tabacundo en la cuenca de Quito a unos 40 km al norte de dicha capital (Derruau y De Noni, 1979). Se puede notar que el depósito de cangahua interviene después de las deformaciones que afectaron las cineritas y el lahar, descansando de manera muy regular, sin estratificación particular, sobre una superficie de discordancia bien marcada.

Este ejemplo ilustra bastante de cerca las hipótesis y teorías desarrolladas por los especialistas de la geología del Ecuador. Al Terciario que es globalmente un período de fuertes paroxismos tectónicos con base en los cuales se edifica sucesivamente la estructura principal de la cordillera tal como se le conoce hoy en día, sucede en el Cuaternario un período donde predominan las erupciones volcánicas. Los grandes volcanes que bordean el callejón intra-andino emitieron un volumen enorme de materiales dando lugar a importantes recubrimientos de piroclastos (cenizas, lapilli y pómez). La cangahua es parte de esta generación de productos cuaternarios y volcánicos. Análisis mineralógicos efectuados en los laboratorios de ORSTOM (Colmet-Daage, 1973), dan los siguientes resultados:

Cuadro 3. Minerales fracción pesada de una cangahua superficial.

Lugar de muestreo	Prof. cm	Hi	Augita	Ho	Olivina	M.P.
		----- % -----				
Otavalo	120-140	27	7	66	0	18
Cayambe	050-060	23	8	69	0	13
Olmedo	100-120	26	8	66	0	?
Cusubamba	030-060	33	11	55	0	23

Hi: Hiperstena Ho: Hornblenda M.P.: Minerales pesados

En el Cuadro 3 se trata de una cangahua poco endurecida. El autor habla de "cangahua superficial" por encontrarse a la base del suelo "donde puede penetrar el barreno o la pala en la parte superior más blanda". La proporción de minerales pesados de origen volcánico en las arenas puede variar según las muestras de 13 a 23%. La hornblenda es la más abundante haciendo pensar en un origen volcánico de tipo andesita o dacita.

En el Cuadro 4, se trata de una cangahua típica endurecida. La proporción de minerales pesados en las arenas es más o menos comparable al ejemplo anterior. Lo que cambia es la repartición de cada uno de estos minerales. La tasa de hornblenda disminuyó notablemente, aumentaron a más de 30 el hiperstena y la augita y aparece la olivina. Esta composición mineralógica dice Colmet-Daage, hace pensar en fases eruptivas más básicas de tipo andesitas con piróxenos.

Cuadro 4. Minerales en la fracción pesada de una cangahua endurecida.

Lugar de muestreo	Prof. cm	Hi (a)	Augita	Ho (b)	Olivina	M. P. (c)
		----- % -----				
Ibarra	100	39	32	25	4	17
Cayambe	> 100	23	38	26	13	23

(a): Hiperstena (b): Hornblenda (c): Minerales pesados

Un paisaje de erosión

En sí, una superficie aflorante de cangahua endurecida constituye en la Sierra del Ecuador un paisaje típico de erosión: se trata de superficies bastante regulares, casi sin vegetación, de pendientes variables que cubren las capas subyacentes a manera de una losa de cemento.

En estas condiciones, se entenderá que es un tipo de paisaje que evoluciona poco a causa del endurecimiento del material. La penetración del agua en la cangahua es mínima, en tanto que el escurrimiento es abundante. Hasta 40% de pendiente, predomina un escurrimiento difuso que contribuye a limpiar y a hacer lisas las superficies de cangahua, solo se puede observar localmente, cuando hay una ruptura topográfica pronunciada, algunas acumulaciones arenosas centimétricas. Por encima de 40%, cuando el relieve conduce a una convergencia del agua de escurrimiento pueden formarse cárcavas y quebradas, cuya evolución también es lenta y con un perfil característico en forma de "U" y un perfil transversal en micro-cascadas (De Noni, 1982).

Este tipo de paisaje constituye ya un nivel alarmante de erosión que es un punto sin regreso posible. Antes de llegar a dicho nivel, la erosión debe arrastrar las formaciones suprayacentes a la cangahua, siendo los dos casos más significativos el material con horizonte argílico o las piroclastos de arena y pómez.

En el primer caso (Fig. 3), se esquematizó en A el inicio de deslizamiento del horizonte argílico sobre la cangahua (sentido de la flecha), la capa negra ya no es más continua y se ha formado un pequeño cizallamiento. En B, evolucionó bastante el movimiento de masa, dejando aflorante parte de la cangahua a raíz de la formación de una lupa de deslizamiento. Por fin en C, el escurrimiento por un lado limpió la cangahua de los productos deslizados dejando aflorar aún más la cangahua y por otro lado empezó a excavar dicha cangahua a nivel del cizallamiento inicial creándose un abrupto de erosión bastante consecuente.

En el otro caso (Fig. 4), se representó a piroclastos cubriendo la cangahua, caso en el cual actúa exclusivamente el escurrimiento. En A, se dibujó en punteado el perfil original de la superficie y la formación progresiva de una cárcava cuya evolución es bastante rápida, longitudinalmente, así como transversalmente (micro-derrumbes), por tratarse de un material suelto y blando. En B, se nota que este tipo de dinámica

casi desaparece al contacto con la cangahua, nuevamente el escurrimiento contribuye a lavar la superficie de cangahua y en los lugares más apropiados puede formarse una pequeña cárcava en forma de "U".

De la misma manera actúa también el escurrimiento sobre la cangahua recuperada: el primer nivel es el afloramiento rápido de la cangahua dura, luego se pueden formar progresivamente cárcavas donde la topografía permite una concentración principal de las aguas de escurrimiento.

Al referirse nuevamente al mapa de la Figura 1, se podrá notar que las áreas de cangahua dura y recuperada así como el binomio piroclastos sobre cangahua constituyen la mayor parte de las áreas mapeadas, siendo a la vez las áreas donde la erosión por escurrimiento causa estragos bastante representativos al nivel de todo el país (Almeida et al., 1984). Por tal motivo, dedicaremos la parte siguiente de dicha ponencia a la estación de Tumbaco donde estudiamos el papel de la erosión sobre cangahua recuperada desde 1986.

LA ESTACION DE TUMBACO

Dispositivo y Situación

La estación de Tumbaco (Fig. 1) se encuentra al pie del volcán Ilaló, a unos 20 km al este de Quito, y es perfectamente representativa de las zonas de cangahua que bordean las vertientes internas de las cordilleras, así como de los suelos cultivados sobre cangahua recuperada. Allí los afloramientos y taludes de cangahua constituyen un componente mayor del paisaje entre los cuales se observan pequeñas parcelas de maíz. La estación está ubicada en el borde de una planicie, en la parte superior de una vertiente bastante regular que termina en una quebrada de unos 50 m de profundidad. Se trata de una estación de medición del escurrimiento y de las pérdidas de tierra.

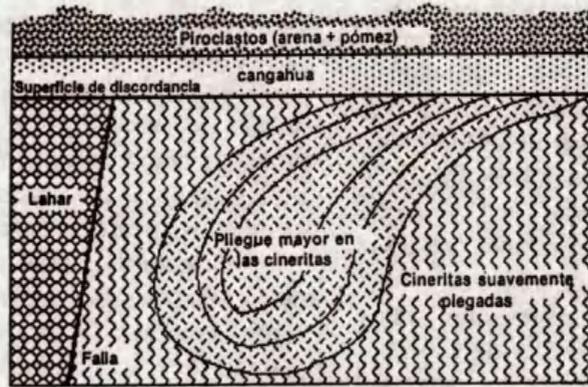


Figura 2. Corte de terreno típico del callejón intra-andino, entre Guyallabamba y Tabacundo (cuenca de Quito).

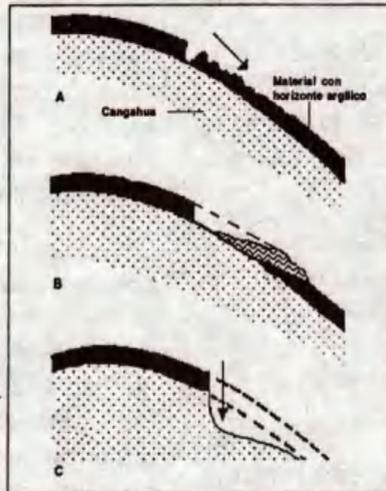


Figura 3. Procesos de erosión. A: inicio del deslizamiento del horizonte argílico sobre la cangahua; B: Movimiento de masa, dejando aflorar la cangahua; C: "limpieza" e inicio de la excavación de la cangahua.

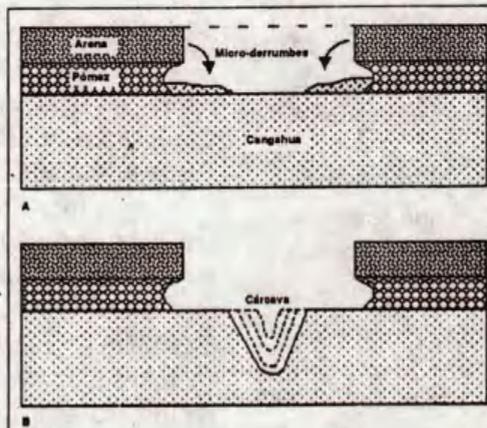


Figura 4. Procesos de erosión de los depósitos de piroclastos cubriendo la cangahua. A: Micro-derrumbes y formación de una cárcava; B: Inicio de una cárcava en la cangahua aflorando.

El dispositivo experimental

Está conformado por tres parcelas de escurrimiento con una pendiente promedio de 20%:

- una parcela testigo, tradicional, cultivada, según las condiciones locales: asociación maíz-fríjol y/o haba. La parcela testigo tiene 100 m² (desde 1990 esta parcela de 100 m² se duplicó con otra de 1,000 m²);

- una parcela experimental en donde, con los mismos cultivos y modificando un solo factor, se prueban diferentes medidas conservacionistas constituidas, básicamente de bandas de pastos dispuestas según las curvas de nivel. La parcela experimental tiene una superficie de 1,000 m², que corresponde a una situación mejorada en relación con la parcela tradicional;

- una parcela "Wischemeier" o desnuda de 100 m² que, además de su papel particular, reproduce el estado de superficie del suelo que se observa en el sitio campesino al inicio del cultivo o luego de la cosecha.

Cada parcela desemboca en un sistema de tanques donde diariamente son recolectados y medidos los sedimentos y el escurrimiento

Los suelos

Se caracterizan por:

- una débil diferenciación de los horizontes (A, AB, C);

- una profundidad media de 30-50 cm, (limitados por un nivel endurecido entre 30 y 50 cm);

- un horizonte húmico (mólico), cuyo poco espesor obviamente se debe a fenómenos de erosión. En condición de cultivo liviano puede tener un espesor y una tasa de materia orgánica importantes; alofánicos a veces en superficie, lo que según la clasificación USDA (Colmet Daage, 1973) les definen como Durandept integrado a Durustoll.

Perfil

Presentan en perfil:

- un horizonte húmico de 5 a 10 cm de

espesor, de color café-amarillento, de textura franca a franco-limosa, la estructura es monoparticular con pocos terrones muy débiles. Pasa de forma gradual a;

- un horizonte de 15 a 35 cm de espesor, más claro, amarillo-tomate, de similar textura, mono-particular sin elementos gruesos, de forma brutal, subrayado a veces por la presencia de elementos calcáreos; pasa a;

- un material amarillento claro (muy endurecido en estado seco) que presenta rayas de algunos centímetros dejadas por el paso de un arado; por sus características de dureza, densidad y presencia de las bolas dejadas por los escarabajos fósiles es evidentemente una cangahua.

Los mismos horizontes superficiales húmicos se han constituido a costa de la cangahua. Aquí no queda casi nada de los horizontes negros arcillosos llamados localmente "chocoto" que se observan en la misma posición geomorfológica en una plantación de cítricos 200 m más al sur.

Endurecida la cangahua es estéril, por esta razón, en caso de no tener horizontes superficiales, es indispensable ablandarla, manualmente o con arados profundos hasta tener una profundidad que permita cultivarla con rendimientos satisfactorios. Es por eso que los resultados que daremos e interpretaremos a continuación se refieren a la cangahua recuperada.

El clima

El clima presenta caracteres bastante particulares:

- un clima ecuatorial de montaña con temperaturas anuales templadas, de un promedio de 16° C con poca diferencia entre los diferentes meses

- una fuerte variabilidad climática intermensual (en los cinco años de medidas el mínimo de los totales anuales observados ha sido de 450 mm² en tanto que el máximo supera 750 mm). También es fuerte la variabilidad intermensual (octubre mes clave para los arados y sembrados recibió 65 mm en 89-90, 214 mm en 90-91 sea tres veces más);

Cuadro 5. Totales mensuales y anuales de las lluvias en milímetros (1986-91).

	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	Prome- dio
sept	63	41	45	0	43	39
octu	93	139	65	69	214	116
novi	63	10	86	30	18	41
dicie	53	54	39	0	47	39
ener	65	53	55	31	92	59
febr	40	46	54	69	39	49
marz	41	20	89	58	89	59
abri	115	152	20	90	52	86
mayo	97	94	112	50	112	93
juni	42	51	40	19	40	38
juli	0	22	23	11		14
agos	17	25	0	62		26
Total	688	707	627	487	746	659

- totales medios anuales de 660 mm, una larga temporada lluviosa de octubre a junio entrecortada por una temporada seca (o menos lluviosa) de diciembre a febrero, durante la cual se establece un déficit hídrico que afecta a todos los cultivos. Los meses de junio a septiembre (verano) se caracterizan por vientos fuertes y muy secos que soplan del medio día hasta las 5 de la tarde y alturas de lluvia débiles, a pesar de

eso pueden ocurrir importantes aguaceros acompañados de granizos. Según las normas de la clasificación USDA prevalecen condiciones francamente "ústicas". En el Cuadro 5 se ilustra estas condiciones.

Los Resultados

Los resultados que nos interesan se refieren respectivamente al escurrimiento, las pérdidas de tierra y las intensidades de lluvia que provocan los mismos.

El escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento de agua (CE%) es un dato que varía mucho de un año a otro y de una lluvia a otra. La variabilidad interanual es importante y depende del tipo de parcela: desde el 1.5 hasta el 8.9% en el caso de la parcela mejorada, 5 a 14% para la parcela tradicional, 10 a 35% en la parcela Wischmeier mientras que los volúmenes escurridos para cada parcela son respectivamente de 150 m³, 500 m³ y 1,250 m³ (Cuadro 6).

Cuadro 6. Escurrimiento para cada tipo de parcela (1986-1991).

		Año	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	Total
Lluvia total anual			688.0	707.0	627.0	487.0	746.0	659.0
Parcela mejorada	Total escurri. (m ³ /ha)		104.9	55.2	382.2	116.5	71.8	146.1
	CE anual (%)		2.4	1.5	8.9	3.7	1.9	3.8
	CE max		13.6	15.3	54.9	8.6	9.4	
	Núm. escurri. > 10%		1	1	2	0	0	
Parcela tradicional	Total escurri. (m ³ /ha)		251.5	311.8	539.3	391.7	586.6	416.2
	CE anual (%)		4.7	7.5	13.7	7.7	9.3	8.4
	CE max		21.8	31.1	36.4	41.1	55.9	
	Núm. escurri. > 10%		2	5	3	3	7	
Parcela Wischmeier	Total escurri. (m ³ /ha)		453.8	1085.9	1866.5	1507.6	1372.3	1257.2
	CE anual (%)		10.2	20.3	33.7	29.2	21.6	23.4
	CE max		22.4	61.1	88.8	85.1	78.8	
	Núm. escurri. > 10%		6	13	14	13	17	

Los coeficientes de escurrimiento máximos (CE max) son bien superiores: en el caso de la parcela mejorada alcanzan el 20% (una vez 55%) pero sobrepasan el 10% una o dos veces al año, llegan a 20% y 55% en la parcela tradicional, pasando de 2 a 7 veces al año el 10%. En el caso de la parcela Wischmeier se registraron valores del 80% mientras tanto de 6 a 17 veces al año el CE supera el 10%.

Por mes, se agruparon las cantidades de agua escurrida durante los 5 años de observación para cada tipo de parcela (Cuadro 7). Se puede anotar diferencias marcadas entre las parcelas según los meses.

- en la parcela mejorada, el escurrimiento es importante en septiembre-octubre (37% del escurrimiento total anual); durante estos meses el coeficiente de escurrimiento (CE) no supera el 5%; durante el mes de mayo, que totaliza el 36% del escurrimiento anual, el CE se mantiene al mismo nivel del 6%;

- en la parcela tradicional cultivada tiene un comportamiento similar al de la parcela mejorada con CE superiores: 12% en octubre y mayo;

- frente al escurrimiento, la parcela Wischmeier reacciona de forma inmediata a la cantidad total de lluvia caída con CE bastante elevados que superan el 10%, siete meses al año.

A pesar de estas diferencias entre parcelas, hay

que resaltar los siguientes comentarios:

- en un medio climático caracterizado por un déficit de agua casi permanente, es sobre la parcela mejorada que se observa los volúmenes de agua escurrida y los CE más bajos. La retención de una cantidad básica de agua para el cultivo es uno de los objetivos claves del estudio;

- para las tres parcelas, es durante los meses de julio y agosto, que son los menos lluviosos y con un estado de superficie del suelo altamente susceptible a la erosión, que el CE es mayor. Se desprende de este análisis que no hay correlación entre las alturas de lluvia, el agua escurrida y el CE, cualquiera que sea el tipo de parcela;

En los suelos de cangahua recuperada de Tumbaco, a pesar de tener pocos eventos de consideración por año, los resultados logrados desde 1986 en las parcelas Wischmeier y tradicional hacen temer la eventualidad de llegar a una situación alarmante sin retorno posible; aún más en un país donde pueden ocurrir eventos aleatorios y catastróficos como el fenómeno del Niño (De Noni *et al.*, 1987). A pesar de ablandar a medida la capa dura, parece como si dicha capa estaría más y más cerca de la superficie. Por no usar obras de conservación en las áreas recuperadas, el campesino está confrontado a una especie de lucha contra el tiempo: por un lado se recupera la cangahua, y por otro lado se pierde tierra y aflora más y más la cangahua dura.

Cuadro 7. Escurrimiento promedio mensual para cada tipo de parcela (1986-1991).

	Lluvia mm	Parcela mejorada		Parcela tradicional		Parcela Wischmeier	
		Escurri. m ³ /ha	CE %	Escurri. m ³ /ha	CE %	Escurri. m ³ /ha	CE %
sept	38.7	22.5	5.8	29.0	7.5	60.3	15.6
octu	115.8	33.7	2.9	144.2	12.5	331.3	28.7
novi	41.3	4.9	1.2	20.0	4.8	129.3	31.3
dicie	38.6	0.4	0.1	1.8	0.5	20.3	5.3
enero	59.1	0.7	0.1	2.9	0.5	41.6	7.0
febrero	49.4	0.5	0.1	5.8	1.2	43.8	8.9
marzo	59.4	4.9	0.8	36.0	6.1	98.7	16.6
abril	85.8	1.9	0.2	8.2	1.0	111.9	13.0
mayo	92.8	54.7	5.9	115.3	12.4	299.7	32.3
junio	38.5	0.6	0.2	15.0	3.9	28.6	7.4
julio	13.7	24.5	17.9	5.5	4.0	26.1	19.1
agosto	25.9	2.2	0.8	43.4	16.8	96.5	37.3
Total	659.0	151.5	2.3	427.1	6.5	1288.7	19.6

Este tipo de proceso es bastante alarmante porque cuando el agua pasa la capa de suelo recuperado, la energía del escurrimiento se vuelve muy veloz sobre la cangahua dura. Pudimos comprobar esta dinámica utilizando la simulación de lluvia con el infiltrómetro tipo Asseline-Valentin (1978). Las mediciones se realizaron sobre cangahua endurecida a lado de las parcelas, con pendientes del 10-12%. Se calculó que los coeficientes de escurrimiento estabilizados eran de 80% para lluvias de 20 mm/h de intensidad y del 91% con intensidad de 60 mm/h, la estabilización a estos valores se consigue en forma rápida y siempre en menos de 10 minutos. El escurrimiento es casi siempre limpio, hecho que no tendría mayor importancia si las aguas limpias al llegar a los materiales blandos aguas abajo no provocarían los graves estragos y las formas de erosión descritas anteriormente.

Las pérdidas de tierra

Las pérdidas de tierra son importantes. En el Cuadro 8 se nota que si en la parcela mejorada se observan pérdidas inferiores a 1 ton/ha desde los cuatro últimos años sin mucho cambio interanual (el promedio es en realidad de 4 provocado por una sola lluvia al inicio del estudio cuando la parcela y las bandas encepadas recién instaladas

no tenían la menor eficacia). Transformado en lámina de suelo, las pérdidas promedio representan cada año 0.1 mm ó en el peor de los casos 0.4 mm lo que parece ser admisible mientras tanto se mantenga la producción; para la parcela tradicional, las pérdidas promedio se sitúan en 19 ton/ha con una gran variabilidad interanual, además se alcanzan niveles de pérdidas demasiado elevados que coinciden con una producción inferior a la observada en la parcela mejorada. Expresado en lámina lo perdido, da 2 mm por año. En el caso de la parcela Wischmeier las pérdidas anuales son de 92 ton/ha, que representan un espesor de 1 cm. Se verifica que en 86-87 su comportamiento es parecido a la parcela mejorada y que en 87-88 se acerca a la parcela tradicional. Por esta razón se conservó esta parcela que permite explicar algunos resultados aparentemente incoherentes.

En el Cuadro 8, se nota que la carga promedio de tierra en el agua escurrida aumenta desde la parcela mejorada (sin tomar en cuenta el primer año), a la parcela tradicional y a la parcela Wischmeier, respectivamente, 7, 46 y 73 kg/m³.

Las relaciones sedimentos en suspensión / tierra de fondo son de 0.3, que representan valores bajos en comparación con la tierra en su sitio y los sedimentos arrastrados.

Cuadro 8. Pérdidas de tierra, suspensión y tierra de fondo (1986-1991).

Año		86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	Total
Lluvia total anual		688.0	707.0	627.0	487.0	746.0	659.0
Parcela mejorada	CE anual (%)	2.4	1.5	8.9	3.7	1.9	3.8
	Suspensión (ton/ha)	1.3	0.3	0.4	0.8	0.5	0.7
	Tierra fondo (ton/ha)	18.4	0.2	0.2	0.0	0.2	3.8
	Tierra total (ton/ha)	19.7	0.4	0.6	0.8	0.7	4.4
Parcela tradicional	CE anual (%)	4.7	7.5	13.7	7.7	9.3	8.4
	Suspensión (ton/ha)	5.4	6.8	3.5	4.6	4.2	4.9
	Tierra fondo (ton/ha)	19.6	36.7	3.6	1.2	10.9	14.4
	Tierra total (ton/ha)	25.0	43.5	7.1	5.8	15.1	19.3
Parcela Wischmeier	CE anual (%)	10.2	20.3	33.7	29.2	21.6	23.4
	Suspensión (ton/ha)	27.0	21.5	29.1	15.4	14.7	21.5
	Tierra fondo (ton/ha)	42.7	80.6	48.1	78.9	102.5	70.6
	Tierra total (ton/ha)	69.8	102.2	77.2	94.3	117.3	92.1

Cuadro 9. Pérdidas mensuales de tierra (1986-1991).

	Lluvia mm	Parcela mejorada		Parcela tradicional		Parcela Wischmeier		Número de eventos mayores	Trabajos	Calendario agrícola
		CE %	Perd. ton/ha	CE %	Perd. ton/ha	CE %	Perd. ton/ha			
sept	38.7	5.8	3.8	7.5	3.7	15.6	9.5	1	arado	Siembra maíz
octu	115.8	2.9	0.3	12.5	10.4	28.7	29.9	4		
novi	41.3	1.2	0.1	4.8	0.6	31.3	6.9	3		
dicie	38.6	0.1	0.0	0.5	0.0	5.3	1.9	1	Primera limpieza-aporque	Floración
enero	59.1	0.1	0.0	0.5	0.0	7.0	1.9	1		Floración
febre	49.4	0.1	0.0	1.2	0.1	8.9	3.4	1		
marzo	59.4	0.8	0.1	6.1	1.9	16.6	12.0	1	Segunda limpieza-aporque	
abril	85.8	0.2	0.0	1.0	0.1	13.0	2.4	2		
mayo	92.8	5.9	0.1	12.4	1.3	32.3	16.4	4		Cosecha maíz
junio	38.5	0.2	0.0	3.9	0.6	7.4	6.3	0	Tercera limpieza-arado liv.	Siembra avena
julio	13.7	17.9	0.0	4.0	0.1	19.1	0.5	1		
agosto	25.9	0.8	0.1	16.8	0.6	37.3	5.5	1		Cosecha avena
Total	659.0	2.3	4.5	6.5	18.9	19.6	96.6			

En el Cuadro 9 se indican las pérdidas de tierra (Susp. + Fondo) mes a mes, lo que permite apreciar la eficacia del grado de desarrollo del cultivo. El suelo recientemente arado y sembrado es bastante frágil. Para luchar contra la erosión en este momento crítico es necesario haber desarrollado obras que completen el efecto de un arado (sin pulverizar) que favorece la infiltración reduciendo el escurrimiento. En la parcela mejorada se logra este propósito sobre todo cuando la vegetación llega a su completo desarrollo. En la parcela tradicional se notan ligeras pérdidas que acompañan las lluvias de marzo-mayo. Sin alcanzar valores fuertes se pueden apreciar las pérdidas de los típicos meses secos de julio y agosto.

Como se dijo anteriormente los fenómenos erosivos: escurrimiento y pérdidas de tierra no logran explicarse por los totales de lluvia en las parcelas mejoradas y tradicional. En consecuencia, se puede deducir que son las intensidades y su respectiva duración las que mejor expresan la cantidad de lluvia escurrida, los coeficientes de escurrimiento (CE) y las pérdidas de tierra.

Las intensidades

Existen muy buenas relaciones (De Noni *et al.*, 1984) entre las pérdidas de tierra y las intensidades máximas en un tiempo determinado

15, 30 y 60 minutos (señaladas de forma convencional IM15, IM30 e IM60) pues estos parámetros expresan la agresividad climática. Por el tipo de lluvia presente en Ecuador y por el tipo de pluviógrafo más común en el país, se decidió utilizar las intensidades máximas en 15 y 30 minutos.

Las intensidades son medianamente importantes: cada año se observan intensidades máximas en IM15 que alcanzan 80 mm/h y IM30 que pasan 40 mm/h hasta llegar a 55 mm/h. El Cuadro 10 muestra el número de eventos por clase de intensidades; se nota el poco número de eventos de fuertes intensidades que pueden provocar escurrimiento y por consecuencia una notable erosión. Cada año, hay menos de 10 lluvias que, a la vez, superan 25 mm/h y tienen una duración de media hora. Estas 10 lluvias representan menos del 10% del conjunto de las lluvias.

Al seleccionar durante todo el periodo de investigación (5 años) los cinco eventos erosivos de mayor importancia, se observa que todos se refieren a lluvias de intensidad superiores a 15 mm/h que además a excepción de una sola, tuvieron una duración superior a 30 minutos. Además se puede comprobar que estos cinco eventos mayores representan el 85 hasta el 99% de las pérdidas de tierra (De Noni *et al.*, 1986 y 1990).

Cuadro 10. Intensidades clasificadas 1986-1990.

Intens.	IM 30 (mm/h)				Intens.	IM 15 (mm/h)			
	86-87	87-88	88-89	89-90		86-87	87-88	88-89	89-90
0*	38	37	20	22	0*	16	10	5	5
0-5	86	88	60	74	0-5	86	102	53	75
5-10	32	22	19	16	5-10	40	22	26	20
10-15	6	8	13	9	10-15	12	10	13	9
15-20	9	8	3	6	15-20	10	9	7	9
20-25*	3	1	1	4	20-25	3	5	6	4
25-30	1	2	1	2	25-30	2	2	2	3
30-35	0	0	2	1	30-35	4	3	3	1
35-40	0	0	1	1	35-40	1	1	0	5
40-45	1	2	0	1	40-45	1	2	0	3
45-50	1	0	0	0	45-50	0	0	0	0
50-55	0	1	0	0	50-55	0	1	3	0
55-60	0	0	0	1	55-60	0	0	0	1
60-65	0	0	0	0	60-65	0	0	0	1
65-70	0	0	0	0	65-70	0	0	0	1
70-75	0	0	0	0	70-75	1	1	0	0
75-80	0	0	0	0	75-80	1	1	0	0
80-85	0	0	0	0	80-85	0		0	0
85-90	0	0	0	0	85-90	0		1	0
Total	177	169	120	137	Total	177	169	120	137
Max.	46.2	53.8	39.2	56.2	Max.	77.2	78	135.2	66

* en esta clase se encuentran las lluvias que no duraron 15 y 30 minutos, respectivamente

CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden sacar del estudio son que la cangahua dura o ablandada es bastante susceptible a la erosión hídrica por escurrimiento, la misma que es activada por lluvia caracterizada por una intensidad y una duración. A pesar de que los eventos no sean tan fuertes y de poca ocurrencia, el escurrimiento como la erosión sobrepasan lo admisible lo que puede explicar el paisaje bastante degradado de la zona. Sin embargo, en parcela mejorada y en buenas condiciones de cultivo, las pérdidas de tierra se quedan a niveles admisibles conforme con una agricultura sostenida.

Si un uso tradicional en el marco de un parcelario bastante dividido que frena y limita el

escurrimiento es viable, se observan malas experiencias con las operaciones de recuperación con uso de material agrícola pesado: arado profundo de 60 cm de profundidad, pulverización de los terrones hasta tener un suelo disgregado con pocos terrones. La materia orgánica traída (desechos de gallina mezclado con aserrín) mal incorporada con el suelo, no le da la cohesión esperada. La longitud excesiva de los lomos favorece un escurrimiento según las curvas de nivel, al aumentar el caudal se rompen los lomos, el escurrimiento se acelera según la pendiente y se forman cárcavas que se paran al límite de la cangahua dura. Con el tiempo las cárcavas se ensanchan y se reúnen mientras tanto la erosión regresiva sigue muy activa; luego de algunos años, la cangahua dura reaparece y se extiende en el campo.

LITERATURA CITADA

- ASSELINE, J. y C. VALENTIN. 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion, Cah. ORSTOM, sér. hydrol. 15 (4): 321-349.
- ALMEIDA, G., G. DE NONI, J. F. NOUVELOT, G. TRUJILLO y A. WINCKELL. 1984. Los principales procesos erosivos en Ecuador, PRONAREG-PRONACOS-ORSTOM, Quito. 31 p. y mapa del país a escala 1/1000.000.
- COLMET-DAAGE, F. 1973. Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques, Parties 1 à 4, Publications ORSTOM-Antilles n° 78.
- COLMET-DAAGE, F. y C. ZEBROWSKI. 1982-84. Mapas de suelos de la Sierra ecuatoriana, escala 1/200.000. Convenio MAG-ORSTOM, Quito, Ecuador.
- DE NONI, G. 1982. Análisis cualitativo de tres procesos de erosión en la Sierra volcánica del Ecuador, CEDIG-ORSTOM, Doc. de investig. 2: 39-54, Quito, Ecuador.
- DE NONI, G., J.F. NOUVELOT y G. TRUJILLO. 1984. Erosion and conservation of volcanic ash soils in the highlands of Ecuador: a case study, part. 1. pp. 263-274. *In*: 6th International Soil Classification Workshop, Chile and Ecuador, SMSS (Washington), PUCC (Santiago de Chile).
- DE NONI, G., G. TRUJILLO y M. VIENNOT. 1986. L'érosion et la conservation des sols en Equateur, Cah. ORSTOM, sér. pédologie 22 (2): 235-245.
- DE NONI, G., M. VIENNOT y G. TRUJILLO. 1990. Mesures de l'érosion dans les Andes de l'Equateur, cah. ORSTOM, sér. Pédologie 25 (1-2): 183-197.
- DE NONI, G., P. POURRUT y M. VIENNOT. 1987. Analyse de l'impact du "Niño" 1982-83 sur le milieu morfo-dynamique instable de l'Equateur, pp. 157-168. *In*: Colloque Climats et risques naturels. CNRS-AFGP, Paris, France.
- DERRUAU, M. y G. DE NONI. 1979. Sur la géomorphologie des pyroclastites dans les Andes de l'Equateur, cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum. 16 (3): 251-259.
- SAUER, W. 1965. Geología del Ecuador, Editorial del Ministerio de Educación, Quito, Ecuador. 383 p.
- WOLF, T.H. 1975. Geografía y Geología del Ecuador, Ed. de la Casa de la Cultura Ecuatoriana, Quito, Ecuador. 798 p.

MEDICIONES PRELIMINARES DE LA EROSION HIDRICA EN EL BLOQUE DE TLAXCALA, MEXICO

First results of the hydric erosion in the Block of Tlaxcala, Mexico

Jurgen Baumann¹, Gerd Werner¹, Hipólito Muñoz Nava², Andrea Vera Reyes²
y Gustavo F. Flores²

¹ *Tropeninstitut, Justus-Liebig-Universität-Giessen, Giessen, Alemania.*

² *Departamento de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, Edo. de Tlaxcala*

Palabras clave: Tepetate, Fragipan, Roturación, Cambisol vértico, Pérdida de suelo, Afluente, Caracterización de lluvia, Erosividad.

Key words: Tepetate, Fragipan, Recultivated, Vertic Cambisol, Soil loss, Runoff, Rainfall characterisation, Erosivity.

RESUMEN

En las temporadas de lluvia entre abril y octubre de 1990 y 1991, en tres lugares (Tlalpan, El Carmen y Matlahochan) del Bloque de Tlaxcala se realizaron mediciones de pérdida de suelo y de afluente en lotes experimentales. En total se instalaron 12 parcelas en tepetates, tepetates roturados y en un Cambisol vértico. El objetivo principal fue investigar la susceptibilidad de tepetates roturados ante la erosión bajo las condiciones climáticas y de las características de la precipitación (erosividad). En comparación a los tepetates roturados se midió la erosión en un Cambisol vértico, tomando en cuenta que este tipo de suelo es muy corriente en el área de investigación. Los tepetates fueron considerados especialmente por el alto porcentaje de afluente en estas superficies.

SUMMARY

During the rain periods between april and october in 1990 and 1991 at three places (Tlalpan, El Carmen y Matlahochan) of the Bloque of Tlaxcala messurings of soil loss and runoff in field plots were made. Twelve filed plots on Fragipans (span.: Tepetate), recultivated Fragipans and an Vertic Cambisol were installed. The main aim was to investigate the susceptibility of recultivated Fragipans to erosion under the given climate conditions and rainfall characteristics (erosivity). In comparison to the recultivated Fragipans erosion were messured on an Vertic Cambisol. This type of soil is very comon in the area of investigation. The Fragipans were considered especially because of the high percentage of runoff on these surfaces.

INTRODUCCION

Cualitativamente las dimensiones de los daños causados por erosión en el Altiplano Central Mexicano están ya bien documentadas (Miehlich, 1984 y Werner, 1981 y 1988). También Lal (1988) menciona daños considerables por erosión en México.

Mediciones cuantitativas de pérdida de suelo, erodabilidad de diferentes tipos de suelo y mediciones de erosividad de las lluvias ya se han hecho por Wegener (1979), Rey Contreras (1979) y Arias (1991) entre otros.

En el área de investigación, Bloque de Tlaxcala, hay daños graves sobre todo en regiones donde se encuentran extensas superficies de suelos volcánicos endurecidos (Fragipanes, llamados en México "tepetate").

Por la necesidad de ampliar la superficie productiva se establecen programas de recuperación agrícola y/o forestal de los tepetates.

Las superficies roturadas tienen propiedades físicas y químicas peculiares como bajo contenido de humus, nitrógeno y fósforo.

La estructura del material roturado depende en gran parte de la forma en que se emplea la maquinaria.

Fundamentalmente se puede suponer que las superficies recién roturadas son muy susceptibles a la erosión, si las técnicas de roturación empleadas son inapropiadas, por ejemplo, tamaño e inclinación de la parcela o si el uso agrícola no es el adecuado. Las investigaciones realizadas deben contribuir para mejorar el limitado banco de datos respecto a los procesos erosivos en el Bloque de Tlaxcala.

En primer plano deben de estar las posibilidades para un uso agrícola sostenible de los tepetates roturados.

MATERIALES Y METODOS

1. Características de las Parcelas Experimentales

En total se instalaron 12 parcelas con las siguientes características (Cuadro 1).

El tamaño de las parcelas (22 x 2 m) en los tepetates roturados se eligió según la medida de parcelas tipo Wischmeier. En los tepetates se construyeron parcelas más pequeñas (6 x 2 m) por el afluente muy elevado. Prácticamente no hubiese sido posible captar el afluente total con las dimensiones de tipo Wischmeier.

En Matlalohcan tres parcelas tienen diferentes medidas. Las parcelas CAM/cv y TC fueron construidas por el CIFAP (Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias) en un proyecto anterior; la parcela TCR/T no se pudo ampliar por las características del lugar.

La delimitación de las parcelas pequeñas (3 x 2 m) y de la parcela CAM/cv fueron hechas con ladrillos y las demás con láminas de madera a una profundidad de 15 cm, así asegurando que no hubiera flujo de agua de fuera hacia a dentro.

Cuadro 1. Características de las parcelas.

Lugar	Material	Roturado	Cultivo	Altura msnm	Pendiente %	Tamaño m	Simbología
Tlalpan	Toba 3	no	no	2600	8	3 * 2	TC
	Toba 2	no	no	2600	8	3 * 2	TG
	Toba 3	si	no	2580	8	22 * 2	TCR/sv
	Toba 3	si	maíz	2580	8	22 * 2	TCR/cv
El Carmen	Toba 3	no	no	2600	7	3 * 2	TC
	Toba 2	no	no		9	3 * 2	TG
	Toba 2	si	no	2600	9	22 * 2	TGR/sv
	Toba 2	si	maíz	2550	8	22 * 2	TGR/cv
Matlalohcan	Toba 3	si	Amelanchier Denticulata (Tlaxistle)	2500	9	6 * 2	TGR/T
	Toba 3	no	no	2500	9	6 * 2	TC
	Capa Holocena	no	no	2500	9	22 * 2	CAM/sv

2. Manejo de las Parcelas

Las labores culturales para las parcelas con cultivo de maíz (TCR/cv) en los tepetates roturados fueron paralelas a la usanza local. Estas labores incluyen: barbecho, surcado con una distancia entre los surcos de 80 cm, siembra en los surcos a una distancia de 40 cm, segundo y tercer surcado según el desarrollo vegetativo de las plantas.

Por otra parte, las parcelas sin cultivo solamente se quedaron con barbecho, manteniéndolas sin cubierta vegetal mediante aplicación de herbicida de amplio espectro.

3. Mediciones de Afluente y Pérdida de Suelo

Debido al limitado presupuesto de este proyecto, se midió el afluente con el siguiente sistema: dependiendo del tamaño de la parcela y del tratamiento se colocaron diferentes cantidades de recipientes (tinajas de polietileno) con capacidad de 100 litros cada uno. En todas las parcelas se colocaron las tinajas a diferentes niveles, comunicadas con un ducto que permitiera el derramamiento de agua de una tina a otra.

Dependiendo del número de tinajas se tenía en las diferentes parcelas la siguiente capacidad de captación del afluente:

- a) Parcelas de tipo Wischmeier sin vegetación: 13.1 l/m²,
- b) Parcelas de tipo Wischmeier con vegetación: 11.3 l/m²,
- c) Parcelas en tepetate: 30 l/m²,
- d) Parcela de *Amelanchier denticulata* (TCR/T): 16,7 l/m².

Sin embargo, no fue posible captar el afluente total de algunas lluvias con alta erosividad. No obstante, se pudo medir aproximadamente la pérdida de suelo debido a que la mayor cantidad del material arrastrado se sedimentó en las tres primeras tinajas. A partir de la cuarta tina solamente se encontró material en suspensión.

Cuando hubo sedimento el contenido de los recipientes se homogeneizó por agitación. De esta

mezcla se tomó una alícuota de un litro para ser secada posteriormente al horno. En los casos en que no fue posible homogeneizar el contenido (sedimento y suspensión), se tomaron alícuotas de ambas partes. El sedimento total se calculó multiplicando el peso seco de la alícuota por los litros totales del afluente.

4. Medición de la Precipitación Pluvial

En cada sitio experimental se instaló un pluviógrafo de tipo Hellmann de registro diario. Las estaciones experimentales se supervisaron diariamente. Además del pluviógrafo se colocó un pluviómetro de control. Por seguridad contra robo y destrucción los pluviógrafos no se colocaron según la convención de un metro sobre la superficie del suelo, sino se instalaron sobre techos (2.50 m) de casas particulares cercanas a las parcelas de experimentación.

Después de la temporada de lluvias de 1990 se reemplazaron los pluviógrafos, construidos por otra empresa, porque el sistema de sifón de los pluviógrafos de la primera marca daban lecturas erróneas con precipitaciones fuertes. Los registros obtenidos en estos casos no fueron considerados para el cálculo del EI₃₀, la precipitación fue estimada aproximadamente en base a los afluentes de las parcelas de tepetate.

5. Evaluación de los Registros Pluviográficos

La evaluación de los registros se realizó con el programa ERODAT (Dettling, 1986) en el Geographisches Institut der Universität, Basel (Suiza), mediante digitalización de cada gráfica pluvial. Este programa calcula las siguientes características: Intensidad máxima, Intensidad máxima en 5, 10 hasta 30 min., energía total y el EI₃₀ según Wischmeier (1958). Además fue posible calcular el Índice AI_m según Lal (1976), producto de la intensidad máxima y de la lluvia total del evento. En este trabajo el EI₃₀ está expresado en N/h. El AI_m está expresado en cm²/h.

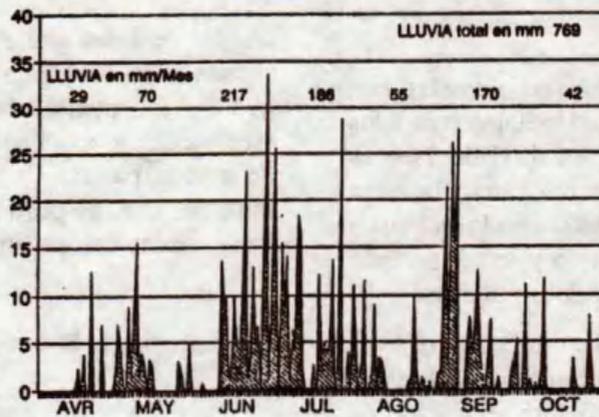


Figura 1. Precipitación en 1991 en El Carmen.

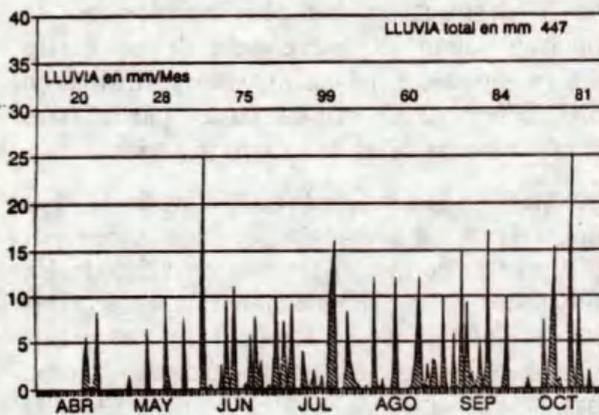


Figura 2. Precipitación en 1990 en Matlahochan.

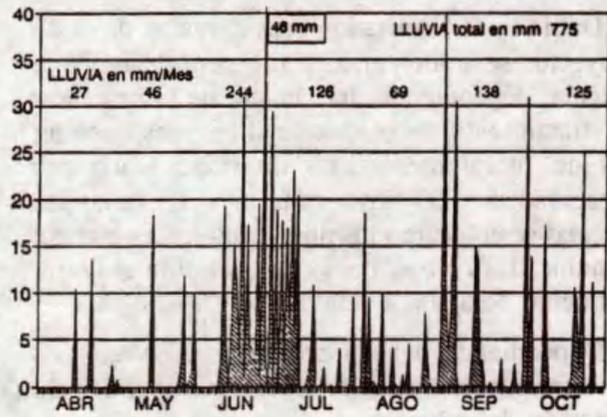


Figura 3. Precipitación en 1991 en Matlahochan.

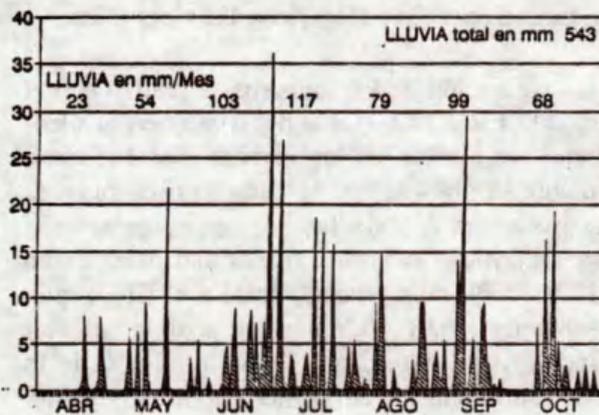


Figura 4. Precipitación en 1990 en Tlalpan.

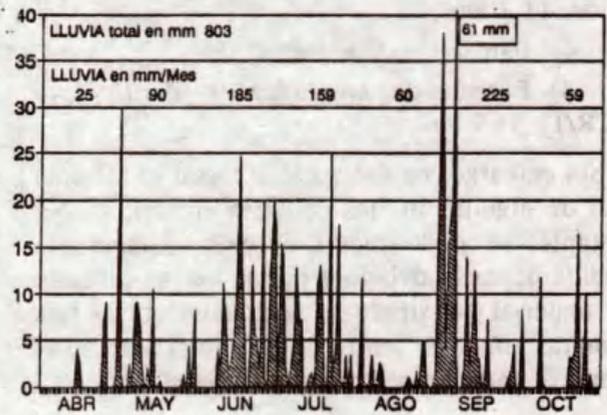


Figura 5. Precipitación en 1991 en Tlalpan.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Precipitación y Distribución Anual de las Lluvias

Las mediciones muestran que la precipitación anual varía claramente entre los dos años 1990 y 1991. Según el promedio anual de las lluvias (550 mm) se puede decir que el año 1990 fue un año relativamente seco y al contrario 1991 fue un año húmedo. (Figuras 1 a 5).

La distribución de las lluvias muestra que hubo una concentración de precipitación particularmente en los meses de junio/julio, así como en septiembre de 1991. Esta distribución bimodal es característica para el Estado de Tlaxcala. La menor precipitación en agosto se conoce como sequía interestival.

En 1991 hubo dos períodos de sequía entre la temporada de lluvia. El primer período de sequía ocurrió entre el 15 de mayo y el 8 de junio. Tomando ejemplos, en El Carmen solo llovió 11 mm y en Tlalpan 19 mm. El segundo período ocurrió en El Carmen entre el 11 y el 31 de agosto con 21 mm de lluvia y en Tlalpan llovió 26 mm entre el 3 y 30 de agosto. Después de cada período de sequía siguió otro de intensas lluvias en los meses de junio/julio y septiembre provocando un exceso de agua y por consiguiente una erosión.

En 1990 se tuvo una mejor distribución de las lluvias. En ambos años, se observó que abril es el mes con la menor precipitación y en mayo se empieza a establecer el período de lluvias.

2. Clasificación de las Lluvias

Los eventos se agruparon en clases de 5 mm (Romero Díaz, 1988), por una mayor facilidad de la interpretación de los datos.

Los Cuadros 2-4 muestran que en la primera clase se encuentra el mayor número de eventos (entre 56 a 60% del total de eventos), siguiendo en la frecuencia la segunda clase (entre 13.5 a 22%), abarcando así estos dos rangos hasta 90% del número total de eventos. Sin embargo, los dos primeros rangos representan solamente una fracción de la precipitación total entre 57.7% (Tlalpan 1990) y 33.3% (Tlalpan 1991). En las 2 temporadas, eventos mayores de 30 mm ocurrieron raras veces (0.8 a 5.2 %). La mayor cantidad de estos eventos se registró en Matlahocan en 1991 con un total de 5. El evento más alto registrado en los dos años de medición (61 mm) fue el día 6/9/1991 en Tlalpan. El número de lluvias (Cuadros 3 y 4) entre 10 y 29.9 mm fueron mayores en 1991, sin embargo, no existe variación entre los dos años en el número total de lluvias.

El índice EI_{30} de cada clase indica, que las tres últimas clases contribuyen entre 47% (El Carmen 1991) y 65.6% (Tlalpan 1991) en el total de la erosividad anual. El índice AI_m es menor, con valores entre 35.8% y 56.1%.

La erosividad total anual varía claramente entre los tres lugares. Matlahocan tiene un EI_{30} de 418 y un AI_m de 429 unidades de erosividad anual más alto. La erosividad más baja se observa en El Carmen con 234 y 261 unidades, respectivamente. Esta variación se debe solamente a las precipitaciones mayores de 30 mm.

Cuadro 2. El Carmen: clasificación de lluvia.

Clase de lluvia mm	Eventos en 1991		Lluvia		EI 30		AI _m	
	Número	%	mm	%	Suma	%	Suma	%
0.1-4.9	74	61.7	168	21.6	15	6.4	21	9
5-9.9	19	15.8	156	20	29	12.4	40	15.3
10-14.9	14	11.7	170	21.8	45	19.2	63	24.1
15-19.9	6	5	100	12.8	35	15	44	16.9
20-24.9	2	1.7	44	5.6	7	3	8	3.1
25-29.9	4	3.3	107	13.7	80	34.2	58	22.2
> 30	1	0.8	34	4.4	23	9.8	27	10.3
Total	120	100	779	100	234	100	261	100

Cuadro 3. Tlalpan: clasificación de lluvia.

Clase de lluvia mm/h	Eventos en 1990		Lluvia		Eventos en 1991		Lluvia		EI 30		AIm	
	Número	%	mm	%	Número	%	mm	%	Suma	%	Suma	%
0.1-4.9	77	68.0	133	24.5	65	58.0	132	16.4	10	2.8	13	4.4
5-9.9	25	22.0	180	33.2	18	16.1	136	16.9	19	5.3	24	8.1
10-14.9	2	1.8	29	5.3	14	12.5	169	21.0	46	12.9	43	14.5
15-19.9	5	4.4	86	15.8	7	6.3	123	15.3	48	13.4	50	16.9
20-24.9	1	0.9	22	4.1	4	3.6	89	11.1	61	17.1	61	20.6
25-29.9	2	1.8	57	10.5	2	1.8	55	6.8	31	8.7	24	8.1
> 30	1	0.9	36	6.6	2	1.8	99	12.3	142	39.8	81	27.4
Total	113	100.0	543	100.0	112	100.0	803	100.0	357	100.0	296	100.0

Cuadro 4. Matlahocan: clasificación de lluvia.

Clase de lluvia mm	Eventos en 1990		Lluvia		Eventos en 1991		Lluvia		EI 30		AIm	
	Número	%	mm	%	Número	%	mm	%	Suma	%	Suma	%
0.1-4.9	64	66	95	21.3	54	56.3	92	11.9	7	1.7	9	2.1
5-9.9	19	19.6	148	33.1	13	13.5	107	13.8	24	5.7	31	7.2
10-14.9	8	8.2	91	20.4	10	10.4	121	15.6	41	9.8	55	12.8
15-19.9	4	4.1	64	14.3	10	10.4	179	23.1	92	22.0	117	27.3
20-24.9	1	1.0	24	5.4	2	2.1	43	5.5	26	6.2	21	4.9
25-29.9	1	1.0	25	5.6	2	2.1	55	7.1	45	10.8	27	6.3
> 30	0	0.0	0	0.0	5	5.2	178	23.0	183	43.8	169	39.4
Total	97	100.0	447	100.0	96	100	775	100.0	418	100.0	429	100.0

3. Pérdida de Suelo y Escurrimiento

Observando los valores de pérdida de suelo en el Cuadro 5, se nota claramente que en su conjunto son considerablemente elevados. La transformación de los valores de erosión a t/ha medidos en parcelas pequeñas (g/m^2) tiene escasa validez. Sin embargo, en muchas investigaciones se presentan los resultados de erosión en t/ha por mayor claridad y manejo. Debe tomarse en cuenta que en parcelas de tipo Wischmeier solamente se mide erosión de forma laminar y cárcavas. Por supuesto, la forma de erosión en cárcavas juega un papel importante en el área de investigación. Esto fue observado durante los dos años de investigación. También Palacio Prieto y Vazquez Selem (1990) apoyan este punto de vista con sus investigaciones realizadas en el Edo. de Hidalgo/México, el cual colinda al Noroeste con el Edo. de Tlaxcala.

3.1. Pérdida de Suelo

Considerando los valores de pérdida de suelo de los tepetates (TC, TG) se nota que el TC en

Tlalpan se diferencia claramente de sus correspondientes parcelas en El Carmen y Matlahocan, tanto en 1990 y 1991. Estos valores (50 y 41 t/ha) representan para un tepetate una pérdida de suelo considerablemente alta.

En los otros dos lugares la cantidad de erosión en el TC es similar. Una explicación posible para estas diferencias puede ser que el TC en Tlalpan varía en sus características, principalmente en su dureza respecto a los de El Carmen y Matlahocan. Llama la atención (Cuadro 5) el hecho que en 1990 la erosión en el TC y TG en Tlalpan fue claramente mayor que en 1991 aunque la precipitación fue mucho menor en 1990.

La erosión más alta con 128 t/ha se midió en la parcela TCR/sv de Tlalpan. Desafortunadamente no hay valor correspondiente para 1990 debido a que esta parcela aún no estaba instalada en este año. La parcela análoga TGR/sv en El Carmen también presenta valores considerables de pérdida de suelo. Entre las parcelas de tipo Wischmeier sin vegetación el CAM/sv de Matlahocan muestra la menor erosión. Esto hace suponer que el Cambisol por su material de origen

con menos limo en comparación a los tepetates roturados, reduce la formación de costras superficiales y aumenta su capacidad de infiltración.

Las parcelas de TCR/cv en Tlalpan y TGR/cv en El Carmen tienen una pérdida de suelo de 26 y 21 t/ha para 1991. Aquí cabe mencionar que en la parcela de El Carmen el 76.8% (1760 g/m²) de la pérdida de suelo fue causado por un solo evento pluvial el día 26 de Junio. En este caso coincidieron perjudicialmente una lluvia de alta erosividad y el cultivo de maíz sembrado tres semanas antes, el cual aún no había desarrollado suficiente cubierta vegetal. Por otro lado, había en Tlalpan una concentración peculiar de seis eventos en una semana (31.08 al 6.09.1991) de alta erosividad que causaron el 64% (1687 g/m²) de la erosión total en la parcela TCR/cv; también en las demás parcelas estos seis eventos causaron la mayor parte de la pérdida de suelo total (TC:51% ; TCR/sv:58%).

La menor pérdida de suelo durante los dos años fue observada en la parcela del CAM/cv de Matlahocan con una cubierta vegetal de arbustos y pasto. Los valores de esta parcela indican claramente el efecto protector de la vegetación natural.

Cuadro 5. Pérdida de suelo.

Lugar	Parcela	Erosión	
		1990	1991
		t/a	
Tlalpan	TC	51.0	41.0
	TG	21.0	7.5
	TCR/sv		128.0
Matlahocan	TCR/cv	2.6	26.0
	TC	9.8	8.8
	TCR/T	17.0	26.0
	CAM/sv	18.0	46.6
El Carmen	CAM/cv	0.3	0.3
	TC	7.2	8.0
	TG	6.0	6.3
	TGR/sv	76.0	78.0
	TGR/cv	9.0	23.0

Es necesario mencionar la erosión relativamente alta en la parcela del tepetate café con plantación de Tlaxistle *Amelanchier denticulata* en Matlahocan.

La plantación de este arbusto se realizó mediante la excavación de cepas, quedando así entre los arbustos una superficie tepetatososa, lo cual combinado con el escaso follaje de este arbusto origina alto porcentaje de afluyente, provocando el deslave del material suelto de las cepas.

3.2. Escurrimiento

El porcentaje del afluyente (Cuadro 6) se calculó dividiendo la suma total del afluyente con la suma de las correspondientes precipitaciones. Para el lugar de El Carmen no tenía objeto calcular el porcentaje del afluyente/lluvia en el año 1990 porque el número de fallas del pluviógrafo con lluvias fuertes fue demasiado frecuente.

Llama la atención los elevados porcentajes del escurrimiento en los tepetates entre 62 y 75%. Tomando en cuenta solamente precipitaciones mayores de 15 mm, este porcentaje se incrementa hasta 84%. Las precipitaciones pluviales límite para causar escurrimiento están entre 2-3 mm. Estos hechos muestran en forma global el papel importante que juegan las superficies tepetatosas en la dinámica de la erosión. También se observa un alto porcentaje en la parcela con *Amelanchier denticulata* (Tlaxistle) (TCR/T) esto hace pensar que la plantación con esta especie en la forma descrita anteriormente tiene poca eficacia contra la erosión.

Cuadro 6. Porcentaje Afluyente/lluvia.

Lugar	Parcela	% Afluyente/lluvia *	
		1990	1991
Tlalpan	TC	66 (n=35)	68 (n=47)
	TG	69 (n=41)	65 (n=39)
	TCR/sv		43 (n=29)
Matlahocan	TCR/cv	8 (n=14)	21 (n=20)
	TC	62 (n=39)	75 (n=41)
	TCR/T	52 (n=34)	61 (n=44)
	CAM/sv	30 (n=23)	34 (n=36)
	CAM/cv	6 (n=19)	10 (n=23)
El Carmen	TC		70 (n=56)
	TG		67 (n=66)
	TGR/sv		34 (n=49)
	TGR/cv		11 (n=9)

* Cociente de la suma del afluyente medido y sus correspondientes eventos de lluvia.

CONCLUSIONES

Los primeros resultados parciales muestran que la erodabilidad de tepetates roturados bajo las condiciones climáticas en el Bloque de Tlaxcala es considerable. Además la susceptibilidad a la erosión depende fundamentalmente de un manejo adecuado.

Particularmente escasos eventos de alta erosividad pueden causar elevadas pérdidas de suelo como lo muestran algunos ejemplos en 1991 en El Carmen y en Matlalohcan.

Esto se nota también en el hecho que la suma total de los índices de erosión AI_m y EI_{30} en gran parte está determinada por estos eventos.

Los fragipanes (Tepetates) presentan un alto porcentaje de afluyente y así juegan un papel importante en la dinámica de erosión en esta área.

Estas primeras investigaciones sólo dan una impresión general de las condiciones naturales que intervienen en los procesos de la erosión. En consecuencia es necesario continuar con mediciones a largo plazo.

LITERATURA CITADA

- ARIAS, H. M. *et al.* 1991. Incorporación de los tepetates a la producción agrícola. VII. Dinámica de la erosión. *In: Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos*, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- DETTLING, W. 1986. Benutzeranleitung für ERODAT. Datensammlung und Datenverarbeitung in der Baseler Bodenerosionsdatenbank ER
- ODAT. Materialien z. Physiogeographie 6. Basel, Switzerland.
- LAL, R. 1976. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria. 3. Effects of rainfall characteristics. *Geoderma* 16: 389-401.
- LAL, R. 1988. Review of soil erosion research in Latin America. *In: Lal, R. ed. Soil Erosion Research Methods* Akney, Iowa 1988.
- MIEHLICH, G. 1984. Chronosequenzen und anthropogene Veränderungen andesitischer Vulkanascheboden in drei Klimastufen eines randtropischen Gebirges Sierra Nevada de Mexico. *Habil. Schrift, Fachber. Geowiss. Univ. Hamburg. Hamburg; BDR.*
- PALACIO PRIETO, J. L. y L. VAZQUEZ SELEM. 1990. Relative importance of modelling processes in badland slopes. An example in Central Mexico. *Z. Geomorph. N. F.*, 34 (3): 301-306.
- REY CONTRERAS, J. A. 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la cuenca del río Texcoco en base al factor K. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- ROMERO DIAZ, M. A. *et al.* 1988. Variability of overland flow erosion rates in a semiarid mediterranean environment under matorral cover. *Murcia, Spain Catena Suppl.* 13: 1-11.
- WEGENER, H. R. 1978. Bodenerosion un ökologische eigenschaftench charakteristischer Bodem im Becken von Puebla -Tlaxcala. *Disertation, Justus-Liebig-Universität Giessen.*
- WERNER, G. 1981. Verbreitung, Nutzung un Zerstörung von Boden unter randtropischen Bedingungen im Zentralmexikanisch - *Archiv N. F.* 7: 3-32.
- WERNER, G. 1988. Los suelos en el estado de Tlaxcala. *El Proyecto México de la Fundación Alemana para la Investigación Científica*, 20
- WISCHMEIER, W. H. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geoph. Union* 39: 285-290.

AGUA Y TALPETATE - TOBA PALAGONITIZADA DE MASAYA

Water and Talpetate - Palagonitised Tuff of Masaya

Christian Prat ¹, Eduardo Blandón Soto ², José Martín Martínez Ortega ² y Mario Herrera ²

¹ ORSTOM, Managua, Nicaragua.

² IRENA, Managua, Nicaragua.

Palabras clave: Nicaragua, Masaya, Talpetate, Toba, Suelos volcánicos endurecidos, Micromorfología, Aspersor de neutrones, Infiltrómetro de aspersión, Caracterización hídrica, Erosión.

Index words: Nicaragua, Masaya, Talpetate, Tuff, Indurated volcanic soils, Micromorfology, Neutronic probe, Rain simulator, Hydric characterisation, Erosion.

Mots clefs: Nicaragua, Masaya, Talpetate, Tuf, Sols volcaniques indurés, Micromorfologie, Sonde à neutrons, Infiltromètre à aspersion, Characterisation hydrique, Érosion.

RESUMEN

Las propiedades físicas e hídricas del talpetate-Toba palagonitizada de Masaya (TPM) son las de un horizonte limoso endurecido, muy poroso y cuya capacidad de retención de agua es muy importante (>50% del volumen del material). A nivel de perfil, la TPM juega el papel de un tanque de agua y no parece limitar el avance del frente de humectación, por lo menos, en el caso de dos observaciones por semana.

Si a nivel del metro cuadrado, la TPM bajo la forma de elementos gruesos, limita la erosión, a nivel de cuenca, contribuye a favorecer la concentración del agua en la superficie, conduciendo a una erosión regresiva en carcava. Por lo que se

puede considerar a las prácticas agrícolas y hasta ciertos programas de conservación de suelos, como inadaptados y más bien, como responsables de la erosión hídrica: la TPM, solamente acentúa dichos problemas.

SUMMARY

The physical and hydric properties of the talpetate-Palagonitised Tuff of Masaya (PTM) are those of an indurated loamy horizon, very porous and with a high water retention capacity (>50% from the volume of the material). At the scale of a profile, the PTM take the role of water tank and does not seem to limitate the advance of the humectation front, at least on the scale of two observations per week.

If at the level of the square meter, the PTM under the form of coarse elements, limits the erosion, at the level of the watershed, contributes to promote the concentration of the water on the soil surface, leading to a regressive erosion which forms gullies. It can be considered that some agricultural and soil conservation practices, are not adequate and are in fact, responsables for the hydric erosion: the presence of the PTM just make this problems more acute.

RESUME

Les propriétés physiques et hydriques du *talpetate*-Tuf palagonitisé de Masaya (TPM) sont celles d'un horizon limoneux, induré, très poreux et dont la capacité de rétention en eau est très importante (>50% du volume du matériau). A l'échelle d'un profil, la TPM joue un rôle de réservoir d'eau et ne semble pas limité l'avancée du front d'humectation, du moins à l'échelle d'une à deux observations par semaine.

Alors qu'au niveau du mètre carré, la TPM sous la forme d'éléments grossiers, limite l'érosion, au niveau d'un bassin versant, elle contribue à favoriser la concentration de l'eau en surface, aboutissant à une érosion régressive en ravine. On peut donc considérer les pratiques agricoles, voire de conservation des sols, comme inadaptées et même responsables de l'érosion hydrique, la TPM ne faisant seulement qu'accentuer ces problèmes.

INTRODUCCION

En los suelos volcánicos de la región Centro-Pacífico de Nicaragua, se encuentra en un área de más de 2 500 km², un horizonte endurecido llamado *talpetate*. Es una toba volcánica que muy probablemente corresponde a depósitos de batientes. Dichas coladas provinieron de explosiones freato-magmáticas que formaron la actual caldera de Masaya. Este material sufrió una alteración primaria debido a su origen volcánico y su modo de deposición (palagonitización de los vidrios basálticos). Desde menos de 2 000 años, edad de estas formaciones, se superpusó una alteración de tipo secundaria (argilanes, manganes, gibsitanes, haloisita y productos alofánicos) que se limita principalmente a las zonas de contacto entre poros biológicos y matriz, así como entre suelo y el *talpetate*. Por estas razones, propusimos llamar a este tipo de *talpetate*: toba palagonitizada de Masaya (TPM) (Prat, 1991; Prat y Quantin, en este volumen).

Este estudio de la hidrodinámica en los suelos con la TPM, esta enfocado a problemas de tipo agropecuarios y de conservación de suelos, y no a la determinación de algún proceso pedogenético en torno a este horizonte endurecido.

Con la excepción de unos estudios del Departamento de Agroclimatología del Ministerio del Desarrollo Agropecuario y de la Reforma Agraria, las características hídricas de estos suelos y de la TPM, en particular son poco conocidas. Además, a pesar de la erosión fuerte, los campesinos no han desarrollado sistemas y técnicas culturales adaptadas al TPM. El endurecimiento de este horizonte, es considerado como un factor negativo para el cultivo. Su destrucción se concibe, a menudo, como un remedio a estas dificultades.

Frente a esta falta de datos y a estos problemas, nos pareció importante estudiar en detalle el papel real de la TPM en la dinámica del agua.

MATERIALES Y METODOS

Se analizaron muestras de TPM y de cenizas cementadas provenientes de perfiles de Brunisoles con características ándicas, localizados bajo un clima tropical marcado por 6 meses de sequía (Municipio Los Altos de Sto. Domingo, a 5 km al sureste de Managua en zona de pie de monte), y de Andisoles desaturados con clima tropical húmedo, ubicados en la parte alta de la cuenca (950 msnm, en El Crucero). Las características hídricas de dichos materiales fueron definidas a partir de mediciones "clásicas" (densidad aparente y real, pF, etc), pero también se midió la porosidad con un porosímetro de mercurio (Mod. Micromeritics 9310) siguiendo la metodología de Cambier y Prost (1981). Las presiones de inyección de mercurio variaron de 28 a 28,000 Psi, lo que corresponde al tamaño equivalente a los umbrales de los poros comprendido entre 400 a 6.5 μm (Van Oort, 1984). Se describió la organización y la porosidad de la TPM a escalas microscópicas.

El estudio del impacto de esta toba sobre la dinámica del agua en los suelos se realizó por medio del seguimiento de cinco perfiles hídricos alineados en una toposecuencia de 50 m y la otra de 100 m de largo, formando así una repetición. Este área de trabajo está localizado en Los Altos de Sto. Domingo. Las mediciones, siguiendo las recomendaciones de Couchat (1990) y de Poss (1991), se efectuaron con un aspersor de neutrones (Solo 25 de Nardeux, fuente radiactiva $^{241}\text{Am-Be}$ de 40 mCi) durante 15 meses, con un promedio de dos mediciones por semana. Los datos climáticos fueron obtenidos gracias a equipos instalados en la cuenca y a partir de datos del Ministerio del Desarrollo Agropecuario y de la Reforma Agraria.

En cuanto a la erosión de los suelos, se realizaron series de ensayos de simulación de lluvia con un mini-infiltrómetro de aspersión, así como descripciones del estado de las organizaciones peliculares de la superficie de los suelos en parcelas de 1 m², siguiendo las recomendaciones de Asseline y Valentin (1978) y de Valentin (1985). Aquí, se presentan únicamente los resultados de los ensayos efectuados en la zona de Los Altos de Sto. Domingo.

Además de estos parámetros, se analizaron en la misma zona, los sistemas agrícolas en pequeñas cuencas experimentales (≤ 2 ha) (Prat, 1990).

CARACTERISTICAS HIDRICAS DE LA TOBA PALAGONITIZADA DE MASAYA (TPM) -TALPETATE

1. Observaciones con Microscopio Óptico y de Barrido

La TPM tiene una estructura conínea, masiva con unos o muchos nódulos de cinerita acrecionada y textura limosa. Su densidad aparente (d.a.) es inferior a 1 g/cm³. Sin embargo, muestras de TPM localizadas debajo de un andisol, con un clima húmedo y en altitud (El Crucero), tienen valores de densidad mayores.

Las observaciones al microscopio óptico y de barrido permitieron definir y hacer una estimación de los tipos de poros (Cuadro 1).

En el caso de las TPM de d.a. mayor a 1 g/cm³, se observa que una gran parte de su porosidad está llena con gibbsitanes, ferro-manganes y cutanes organo-arcillosos. En cuanto a las cineritas soldadas de color gris, genéticamente cercana a la TPM, se diferencia un grupo con una d.a. comprendida entre 1 y 1.2 g/cm³ de otro cuyas valores son superiores a 1.2 g/cm³.

La porosidad total de la TPM varía entre 50% y 70%, con un valor promedio de 65%. A pesar de tener valores muy dispersos (entre 40 y 75%), la porosidad de las cineritas soldadas, con un promedio de 60% es finalmente poco diferente del valor de la porosidad total de la TPM.

Cuadro 1. Comparación de las características de los poros entre cineritas soldadas, TPM "típica" de Los Altos de Santo Domingo y TPM de El Crucero.

Tipo de porosidad	Cinerita soldada		TPM de Sto. Domingo		TPM d'El Crucero	
	Superficie relativa %	Tamaño	Superficie relativa %	Tamaño	Superficie relativa %	Tamaño
Vacío / Sólido	50		≥ 60		≥ 60	
Canal de raíces	0 a 2-3	≤ 2 mm	15	mm al cm	15	mm al cm
Burbujas en los vidrios	30-40	20 a 100 μm	30-40	10 a 100 μm	30-40	10 a 100 μm
Vacío de amontonamiento	50-60	Zona densa 60 a 5 μm Zona poca densa 80 a 20 μm	40-60	≤ 40 μm	40-60	≤ 40 μm

TPM: Toba Palagonitizada de Masaya.

2. Mediciones con un Porosímetro de Mercurio

Los resultados de las mediciones con el porosímetro de mercurio permiten definir la d.a., establecer la curva del volumen poral acumulado y de su curva derivada correspondiente al espectro de la porosidad, las cuales definen el volumen poral y el radio promedio de los poros (Fig. 1, Cuadros 2 y 3).

Se pudo definir aquí seis clases de porosidad (Cuadro 2). Si se compara la curva de porosimetría de la TPM alterada con la de la TPM poco alterada, se nota que para un diámetro de constricción de los poros inferior a $0.72 \mu\text{m}$, el diámetro y el volumen de dichos poros son

idénticos. En cambio, entre 28.7 y $0.72 \mu\text{m}$, y en particular entre 28.7 y $2.42 \mu\text{m}$, los poros son más grandes y más numerosos en la TPM alterada que en la TPM masiva: la alteración conduce a un aumento del tamaño de los poros.

El volumen poral total es muy elevado para las dos muestras ya que representa entre la mitad y las dos tercera parte del volumen de la TPM (Cuadro 3).

La comparación entre TPM y cinerita soldada con microscopio óptico y de barrido, muestra que esta alta porosidad no proviene de un grado de alteración muy pronunciado, el cual se traduciría en una porosidad macroscópica elevada, sino de

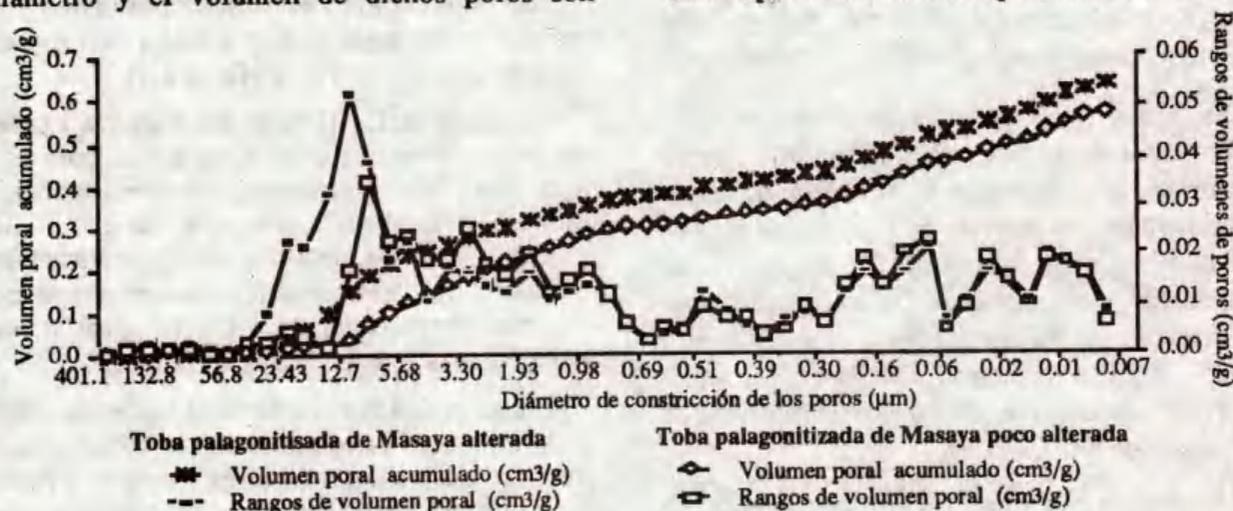


Figura 1. Clases de volumen poral y curvas del volumen poral acumulado para una TPM "alterada" y una "poco alterada".

Cuadro 2. Clases de porosidad determinada con el porosímetro de mercurio, para la TPM poco alterada y la TPM alterada.

Clases de poros	TPM poco alterada (volumen poral total=0,5634 cm ³ /g)				TPM alterada (volumen poral total=0,634 cm ³ /g)			
	Diámetro de constricción de cada clase de poros		Volumen poral correspondiente		Diámetro de constricción de cada clase de poros		Volumen poral correspondiente	
	Diámetro máximo	Diámetro mínimo	Clases de poros	Proporción	Diámetro máximo	Diámetro mínimo	Clases de poros	Proporción
	μm/g	μm/g	cm ³ /g	%	μm/g	μm/g	cm ³ /g	%
A	401.080	20.135	0.0181	3.2	401.080	28.774	0.0202	3.1
B	17.392	7.630	0.0758	13.5	17.392	7.630	0.1875	29.6
C	5.420	0.730	0.2034	36.1	5.420	0.720	0.1632	25.7
D	0.680	0.300	0.0602	10.6	0.680	0.300	0.0621	9.8
E	0.257	0.045	0.1035	18.4	0.257	0.045	0.0971	15.4
F	0.034	0.006	0.1024	18.2	0.034	0.006	0.1039	16.4

la organización microscópica de sus constituyentes que están amontonados y soldados unos a los otros, favoreciendo así una micro-porosidad muy elevada, y también de las burbujas en los vidrios volcánicos, principal componente de la toba. Globalmente, el diámetro de dichos micro-poros esta comprendido entre 0 y 100 μm , pero la mayoría de ellos pertenece a la clase cuyo diámetro es inferior a 40 μm .

Los análisis químicos totales y puntuales y las observaciones en el microscopio muestran escasa presencia de sílice y de carbonatos en los poros. La localización de arcillas y existencia de una abundante porosidad significa que la TPM no está cementada por un producto de alteración y/o de neoformación que hubiese llenado los poros. Su endurecimiento proviene principalmente de la soldadura entre los vidrios basálticos que forman un esqueleto rígido.

Cuadro 3: Resultados y comparaciones de la porosidad y de algunas características físicas de la TPM alterada y de la TPM poco alterada.

	TPM	TPM	(A - B)
	alterada	poco alterada	A
	A	B	%
Peso seco	0.979	1.097	12.1
Volumen	1.190	1.131	5.0
Densidad aparente	0.823	0.970	17.9
Volumen poral total (cm^3/g)	0.634	0.563	11.1
Volumen poral total (%)	64.750	51.360	20.7
Superficie poral total (%)	34.980	33.560	4.1
Diámetro promedio de los poros (μm) (Volumen)	1.931	0.944	51.1
Diámetro promedio de los poros (μm) (Superficie)	0.0113	0.0115	1.8

3. pF y Balance Hídrico

La determinación de la porosidad con la prensa de membrana da resultados similares a los determinados por intrusión con mercurio. Se puede deducir que los poros, cualquier sea su tamaño, tienen un diámetro de constricción homogéneo (de lo contrario, los valores de porosidad hubieran sido más pequeños en el caso del pF).

El pF necesario (Ley de Jurin) para extraer el agua de los poros que tienen un radio de constricción de 0.8 μm , es de 4.3. Esto implica que entre 30 y 40% del agua de la TPM no es accesible a las plantas. El tamaño de la mayoría de los poros corresponde al agua de la reserva útil (Bourrie y Pedro, 1980), de tal forma que la TPM tiene una capacidad de retención de agua muy elevada. Desde este punto de vista, se podría comparar este material a la cal: los dos son materiales endurecidos que tienen una micro-porosidad muy elevada.

Conclusión

El estudio de las características hídricas de la TPM muestra que los diferentes medios de análisis son complementarios y conducen todos a los mismos resultados: la TPM aún endurecida, tiene una microporosidad muy elevada, la cual es incrementada por una macroporosidad conformada por fisuras y penetración de las raíces.

Los resultados de este trabajo muestran una visión diferente de la que prevalece en Nicaragua, donde se considera a la TPM como impermeable por lo contrario, es muy porosa y tiene una reserva útil que corresponde a más de la mitad de su peso seco.

EL COMPORTAMIENTO HIDRICO DE LA TOBA PALAGONITIZADA DE MASAYA (TPM) *IN SITU*, DURANTE UN CICLO ANUAL

1. Situación de los Perfiles y Definiciones

Se estudió el comportamiento del agua en suelos con la TPM, y las relaciones entre los perfiles en una cuenca representativa en Los Altos de Sto. Domingo, Managua.

Los perfiles hídricos fueron determinados con un aspersor de neutrones en cinco perfiles de suelos con una TPM, distribuida a lo largo de dos toposecuencias de 100 m perpendiculares.

1.1. Características de los perfiles

Se identifica a los perfiles, en función de su posición topográfica:

* El perfil 1 (T1) está ubicado al fondo de la depresión principal en la desembocadura de la cuenca. Une las dos toposecuencias y sirve de referencia (Punto 0).

* Los perfiles 2 (T2) (a 10 m) y 4 (T4) (a 30 m) están ubicados pendiente abajo (tercio inferior). El perfil 2 colecta únicamente las aguas de escurrimiento de unos cuantos metros cuadrados río arriba, mientras que el perfil 4 recibe las aguas de más de la mitad de la cabecera del cauce de esta cuenca.

* Los perfiles 3 (T3) (100 m) y 5 (T5) (125 m) están ubicados en la parte superior de las vertientes. El perfil 3 recibe únicamente las aguas de la zona adyacente cuando el perfil 5 ubicado en el tercio superior de la cabecera del cauce, recoje aguas que vienen ya canalizadas.

También, se puede diferenciar dichos perfiles con base en sus características edáficas (AFES, 1990). La clasificación es entonces, distinta de la precedente:

* El perfil T1 corresponde a un Brunisol con caracteres ándicos, muy profundos, sin TPM (o con TPM pero presente a una profundidad mayor a 2 m). La textura es limo-arcillosa a arcillo-limosa. De migajón a la superficie, la estructura se hace polihédrica subangular con una sobreestructura masiva en profundidad. Estos suelos de origen aluvio-coluvial presentan una secuencia de tipo Ap - A 1.1 - A 1.2 - II A1 - (II A/Cm - III A).

* Los perfiles T3 y T4 son Brunisoles superficiales con caracteres ándicos, con una TPM muy alterada de 30 y 40 cm de espesor, que aparece a 10 cm de profundidad. Los horizontes ubicados debajo de la TPM tienen una textura limo-arenosa a arenosa. La secuencia de estos horizontes es de tipo: Ap - II A/Cm 1.1 - II Cm 1.2 a 1.4 - II Cm 2 - III A1 - III C1 - III Cx.

* Los perfiles T2 y T5 son Brunisoles superficiales con caracteres ándicos y con una TPM de 60 a 70 cm de espesor. La parte cercana a la

superficie (de 20 cm de espesor) de este horizonte está muy alterada pero en su parte inferior (de 40 cm de espesor) la alteración es menor. Los horizontes ubicados debajo de la TPM tiene una textura limo-arenosa a arenosa. La secuencia de estos horizontes es del mismo tipo que en el caso anterior: Ap - II A/Cm 1.1 - II Cm 1.2 a 1.4 - II Cm 2 - III A1 - III C1 - III Cx.

1.2. Perfiles hídricos

Las características físico-químicas de los suelos no conllevan ningún problema de calibración gravimétrica y química del aspersor de neutrones, mostrando una buena correlación de los resultados entre estos dos métodos.

Los valores más bajos y más elevados de los perfiles hídricos dan el perfil correspondiente al punto de marchitez y de saturación respectivamente; aunque en este caso, se prefiere hablar de perfil cercano a la saturación, que está más cerca de la realidad. Además, se determinó la capacidad de campo, midiendo la humedad 48 h después de una lluvia fuerte, teniendo el suelo ya húmedo. Los perfiles hídricos correspondiendo a la capacidad al campo y al punto permanente de marchitez delimitan la reserva en agua útil (RU), definida como la cantidad de agua disponible para las plantas.

1.3. Análisis de los datos climáticas

Los perfiles hídricos fueron medidos de mayo de 1988 hasta finales de julio de 1989. El primero fue un año excepcionalmente lluviosa (1,826 mm, correspondiendo a un periodo de retorno de 50 años). Además, el periodo de lluvias terminó con el ciclón "Juana" (150 mm de agua caídos el 23 de octubre de 1988). En 1989, la pluviometría anual fue de 970 mm, lo que corresponde a un año normal (promedio anual = 1,100 mm). Sin embargo, la distribución de las lluvias no corresponden a lo normal: el inicio del periodo de lluvias fue particularmente deficitario durante 3 meses.

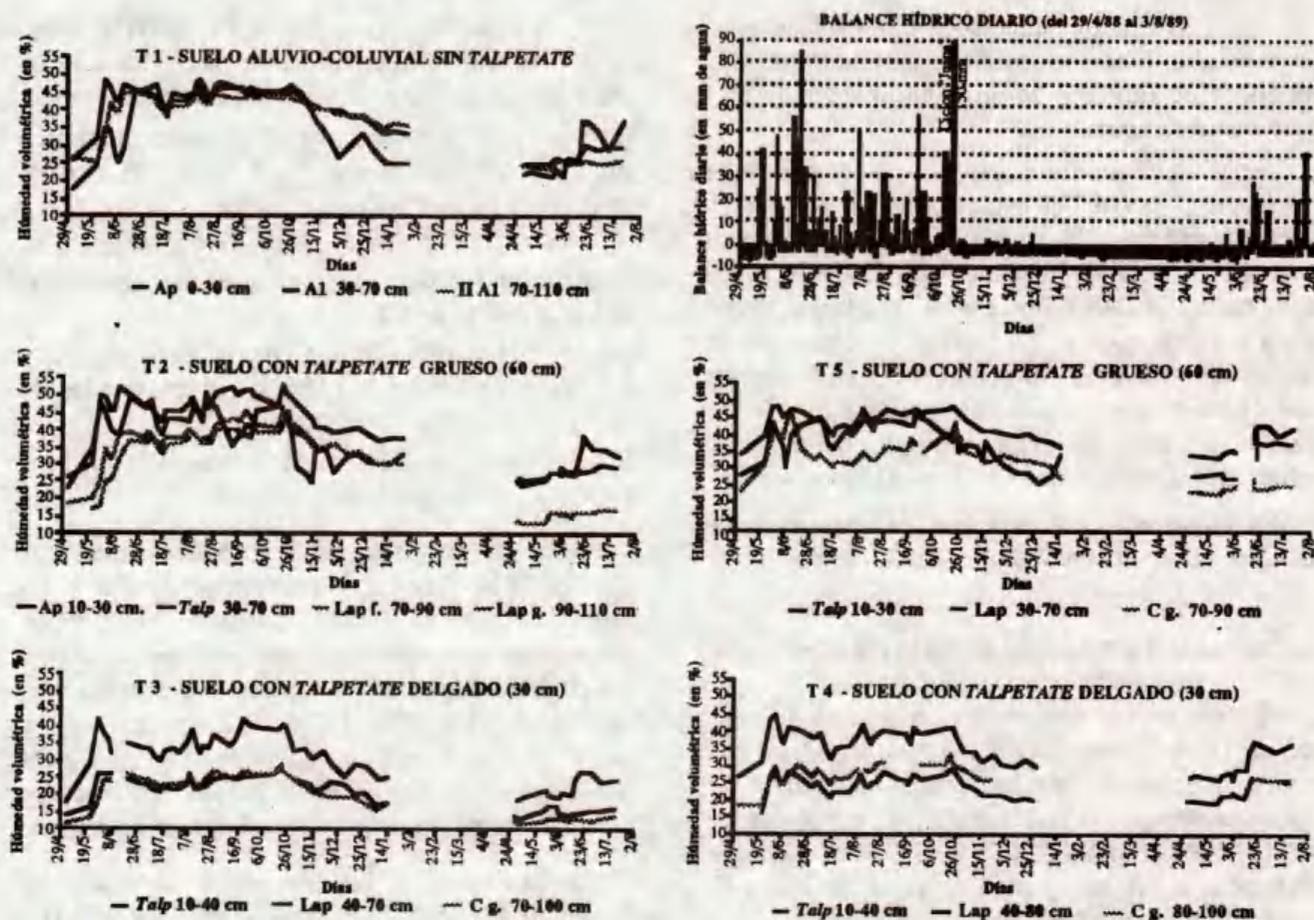


Figura 2. Cantidad en agua por perfil (Tubos 1, 2, 3, 4 y 5) en función de los principales tipos de horizonte y variación del balance hídrico climático diario.

El ciclo de lluvias se compone generalmente de uno a varios días de pluviometría débil (± 10 mm/día) seguida por uno a dos días de lluvias fuertes (≥ 20 mm/día), hasta muy fuertes (≥ 30 a 60 mm/día).

La pequeña época seca ("veranillo") fue poco marcada en 1988 (un tercio menos de precipitaciones en relación al resto de la época de lluvias) mientras en 1989 fue muy marcada del 30/07 al 25/08 (40 mm). En 1988, como en 1989, la época de lluvias se terminó con precipitaciones diarias muy superiores a las lluvias más fuertes ocurridas durante el resto del año.

A partir de los datos de pluviometría y de ETP, se calculó el balance hídrico climático diario (Fig. 2 y 4).

2. Variaciones de los Perfiles Hídricos en Función del Tiempo

En la Figura 2, se presentan los valores de las humedades volumétricas por horizonte durante los 15 meses de experimentación. Debido a insuficiente número de valores confiables de humedad del horizonte superficial (0-10 cm), no se graficaron.

Del análisis de la evolución de las cantidades de agua en los perfiles, se puede concluir que los estados hídricos de los horizontes en el transcurso del año son de tres tipos:

- un estado de desecamiento: la cantidad en agua para todo el perfil está en su nivel más bajo, en particular al final de la época seca;

- un estado húmedo: la cantidad de agua es muy alta. Este estado se mantiene durante toda la época de lluvias y termina en el segundo mes que inició la época seca;

- un estado transitorio: la cantidad de agua varía en el perfil del estado seco al húmedo, y recíprocamente. Sin embargo, hay que destacar que si la fase de humectación es rapidísima (unos días basta), la fase de secado es más larga porque dura varios meses. El horizonte cerca de la superficie, sometido directamente a los cambios del clima y que contiene la mayor parte de las raíces, presenta variaciones de su contenido en agua, más drásticos que los demás horizontes.

Es importante subrayar que, con este paso de tiempo, no se observó ahogamiento del suelo.

3. Puntos Característicos de los Perfiles Hídricos

En términos absolutos, las cantidades de agua de la TPM "gruesa" (T2 y T5) son del mismo orden que las de los horizontes del perfil T1 (limo-arcillosos no endurecido), en tanto que las de la TPM "delgada" (T3 y T4) son bastante parecidas a las cantidades de agua de los horizontes arenosos. Las cantidades de agua poco disponible de T3 y T4 son un poco más bajas. También, la reserva útil y el agua de saturación son muy inferiores a los valores de los demás horizontes (Figura 3).

En términos relativos y a pesar de una aparente similitud, los perfiles T3 y T4 presentan diferencias importantes: T3 tiene 40% de agua no disponible, mientras que T4 tiene más de 60%. A pesar que T4 y T5 disponen de una reserva útil menor, compensada por una cantidad de agua fácilmente disponible mayor, dichos perfiles son bastante parecidos a T1, aunque tienen características edáficas diferentes.

Si se comparan las variaciones de humedad no en función de perfiles sino de horizontes similares (Fig. 4), se llega a las siguientes conclusiones:

* Las cantidades de agua disponible en todas las muestras son apreciables: fluctúan entre 60 y 40% del total de agua.

* A pesar de estar endurecida, la TPM tiene características hídricas bastante parecidas a la de los horizontes limo-arcillosos del fondo del cauce.

* A pesar de una aparente semejanza edáfica entre los perfiles (T2 con T5, T3 con T4), existen importantes diferencias, entre ellas:

- la TPM de T3, delgada y cercana a la superficie, no tiene las mismas características hídricas que la de T4,

- el nivel "inferior" de la TPM de T2 y T5 tiene características hídricas parecidas a las de la TPM "superficial" de T3 y T4,

- pero, la TPM de T2, masiva y en profundidad, es muy parecida a la del T5.

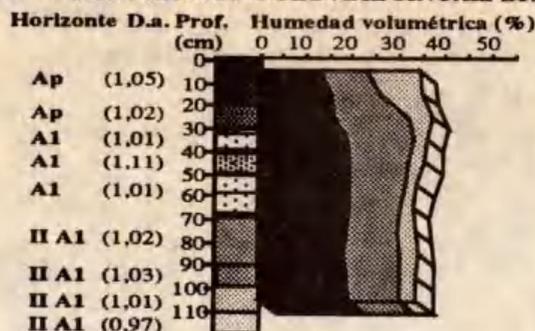
Con base en estos datos, se puede considerar que la TPM delgada y superficial de T3 y T4 corresponde a la TPM "inferior" de T2 y T4 respectivamente, ubicada a unos metros río abajo. La posición topográfica implica una erosión más activa al nivel de T3 y T5 que al nivel de los otros sitios. Sin embargo, no es imposible que haya habido desde el origen de la colada, un depósito diferente entre río abajo y río arriba de las lomas.

De tal forma que las diferencias de características hídricas de la TPM estarían relacionadas por una parte, a sus características intrínsecas y, por otra, a su posición en el perfil.

Al inicio de la época seca, el estudio de las cantidades de agua en horizontes parecidos pero ubicados en perfiles distintos, muestra que existe un drenaje interno en T4 y T5 mientras que en los perfiles T3 y T2, que son sus "homólogos", no tienen drenaje de este tipo. Esta situación se explica por la localización de los perfiles T4 y T5 en la parte que concentra el agua (parte superior de la cuenca), mientras que T2 y T3 están ubicados en la pendiente fuerte de un "interfluvio" (*interfluve*) que cubre superficies reducidas. Los escurrimientos internos podrían ocurrir sobre una superficie más grande que la definida en el cuadro de la hidrología y de las aguas de superficie.

Paradójicamente, con la frecuencia de mediciones (una vez por semana) no se pudo observar

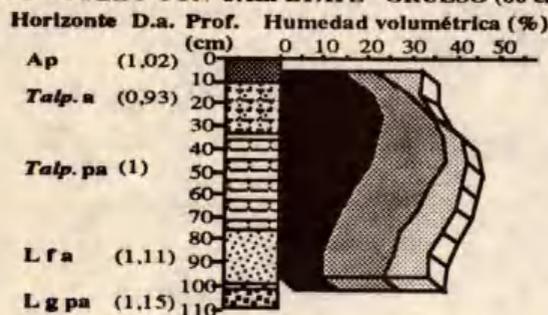
T 1 - SUELO ALUVIO-COLUVIAL SIN TALPETATE



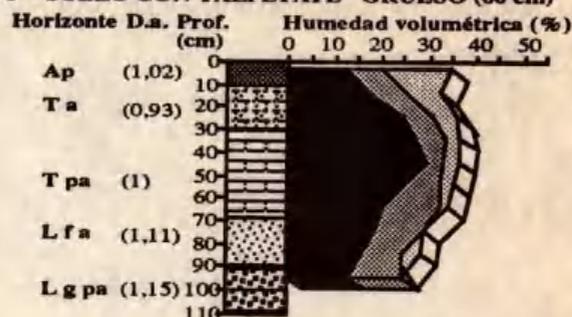
LEYENDA

- NATURALEZA DE LOS HORIZONTES**
- Ap: Horizonte humífero cultivado
 - Talp: Talpetate alterado
 - T pa: Talpetate poco alterado
 - C ga: Cenizas gruesas alteradas
 - L fa: Lapilli finos alterados
 - L fpa: Lapilli finos poco alterados
 - C s: Cinerita soldada
 - L gpa: Lapilli gruesos poco alterados
-
- Agua de saturación (parte): [Pattern]
 - RÚ: [Pattern]
 - Agua no disponible: [Pattern]

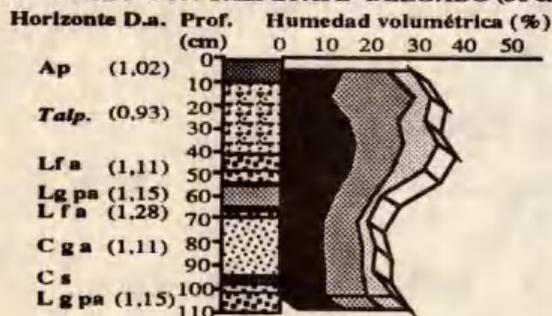
T 2 - SUELO CON TALPETATE GRUESO (60 cm)



T 5 - SUELO CON TALPETATE GRUESO (60 cm)



T 3 - SUELO CON TALPETATE DELGADO (30 cm)



T 4 - SUELO CON TALPETATE DELGADO (30 cm)

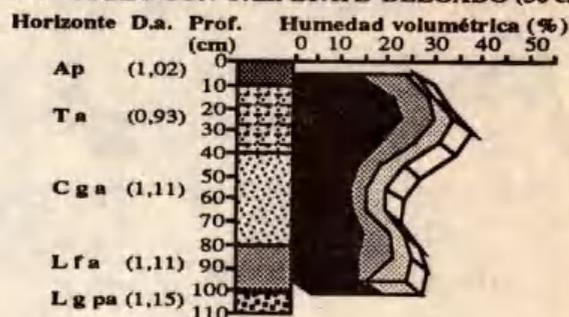


Figura 3. Lámina de agua en los puntos "característicos" en los perfiles T1 a T5 (Los Altos de Sto. Domingo).

durante la época de lluvias estos drenajes laterales. Las reservas hídricas de cada horizonte variaron de manera idéntica de un nivel al otro y de un perfil al otro.

4. Análisis de la Dinámica de Progresión del Frente de Humectación en los Suelos

El avance del frente de humedecimiento desde arriba hacia abajo fue el mismo para todos los perfiles, salvo las mediciones del 30 de mayo de 1988 en T4 y T5 (Figura 5). Aunque se nota una

penetración muy débil del frente de humectación en el perfil T4 durante las primeras lluvias, este frente llega a la misma profundidad que en los demás perfiles. T5 tiene cantidades de agua útil mucho más elevadas arriba y abajo del nivel 30-60 cm, mismo que corresponde con el nivel de la TPM masiva. Como se pudo constatar en otros perfiles abiertos después del inicio de las lluvias, el agua logra penetrar en profundidad aprovechándose de las numerosas grietas y raíces que atraviesan la TPM de un extremo al otro, sin que esta toba sea necesariamente humedecida.

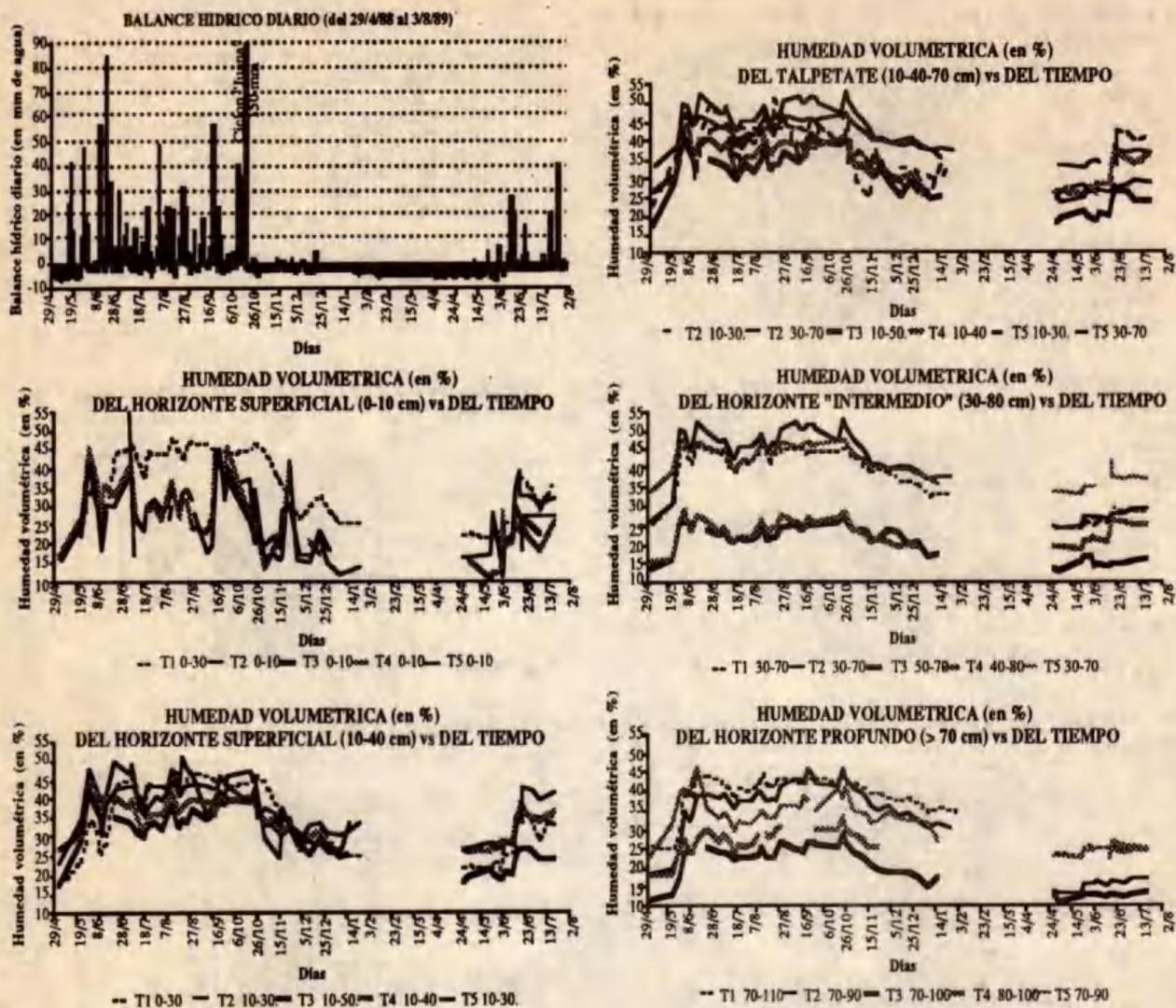


Fig. 4. Variación de humedad de los horizontes de cinco perfiles en función del tiempo y del balance hídrico diario.

En general, que la TPM sea delgada (30 cm) o gruesa (70 cm), no parece limitar la infiltración del agua en los suelos. Esta infiltración se hace de arriba hacia abajo, por lo menos en una escala de tiempo superior a la duración de una lluvia.

Conclusión

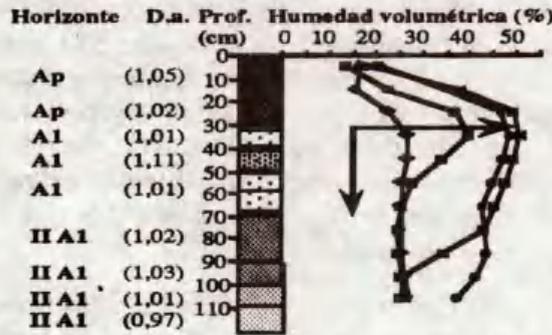
La reserva de agua de la TPM se mantiene alta durante todo el año (> 50 % del volumen del suelo) y aún durante la época seca, en forma parecida a la reserva de los horizontes limo-arcillosos del perfil aluvio-coluvial. Por eso se puede considerar que este horizonte endurecido

juega el papel de un tanque de almacenamiento durante la época seca, siendo aún más importante dicha característica por el hecho que la reserva hídrica de los horizontes arenosos ubicados debajo de la TPM, es muy débil.

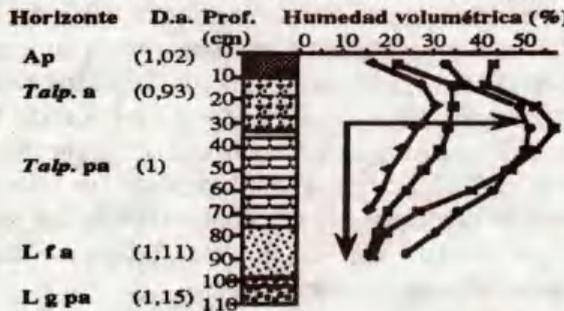
Por último, la dinámica de los perfiles hídricos muestra que en nuestra escala de observación (dos veces a la semana), la TPM no parece limitar la penetración del frente de humectación, ni oponerse a escurrimientos internos en los suelos.

Sin embargo, carecemos de información para saber si, durante una lluvia fuerte, la TPM no limitaría la penetración del agua.

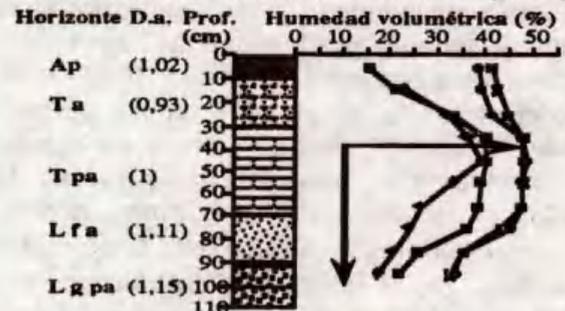
T 1 - SUELO ALUVIO-COLUVIAL SIN TALPETATE



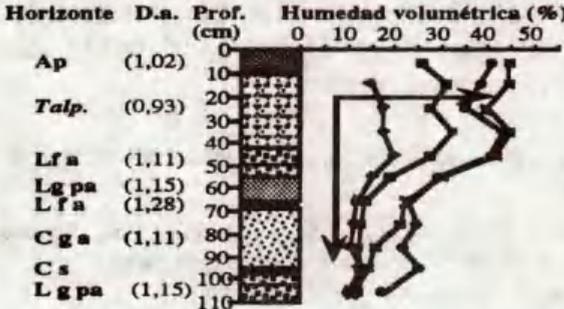
T 2 - SUELO CON TALPETATE GRUESO (60 cm)



T 5 - SUELO CON TALPETATE GRUESO (60 cm)



T 3 - SUELO CON TALPETATE DELGADO (30 cm)



T 4 - SUELO CON TALPETATE DELGADO (30 cm)

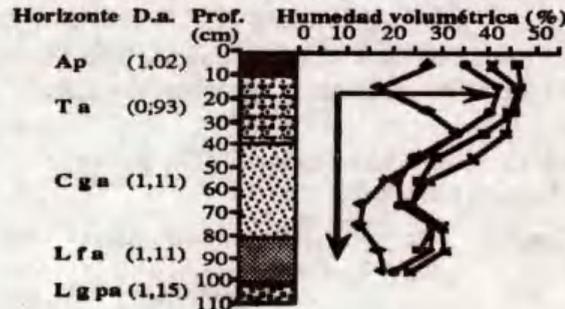


Fig. 5. Progresión del frente de humectación en los perfiles con y sin talpetates.

EL PAPEL DE LA TPM EN LA EROSION DE LOS SUELOS

El comportamiento del estado de la superficie de los suelos bajo los efectos de la lluvia, así como el papel que podría tener la TPM, son partes de los elementos explicativos de la erosión.

Siguiendo las recomendaciones de Asseline y Valentin (1978) y de Valentin (1985), se estableció el protocolo con base al tipo de lluvias que caen en la región de Managua (Cuadro 4).

Cuadro 4. Protocolo de simulación de lluvias: relación intensidad-duración-frecuencia.

Intensidad mm/h	Duración mn	Altura mm	Frecuencia
40	30	20.0	Anual
130	15	32.5	Decadal
90	15	22.5	Quinquenal
60	15	15.0	Anual
40	15	10.0	Anual
Total*	90	100.0	

* El total teórico después de las calibraciones y correcciones es el mismo que el total medido.

2. El Escurrimiento Bajo Lluvias Simuladas

Se presentan aquí algunos resultados representativos de los experimentos con el mini-infiltrómetro, donde se destaca el papel de la TPM bajo la forma de gravas o de bloques, que limita el escurrimiento superficial como cualquier tipo de elementos gruesos (Cuadro 5). En términos de erosión, los suelos compactados, cubiertos por vegetación o por TPM, pierden diez veces menos tierra al momento de las primeras precipitaciones que los mismos suelos recién arados, sin vegetación o sin TPM para protegerlos. Pero, a la escala del metro cuadrado, a medida que las precipitaciones acumuladas aumenten, las diferencias desaparecen.

3. Análisis Estadísticos del Escurrimiento en Función de la TPM

Con los datos precedentes, complementados con más experimentos efectuados por Bazin (1989), se demostró que el escurrimiento depende principalmente de tres factores: la cantidad de precipitaciones (P), el índice de las precipitaciones anteriores (IK) y el coeficiente de recubrimiento del suelo por la TPM de tamaño superior a 1 cm

La ecuación de la lámina escurrida reconstituida (L_r) es (Fig. 6):

$$L_r = 0,38 P + 0,23 IK - 0,49 \text{ Talp} - 10$$

(con $r = 0,78$, $r^2 = 61\%$)

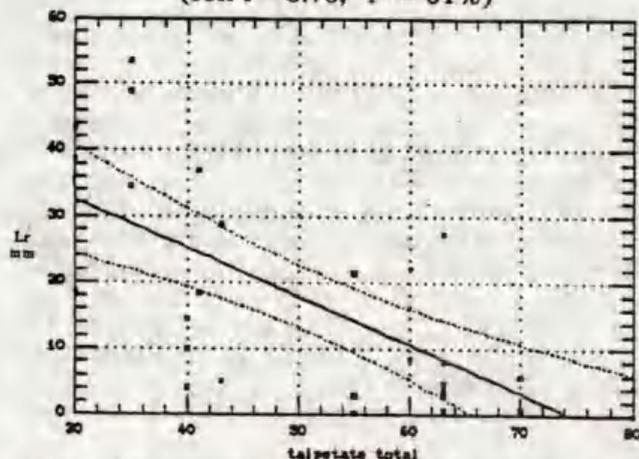


Figura 6. Regresión de L_r en función del "TPM total" excepto la lluvia 1 sobre suelo seco (Bazin, 1989).

Igualmente se puso en evidencia dos comportamientos del escurrimiento en función del porcentaje de recubrimiento del suelo por los elementos gruesos:

$$\text{TPM} > 50\% \Rightarrow L_r < 30 \text{ mm}$$

$$\text{TPM} < 50\% \Rightarrow 4 \leq L_r \leq 54 \text{ mm}$$

Al efectuar una correlación entre el porcentaje de recubrimiento de la película de batidez y de la TPM para la última lluvia, Bazin (1989) obtiene un coeficiente de correlación mayor a 0.87.

Pero, debido a la complejidad y a las evoluciones constantes de las OPS, estos datos expresan solamente una parte de los factores en juego. Sin embargo, hay que comparar el papel de la TPM con el de cualquier elemento grueso que cubre el suelo, que, al absorber la energía cinética de las gotas de lluvia protege los agregados y la porosidad ubicados en su cercanía y debajo de sí mismo. Los elementos gruesos al aumentar la rugosidad del suelo, limitan el escurrimiento y el transporte de los sedimentos. Esta protección meramente mecánica no excluye que la TPM, tenga otro papel debido a sus características texturales y estructurales, que contribuyen a darle una fuerte capacidad de retención en agua.

A la escala del metro cuadrado, se puede considerar la presencia de la TPM como un factor que favorece la infiltración del agua en los suelos y que limita la erosión.

4. Observaciones de la Erosión a la Escala de Microcuencas (1 a 2 ha)

En la medida que el infiltrómetro de aspersión permite estudiar principalmente la capacidad de despredimiento de los suelos y no la erosión como tal, se complementaron estos datos por observaciones de tipo agronómicos al nivel de la cuenca.

En estas región, se siembran cultivos para autoconsumo (maíz, frijol, arroz, una parte del sorgo) y comercial (sorgo, y sobre todo cebollas, tomates, rábanos y pimientos). Si cultivos como el frijol, el rábano y la pimienta cubren muy rápidamente el suelo, otros (maíz, arroz y tomate)

lo hacen más lentamente. Pero hay algunos, tales como la cebolla, que por su constitución y su modo de cultivo (siembra en bancos y uso de herbicidas), cubren poco o casi nada, favoreciendo así la erosión. Desgraciadamente la cebolla es justamente un cultivo más rentable.

Los efectos de la desprotección son rápidos: erosión en ranuras, luego en cárcavas y finalmente en cárcavas, se observan desde las primeras lluvias. Estos efectos se amplifican por el número de caminos compactados entre los bancos, que al impedir la infiltración de agua, favorecen su concentración. La TPM por no tener capacidad de absorber agua a la misma velocidad que escurre, se comporta como un piso poco permeable, sobre el cuál corre aún más rápido. Donde desaparece la TPM, el agua reconcentrada y con energía debido a las pendientes, provoca una erosión lineal regresiva que forma profundas cárcavas.

Conclusión

Al nivel de una vertiente, la TPM puede limitar la erosión y el transporte de elementos. Pero, en presencia de pendientes fuertes a muy fuertes, de caminos estrechos y compactados que concentran y favorecen el escurrimiento, la TPM tiene un papel más ambiguo. En efecto, cuando el horizonte superior esta erosionado, el agua circule a la superficie de la TPM que resiste a la erosión. En estas condiciones, la TPM tiene un efecto positivo porque limita el hundimiento de la cárcava. Sin embargo, el agua agarra más fuerzas y cuando desaparece el talpetate, arrastra la tierra y genera una erosión regresiva muy intensa.

Cualquier sea el papel de la TPM, no hay que olvidar que si el desarrollo de la erosión esta relacionado a su presencia, el tipo de cultivo y los modos de cultivo inadecuados son las principales causas de esta erosión.

CONCLUSIONES

Las características hídricas de la TPM- talpetate en Nicaragua, indican que es un material muy poroso, cuando se le considera impermeable. Sin embargo, dependiendo de la escala de estudio así como de los factores observados, hay que considerar que la TPM tiene un papel complejo en la erosión de los suelos.

En cuanto al aspecto agronómico, su capacidad de retener y devolver el agua es muy positivo. En este último caso, es el único horizonte con tales propiedades en una gran parte de la área Centro-Pacífico de Nicaragua, los demás horizontes son generalmente de textura arenosa, sin capacidad para retener el agua.

Las características del medio ambiente, del uso del suelo y de ciertos sistemas de lucha anti-erosiva, explican en gran parte la erosión actual. En efecto, hay que considerar a la TPM como un factor que aumenta la erosión, pero no es el factor que la inicia.

Es solamente manejando todos los parámetros del medio ambiente y humano que se logrará controlar la erosión y utilizar de mejor maneja estos recursos agotables como son los suelos talpetatosos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se hizo de 1985 hasta 1991 durante el programa de investigación PICSUR (Proyecto de investigación de la cuenca sur del lago de Managua) organizado por IRENA (Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente) y ORSTOM, y de la tesis de C. PRAT (ORSTOM/Univ. PARIS 6). Este trabajo no se hubiera podido efectuar sin la valiosa colaboración de P. Quantin y de los equipos de edafólogos de IRENA, del laboratorio de edafología de la UNA (Universidad Nacional Agraria), del laboratorio de formaciones superficiales de ORSTOM de Bondy (Francia) y en particular: M. Amiot, G. Bellier, A. Bouleau, E. Braudeau, M.J. Pouget y C. Hidalgo en Francia.

LITERATURA CITADA

- AFES. 1990. 3^{ème} proposition du Référentiel Pédologique (Avril 1990). AFES, Paris, France.
- ASSELIN, J. y C. VALENTIN. 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 4: 321-349.
- BAZIN, F. 1989. Analyse des lames ruisselées sur sols volcaniques du Nicaragua au moyen d'un infiltromètre à aspersion. D.A.A. Science du Sol et Bioclimat, Montpellier. 100 p.
- BOURRIE, G. y G. PEDRO. 1980. La notion de pF, sa signification physico-chimique et ses implications pédogénétiques. I. Signification physico-chimique. Relation entre le pF et l'activité de l'eau. Science du sol, Bull. de l'AFES 4: 313-322.
- CAMBIER, P. y R. PROST. 1981. Etude des associations argile-oxyde: organisation des constituants d'un matériau ferralitique. Agronomie 9 (1): 713-722.
- CASENAVE, A. y C. VALENTIN. 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Paris, France. 240 p.
- COUCHAT, P. 1974. Mesure neutronique de l'humidité des sols. Thèse, Univ. P. Sabatier, Toulouse.
- HYPERBAV. 1990. Structure et fonctionnement hydro-pédologique d'un petit bassin versant de savane humide. ORSTOM, Paris, France. 305 p.
- LE BISSONNAIS, Y. 1988. Comportement d'agrégats terreux soumis à l'action de l'eau: analyse des mécanismes de désagrégation. Agronomie 10 (8): 915-924.
- POSS, R. y H. SARAGONI. 1987. Quelques problèmes posés par l'estimation du bilan hydrique en plein champ. Bull. du G.F.H.N. 22 (2).
- POSS, R. 1991. Transferts de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de Barre du Togo. Conséquences agronomiques. Thèse de Doctorat, Univ. Paris VI, Paris, Francia. 335 p.
- PRAT, C. 1989. Relation entre érosion et systèmes de production dans le bassin-versant sud du lac de Managua (Nicaragua). Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 1-2 (25): 171-182.
- PRAT, C. 1991. Etude du talpetate, horizon volcanique induré de la région Centre-Pacifique du Nicaragua. Genèse, caractérisation morphologique, physico-chimique et hydro-dynamique, son rôle dans l'érosion des sols. Thèse de Doctorat, Université Paris 6, Paris, France. 350 p.
- PRAT, C. y P. QUANTIN. 1991. Origen y génesis del talpetate, horizonte endurecido de suelos volcánicos de la región Centro-Pacífico de Nicaragua. Memoria del 1^{er} Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.
- ROOSE, E. 1985. Dynamique actuelle de sol ferralitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. Collection Travaux et Documents ORTOM. Thèse d'Etat, Orléans, 1980, Paris, France. 569 p.
- VALENTIN, C. 1985. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertiques (Agadez, République du Niger). Thèse. ORSTOM Paris, France. 231 p.
- VAN OORT, F. 1984. Géométrie de l'espace poral, comportement hydrique et pédogénèse. Thèse 3^{ème} Cycle, Landbouwhogeschool (INA). Wageningen. 271 p.

DINAMICA DE LA EROSION EN TEPETATES ROTURADOS

Erosion Dynamics in Reclaimed Tepetates

Héctor M. Arias R. ¹, Ma. Eugenia Miranda M. ¹ y Donald Gabriels ²

¹ Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.

² Université de Gand, Belgique.

Palabras clave: Tepetates, Erosión, Labranza, Rehabilitación.

Index words: Tepetates, Erosion, Tillage, Reclamation.

RESUMEN

Los tepetates son erosionables por lo que su rehabilitación en forma eficiente requiere el estudio de la dinámica de la erosión en estos terrenos. El objetivo del trabajo fue evaluar diferentes prácticas de manejo de tepetates con fines agrícolas, para así determinar las prácticas que suministren la mayor producción agrícola con la menor tasa de pérdida de suelo. Los efectos a evaluar fueron: subsoleo, labranza, cobertura vegetal, largo de la parcela, y surcado.

Las tasas anuales de erosión para los tepetates fueron del orden de 6 ton/ha, mostrándose que los tepetates son erosionables, de acuerdo a referencias anteriores. La roturación de tepetates en forma perpendicular a la pendiente, detiene el escurrimiento y disminuye la erosión. Sin embargo, cuando se laborean y no se hacen surcos perpendiculares a la pendiente, las tasas de pérdida de suelo son cuatro veces más altas que el testigo (tepetate inalterado). Lo anterior demuestra la necesidad de las prácticas de control de la erosión.

SUMMARY

Tepetates are considered erodible, therefore, its reclamation in an efficient way requires to study the erosion dynamics on these lands. The objective of this paper was the evaluation of different agricultural management practices in order to determine those practices that produce the highest yields with the lowest soil loss rates. The effects to account were: subsoiling, tillage practices, vegetative cover, length of the field and row formation.

The rates for losses for tepetate were 6 ton/ha, showing that tepetates are erodible, according to references. Subsoiling for tepetate reclamation must be perpendicular to main slope since it reduces runoff and soil losses; however, if subsoiled tepetates are tilled without row formation, soil losses can be four times higher. It can be concluded that the tepetate reclamation strongly needs soil erosion control measures.

INTRODUCCION

Una de las limitantes en la incorporación de los tepetates a la producción agropecuaria y forestal es su erosionabilidad. Figueroa (1975) menciona que la pérdida anual de material

medida en lotes de escurrimiento para tepetates es de 16 ton/ha, mientras que terrenos de cultivo mostraron pérdidas del orden de 4 ton/ha. Al ajustarse estas cifras debido a diferencias en la pendiente se encontró una tendencia invertida en la cual las pérdidas corregidas para tepetate en promedio son de 6.1 ton/ha, mientras que los suelos agrícolas muestran pérdidas corregidas del orden de 13.8 ton/ha (Arias y Figueroa, 1991).

La incorporación de los tepetates a la producción requiere conocer los factores que influyen en la producción de sedimentos de estas áreas rehabilitadas, por lo que el presente trabajo tiene como objetivos analizar los efectos de: la roturación de tepetates, el efecto de la labranza, el efecto del surcado, el efecto de la cobertura vegetal, y el efecto de la longitud de la parcela en relación a las pérdidas de material. El trabajo tiene como meta, una vez que se haya conocido la dinámica de la erosión en el tepetate manejado con fines agrícolas, proponer prácticas eficientes de manejo y recuperación.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en San Miguel Tlaixpan, Edo. de Méx., en la parte oriente de la Cuenca de México, localizado entre los 98° 47' 55" longitud oeste y 19° 29' 53" latitud norte.

En 1990 se establecieron seis parcelas de 10 x 22 m con los siguientes tratamientos: testigo (1), donde el terreno se mantuvo bajo las condiciones naturales originales, conservando las variaciones en pendiente, pedregosidad y vegetación; roturado (2), donde se pasó un ripper de 1 m de longitud jalado por un tractor ALLIS CHALMERS mod. HD 16 serie B, proporcionado por el Proyecto Lago de Texcoco; labranza (3), que consistió en, después del paso del ripper, cuatro pasos de arado de discos y seis pasos de rastra, utilizando un tractor agrícola. El tratamiento 3 se realizó en las cuatro parcelas restantes con las siguientes variaciones: (3) un lote de 22 x 2 m y cobertura vegetal (trigo sin

fertilizar), (4) un lote de 22 x 2 m sin cobertura, (5) un lote de 10 x 2 m sin cobertura vegetal, y (6) un lote de 5 x 2 m y sin cobertura.

En 1991 se modificó el sitio experimental, el lote 6 se eliminó y se instalaron dos parcelas más sobre terrenos agrícolas que aún presentan suelo, ubicados aguas arriba de las primeras parcelas. Las dimensiones de los lotes son de 22 x 2 m. Los tratamientos generados en este año se enlistan a continuación: 1) testigo, igual al tratamiento 1 en 1990, 2) labranza que consistió en barbecho y arado igual que en 1990, 3) suelo, al cual también se le hizo labranza.

En las parcelas con cultivo se sembró maíz criollo de la región a una densidad de 100,000 plantas/ha. La dosis de fertilización empleada es 120-40-0, utilizando sulfato de amonio y superfosfato de calcio triple. La mitad del nitrógeno y todo el fósforo se aplicaron al momento de la siembra, el resto del nitrógeno se aplicó en la primera escarda. Las labores culturales fueron las mismas que realizan los productores de la zona y consisten en dos escardas, la primera a los 30 ó 45 días después de la siembra, destruyéndose el surco original formando uno nuevo en la base de las matas y la segunda escarda se hace a los 60 ó 75 días después de la siembra y consiste en reformar el surco para evitar acames.

La instalación de los lotes de escurrimiento se hizo al delimitar el área del lote con láminas lisas de asbesto de 0.3 x 1.5 m. En la parte baja del lote se colocó un vertedor tipo HS conectado con un tanque sobre el cual se puso un flotador para medir los cambios de nivel con un limnógrafo y de esta forma tener el hidrograma a partir de una curva de calibración realizada en el Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Irrigación de la U. A. Chapingo. El escurrimiento generado en los lotes fue recolectado en un tanque de 300 l con 2 divisores, de los cuales se toma una muestra del agua escurrida y se recoge el sedimento producido en cada evento. De estas evaluaciones se obtienen los datos de volúmenes escurridos, sedimentos en suspensión y carga sólida.

Se tomaron muestras del tepetate roturado para determinar su granulometría, haciéndola pasar a través de un tren de 14 tamices, obteniendo el porcentaje relativo con base en el peso para cada tamiz. Durante la temporada de lluvias se hicieron muestreos periódicos de humedad superficial por el método gravimétrico. Además se instaló un pluviógrafo de registro diario.

En 1990, los muestreos se llevaron a cabo a partir de agosto debido a problemas para la obtención de la maquinaria pesada. En 1991 los muestreos se iniciaron en mayo y los datos reportados en este trabajo sólo incluyen eventos hasta el 31 de agosto.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de la pérdida de suelo obtenidos en 1990 se presentan en el Cuadro 1.

Las pérdidas anuales de tepetate, expresadas en ton/ha, con la finalidad de estandarizar los efectos por tamaño de parcelas permiten concluir que no hay diferencias por tamaño de parcela (tratamientos 5 y 6). No fue posible concluir el efecto por cobertura vegetal, por problemas en el

Cuadro 1. Pérdidas de suelo para los lotes de escurrimiento durante la temporada 1990.

Nº	Tratamiento	Tamaño m ²	Pérdidas de suelo		
			1	2	3
1	testigo	44	4.73	1.07 ²	5.09
2	Rot	44	1.78	0.41	1.95
3	Rot+Lab+Cul-Sur	44	4.61	1.05	5.00
4	Rot+Lab-Cul-Sur	44	2.99	0.68	
5	Rot+Lab-Cul-Sur	20	2.36	1.18	5.62
6	Rot+Lab-Cul-Sur	10	1.19	1.19	5.66

1. Pérdidas de suelo medidas directamente, en kg/lote.
2. Pérdidas de suelo normalizadas, en ton/ha.
3. Pérdidas de suelo (ton/ha) corregidas por la erosividad del periodo (487.4 UIE) en comparación con la erosividad media anual (2 200 UIE).

tratamiento 4 (fugas de escurrimiento). El aspecto más sobresaliente es que el tepetate roturado sin labranza fue el tratamiento con las menores pérdidas de suelo (38 % en relación al testigo). Las pérdidas de suelo más altas fueron observadas en los tratamientos con los tamaños de parcelas más pequeños; sin embargo, las diferencias no son significativas. Otro aspecto relevante es que las pérdidas de suelo esperadas para el testigo son de 6.13 de acuerdo con Arias y Figueroa (1991); sin embargo, fueron ligeramente menores.

El lote donde se realizó únicamente la roturación con el ripper (tratamiento 2) tuvo las menores pérdidas debido a la rugosidad del terreno después del paso del ripper, formando bordos de 5 a 15 cm de altura a distancias de 30 a 40 cm, esta rugosidad frenó el escurrimiento e incrementó la infiltración, además el tamaño de "agregado" de este tratamiento fue el más alto (D50=21 mm), requiriendo mayor energía para el salpicado y el movimiento del material, en comparación con la energía necesaria para mover partículas de diámetros menores como los que se obtuvieron en terrenos laboreados (D50=0.78 mm).

Cuadro 2. Pérdidas de suelo observadas hasta agosto 1991.

Nº	Tratamientos		Tamaño m ²	Pérdidas suelo	
	1990	1991		1	2
1	testigo	testigo	44	22.21	5.05
2	Rot	RotLab-Sur-Cul	44	96.31	21.89
3	Rot+Lab+Cul-Sur	Lab+Sur-Cul	44	4.56	1.04
4	Rot+Lab-Cul-Sur	Lab+Sur+Cul	44	5.43	1.24
5	Rot+Lab-Cul-Sur	Lab+Sur+Cul	20	2.36	1.18
6	Suelo (pastizal)	Lab+Sur-Cul	44	4.82	1.10
7	Suelo (pastizal)	Lab+Sur+Cul	44	7.86	1.79

- 1 Cantidad de sedimentos colectados directamente.
- 2 Cantidad de sedimentos expresados en ton/ha.

En 1991 no se detectaron diferencias por efecto del tamaño de la parcela, por la cobertura vegetal ni entre suelo o tepetate, observándose en esta ocasión diferencias debidas al efecto de las obras de control del escurrimiento; en este caso la construcción de surcos. Esto es posible observarlo al comparar las pérdidas entre los tratamientos 1, 2 y 3, que consisten en testigo, labranza sin surcado sin vegetación, y labranza con surcado y sin vegetación.

El tratamiento 2, que este año se laboreó, tiene altas pérdidas de suelo superando cuatro veces al testigo; esto corrobora la necesidad de construir obras para el control de la erosión hídrica. Un terreno roturado con labranza y sin surcos u otra obra de control del escurrimiento únicamente aceleraría la erosión de estas áreas.

El testigo presenta una producción cuatro veces mayor que la de los lotes laboreados y surcados (5.04 ton/ha). Debido a que la temporada de lluvias no ha terminado no se hicieron correcciones por la erosividad anual.

CONCLUSIONES

Los tepetates son erosionables con tasas anuales promedio de 6 ton/ha. La cobertura vegetal no mostró efectos altamente significativos en la reducción de la erosión. El efecto del surcado fue marcadamente grande en el control de la erosión. No se obtuvieron diferencias por el efecto del tamaño de la parcela.

LITERATURA CITADA

ARIAS ROJO, H. M. y B. FIGUEROA SANDOVAL. 1991. La ecuación universal de pérdidas de suelo en la Cuenca del Río Texcoco. Enviada a TERRA.

FIGUEROA SANDOVAL, B. 1975. Pérdidas de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en ecosistemas de la Cuenca del Río Texcoco. Tesis Maestría en Ciencias, Rama de Suelos, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

EVOLUCION ESTRUCTURAL DE LA SUPERFICIE DE SUELOS CON TEPETATE

Structural Evolution of the Surface of Soils with Tepetate

Jean Louis Janeau ¹, Géraldine Jerome ² y Ma. Eugenia Miranda M.³

¹ ORSTOM, Durango, México.

² ISTOM, Paris, Francia.

³ Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Palabras clave: Tepetate, Estado de superficie del suelo, Degradación estructural, Costra de decantación, Costra estructural.

Key words: Tepetate, State of the soil surface, Structural degradation, Decantation crust, Structural crust.

free aggregate measurement and the micro-relieve evolution measurement allow the design of a general sketch of the structural degradation of the crop soil surface with furrow under natural rainfall.

RESUMEN

En el estudio se propuso caracterizar la disminución de los agregados hasta la formación de costras de superficie. Se trabajó en dos parcelas con suelo y dos parcelas con tepetate de la formación T3 sin CaCO₃. La medición de la evolución del microrelieve y del diámetro del agregado libre el más pequeño, han permitido demostrar un esquema general de la degradación estructural de la superficie del suelo y del tepetate, ambos bajo cultivo con surcos y la acción de lluvias naturales.

SUMMARY

This study suggests the characterization of the decrease of the aggregates until the formation of surface crusts. Two parcels with soil and two parcels with tepetate of the T3 formation without CaCO₃ were used. The smallest diameter of the

INTRODUCCION

Mc Intyre (1958) y Le Bissonnais (1988) demostraron la influencia de la lluvia sobre la evolución estructural de la superficie del suelo. Boifin (1984) y Le Souder (1990) utilizaron un método macromorfológico para analizar, bajo secuencias de lluvias diferentes, la degradación de la superficie y su impacto sobre la infiltración. Analizamos el efecto de la lluvia natural sobre la superficie del "tepetate" para establecer una comparación con un suelo no endurecido. Más precisamente, en el estudio se propuso caracterizar la disminución de los agregados hasta la formación de costras de superficie.

OBJETIVOS

El estudio tiene por objetivo, describir la evolución estructural de la superficie del terreno del surcado a la primera escarda. Considerando como componentes de esa evolución la

disminución del diámetro de los agregados, el aumento del diámetro de los agregados más pequeños libres en la superficie (D_{min}) y los cambios del microrelieve.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo fue realizado sobre cuatro parcelas experimentales, dos con tepetate y dos con suelo no endurecido. Las parcelas tienen un área de 22 m por 10 m caracterizados por una pendiente media de 7%. Cada parcela con tepetate fue objeto de un subsuelo profundo (60 cm) y una labranza en 1990. Los agregados que cubrían la superficie para 1991 fueron producidos por una sucesión de labores de cultivo, que se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de las labores de cultivo realizadas sobre las parcelas (TEP = tepetate, SNE = suelo no endurecido).

Parcela	Labores	Características
TEP 4	Barbecho	Profundidad: 25 cm
	Rastra	Obtención de agregados finos
	Surcado	Altura: 20 cm
SNE 7	Siembra	Profundidad: 5 cm
	1 ^{ra} escarda	En matas: 3 granos/golpe en valle
	2 ^{da} escarda	Ligera inversión de los surcos: maíz A nivel de las crestas de los surcos
TEP 3	Barbecho	Idem TEP4 y SNE7
	Rastra	Idem TEP4 y SNE7
SNE 6	Sin siembra	Superficie desnuda
	1 ^{ra} escarda	Idem TEP4 y SNE7
	2 ^{da} escarda	Idem TEP4 y SNE7

Cuadro 2. Características estructurales de las capas superficiales del suelo producidas por las labores de cultivo.

	Tepetate	Suelo no endurecido
Partículas < 2 mm	50%	35%
Localización	Crestas, partes inclinadas de surcos	Crestas de los surcos
2mm ≤ Part. ≤ 2cm	45%	50%
Localización	Valle de los surcos	Partes inclinadas valles de surcos
Partículas > 2 cm	5%	15%
Localización	Crestas de surcos	Valles de surcos

Las características estructurales de las capas superficiales producidas después de las labores de 1991 se resumen en el Cuadro 2.

Dentro de cada parcela, se delimitaron dos áreas de muestreo, una de 1 m², en la que se midió el diámetro de los agregados más pequeños, no adheridos a la superficie del suelo (D_{min}). Además se realizó la medición del diámetro de los agregados más grandes con el fin de determinar la velocidad de disminución de éstos hasta su transformación en costra estructural.

En la segunda área delimitada (1.98 m²), se realizó la medición de punto cuadrado ("rugosímetro") lo que nos permitió describir la evolución del microrelieve (relación: disminución de los agregados / formación de las costras).

RESULTADOS

Después del periodo de lluvias evaluado, se observaron sobre el terreno dos tipos de costras: una costra estructural y una de decantación.

Los principales factores de formación de la costra estructural son la desagregación de las partículas bajo la acción de la lluvia, su desplazamiento por salto (efecto "splash") y su depósito sin organización particular, lo que genera un cierre progresivo de los poros de la superficie (Casenave y Valentin 1989). Dicha costra está constituida por las partículas las más finas y tiene una rugosidad particular debida a la emergencia de los agregados los más grandes que no disminuyeron totalmente de tamaño (Cuadro 3).

La costra de decantación se forma por desprendimiento bajo el impacto de la lluvia, el transporte por escurrimiento y la acumulación de las partículas finas en las depresiones. Esta costra presenta una organización granulométrica fuerte, ya que está constituida por láminas (Cuadro 4).

Cuadro 3. Características y evolución de la costra estructural.

COSTRA ESTRUCTURAL	Suelo no endurecido	Tepetate
*Aparición de charcos en los valles		
Fecha de observación	26/05	31/05
Importancia	La mayoría de los valles	Escasos en los valles
Total de lluvia del surcado a esta fecha	19.7 mm	26.0 mm
Características iniciales de la costra:		
* Espesor	2 mm	1.5 mm
* Número de micro-horizontes	1 lámina de partículas finas (ST1)	1 lámina de partículas finas (ST1)
* Porosidad vesicular	20-25%	20%
* Localización	Cresta de los surcos	Cresta de los surcos
* Aspecto	Rugosidad bastante fuerte	Rugosidad muy fuerte
Evolución máxima		
Fecha de observación	03/07	03/07
Total de lluvia del surcado a esta fecha	228.9 mm	228.9 mm
Características de la costra:		
* Espesor	5.5 mm	5.0 mm
* Número de micro-horizontes	1	1
* Porosidad vesicular	20-25%	20%
* Localización	Totalidad de la superficie	Totalidad de la superficie
* Aspecto Cresta	Rugosidad reducida	Rugosidad importante
* Aspecto Valle	Rugosidad nula	Rugosidad muy reducida; muchos depósitos de microagregados $\phi < 2\text{mm} < c < 2\text{cm}$ arrancados de las crestas

Cuadro 4. Características y evolución de la costra de decantación.

COSTRA DE DECANTACIÓN	Suelo no endurecido	Tepetate
*Aparición de charcos en los valles		
Fecha de observación	26/05	31/05
Importancia	La mayoría de los valles	Escasos en los valles
Total de lluvia del surcado a esta fecha	19.7 mm	26.0 mm
Características iniciales de la costra:		
* Espesor	3 mm	1 mm
* Número de micro-horizontes	3 láminas de partículas finas	1 lámina de partículas finas
* Porosidad vesicular	Nula	Nula
* Localización	La mayoría de los valles recubre la costra estructural subyacente (ST3)	Algunos valles, recubre la costra ST3
* Aspecto	Rugosidad nula	Rugosidad nula
Evolución máxima		
Fecha de observación	03/07	03/07
Total de lluvia del surcado a esta fecha	228.9 mm	228.9 mm
Características de la costra:		
* Espesor	1.5 mm	3 mm
* Número de micro-horizontes	15	
* Porosidad vesicular	Nula	Nula
* Localización	Todos los valles	La mayoría de los valles
* Aspecto	Rugosidad nula; algunos depósitos de microagregados (calibre promedio de 3mm) arrancados de las crestas	Rugosidad nula; muchos depósitos de microagregados $2\text{mm} < c < 1.5\text{cm}$

Como lo demostraron De Ploey y Poesen (1985), la evolución estructural de los agregados depende de las características de las lluvias que se presentaron en este periodo (Cuadro 5), así como de las características de los materiales, como lo muestran los resultados presentados en los Cuadros 6 y 7.

Cuadro 5. Distribución y características de las lluvias en el transcurso del período de estudio.

	Lluvia	Cúmulo	I30	Energía
24/05 al 30/05	26.0	26.0	27.94	5.25
31/05 al 15/06	54.0	80.0	62.05	10.76
16/06 al 24/06	79.1	159.1	83.00	16.41
25/06 al 02/07	69.8	228.9	62.22	13.86

Cuadro 6. Evolución del D_{min} (en mm), de su cobertura de la superficie (en %), y tipo de costra (ST1=costra estructural con un microhorizonte, CD=costra de decantación).

Fecha		Tepetate		Suelo no endurecido	
		Cresta	Valle	Cresta	Valle
24/05	D _{min}	<1.0	<1.0	1.5	1.5
	Cobertura	50%	<5%	35%	<5%
	Costra	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna
31/05	D _{min}	5.5	10.3	35.0	50.0
	Cobertura	15%	<5%	<5%	<5%
	Costra	ST1	ninguna	ST1	ninguna
16/06	D _{min}	10.3	25.0	80.0	ninguno
	Cobertura	<1%	<5%	<1%	
	Costra	ST1	ST1	ST1	ST1
25/06	D _{min}	25%	ninguno	ninguno	ninguno
	Cobertura	<1%			
	Costra	ST1	ST1+CD	ST1	ST1+CD

Cuadro 7. Variación media (en cm) del microrelieve, formación de las costras (ST1 = costra estructural formada por un microhorizonte, CD = costra de decantación).

Fecha	Tepetate				Suelo no endurecido			
	Cresta		Valle		Cresta		Valle	
	TEP3	TEP4	TEP3	TEP4	SNE6	SNE7	SNE6	SNE7
25/05 al 24/06		-2.02	-2.63				-2.31	-2.21
Costra		ST1	ST1				ST1	ST1
25/06 al 02/07		0.68	0.98				1.43	1.27
Costra		CD	CD				CD	CD
22/05 al 02/07	-3.68	-5.54			-7.33	-5.44		
Costra	ST1	ST1			ST1	ST1		

La fuerte cohesión estructural del tepetate explica la disminución más lenta de los agregados y un desarrollo menos importante de costras superficiales.

La formación de costras superficiales ocasiona la disminución de la infiltración tanto en el tepetate, como en el suelo no endurecido. Sin embargo, en este último la formación de costras es menos importante, ocasionando la menor disminución de la porosidad del tepetate al final del ciclo, lo cual lleva a que la infiltración se vea menos afectada en un tepetate que en el suelo no endurecido que tenemos en esta área (Cuadro 8).

Cuadro 8. Evolución de la velocidad de infiltración en relación con la formación de las costras.

Fecha	Parcela	Infiltración (mm/h)
23/05	TEP 3 y 4	293
	SNE 6 y 7	260
28/06	TEP 3 y 4	70
	SNE 6 y 7	10

En general las características de las lluvias ocasionan los siguientes efectos sobre la superficie del terreno tanto tepetate como suelo no endurecido:

- 1 Formación de la costra estructural.
- 2 Cierre progresivo de los poros de la superficie.
- 3 Disminución de la infiltración.
- 4 Acumulación de agua en los valles de los surcos.
- 5 Formación de la costra de decantación.
- 6 Fuerte deterioro de las condiciones de infiltración y de aereación en los valles de los surcos.
- 7 Deterioro de las condiciones favorables para el cultivo.

CONCLUSIONES

Estas mediciones permitieron demostrar un esquema general de la degradación estructural de la superficie de suelos cultivados con surcos, bajo la acción de lluvias naturales (disminución del diámetro de los agregados / formación de costras superficiales).

La emergencia de los cultivos no fue impedida por la formación de la costra estructural, la cual tuvo poco desarrollo por el hecho de que la superficie del suelo había recibido pocas precipitaciones; además, una siembra en matas permite una fuerza de emergencia suficiente en este caso (Ruiz Figueroa, 1983).

En cambio, la acumulación de agua en la superficie; inducida por la formación de costras (estructural y decantación) desde las primeras lluvias, denotó la fuerte disminución de la infiltración, y generó una asfixia de las raíces que limitará su desarrollo y luego el rendimiento.

Las escardas realizadas por los campesinos ocasionan una reorganización importante de la superficie del suelo, lo que permite romper las costras formadas después del surcado, y por consiguiente regenerar las condiciones de infiltración del suelo.

Observamos que la formación de costras superficiales (disminución de los agregados, aumento del D_{min} y disminución del microrelieve), asociada a la presencia de un piso de arado, causó una baja de infiltración, una pérdida del poder de retención de agua más fuertes sobre el suelo no endurecido que sobre el tepetate.

LITERATURA CITADA

BOIFIN, J. 1984. La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de docteur ingénieur, INAPG, Paris, France. 320 p.

CASENAVE, A. y C. VALENTIN. 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Paris, France. 242 p.

DE PLOEY, J. y J. POESEN. 1985. Aggregates stability, runoff generation and interrill erosion, pp. 106-119. *In: geomorphology and soils.* Richard, Arnett and Ellis (ed.). Pub.: Allen and Unwin.

LE BISSONNAIS, Y. 1988. Analyse des mécanismes de désagrégation et de mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies. INRA, Ardon, Olivet, France. 196 p.

LE SOUDER, C. 1990. Effet d'un conditionneur minéral sur la formation des croûtes superficielles du sol sous l'action des pluies. Mode d'action du conditionneur sur la stabilité structurale. Thèse de docteur ingénieur, INAPG, Paris, France. 181 p.

MC INTYRE, D. S. 1958. Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop impact. *Soil Science* 85: 261-266.

RUIZ FIGUEROA, J. F. 1983. Les micro-organisations pelliculaires superficielles formées sous pluie simulée sur des sols ferrallitiques de savane (centre nord de Côte d'Ivoire). Comportement hydrodynamique et mécanique de ces pellicules de battance en relation avec la texture, la couverture du sol et la levée du riz pluvial. Thèse INAPG et ENA, Chapingo. 167 p.

**FERTILIDAD DE LOS TEPETATES. I.
FERTILIDAD ACTUAL Y POTENCIAL DE LOS TEPETATES
DE LA VERTIENTE OCCIDENTAL DE LA SIERRA NEVADA (MEXICO)**

**The Fertility of the Tepetates. I.
Present and Potential Fertility of the Tepetates of the Western Sierra Nevada
(Mexico)**

Jorge D. Etchevers B.¹, Lourdes Cruz H.¹, Juan Mares A.¹ y Claude Zebrowski ²

¹ CEDAF, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

² ORSTOM, Méx., México.

Palabras clave: Horizontes endurecidos, Nutrimientos, Suministro nutrimental, Fósforo, Hierro, México.

Key words: Indurated horizons, Soil nutrients, Nutrient supply, Phosphorus, Iron, Mexico.

RESUMEN

La información disponible acerca de la fertilidad de los tepetates es escasa. El éxito que se desea alcanzar en la habilitación a que se someten requiere conocer su capacidad actual y potencial de suministro de nutrientes para las plantas que en ellos se cultivan o se cultivarán. El objetivo del presente trabajo fue evaluar estos parámetros mediante un procedimiento biológico de invernadero, llamado técnica del elemento faltante. Se seleccionaron cinco tepetates representativos de la zona, relacionados con las dos series estratigráficas T2 y T3, con abundante y escaso contenido de carbonato de calcio. Todos los tepetates estudiados presentaron niveles actuales y potenciales de abastecimiento de fósforo extremadamente bajos pero el suministro de los restantes elementos esenciales

fue adecuado, aun cuando sometidos a una gran demanda. La única excepción la constituyó el suministro de hierro en un tepetate con alto contenido de carbonato de calcio. En éste fue necesario aplicar una sal de hierro para prevenir que las plantas murieran. La capacidad de suministro de nitrógeno de los tepetates no fue medida directamente, pero los contenidos de materia orgánica y de nitrógeno eran tan pequeños en los materiales originales que habría sido imposible hacer crecer plantas en ellos sin la adición de un fertilizante nitrogenado.

SUMMARY

Little is known about the fertility of tepetate soils. For the success of the amelioration program in course one requires to know the present and the potential capacity of the tepetates to supply nutrients for plants that are presently grown or will be grown on them. The objective of the present work was to evaluate the above two parameters by means of a greenhouse biological experiment: the lacking element technique. Five tepetates representatives of the area were selected

for the experiment; they included tepetates related to the T2 and T3 stratigraphic series and tepetates with abundant and scarce content of calcium carbonate. All the tepetates assayed had a very low actual supply of phosphorus for plant growth and showed a low supply potential. The supply of the remainder essential nutrients was adequate, even for sustaining large plant demands. Iron was the only exception in a tepetate with a high calcium carbonate content. The indicator plant showed symptoms of iron deficiency and it was necessary to apply an iron salt to prevent plant from dying. Nitrogen supply capacity was not measured directly, however, the organic matter and nitrogen content in the original materials were very low and insufficient to sustain plant growth. Fertilizer nitrogen must be added to tepetates in order to obtain growth.

INTRODUCCION

Los campesinos llaman tepetates a ciertos materiales superficiales endurecidos que presentan dificultad para su cultivo agrícola. Por extensión se denomina tepetate a una variedad de horizontes endurecidos o semi-endurecidos subyacentes a los suelos de origen volcánico (proto-tepetates) y que en algunos casos afloran a la superficie debido a la erosión de éstos.

El origen de los tepetates aún no está totalmente esclarecido. Dubroeuq *et al.* (1989) y Nimlos (1987) señalan que el origen de algunos tepetates es volcánico y de otros pedogénico. Según Miehlich (1991) y Quantin (1991) los tepetates se asocian con series estratigráficas (T1, T2, T3 y brechas volcánicas) que provendrían de depósitos de proyecciones piroclásticas en forma de flujos, con excepción de la serie T1, que sería de origen eólico.

Los tepetates pedogénicos tienen como cementantes sílice y/o carbonatos (Aeppli, 1973; Dubroeuq *et al.*, 1989; Gutiérrez *et al.*, 1990; Martínez y García 1990; Nimlos, 1987), pero Miehlich (1991) y Oleschko (1991) postulan que ciertos depósitos de arcilla observados en

estudios micromorfológicos no serían ajenos a los procesos de cementación. El endurecimiento que caracteriza a los tepetates en su estado natural, hace que éstos sean prácticamente improductivos desde un punto de vista agrícola. Sin embargo, se ha logrado su rehabilitación mediante prácticas de roturación (Miranda *et al.*, 1989) y un adecuado manejo (Ruiz, 1987).

Hay escasa información publicada acerca de la disponibilidad nutrimental en los tepetates roturados (Cajuste y Cruz, 1987; Cruz *et al.*, 1990). Observaciones preliminares de la respuesta de los cultivos a la aplicación de fertilizante muestran que el suministro de nitrógeno y fósforo se encuentran, en general, en niveles inferiores a la demanda que ejercen los cultivos (Peña *et al.*, 1990).

El objetivo del presente estudio fue determinar la fertilidad actual y potencial de algunos tepetates representativos del estado de México.

MATERIALES Y METODOS

Se colectaron muestras superficiales (0 a 30 cm) de cinco tepetates ubicados en el Valle de México (Cuadro 1). Algunas muestras provinieron de perfiles descritos con el propósito de hacer un levantamiento de estos materiales en dicha zona y otras de depósitos someros de materiales de edades diferentes (Zebrowski *et al.*, 1989).

Cuadro 1. Identificación y ubicación de las muestras del estudio de la fertilidad actual y potencial de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada

Sitio	Referencia ¹	Características	Ubicación
I	K7	T3 con CO ₃	Tepetlaotoc
II	P27KB	T3 con CO ₃	Gavilanes, Carr. México Puebla
III	P19K15	T2 con CO ₃	San Miguel Xolco, Carr. Teotihuacan-Otumba
IV	P35	T2 sin CO ₃	Tequesquináhuac
V	P1	T3 sin CO ₃	San Miguel Tlaixpan

¹ Las claves corresponden a los tepetates de referencia del estudio cartográfico de la zona.

A las muestras se les efectuaron algunos análisis químicos y físicos (textura, pH en agua, conductividad eléctrica, materia orgánica, P extractable Olsen, K intercambiable) con el propósito de diagnosticar su fertilidad. Los procedimientos fueron los rutinariamente empleados en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados (Etchevers, 1988). Paralelamente se estableció en el invernadero un ensayo biológico en macetas conocido como "técnica del elemento faltante" (Chaminade, 1964; Schenkel, 1971a). Cada maceta contenía 3 kg de suelo. Dicha técnica consta de los siguientes tratamientos:

- T1= fertilización completa con N, P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes (Comp);
- T2= fertilización completa menos P (-P)
- T3= fertilización completa menos K (-K)
- T4= fertilización completa menos Ca (-Ca)
- T5= fertilización completa menos Mg (-Mg)
- T6= fertilización completa menos S (-S)
- T7= fertilización completa menos micronutrientes (-Mic)
- T8= testigo absoluto (To).

La aplicación de N y de micronutrientes se efectuó en solución y la de los otros macronutrientes se realizó en forma sólida. La fertilización nitrogenada se aplicó en todos los tratamientos, incluso en el To, ya que se considera que este elemento es universalmente deficiente. Las dosis y las fuentes empleadas fueron las recomendadas por Zárate (1986).

Se determinaron algunas constantes hídricas del suelo que sirvieron para controlar el riego en las macetas. El cultivo empleado fue *Lolium perenne* sembrado con una densidad de aproximadamente 450 semillas/maceta. El cultivo permaneció en el invernadero 114 días, efectuándose cuatro cortes. Se manifestó una deficiencia de Fe en el sitio III, la cual se corrigió con aplicaciones foliares de este elemento.

En cada corte se determinó el peso de la materia seca por tratamiento. Se sumaron dichos pesos para obtener la materia seca acumulada. Se calcularon los porcentajes de rendimiento relativo acumulado (RRA) para cada corte,

tratamiento y sitio, mediante la ecuación siguiente:

$$RRA = MSAT / MSATC * 100$$

donde:

RRA= Rendimiento relativo acumulado (%)

MSAT= Materia seca acumulada (g) en un tratamiento cualquiera

MSATC= Materia seca acumulada (g) en el tratamiento completo

Los valores de MSA y los porcentajes de RRA se ajustaron a una regresión lineal.

$$RRA = (MSA * B) + A$$

Para interpretar los resultados se graficó la MSA producida en cada corte (promedio de tres repeticiones) versus el porcentaje de RRA empleando una escala lineal. A estas expresiones se les llama diagramas de fertilidad y mediante éstos se puede conocer cuales nutrimentos son limitantes para el desarrollo del cultivo, cuales son los niveles de fertilidad inicial (A), y si éstos se incrementan o disminuyen (B) a través del tiempo (Schenkel, 1971b).

Se calcularon las tasas de acumulación promedios de materia seca por día (TAMS/día) para cada tratamiento y sitio. Esto se logró dividiendo la producción de materia seca total por la duración del ciclo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización Química de los Tepetates

Los tepetates exhibieron reacción alcalina (pH 7.2 a 8.5), excepto uno de ellos que fue neutro. Los porcentajes de materia orgánica y N total (menor de 0.3 y 0.04, respectivamente) que contenían las muestras se consideran bajos. Los niveles de K, Ca y Mg intercambiable fueron altos (2.35, 20.83, y 11.59 meq/100 g promedio, respectivamente). Los niveles de P extractable Olsen fueron bajos (menos de 5 ppm). El Mn extractable en DTPA fue adecuado en todos los tepetates, al igual que el Fe, excepto en el sitio III donde se estimó que era marginal. Esto se reflejó

en la presencia de síntomas de deficiencia de este elemento en el experimento biológico. Las concentraciones de Cu y Zn extractables en el mismo reactivo anterior fueron bajas. Los porcentajes de arcilla de los tepetates variaron de 20 a 45; el menor valor fue el del sitio III.

Evaluación Biológica de la Fertilidad

Puesto que los diagramas de fertilidad de los cinco tepetates expresan, en general, los mismos problemas nutricionales, sólo se presenta, a modo de ejemplo, el del sitio I (Figura 1).

En el Cuadro 2 se muestran los promedios de los porcentajes de rendimiento relativo para los cuatro cortes de cada tratamiento y sitio.

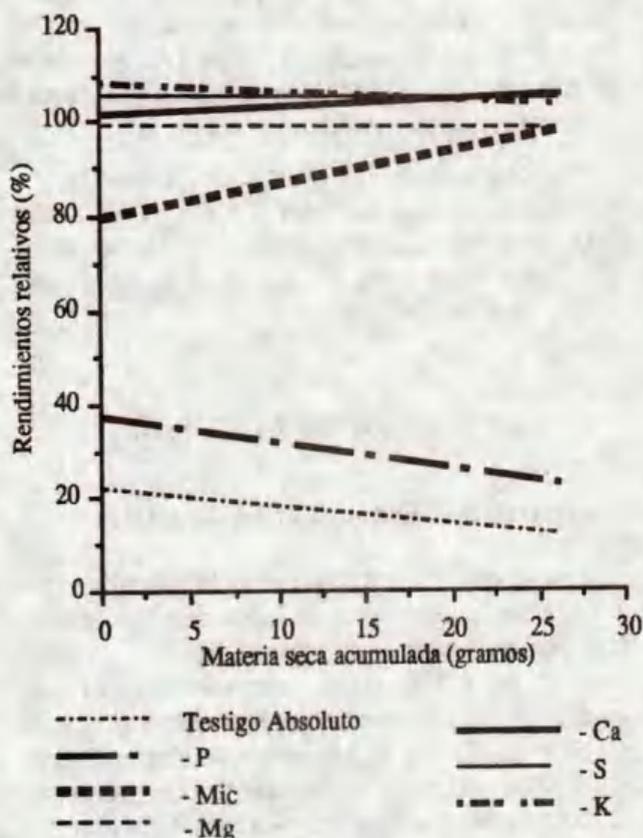


Figura 1. Diagramas de fertilidad del tepetate 1, en los que se relacionan: materia seca (MS) acumulada en los cuatros cortes, versus porcentaje de rendimiento (% RR).

Cuadro 2. Promedio de los rendimientos relativos (%) de *Lolium perenne* (cultivo indicador) después de cuatro cortes, en tepetates representativo de la vertiente occidental de la Sierra Nevada.

Tepetate	Tratamiento ¹					To
	-P	-K	-Ca	-S	-Mic	
1	32	101	116	115	116	28
2	17	100	102	090	090	20
3	29	105	104	105	091	15
4	24	105	118	100	118	23
5	36	120	098	130	128	44

¹ Mic = menos micronutrientes; To= testigo absoluto.

La jerarquización empleada por Chaminade (1964) y Zárate (1986), expresa que deficiencias mayores son las asociadas con menos del 40% de RR, y las deficiencias menores comprenden entre 40 y 70% de RR. De acuerdo con esto, en el diagrama de fertilidad y en el Cuadro 1, se observa que las líneas de los tratamiento -P y del testigo absoluto (To) fueron las que tuvieron los menores RR (%) después de cuatro cortes y los menores niveles de fertilidad inicial. Coinciden con los resultados anteriores, los promedios de las TAMS/día correspondientes a los tratamientos -P y al testigo (Cuadro 3).

La situación nutricional de los tepetates respecto del K, Ca, Mg, S y micronutrientes, está en general, calificada como de fertilidad actual de medianamente alta a alta, lo que sugiere un abastecimiento suficiente de estos nutrientes para el cultivo.

Cuadro 3. Tasas de acumulación de materia seca por día de *Lolium perenne* cultivado en los tepetates representativos de la vertiente occidental de la Sierra Nevada (Méx.)

Tepetate	Comp	To	Tratamiento ¹					
			-P	-K	-Ca	-S	-Mic	
Tasa de acumulación de MS, mg/día								
1	252	81	99	251	280	277	264	250
2	385	76	69	372	391	354	353	377
3	230	31	59	238	243	241	255	222
4	295	62	74	318	353	325	351	317
5	283	104	97	299	295	330	315	323

¹ Mic = menos micronutrientes; To= testigo absoluto; Comp = completo

CONCLUSIONES

La fertilidad actual de algunos tepetates representativos de la vertiente occidental de la Sierra Nevada de México está fuertemente limitada por los bajos niveles de fósforo. La adición de este elemento, en conjunto con el nitrógeno, que es universalmente deficiente en los tepetates, logró revertir esta situación. Los rendimientos que se alcanzaron en los

tratamientos completos fueron considerados aceptables, lo cual indica que si se diagnostica oportunamente los nutrimentos que no son aportados en cantidades insuficientes por los tepetates, es posible corregir su suministro mediante la adición de fertilizantes adecuados. En estas circunstancias los tepetates pueden ser un sustrato tan adecuado químicamente como cualquier suelo. Su productividad va a depender del mejoramiento de sus propiedades físicas.

LITERATURA CITADA

- AEPPLI, H.** 1973. Barrobdöden und tepetate. (Tesis doctoral). Universidad J. von Liebig, Giessen, BRD.
- CAJUSTE, L. J. y J. CRUZ, D.** 1987. Evaluación de micronutrientes en maíz criollo (*Zea mays*) en un suelo con influencia de un tepetate calcáreo, pp. 95-104. In: J. F. Ruiz, F. (ed.) Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- CRUZ D., J., L.J. CAJUSTE, E. COTA G. y E. OSORES C.** 1990. Estudio del material tepetatoso en la cuenca alta de Texcoco y su relación con la disponibilidad de nutrientes, p. 17. In: Coloquio de Investigación del Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- CHAMINADE, R.** 1964. Diagnostic des carences minérales du sol par l'expérimentation en petits vases de végétation. Science du sol, deuxième semestre. s/p.
- DUBROEUCQ, D., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI.** 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. Terra 7: 3-12.
- ETCHEVERS B., J. D.** 1988. Análisis químico de suelo y planta. Notas de clases. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- GUTIERREZ C., M. C., C. A. ORTIZ S., K. OLESCHKO L. y H. CUANALO DE LA C.** 1990. Estudio micromorfológico de los cementantes de algunos tepetates del Valle de México y Tlaxcala. Agrociencia (Serie Agua-Suelo-Clima) 1: 91-105.
- MARTINEZ T., M. y A. GARCIA R.** 1990. Naturaleza de los cementantes de algunos tepetates del Valle de México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- MIEHLICH, G.** 1991. Chronosequences of volcanic ash soils. Verein zur Förderung der Bodenkunde in Hamburg, Hamburg, Germany.
- MIRANDA M., M. E., M. E. DELGADILLO P. y B. R. RUIZ, H.** 1989. Evaluación de seis formas de roturación del tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la Cuenca de México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- NIMLOS, T., M.** 1987. Tepetate monograph. A report on the state of knowledge regarding tepetate and the associated erosion. Rep. School of Forestry, University of Montana, Bozeman, Montana.
- OLESCHKO, K.** 1991. Los patrones morfológicos de arcilla en los tepetates. In: Resúmenes del 1er Simposio Internacional de los Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados 21-26 de Octubre 1991, Montecillo, México.
- PEÑA H., D., M. L. ORTIZ S., J. D. ETCHEVERS B. y C. ZEBROWSKI.** 1990. Incorporación de los tepetates a la producción agrícola rendimiento y efectos de roturación sobre características físico-químicas de tepetates, p. 23. In: Memorias del XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.
- QUANTIN, P.** 1991. Etude des sols volcaniques indurés "tepetates" des bassins de Mexico et Tlaxcala (Mexique). Deuxième Rapport Annuel d'Avancement des Travaux, 1^{er} Avril 1990-31 Mai 1991. Informe presentado a la Comunidad Económica Europea. ORSTOM, Bondy, France. (Material xerografiado).
- RUIZ F., J. F.** 1987. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

SCHENKEL G., S. 1971a. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. I. Representaciones gráficas usadas. *Turrialba* 21: 253-262.

SCHENKEL G., S. 1971b. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. II Diagramas de fertilidad. *Turrialba* 21: 263-271.

ZARATE V., J. L. 1986. Evaluación de la fertilidad de los suelos de pradera de la región de Teziutlán, Pue. Tesis de Licenciatura, UCh., Chapingo, México.

ZEBROWSKI, C., J. D. ETCHEVERS B. y H. ARIAS R. 1989. Reincorporación de tepetates a la producción agrícola. I. Avances en los trabajos de caracterización. *In: Memoria del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Montecillo, México.*

**FERTILIDAD DE LOS TEPETATES. II.
SITUACION DEL FOSFORO Y DEL POTASIO EN TEPETATES
DE MEXICO Y TLAXCALA (MEXICO)**

**The Fertility of the Tepetates. II.
Phosphorus and Potassium in Tepetates of Mexico and Tlaxcala (Mexico)**

Jorge D. Etchevers B.¹, Claude Zebrowski ², Claudia Hidalgo M.¹ y Paul Quantin ³

¹ CEDAF, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

² ORSTOM, Mex., México.

³ ORSTOM, Bondy, Francia.

Palabras clave: Suelos volcánicos endurecidos, Suministro nutrimental, Dinámica nutrimental, Fósforo, Potasio.

Key words: Indurated volcanic soils, Nutrient supply, Nutrients dynamics, Phosphorus, Potassium.

RESUMEN

La mayoría de los suelos son incapaces de suministrar todos los nutrimentos necesarios para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas o las cantidades demandadas por éstas. Por ello, para asegurar el manejo apropiado de la nutrición de los cultivos, es necesario evaluar la disponibilidad actual y la capacidad de suministro nutrimental a futuro que posee un suelo, así como los cambios que experimentan los nutrimentos que le son adicionados como fertilizante. Dos elementos esenciales son de particular interés en el caso de los tepetates: fósforo y potasio. El primero por encontrarse en cantidades insuficientes en estos materiales y el segundo por presentar niveles muy superiores a los normales. Se consideró que por ser el

nitrógeno un elemento universalmente deficiente en los tepetates no había razón para estudiar su situación. Se seleccionaron 12 tepetates que habían sido cultivados por periodos que iban de 1 a 16 años, representativos de aquéllos existentes en los estados de México y Tlaxcala (asociados a las series estratigráficas T2 y T3), y los materiales relacionados con estos tepetates, ubicados en sitios adyacentes, que nunca habían sido cultivados, los cuales se usaron como referencia. En ellos se estudió, en laboratorio, las diferentes fracciones relacionadas con los sistemas fósforo y potasio en el suelo, la disponibilidad de ambos y la dinámica de estos elementos cuando se adicionan al suelo en forma soluble. El contenido de fósforo total, así como la fracción disponible, fueron extremadamente bajos en los tepetates sin cultivar o cultivados por pocos años. Pero el fósforo disponible aumentó con los años de cultivo como consecuencia de las aplicaciones anuales de fertilizante fosfatado que hacen los agricultores. Las tasas de las reacciones de adsorción rápida y lenta de fósforo en los tepetates, muestran que estos materiales son de baja reactividad y que gran parte del fertilizante que no es utilizado por las plantas en el año de aplicación queda en forma disponible para los

cultivos siguientes. En consecuencia no es difícil ni oneroso mejorar la disponibilidad de este elemento para las plantas. Los niveles de potasio intercambiable, así como los de potasio soluble fueron elevados. La capacidad tampón medida en estos tepetates indica que gran parte del potasio intercambiable puede ser extraída como potasio soluble. Esto explica la gran disponibilidad de este elemento.

SUMMARY

Most of the cultivated soils are unable to supply all the essential elements required for plants optimal growth or the quantity of these nutrients required to reach such a growth. Therefore, the evaluation of present and future nutrient supply conditions by the soil, as well as the evaluation of the changes that undergo fertilizer nutrients applied to the soil are important to proper management of plant nutrition. Two essential elements are of particular interest in the tepetates; phosphorus and potassium. The availability for plant growth of the former is extremely low and the concentrations of the latter are higher than the reported for cropping soils. The nitrogen was considered to be an element universally deficient in tepetates and therefore was not studied in the present work. Twelve tepetate soils cultivated for periods ranging from 1 to 16 years, representative of the tepetates associated to the stratigraphic series T2 and T3 found in the states of Mexico and Tlaxcala were sampled. In addition, samples from adjacent tepetates never been cultivated also were collected as references. The fractions conforming the phosphorus and potassium systems in the soil, as well as the dynamic of these elements when added in a soluble form to the soil were studied in laboratory experiments. Total and available phosphorus contents in non cultivated tepetates or in tepetates cultivated for a short period of time was extremely low. However, the level of available phosphorus increased as the number of

years under cultivation of a tepetate increased. This increment was attributed to the additions of phosphorus fertilizer made year after year by farmers. The rates at which the rapid and slow reactions of phosphorus adsorption proceed in the tepetates show that these materials are not very reactive. In consequence, most of the phosphorus which is not taken up by plants the year of addition remains available for future crops. The exchangeable and soluble forms of potassium in the tepetates were rather high. The potassium buffer capacity measured in this materials shows that a large proportion of the exchangeable potassium can be extracted as soluble form. This explains the high availability of potassium in tepetate soils.

INTRODUCCION

Los estudios preliminares de capacidad de suministro de nutrimentos de los tepetates, conducidos por Etchevers *et al.* (1991), muestran que estos materiales poseen una baja disponibilidad generalizada de nitrógeno y de fósforo y ocasionalmente de hierro (en el caso de los tepetates con abundante carbonato de calcio), sin embargo, el aporte de potasio y el resto de los elementos esenciales es adecuado, cuando sometidos a un proceso de extracción acelerada mediante el establecimiento de una alta densidad de planta.

Los bajos niveles de nitrógeno (y consecuentemente los de carbono) son explicables porque los tepetates no han sido, al menos en el tiempo presente, profusamente colonizados por plantas, con excepción hecha de aquéllos incorporados a la producción en los años pasados. Para incorporar los tepetates a la producción agrícola, y para su conservación, se requiere aumentar drásticamente los niveles de nitrógeno y de carbono.

Los bajos niveles de fósforo disponible pueden atribuirse a tenores inadecuados de fósforo total, a reacciones químicas que lo hacen inaprovechable para las plantas o a ambas causas. Las

formas en que se encuentra el fósforo en los tepetates y su dinámica no han sido estudiadas con anterioridad. La corrección del déficit de fósforo disponible para las plantas se hace actualmente extrapolando la información disponible para otros suelos de la zona. Aplicaciones anuales de 40 a 80 kg de P_2O_5 por hectárea son comunes. Como la naturaleza de las reacciones del fertilizante fosfatado soluble adicionado a este material son desconocidas y las extracciones por los cultivos son pequeñas, es posible que las recomendaciones de fertilización actuales sean superiores a las cantidades de fósforo que se requiere agregar. La aplicación de niveles de fósforo superiores a la demanda podría traducirse en acumulaciones de este elemento en el suelo, con efectos económicos negativos sobre el productor y sobre la ecología. Cruz y Etchevers (1990) reportaron que una alta proporción de los suelos cultivados de Tlaxcala poseían niveles de fósforo disponible muy superiores a las necesidades de los cultivos que en ellos se establecían, debido a los bajos potenciales de producción, es decir, a la baja demanda nutrimental.

Los niveles adecuados de potasio disponible para el crecimiento de las plantas, se supone que provienen de la descomposición de materiales ricos en este elemento. En efecto, estudios recientes realizados en la fracción gruesa y en láminas delgadas, con una microsonda de electrones, muestran la presencia de minerales potásicos y de concentraciones totales de este elemento compatibles con esa situación (Quantin, 1991. Comunicación personal). Sin embargo, es preciso conocer el tamaño de los "pooles" en que se encuentra el potasio para tener una idea más precisa del tiempo que esta condición de aparente superávit perdurará, así como la tasa con que la disponibilidad puede decaer.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar ciertos aspectos de la dinámica del fósforo y del potasio en algunos tepetates cultivados (1 a 16 años) de los estados de México y Tlaxcala, particularmente de la fracción de estos elementos disponible para el crecimiento de las plantas.

MATERIALES Y METODOS

Para la realización del presente estudio se muestrearon 12 sitios de tepetates habilitados para la producción agrícola y cultivados continuamente por lapsos que iban de 1 a 16 años.

Las zonas de muestreo se ubicaron en Hueyotlipan y San Pablo Ixayo, en los estados de Tlaxcala y México, respectivamente. En la primera zona se recolectaron muestras de materiales correspondientes a las formaciones t2 y t3 (4 y 5 muestras, respectivamente). En San Pablo sólo se muestrearon tepetates del tipo t3 (13 muestras). La diferencia entre las zonas de Hueyotlipan y San Pablo, con tepetates de tipo t3, es la pluviometría; la primera es más húmeda que la segunda (650 y 500 mm de lluvia por año, aproximadamente). En cada zona se ubicaron predios que hubiesen sido cultivados por diferentes periodos (de 1 a 16 años). Se obtuvieron muestras del área cultivada (tepetate cultivado) y del material que se trazó como el original, pero que nunca había sido cultivado (tepetate sin cultivar). Como referencia se colectaron suelos (Suelos) cuyo historial de cultivo se remonta a más de 30 años.

En cada sitio seleccionado se obtuvieron varias submuestras de la profundidad correspondiente a la capa arable, generalmente 0 a 20 cm y se mezclaron para constituir una muestra compuesta. En contraste, las muestras de los tepetates sin cultivar, se obtuvieron de manera puntual. Vale la pena señalar que lo que se ha denominado tepetate cultivado en este trabajo no necesariamente es un material derivado en un cien por ciento del tepetate original, sino una mezcla de éste con proporciones variables de suelo residual.

Las muestras fueron secadas al aire y luego molidas con un mazo de madera hasta pasar la malla de 1 mm. Una parte proporcional fue remolida a malla 200 para hacer los análisis de elementos totales. La caracterización química se hizo por los procedimientos rutinarios empleados

en el Laboratorio de Formaciones Superficiales de ORSTOM, en Bondy, Francia.

Para los estudios de la dinámica nutrimental del fósforo y del potasio se trató una muestra de 100 g de material con 80 ppm de P y 100 ppm de K, empleando fosfato dihidrógeno de potasio como vehículo. Las mezclas fueron incubadas a 27 °C y a una humedad cercana a la capacidad de campo por dos meses. Durante este periodo se obtuvieron muestras en diversas oportunidades, dependiendo del estudio, para determinar los contenidos de fósforo extractable, potasio intercambiable y potasio soluble. Los procedimientos empleados fueron aquéllos sugeridos por Rodríguez (1990) para estos efectos.

Los resultados obtenidos fueron utilizados para determinar el tamaño de los diferentes "pooles" de fósforo y potasio y para establecer la dinámica de cambio que experimentan las fracciones extractables de estos nutrimentos cuando se adiciona una fuente soluble que los contiene.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de los diversos análisis que se practicaron a las muestras de tepetates y suelos de referencia, así como algunos parámetros químicos calculados para comprender mejor la dinámica del fósforo y del potasio en estos materiales.

El valor medio de pH en agua de los tepetates tipo t2 es más alcalino (pH 7.7) que el de los formados a partir de t3 (pH 7.0) y el de los t3 de Hueyotlipan ligeramente más ácido (pH 6.8) que los de San Pablo (pH 7.3). Este comportamiento era esperado porque los t2 poseen carbonato de calcio libre en cantidades detectables por la prueba con ácido clorhídrico en tanto que los t3 sólo ocasionalmente reaccionan a este reactivo. En la zona de Hueyotlipan el efecto del material parental (t2 ó t3) sobre el pH es más fuerte que el

de la pluviometría, pero los tepetates t3 de la zona de San Pablo, con menor pluvio-metría que los de Hueyotlipan, son ligeramente más alcalinos, probablemente por la menor pérdida de bases.

Los tepetates cultivados presentan, en general, valores de pH en agua menores que los no cultivados, pero las diferencias son pequeñas y pueden atribuirse al uso de fertilizantes acidificantes y a la exportación de bases intercambiables.

Las concentraciones de fósforo total de los tepetates y suelos asociados son inferiores a las que normalmente se encuentran en los suelos cultivados (0.045 a 0.11%, según Tisdale *et al.*, 1985). En general los t2 analizados presentaron un porcentaje medio de fósforo (0.011% P) que es la mitad de aquél observado en los t3 (0.022% P). Los tepetates cultivados mostraron concentraciones de este elemento superiores a los tepetates sin cultivar. Esto último es explicable en razón de las aplicaciones periódicas de fertilizantes fosfatados a que son sometidos los terrenos de cultivo por los agricultores. Los bajos porcentajes de fósforo explican la escasez de fósforo disponible observada en los tepetates de la región (Etchevers *et al.*, 1991) y la respuesta a la aplicación de fertilizante que reportan los campesinos.

El potasio soluble en una mezcla de ácidos concentrados de los tepetates fue bastante uniforme (0.18 a 0.22% promedio), sin observarse diferencias apreciables entre las zonas. Estos valores son sorprendentemente bajos y representan sólo una fracción del potasio total. Tisdale *et al.* (1985) señalan que la concentración media de potasio total en los suelos es de aproximadamente 1.2%, con un rango de 0.5 a 2.5%. En general, los suelos cultivados presentaron valores de esta fracción de potasio inferiores a los tepetates sin cultivar y los de los suelos cultivados fueron aún más bajos (0.16%). Estos datos señalan que el sistema potásico de estos suelos es relativamente frágil y que debe ser observado con mayor detenimiento para evitar un empobrecimiento irreversible.

Cuadro 1. Algunos parámetros químicos relacionados con la dinámica del fósforo y del potasio en tepetates de México y Tlaxcala.

Sitio	Tipo	Años de cultivos	pH agua	P total %	P Olsen ppm	bP medios Kp 1 año	K extr. %	K solub. ppm	K inter. ppm	
HUEYOTLIPAN										
EZ15	t3	1	5.80	0.021	1.6	0.55	0.758	0.21	116	406
EZ8	t3	2	7.00	0.018	4.4	0.60	0.666	0.20	140	526
EZ8K	t3	0	6.95	0.015	3.2	0.63	0.736	0.20	179	600
EZ14	t3	3	6.80	0.023	4.7	0.60	0.684	0.20	119	372
EZ14K	t3	0	6.85	0.019	2.3	0.61	0.649	0.20	137	588
EZ12	t3	4	6.50	0.022	4.9	0.55	0.729	0.18	120	404
EZ12K	t3	0	7.50	0.023	2.3	0.55	0.899	0.21	217	708
EZ3	t3	5	6.80	0.023	4.8	0.68	0.689	0.22	137	476
EZ3K	t3	0	7.10	0.022	3.2	dnm	0.613	0.22	192	652
EZ7	t3	10	6.65	0.023	13.3	0.61	0.888	0.20	222	
EZ7K	t3	0	7.90	0.014	2.4	dnm	0.545	0.20	146	572
EZ1	t3	15	6.45	0.023	11.2	0.56	0.795	0.19	158	472
EZ1K	t3	0	6.60	0.021	4.5	0.54	0.856	0.21	158	446
EZ5	Suelo	>30	6.30	0.034	52.9	0.61	0.764	0.20	302	666
EZ6	Suelo	>30	6.60	0.032	21.4	0.56	0.751	0.12	66	170
SAN PABLO IXAYOC										
EZ9	t3	4	7.50	0.037	51.5	0.55	0.782	0.29	723	1760
EZ9K	t3	0	7.20	0.020	1.6	0.66	0.602	0.19	163	524
EZ10	t3	9	7.45	0.020	4.3	0.63	0.549	0.15	106	422
EZ10K	t3	0	7.05	0.013	3.2	0.62	0.526	0.19	130	558
EZ22	Suelo	16	6.75	0.018	5.2	0.60	0.718	0.21	51	226
EZ11	Suelo	>60	6.15	0.034	16.8	0.53	0.438	0.15	60	190
HUEYOTLIPAN										
EZ4	t2	1	8.00	0.011	3.2	0.72	0.789	0.20	202	586
EZ4K	t2	0	8.00	0.009	3.1	0.77	0.698	0.21	218	776
EZ13	t2	4	7.30	0.012	5.2	0.61	0.644	0.20	222	786
EZ13K	t2	0	7.40	0.012	2.3	0.67	0.761	0.25	197	758

La concentración promedio de fósforo Olsen inicial de los tepetates sin cultivar varía entre 2.4 y 3.0 ppm. Estos valores indican que la cantidad de fósforo disponible en el material original es baja. Ello se explica, en parte, por qué el fósforo total es bastante inferior a los niveles considerados como normales en suelos cultivados. Los tepetates cultivados, en cambio, muestran concentraciones de fósforo disponible un poco más

elevados (4.2 a 6.4 ppm P), lo cual refleja las adiciones de fertilizante que periódicamente se hacen en estos suelos. La acumulación de fósforo es mayor a medida que aumentan los años que un tepetate ha estado cultivado. Los tepetates cultivados sólo durante un año presentan concentraciones de fósforo extractable Olsen menores a 3 ppm, en cambio en aquellos suelos cultivados por más de 10 años este índice varía de

5 a 11 ppm. Como comparación se tienen los niveles de fósforo extractable que se pueden alcanzar después de más de 30 años de cultivo en los suelos asociados (17 a 37 ppm P Olsen), los cuales se consideran superiores a las necesidades actuales de los cultivos. Algunos tepetates presentan niveles de este nutrimento preocupantemente elevados, debido a aplicaciones de fertilizante fosfatado en dosis como las reportadas por Delgadillo *et al.* (1989), que de continuarse pudieran llegar a provocar desórdenes nutrimentales.

Los valores de bP (un índice de las reacciones rápidas de adsorción de fósforo) nos señalan que los tepetates derivados de t3 mantienen, después de 24 horas, aproximadamente un 60% del fósforo aplicado en el "pool" lábil y que este valor es aún mayor en el caso de los tepetates derivados de t2 (71%). En general, los tepetates t2 y t3 que han sido cultivados presentan valores de bP ligeramente inferiores a los no cultivados, en tanto que el de los suelos es aún más bajo (56%), señalando una reactividad ligeramente superior, que pudiese atribuirse al periódico aporte de cenizas volcánicas que han recibido los suelos cultivados en los últimos siglos. Al comparar los bP de los tepetates con los medidos en suelos de la zona se puede decir que estos valores son relativamente altos (Cruz, 1990; Galvis, 1990) y que el fenómeno de adsorción rápida en los tepetates no representa un mayor problema en las prácticas de fertilización fosfatadas.

El fenómeno de la difusión intrapartícula en los tepetates, medido por el coeficiente de la ecuación potencial que se ajusta a la función de decaimiento del "pool" lábil del suelo, es de pequeña monta. Los valores de este coeficiente varían entre 0.06 y 0.08 en los tepetates de Hueyotlipan y son más elevados en los de San Pablo. Esta diferencia debe ser analizada con mayor detalle para buscar una explicación. Los resultados anteriores permiten concluir que el fósforo aplicado tiene en estos suelos un efecto residual relativamente prolongado, ya que su tasa de adsorción lenta es relativamente baja.

Las concentraciones de potasio soluble en agua en los tepetates son, en general, elevadas (aproximadamente 0.50 meq/100 g de material), siendo los de la zona de Hueyotlipan ligeramente inferiores (0.47 meq/100 g de material) a los de San Pablo (0.56 meq/100 g de material), situación que se atribuye a la mayor pluviometría de la primera. La concentración de potasio soluble en los tepetates cultivados fue inferior a la observada en los tepetates no cultivados (0.36 versus 0.46 meq/100 g), lo cual fue atribuido a la exportación de este elemento por las cosechas y a la escasa o nula aportación de potasio como fertilizante en la explotación de los tepetates.

La situación del potasio intercambiable en estos materiales es la siguiente: en la zona más húmeda de Hueyotlipan la forma intercambiable presenta un valor medio de 1.63 meq/100 g de material, en tanto que en San Pablo, con menor humedad es de sólo 1.20 meq/100 g. Estos valores son superiores a los reconocidos como límites críticos para un gran número de cultivos (0.15 a 0.30 meq/100 g), de lo cual se infiere que en el corto plazo este nutrimento no presentará un problema de abastecimiento para los cultivos. Sin embargo, los suelos de referencia, cultivados por más de 30 años, tienen concentraciones de potasio intercambiable sustancialmente menores que los tepetates (0.91 meq/100 g), cantidad que de todas formas asegura un suministro más que suficiente por unos cuantos años. Como es lógico, los tepetates cultivados contienen menos potasio intercambiable que los no cultivados.

En resumen, los estudios de laboratorio confirman las observaciones realizadas en estudios biológicos, referente a la escasez de fósforo y la abundancia del potasio en los tepetates, la primera debida a la escasa presencia de minerales fosfatados naturales y la segunda a un elevado grado de intemperismo de los minerales potásicos nativos. La adición de fertilizantes fosfatados en los tepetates cultivados ha determinado un aumento gradual del fósforo disponible, condición que ha sido permitida por la baja reactividad de estos materiales y un elevado efecto residual de los correctores.

LITERATURA CITADA

CRUZ H., L. 1990. Establecimiento de la dosis de fertilización fosfatada para maíz y cebada en suelos de Tlaxcala, mediante un modelo integral simplificado. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

CRUZ H., L. y J. D. ETCHEVERS B. 1991. Estado del P en suelos de Tlaxcala, pp. 15-16. *In:* Primer Simposio Nacional de Degradación de Suelos. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, D.F., México.

DELGADILLO P., M. E., M. E. MIRANDA M. y B. R. RUIZ H. 1989. Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la Cuenca de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Chapingo, México.

ETCHEVERS B., J. D., L. CRUZ H., J. MARES A. y C. ZEBROWSKI. 1991. Fertilidad de los tepetates. I. Fertilidad actual y potencial de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada, pp. 71-73. *In:* Resúmenes Ampliados, Primer Simposio Internacional Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados-ORSTOM, Montecillo, México.

GALVIS S., A. 1990. Validación de las normas de fertilización de N y P estudiadas con un modelo simplificado para maíz, con las dosis adecuadas en la experimentación de campo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

RODRIGUEZ S., J. 1990. La fertilización de los cultivos: un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

TISDALE S. L., W. L. NELSON y J. D. BEATON. 1985. Soil fertility and fertilizers. Fourth edition. Macmillan Publishing Co., New York, USA.

EVALUACION DE DOS ROCAS FOSFORICAS COMO FUENTE DE FOSFORO PARA DOS ESPECIES CULTIVADAS EN UN TEPETATE

Evaluation of Two Phosphate Rocks as a Source of Phosphorus for Two Plant Species in Tepetate

Francisco Gavi R. , Roberto Núñez E. y Juan Mares A.

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Palabras clave: México, Roca fosfórica, Tepetate, Pasto, Alfalfa.

Key words: Mexico, Phosphate rocks, Tepetate, Grass, Alfalfa.

alfalfa (*Medicago sativa*) and grass (*Lolium perenne*). The substratum used was tepetate (duripan) with pH 7.2 (1:5 soil:water). Grass was fertilized with urea and ammonium sulphate. The dry matter yield was measured. Neither grass nor alfalfa was affected by N source and particle size of phosphate rock. Only alfalfa responded to fertilization with phosphate rock.

RESUMEN

Se estableció un ensayo de invernadero para evaluar el efecto de rocas fosfóricas de Baja California (-100 mallas y -200 mallas U.S. estándar) y de Carolina del Norte (-35+100 mallas U.S. estándar) aplicadas como fuente de fósforo en la nutrición fosfórica a alfalfa (*Medicago sativa*) y pasto (*Lolium perenne*) en un tepetate (duripán) (pH 7.2 relación 1:5 suelo:agua). En pasto se probó urea y sulfato de amonio. Se midió el rendimiento de materia seca. No se encontró respuesta a la fuente de N ni la granulometría de la roca fosfórica. Sólo la alfalfa respondió a la aplicación de roca fosfórica.

SUMMARY

A greenhouse experiment was conducted to compare the effect of phosphate rocks from Baja California (-100 y -200 mesh U.S. standard) and North Carolina (- 35+100 mesh U.S. standard) in

INTRODUCCION

El tepetate es un sustrato clasificado como duripán (Nimlos, 1987) que se ha venido incorporando a la agricultura desde épocas prehispánicas. Su baja fertilidad es uno de los factores que limitan los rendimientos de las especies que en él se desarrollan, por ello desde 1961 se han realizado diferentes estudios relacionados con dicha problemática.

En los tepetates, usando como plantas indicadoras lechuga, maíz para grano, cebada, veza y alfalfa, se ha encontrado respuesta a aplicaciones de estiércol bovino, estiércol ovino y gallinaza, debido a que mejoran las propiedades físicas y químicas de esos suelos (García, 1961; Avila, 1963; González, 1984; Tovar, 1987 y Sánchez, 1981).

En otros estudios en los que se ha usado zanahoria, maíz para grano y maíz forrajero como plantas indicadoras, se ha encontrado respuesta a la aplicación de nitrógeno (N) y fósforo (P) en forma de fertilizante químico (Ortiz, 1968; González, 1981; 1984).

La respuesta de los cultivos a la aplicación de abonos orgánicos y fertilizantes en los tepetates se debe principalmente a la baja disponibilidad de N, P y materia orgánica (Delgadillo *et al.*, 1989), aunque también se ha observado que los bajos contenidos de Mg y Zn limitan la producción de maíz para grano en esas condiciones (Cajuste, 1987).

La necesidad de usar materiales fertilizantes para la producción agrícola que se desarrolla en los tepetates, hace importante buscar y ensayar fuentes de nutrimentos más económicas que las tradicionales. En los suelos ácidos se ha comprobado la factibilidad agronómica y económica de usar roca fosfórica como sustituto de los superfosfatos (Núñez, 1987; Gavi *et al.*, 1990).

En suelos de pH mayores a 6.5 la reactividad de la roca fosfórica es reducida (Khasawneh y Doll, 1978; Núñez, 1987) por ello en ensayos de campo, usando maíz para grano como planta indicadora (Gavi, 1988; Núñez *et al.*, 1990), no se ha encontrado respuesta a la aplicación de dicho material.

No obstante que los tepetates son de reacción neutra, existen materiales fertilizantes (Gavi *et al.*, 1990) y especies vegetales fijando nitrógeno simbióticamente (Aguilar, 1987) que abaten el pH del suelo, lo cual se podría usar para promover la solubilidad de la roca fosfórica.

Por lo anterior, el presente estudio tuvo los siguientes objetivos:

a) Estudiar la respuesta de pasto y alfalfa, cultivados en un tepetate, a la aplicación de roca fosfórica.

b) Comparar la eficiencia agronómica de las rocas fosfóricas de Baja California (RFBC) y Carolina del Norte (RFCN) respecto al superfosfato triple.

c) Evaluar el efecto de dos fuentes de N sobre la eficiencia agronómica de la roca fosfórica.

d) Evaluar dos tamaños de partícula de la roca fosfórica de Baja California.

MATERIALES Y METODOS

Se estableció un ensayo bajo condiciones de invernadero usando como sustrato el material denominado tepetate. El sustrato de donde se muestreó el material se identifica como litosol-regosol de acuerdo a la clasificación de la FAO-UNESCO (Ortiz y Cuanalo, 1977). Algunas características químicas del tepetate utilizado se presentan en el Cuadro 1. En general se puede decir que es un material de pH neutro, sin problemas de sales y pobre en materia orgánica.

Cuadro 1. Características químicas del tepetate.

pH 1:5 (suelo:agua)	CE mmhos/cm	M.O. %	N %	P ppm	K meq/100 g
7.2	0.606	0.32	0.004	5.88	1.78

El experimento se realizó en tres etapas. En las dos primeras de ellas se sembró pasto ballico (*Lolium perenne*), mientras que en la tercera etapa se sembró alfalfa (*Medicago sativa*). El pasto se cortó cuando alcanzó aproximadamente 20 cm de altura. La alfalfa se cortó cuando empezó su floración. Las fechas de siembra y corte se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fechas de siembra y corte de las especies vegetales.

Etapas	Cultivo	Siembra	Corte 1	Corte 2
1	Pasto	24/04/91	21/05/91	04/07/91
2	Pasto	15/05/91	19/07/91	09/08/91
3	Alfalfa	20/05/91	19/07/91	09/08/91

Las dosis de fósforo ensayadas variaron de 0 a 800 ppm de P. Se usaron las siguientes fuentes de P: roca fosfórica de Baja California con granulometría de -100 mallas (RFBC1) y -200 mallas (RFBC2) U.S. estándar; roca fosfórica de

Carolina del Norte (RFCN) -35 + 100 mallas y superfosfato triple (SFT) en su presentación comercial. Se aplicó una dosis uniforme de 50 ppm de N como urea o sulfato de amonio y 50 ppm de K como cloruro de potasio. Los fertilizantes se incorporaron en todo el volumen del tepetate, excepto en la segunda etapa en la que el sulfato de amonio y el P se incorporaron sólo en el kilogramo de substrato superior de la maceta. La relación de tratamientos ensayados se presenta en el Cuadro 3. Las dosis de P no tuvieron repeticiones, en cambio el testigo tuvo siete en la primera etapa y 3 en las otras dos.

Se usaron macetas con 3 kg de suelo, el cual se mantuvo a capacidad de campo durante el experimento, mediante un procedimiento gravimétrico, para lo cual se regó de una a dos veces al día.

La evaluación de las dos especies y fuentes de fósforo se basó en el promedio de los rendimientos de materia seca del primero y segundo corte. Los datos observados se ajustaron a los siguientes modelos:

$$Y=B_0(1-e^{B_1+B_2P}) \text{ y } Y=B_0+B_1P.$$

Cuadro 3. Tratamientos evaluados.

P ppm	Etapa 1			Etapa 2				Etapa 3			
	RFBC	RFNC	SFT	RFBC1	RFBC2	RFNC	SFT	RFBC1	RFBC2	RFNC	SFT
0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
50	X	X	X	X							
75	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
100	X	X	X	X							
125	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
150	X	X	X	X							
200	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
250	X	X	X	X							
300	X	X	X		X	X		X	X	X	
350	X	X	X								
400	X	X	X		X	X		X	X	X	
450	X	X	X								
500	X	X	X		X	X		X	X	X	
600	X	X	X								
700	X	X	X		X	X		X	X	X	
800	X	X	X								
Fuente de N	----- Urea -----			----- Sulfato de amonio -----				----- Urea -----			

RFBC = Roca fosfórica de Baja California. 1 = -100 mallas. 2 = -200 mallas

RFNC = Roca fosfórica de Carolina del Norte -35 +100 mallas.

SFT = Superfosfato triple de calcio.

El primer modelo representa la ecuación de Mitscherlich, donde B0 es el rendimiento máximo, B1 y B2 son constantes que definen la curvatura. En el segundo modelo B0 es el rendimiento que se obtiene cuando no se aplica P y B1 es la pendiente de la recta. Las eficiencias agronómicas relativas se calcularon de acuerdo a lo descrito por Núñez (1987).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los promedios de rendimiento de materia seca, obtenidos en las diferentes etapas del ensayo, se usaron para obtener las ecuaciones del Cuadro 4. Con la finalidad de comparar las respuestas entre etapas, los datos calculados se expresaron en términos de porcentajes, respecto al rendimiento máximo calculado con superfosfato triple en cada etapa.

Cuadro 4. Ecuaciones ajustadas a los promedios de rendimiento de materia seca de dos cortes de alfalfa.

Etapa	Fuente de P ¹	Modelo	R ²
1 (Pastos)	RFBC1U	$Y = 1.881699 - 0.000396 P$	0.25
	RFCNU	$Y = 1.793159 - 0.000072052 P$	0.02
	SFTU	$Y = 6.308348 (1 - e^{-0.333688 - 0.052046 P})$	0.99
2 (Pastos)	RFBC1SA	$Y = 2.531375 - 0.000531667 P$	0.25
	RFBC2SA	$Y = 2.524519 + 0.000237972 P$	0.06
	RFCNSA	$Y = 2.438093 - 0.000427539 P$	0.42
3 (Alfalfa)	SFTSA	$Y = 9.013113 (1 - e^{-0.315967 - 0.052391 P})$	0.99
	RFBC1U	$Y = 6.696643 (1 - e^{-0.025104 - 0.001454 P})$	0.96
	RFBC2U	$Y = 6.541829 (1 - e^{-0.018064 - 0.001591 P})$	0.88
	RFCNU	$Y = 5.003664 (1 - e^{-0.004845 - 0.003366 P})$	0.97
	SFTU	$Y = 8.083973 (1 - e^{-0.020645 - 0.018972 P})$	0.98

- ¹ RFBC = Roca fosfórica de Baja California. 1 = -100 mallas. 2 = -200 mallas
 RFCN = Roca fosfórica de Carolina del Norte -35 +100 mallas.
 SFT = Superfosfato triple de calcio.
 U = Urea.
 SA = Sulfato de amonio.

El pasto sólo respondió a la adición de P en forma de superfosfato triple, en cambio la alfalfa respondió tanto a la roca fosfórica como al superfosfato triple (Figuras 1 y 2).

En la Figura 1 se observa que ni el efecto residual ácido diferente de las fuentes de nitrógeno, ni la granulometría de la RFBC afectaron la reactividad de la roca fosfórica, evaluada en función de los rendimientos de materia seca. Esto coincide con lo encontrado en otros ensayos con suelos con un valor de pH mayor de 6.5, en los que no se encontró respuesta a la aplicación directa de roca fosfórica, cuando ésta se usó en maíz para grano (Gavi, 1988; Núñez *et al.*, 1990).

La alfalfa sí respondió a aplicaciones de P como roca fosfórica (Figura 2). Al igual que lo encontrado con pasto, el tamaño de partículas de dicho material no modificó el efecto de la roca fosfórica de Baja California. La roca fosfórica de Carolina del Norte superó ligeramente a la roca fosfórica de Baja California, a pesar de ser una roca mucho más reactiva. Respecto al superfosfato triple se obtuvieron las siguientes

eficiencias agronómicas: 26% para RFCN y 19% para la RFBC, en sus dos granulometrías.

La respuesta de la alfalfa a la aplicación directa de roca fosfórica, en relación a lo encontrado con pasto, se atribuyó a la acidificación que ocurre en la rizósfera de la alfalfa cuando ocurre la fijación biológica de nitrógeno (Aguilar, 1987). En otro trabajo con alfalfa se encontró que la fijación biológica de nitrógeno disminuyó el pH del suelo en 0.43 unidades (Tomasino, 1986).

Las eficiencias agronómicas de la RFBC y RFCN observadas en este estudio, son bajas en relación a las encontradas para RFBC (60%), en suelos ácidos en función del rendimiento de grano de maíz y en los que resultó económicamente viable sustituir al superfosfato triple por RFBC (Gavi *et al.*, 1990). Lo anterior sugiere la necesidad de ensayar enmiendas, ya comprobadas en otras condiciones (Gavi *et al.*, 1990; Khasawneh y Doll, 1978; Núñez, 1987), que aumentan la eficiencia de las rocas fosfóricas, antes de descartar el uso de este material para fertilizar cultivos fijando nitrógeno simbióticamente, en suelos como los tepetates.

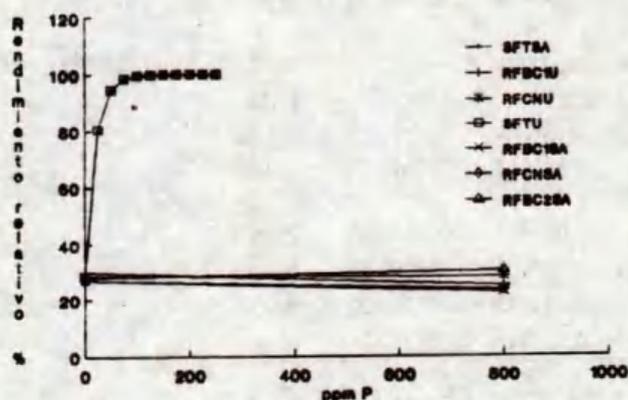


Figura 1. Respuesta del pasto a dosis y fuentes de P.

CONCLUSIONES

- El rendimiento de materia seca del pasto no fue afectado por las rocas fosfóricas de Baja California y de Carolina del Norte.
- El rendimiento de materia seca de alfalfa obtuvo las siguientes eficiencias

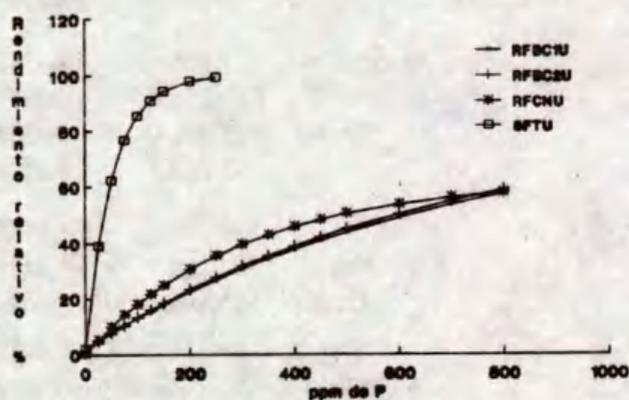


Figura 2. Respuesta del pasto a dosis y fuentes de P.

agronómicas: 26% con roca fosfórica de Carolina del Norte y 19% al utilizar roca fosfórica de Baja California.

- La fuente de nitrógeno no modificó el efecto de las rocas fosfóricas.
- El tamaño de partícula no modificó el efecto de la roca fosfórica de Baja California.

LITERATURA CITADA

AGUILAR S., A. 1987. Utilización de roca fosfórica por leguminosas fijando nitrógeno simbióticamente. In: Memorias y Resúmenes del 1er. Congreso Nacional de la Sociedad Nacional de la Fijación Biológica del Nitrógeno. México. INIREB. Xalapa, México. 11 p.

AVILA H., M. 1963. Recuperación de suelos erosionados de Chapingo, México, con plantaciones forestales. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México (Tesis profesional).

CAJUSTE J., L. 1987. Evaluación de micronutrientes en maíz criollo (*Zea Mays*) en el suelo con influencia de tepetate calcáreo, 95-104. In: Ruiz F., J.F. (ed). Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, Chapingo, México.

DELGADILLO P., M.E., M.E. MIRANDA M. y B. R. RUIZ H. 1989. Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la cuenca de México. Tesis profesional, UACH., Chapingo, México.

GARCIA E., A. 1961. Estudio de los suelos tepetatosos y las posibilidades de su recuperación agrícola. Tesis profesional, UACH, Chapingo, México.

GAVI R., F. 1988. Incremento de la eficiencia agronómica de la roca fosfórica mediante su mezcla con estiércol, azufre y/o fertilizantes químicos. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

- GAVI R., F., R. NUÑEZ E., J. D. ETCHEVERS B. y A. MARTINEZ G.** 1990. Incremento de la eficiencia agronómica de la roca fosfórica mediante su mezcla con estiércol, azufre y/o fertilizantes químicos. *Agrociencia* 1 (2): 113-132.
- GONZALEZ R., J. M.** 1981. La producción de maíz para grano y forraje en tepetates recuperados mediante una práctica mecánica sencilla. Tesis profesional, UACH, Chapingo, México.
- GONZALEZ R., J. M.** 1984. Introducción y evaluación de gramíneas y leguminosas establecidas en áreas degradadas para uso en conservación de suelo y producción de forrajes en sistemas asociados con maíz. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- KHASAWNEH, F.E. y E.C. DOLL.** 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy* 30: 159-206.
- NIMLOS, T. J.** 1987. La nomenclatura de horizontes endurecidos en suelos derivados de ceniza volcánica, 10-18. *In*: Ruiz F., J.F. (ed). *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural*. UACH, Chapingo, México.
- NUÑEZ E., R.** 1987. Aplicación directa de roca fosfórica como fertilizante. *Experiencias en México*, 16-30. *In*: *Memorias del Congreso Internacional de la Industria de los Fertilizantes*. ADIFAL, México.
- NUÑEZ E., R., F. GAVI R. y J. D. ETCHEVERS B.** 1990. Sulphur as an amendment for phosphorus fertilizer in non-acid soil. Final Report on Research Conducted in 1989. CEDAF., Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 8 p.
- ORTIZ S., J.** 1968. Estudios de fertilización de zanahoria en un suelo de la serie Coatlinchán-Textcoco, Edo. de México. Tesis profesional, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.
- ORTIZ S., C. A. y H. CUANALO DE LA C.** 1977. Levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo. Col. de Postgraduados, ENA, Chapingo, Méx.
- SANCHEZ J.M.** 1981. Comportamiento de dos tipos de tepetates bajo la adición de abonos orgánicos y abonos verdes en condiciones de invernadero. Tesis profesional, UACH, Chapingo, México.
- TOMASINO C., H. J.** 1986. Utilización de la roca fosfórica cruda por leguminosas fijando nitrógeno simbióticamente. Tesis profesional, UACH, Chapingo, México.
- TOVAR S., J. L.** 1987. Determinación del efecto de aplicación de estiércol de bovino semiseco y fresco sobre el rendimiento de cebada en suelos erosionados, 156-171. *In*: Ruiz F., J.F. (ed). *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural*. UACH, Chapingo, México.

DISPONIBILIDAD DE K NATIVO, FACTORES Q/I Y POTENCIALES QUIMICOS EN TEPETATES DE MEXICO

Potassium Availability, Q/I Relationship and Chemical Potentials in Tepetates from Mexico

Jaime Cruz Díaz, Lenom J. Cajuste, Rogelio Carrillo González,
Ernesto Osoreo Cárdenas y Ofelia Grajales Muñiz

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Palabras clave: México, Potasio lábil, Fijación de potasio, Parámetros fisicoquímicos, Absorción de K.

Key words: Mexico, Labile K, Potassium fixation, Physicochemical parameters, K absorption.

RESUMEN

Se realizó un estudio con un enfoque termodinámico para evaluar el status del K en el sistema tepetate-solución-planta, ya que los métodos actuales para determinar los cationes disponibles no han resultado satisfactorios, tanto para los suelos como para los tepetates. Idealmente los procedimientos analíticos deben, en este caso, reflejar tanto los factores de intensidad como los de capacidad del K en el suelo. Se estimó la disponibilidad de K nativo para *Vicia faba* L. en algunos tepetates de Texcoco, México, mediante los parámetros cantidad/intensidad Q/I y los potenciales químicos de K, Ca y Mg. Estos proporcionaron una indicación del comportamiento del K en los tepetates y su dinámica hacia la planta. El parámetro Q/I sirve como una medida de la disponibilidad nutrimental del K para un cultivo, y los potenciales de Schofield como un índice de

la disponibilidad en el momento del muestreo. Sólo el K soluble (Ks) se correlacionó (**=p < 0.01) con alguno de los parámetros deducidos de las curvas Q/I: la capacidad amortiguadora de K (PBC^k) r=0.815, el K de reserva (ΔK_0) r=0.762** y el K lábil (ΔK_L) r=0.749** y también con algunos de la planta: la concentración y la absorción de K (r=0.875 y r=0.824, respectivamente). El K intercambiable (K_i), en contraste, no correlacionó con ninguno de los parámetros fisicoquímicos ni con el K en el tejido vegetal. La concentración de K en la planta, sin embargo, se asoció (* = p ≤ 0.05) con los parámetros ΔK_0 (r = 0.700*), ΔK_L (r = 0.664*), PBC^k (r = 0.607*) y pK-0.5 pCa (r = -0.619*). El pH tuvo una correlación (p ≤ 0.05) con ΔK_L (r = 0.607).

SUMMARY

The quantity/intensity parameters of soil K and the chemical potential of K, Ca and Mg were used to evaluate the uptake of native K by *Vicia faba* L. in some indurated horizon soils of volcanic Texcoco region, Mexico. Adequate levels of K were found to reflect the K soil status as measured by the conventional chemical methods and also to describe the quantity/intensity

factors including the Schofield's cation potential. Positive correlation coefficients were obtained between labile K and PBC^k ($r=0.815$); ΔK_0 ($r=0.762$) and ΔKL ($r=0.749$) at a $P < 0.01$. The pH was correlated with ΔKL ($r=0.607$; $p \leq 0.05$). Significant relationships occurred between K concentrations in *Vicia faba* L., earleaves and ΔK_0 $r=0.700$; ΔKL $r=0.664$; PBC^k $r=0.607$ and $pK-0.5pCa$ $r=0.619$ ($p \leq 0.05$). Correlation coefficients between K soluble - K concentrations and K absorption were 0.875 and 0.824, respectively ($p < 0.01$).

INTRODUCCION

Los tepetates de los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala, y Puebla, han sido estudiados en su génesis, caracterización, cartografía, cementación, conservación y fertilidad (Arias, 1991; Etchevers et al., 1991; Hidalgo et al., 1991; Miranda et al., 1989; Peña y Zebrowski, 1991; Quantin, 1991a y b; Werner, 1991). No obstante, las investigaciones sobre fisicoquímica son escasas; únicamente se conoce el trabajo de Miehlich et al., (1980) sobre los potenciales catiónicos de Schofield de los suelos y tepetates de la Sierra Nevada de México, las investigaciones sobre termodinámica en suelos y tepetates del área de influencia de Chapingo por Cruz (1986) y el estudio de la cinética del fósforo y el potasio en los tepetates de los estados de Tlaxcala y México realizados por Etchevers et al. (1991). Los tepetates son ricos en cationes alcalinos y alcalinotérreos, ya que contienen feldespatos como la ortoclasa ($KAlSi_3O_8$), la albita ($NaAlSi_3O_8$), como lo reportan Pacheco (1979) y Rey (1979) y de tipo andesina-labrador ($Na,Ca,Al_2Si_2O_2$), además de vidrios de riólita sódica. Los métodos químicos tradicionalmente usados en la cuantificación de las distintas formas de potasio (intercambiable, soluble y fijado) proporcionan información incompleta acerca de la dinámica de este elemento en el suelo y de su capacidad de suministro para las plantas. En este trabajo se analizó la disponibilidad de potasio para haba (*Vicia faba* L.) de algunos tepetates y

suelos relacionados mediante la determinación de los parámetros Q/I, los potenciales catiónicos de Schofield y los métodos químicos convencionales (NH_4OAc 1N pH 7, H_2O y H_2SO_4 1N).

ANTECEDENTES

Las isotermas de intercambio catiónico y los parámetros asociados han sido usados para medir la concentración o actividad del K en la solución del suelo, ya sea solo o asociado con otros iones. Y aunque ofrecen una explicación de los procesos de intercambio, poco se usan para predecir la disponibilidad del K (Goulding, 1987). Woodruff (1955) y Arnold (1962) sugieren el uso de los parámetros de energía libre para evaluar la disponibilidad de K en el suelo. Page y Talibudeen (1982a, b) determinaron los potenciales críticos del K, no obstante, ninguno de estos métodos ha tenido aplicación práctica. Ultimamente se ha estado investigando acerca de ellos en sistemas binarios y ternarios (Nir et al., 1986; Shaviv y Jury, 1986 y Sposito, 1984). Beckett (1964) y Beckett y Nafady (1967), encontraron que la constante de intercambio K/Ca varía en función de la relación de actividades, pues cuando ésta es moderada se presenta una isoterma lineal de intercambio, tal como se esperaría de acuerdo con la constante de Gapón, mientras que cuando la relación de actividades es más baja, hay una marcada asimetría. Estas observaciones dieron lugar a una conformación única para graficar e interpretar las isotermas cantidad/intensidad Q/I, basadas teóricamente en la ecuación de Gapón (Sparks, 1986).

Las curvas Q/I han sido empleadas con más éxito que las isotermas de intercambio y aún se aplican para ensayar la disponibilidad del K, tal como lo reportan Nair y Grimme (1979), Sparks y Liebhardt (1981) y Evangelou et al. (1986).

Teoría de la Determinación Q/I

Para definir el status del K en un suelo se

requiere conocer la relación entre la cantidad de este nutriente presente en el sistema y los niveles de energía a los que puede ser suministrado. Esta relación está dada por las curvas Q/I (Beckett, 1964; Beckett y Nafady, 1967) que se obtienen equilibrando muestras de suelo con una serie de soluciones con diversas relaciones de actividad aK/aCa variables.

La diferencia entre la concentración de K^+ en la solución inicial en el sobrenadante y la encontrada en equilibrio representa la cantidad de K^+ ganado o perdido por el suelo ($\pm\Delta K$). Si se grafican los valores de ΔK proporcional a la cantidad de K intercambiable usado como una medida del parámetro cantidad, frente a la intensidad o relación de actividad de las diluciones equilibradas por agitación:

$$[AR^k = aK/(aCa + aMg)^{1/2}]$$

Se grafica una curva a partir de la cual se obtienen los parámetros del estado del K en el suelo.

La gráfica de la relación Q/I es característica para cada suelo o tepetate y define los siguientes parámetros:

a. La AR^k_0 relación de actividades en el equilibrio cuando el suelo no gana ni pierde K , representa la intensidad del K lábil y constituye una medida del K disponible inmediatamente. El factor de intensidad de K (AR^k) se calcula a partir de las concentraciones de Ca , Mg y K en las soluciones en equilibrio corregidas por el coeficiente de actividad, determinado por la ecuación de Debye-Hückel.

$$\text{Log } \alpha_{\pm} = - \frac{aZ^+ Z^- \sqrt{I}}{1 + \alpha B \sqrt{I}}$$

Donde:

α_{\pm} = coef. de actividad del electrolito.

a = constante (0.5085).

Z^+ = valencia del catión.

Z^- = valencia del anión.

αB = diámetro del ión hidratado.

I = fuerza iónica.

Donde:

$$I = 1/2 \sum C_i Z_i^2$$

y donde

C_i = concentración del ión.

Z_i = valencia del ión.

La relación de actividad (AR^k) fue calculada con la fórmula:

$$AR^k = \frac{C_k (\alpha KCl)^2}{(\sqrt{C_{Ca} + C_{Mg}} (\alpha CaCl_2)^{3/2})}$$

Donde:

C_{Ca} , C_k , C_{Mg} = concentración de equilibrio de Ca^{++} , K^+ y Mg^{++} .

αKCl = coeficiente de actividad de KCl .

$\alpha CaCl_2$ = coeficiente de actividad de $CaCl_2$.

b. El PBC^k o capacidad potencial de tamponación, que es la pendiente de la curva Q/I y que representa la habilidad del suelo para mantener la intensidad de K contra el agotamiento o adición. Es la cantidad de K lábil que puede separarse antes de conseguir una variación determinada en AR^k y es proporcional a la extensión de las superficies planares disponibles para el intercambio (Beckett y Nafady, 1967).

c. El ΔK_0 es el valor de ΔK obtenido por la extrapolación de la tangente de la curva Q/I al intercepto con el eje x, donde $AR^k = 0$ ($y=0$). Representa una medida aproximada de la reserva de K lábil del suelo, presente en las posiciones planares, más fácilmente cambiable.

d. El ΔK_L , es la cantidad de K que debe ser removida para reducir AR^k a 0. Representa la cantidad total de K lábil.

e. El ΔK_x , es una medida que se obtiene de: $\Delta K_L - \Delta K_0$, y representa la cantidad de K lábil, correspondiente a las posiciones más específicas o selectivas para el K , tales como las que se encuentran en las intercapas o en los bordes de las partículas de arcilla.

MATERIALES Y METODOS

Se colectaron muestras de nueve tepetates roturados (con una explotación de los cultivos de maíz y haba por 10 años) localizados en las comunidades de San Dieguito Xochimancán y San Jerónimo Amanalco, y dos suelos de los

sitios Lomas de San Juan y Montecillo, México. Los tepetates se seleccionaron según el color y manejo cultural a que fueron sometidos, que corresponden a formaciones T3 con y sin carbonato de calcio (Miehlich, 1991; Quantin, 199a, b). Se caracterizaron sus propiedades físicas, químicas (Black, 1965) y parámetros fisicoquímicos. El análisis mecánico se hizo por el método propuesto por Day (1965). El pH y la CE se determinaron en agua relación 1:2, (Richards, 1954). Para la cuantificación de materia orgánica se usó la técnica descrita por Walkley y Black (1947). El fósforo disponible se determinó por el método Olsen *et al.* (1954). La extracción de los cationes intercambiables se hizo con NH_4OAc 1N pH 7 y NaOAc 1N pH 8.2 (Jackson, 1976). El K fijado se determinó con la técnica de H_2SO_4 1N según Hunter *et al.* (1957) y el K soluble de acuerdo con el procedimiento citado por Jones (1974). En lo que respecta a las curvas Q/I, se utilizó como solución de referencia CaCl_2 0.002 M, según lo recomendado por Beckett (1964) y con base en los trabajos de Goedert (1967), a la que se agregaron cantidades crecientes de K para obtener soluciones desde 0 hasta 1.4 mM/l de esta solución. Para obtener los valores de intensidad bajos se pesaron muestras de 0.25 a 2.5 g de tepetate, añadiéndoles 25 ml de la solución de referencia, pero sin KCl. Las muestras fueron equilibradas por agitación durante una hora, después se centrifugaron y se determinó el K en el sobrenadante por flamometría y el Ca y Mg por complejometría. Los potenciales catiónicos se calcularon de acuerdo con lo propuesto por Fassbender (1975) mediante la ecuación de Debye-Hückel.

Experimento en Invernadero

Se realizó un ensayo en invernadero con los nueve tepetates y en los dos suelos que se usaron como referencia, en el que se estudió la absorción de K nativo. Se trabajó con 2 kg de tepetate o suelo por maceta. Cada tratamiento se triplicó. Se usó como planta indicadora *Vicia faba* L. (tres plantas/maceta) y se cosechó a los 60 días. Las plantas se secaron a 65°C hasta peso

constante en una estufa con circulación forzada de aire. Para el análisis químico, las muestras se mineralizaron por vía húmeda con $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ relación (1:4) (Tserling, 1969). El K se cuantificó por flamometría y el Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSION

Algunas características químicas de los tepetates ensayados y las cantidades de K intercambiable, soluble y fijado se presentan en el Cuadro 1. Con respecto a su textura, los tepetates al roturarse tienden a ser migajones arenosos, los porcentajes de arcilla varían entre 11 y 17%, con una muestra de 39% del T7 rojo. El pH de los tepetates del tipo T3 y de los suelos en promedio, acusan una reacción que va de pH 8.4 a 5.0. La materia orgánica varió entre valores considerados de bajos a medios (0.7 a 2.5 %) pero mayores que los medidos hace 10 años en la zona de Xochimacán. Lo mismo sucede con los valores de fósforo, que van de niveles bajos a medios (1 a 22 ppm) en la misma zona. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) efectiva fue en promedio de 38 meq/100 g, lo cual manifiesta que éstos son ricos en cationes alcalinos y alcalinotérreos. El K intercambiable, cuantificado en el extracto de acetato de amonio, indica que esta fracción guarda una relación iónica adecuada con el Ca y Mg de acuerdo con los trabajos de Cruz (1984; 1986). Este autor señala que si la relación $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K}$ es mayor que 68, el K se encuentra en un nivel bajo o deficiente, pero si la relación es 43 éste estaría en un nivel mediano u óptimo y cuando el K se encuentra en un nivel alto los valores de la citada relación son cercanos a 27. Lo mismo sucede con la intensidad del K o K soluble (K_s) cuando se relacionan los valores de energía libre de los otros elementos acompañantes del K, como el Ca y Mg presentes en la solución, en una razón de actividad reducida (0.046), así como las energías de intercambio expresadas en calorías a 25°C iguales a -1.80, tienden a presentar un equilibrio

en el pool existente de los tepetates de acuerdo con los trabajos de Cruz y Grajales (1992). Se observó que la fracción de K fijado contenía cantidades elevadas de K, posiblemente el método de extracción con H_2SO_4 no es adecuado, ya que es factible que haya liberado parte del K estructural.

En el Cuadro 2, se presentan los parámetros relacionados con la dinámica del K en el suelo, deducidos de la relación entre los factores cantidad e intensidad (Q/I). Para obtener dichos valores se graficó el ΔK con la correspondiente relación de actividades, AR^{k_0} , calculadas a partir de las concentraciones catiónicas medidas en el equilibrio (Figura 1). Los niveles de PBC^k (capacidad amortiguadora de K) oscilaron entre 10 y 44 (meq/100 g)/(Mol/l)^{1/2}.10⁻²; el promedio fue 31.4 (meq/100 g)/(Mol/l)^{1/2}.10⁻². Los PBC^k de los tepetates del mismo color y aún de la misma localidad no fueron uniformes. Un ejemplo de ello son los tepetates rosados de San Dieguito: el T4 y el T5 que presentaron PBC^k de 10 y 14 (meq/100 g)/(Mol/l)^{1/2}.10⁻², que fueron los valores más bajos de este parámetro, sin embargo, en el T3 rosado se observó un valor de 44 (meq/100 g)/(Mol/l)^{1/2}.10⁻². Valores altos de PBC^k significan que hay una buena reposición de K en el sistema tepetate-solución. Los valores Q/I muestran que los tepetates se comportan en forma diferente en cuanto a los valores de los parámetros termodinámicos, así como en sus propiedades químicas. Los AR^{k_0} (parámetro que proporciona una medida del K inmediatamente disponible) o valores de intensidad o actividad de K en solución, variaron de 0.10 (Mol/l)^{1/2}.10⁻² en el T5 rosado a 3 (Mol/l)^{1/2}.10⁻² en el T8 café, siendo el promedio de 1.02 (Mol/l)^{1/2}.10⁻². El ΔK_0 (parámetro que estima el reservorio del K lábil) presentó niveles de 0.18 (T4 rosado) a 1.80 meq/100 g (T8 café). Mientras mayor sea este valor mayores son las reservas de K lábil. Los tepetates amarillos T2, T6 y el café T8 son los que presentan las mayores reservas de K lábil.

El ΔKL (cantidad total de K lábil) fue mínimo en el T7 rojo = 0.58 y máximo en el T6 amarillo = 2.24 meq/100 g, siendo el promedio de

1.13 meq/100 g. En este parámetro están involucrados el K de reserva y el K fijado. El ΔK_x , que es una medida de los sitios con afinidad específica por K, tuvo un valor promedio de 0.41 meq/100 g. Los tepetates presentan valores moderados de K (160 ppm) en las intercapas y bordes de las porciones de las arcillas, pero existe la posibilidad de una mayor fijación de K debido a otros factores como el pH, presencia de otros iones.

En el Cuadro 3 se presentan los potenciales catiónicos. Los valores promedio de los parámetros (pH - 0.5 pCa), (pK - 0.5 pMg) y (pK - 0.5 pCa) fueron 5.20, 1.90 y 2.00, respectivamente, los cuales indican que existe un equilibrio entre los iones K : Ca : Mg en la solución de estos tepetates, siendo los niveles semejantes a los reportados por Miehlich *et al.* (1980) y por Cruz (1986). Las relaciones iónicas, las relaciones de actividad y los valores Δf (valores de energía libre expresados en calorías) mostraron valores compatibles con un abastecimiento de K suficientes tanto para gramíneas como para leguminosas según Cruz y Grajales (1992). Los suelos de referencia, Montecillo y Lomas de San Juan, presentaron valores similares a los tepetates en los parámetros Q/I y en los potenciales catiónicos, lo cual era de esperarse, ya que con el transcurso del tiempo han estado influenciados por la presencia de los tepetates.

Con el propósito de definir qué parámetros fisicoquímicos pudieran servir como una medida o un índice del suministro del K nativo para la planta, se hicieron las pruebas de correlación lineal simple entre los factores deducidos de las curvas Q/I vs. las formas de K en los tepetates y la concentración y absorción de K de la planta. El K soluble se correlacionó ($p \leq 0.01$) con los siguientes parámetros deducidos de las curvas Q/I: siendo los coeficientes de correlación simple para PBC^k ($r=0.815$), ΔK_0 ($r=0.762$) y ΔKL ($r=0.749$), es decir, el potasio en solución guarda una relación estrecha con los parámetros que se involucran con el suministro del K, como es la capacidad amortiguadora, potasio lábil y el del

reservorio. El pH también se correlacionó

Cuadro 1. Propiedades químicas y contenido de K de los tepetates de la zona de San Dieguito Xochimancán y San Jerónimo Amanalco (Texcoco).

Tepetate o suelo	Arc ¹	pH	M O ²	P ³	Ca	Mg	Na	CIC		K ⁴		R ⁵
	%							efec.	int.	sol.	fij.	
			%	ppm	meq/100 g							
San Dieguito Xochimancán												
T1 Blanco	17	8.4	0.7	9	42	17	1.8	62	1.1	0.12	0.8	53
T2 Amarillo	15	7.1	2.5	1	34	12	2.8	50	1.1	0.16	1.0	42
T3 Rosado	11	5.4	1.4	12	8	4	0.9	16	3.3	0.08	2.0	4
T4 Rosado	15	5.0	0.7	22	7	7	0.8	18	3.0	0.06	2.2	5
T5 Rosado	11	6.4	2.3	8	50	3	0.9	57	3.5	0.06	2.2	15
San Jerónimo Amanalco												
T6 Amarillo	11	7.7	1.8	3	13	10	3.1	28	1.4	0.13	0.8	16
T7 Rojo	39	6.1	2.4	7	15	11	1.1	28	1.2	0.07	0.7	21
T8 Café	11	7.2	0.7	1	16	3	0.9	23	3.4	0.13	2.3	6
T9 Blanco	11	7.4	1.1	11	42	12	0.4	58	3.3	0.15	1.0	116
Suelos de referencia												
Montecillo	38	7.5	3.7	43	22	17	1.0	43	2.6	0.14	1.6	15
Lomas de San Juan	11	6.2	1.3	12	7	5	0.1	13	0.6	0.05	2.8	20

1 Arc = arcilla.

2 MO = materia orgánica.

3 Fósforo-Olsen.

4 Potasio int = intercambiable; sol = soluble y fij = fijado.

5 R = [(Ca + Mg) / K]

Cuadro 2. Factores Q/I y parámetros deducidos de ella en los tepetates.

Tepetate o suelo	PBC ^k	AR ^k ₀	ΔKL	ΔK ₀	ΔK _x
	(meq/100g) / (Mol/l) ^{1/2} · 10 ⁻² ;	(Mol/l) ^{1/2} · 10 ⁻²			
San Dieguito Xochimancán					
T1 Blanco	31	0.22	1.00	0.50	0.50
T2 Amarillo	38	0.44	1.70	1.50	0.17
T3 Rosado	44	1.10	0.78	0.52	0.26
T4 Rosado	10	0.13	0.65	0.18	0.47
T5 Rosado	14	0.10	0.60	0.45	0.15
San Jerónimo Amanalco					
T6 Amarillo	39	0.32	2.24	1.24	1.00
T7 Rojo	20	1.10	0.58	0.15	0.43
T8 Café	44	3.00	1.23	1.80	0.57
T9 Blanco	43	2.80	1.40	1.25	0.15
Suelos de referencia					
Montecillo	43	2.80	1.11	0.89	0.22
Lomas de San Juan	15	1.90	0.90	0.75	0.15

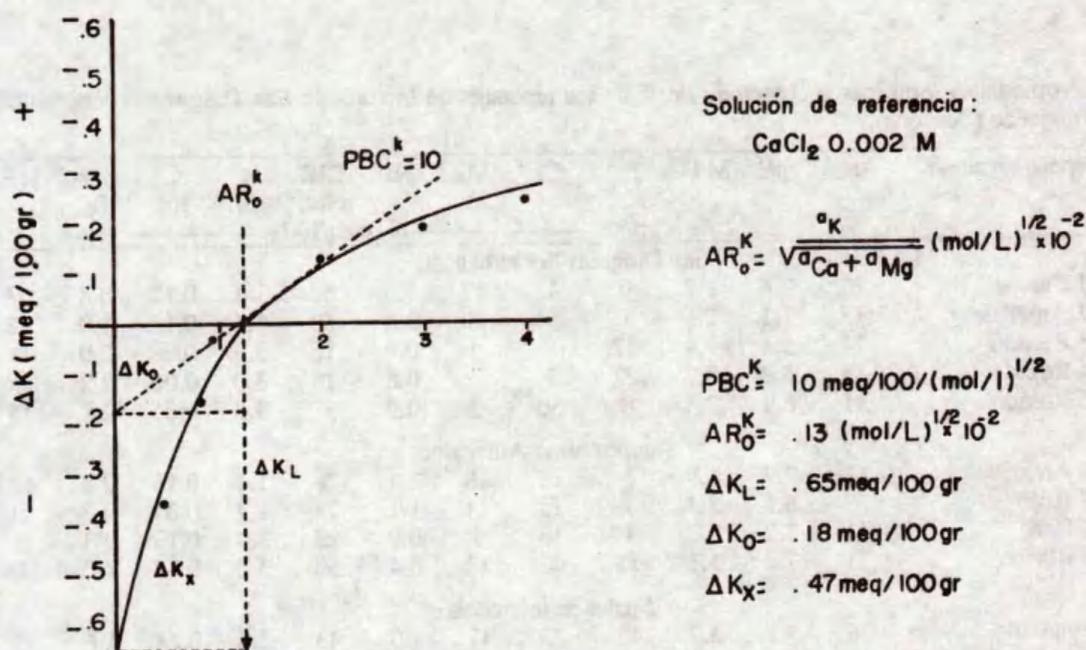


Figura 1. Curva típica Q/I y parámetros deducidos de ella en el tepetate (4) rosado.

Cuadro 3. Potenciales químicos promedio en los tepetates bajo estudio, rendimientos promedio en materia seca y porcentaje de K y K absorbido (mg/maceta) por *Vicia faba* L.

Tepetate o suelo	pH - 0.5pCa	pK - 0.5pCa	pK - 0.5pMg	RMS	K Absorbido %	mg/maceta
San Dieguito Xochimancán						
T1 Blanco	6.59	1.93	1.70	8.64	5.0	431
T2 Amarillo	6.29	1.96	1.79	2.16	5.1	332
T3 Rosado	3.80	2.20	1.97	3.30	1.9	62
T4 Rosado	3.35	2.17	1.90	3.41	2.5	85
T5 Rosado	4.38	1.98	1.50	3.83	1.8	67
San Jerónimo Amanalco						
T6 Amarillo	5.21	1.70	2.16	5.50	4.2	231
T7 Rojo	4.89	2.31	2.09	5.28	2.0	105
T8 Café	5.54	1.88	2.17	5.50	4.5	247
T9 Blanco	6.80	1.94	1.87	6.00	5.2	312
Suelos de referencia						
Montecillo	6.54	2.06	2.28	4.50	5.2	338
Lomas de San Juan	4.80	2.14	2.04	6.50	3.4	153

% de concentración de K en haba (Ref. Jones, B. 1991):

Bajo	Medio	Alto
< 2.4	2.4 - 3.2	> 3.2

RMS = Rendimiento materia seca.

($p \leq 0.05$) con el ΔKL ($r=0.607$). El Cuadro 3 presenta rendimiento de materia seca promedio, así como el porcentaje de K y el K absorbido por las plantas de *Vicia faba* L. Los parámetros citados anteriormente también se correlacionaron ($p \leq 0.05$) con el porcentaje de K en las plantas, siendo los valores de estas correlaciones de $r=0.700$ con ΔK_0 , $r=0.664$ con ΔKL y $r=0.607$ con PBC^k . También se observó correlación entre el $pK-0.05pCa$ y el porcentaje en el cultivo, siendo $r= -0.619$ ($p \leq 0.05$). El K soluble se correlacionó tanto con el porcentaje de K como con el K absorbido ($r= 0.875$ y $r= 0.824$) por la planta, respectivamente; $p \leq 0.01$). El K intercambiable no se relacionó con la concentración de K en la planta, ni con el absorbido, ya que las correlaciones encontradas fueron ($r=-0.213$ y $r=-0.276$, respectivamente), sin embargo, al usar las relaciones K_s/K_i (K_i =intercambiable y K_s =soluble) como poder amortiguador, tal como las utilizan Rodríguez y Galvis (1989) mejora las correlaciones ($r=0.621$ y $r=0.675$, respectivamente) cercanas a las encontradas por los parámetros, lo que era de esperarse, ya que se involucra a los factores de intensidad y cantidad.

CONCLUSIONES

a. Los tepetates estudiados tienen una capacidad amortiguadora de K PBC^k (capacidad potencial de tamponación) tal, que requieren de un mínimo esfuerzo para reponer el K de la solución, cuando éste es absorbido por la planta o lixiviado.

b. Los valores de AR^k_0 (K inmediatamente disponible) en este estudio, fueron de 0.10 a 3.0 (Mol/l)^{1/2}, similares a los señalados por Woodruff (1955) como adecuados para la nutrición balanceada de las plantas.

c. Los valores de ΔK_0 (K de reserva más fácilmente cambiabile) encontrados indican que existe una buena reserva de K en los sitios de las superficies planares existentes en la porción de las arcillas presentes en los tepetates. El promedio del K intercambiable cuantificado con NH_4OAc 1N pH 7 es superior a este parámetro, indicando posiblemente que estos tepetates contienen minerales potásicos altamente alterables.

d. Los niveles de ΔKL (K lábil total disponible) indican la presencia de una buena capacidad de suministro de K lábil, cuyos tenores del "pool" lábil son suficientes para el desarrollo del cultivo de haba, ya que su promedio fue de 342 ppm de K disponible, suficientes para el desarrollo de este cultivo.

e. El parámetro ΔK_x (K fijado en los sitios específicos) presenta valores moderados, equivalentes en promedio a 141 ppm de K existente en los niveles de selectividad específica, por lo que los tepetates mantienen un equilibrio constante en el sistema, es decir, a medida que va disminuyendo la cantidad de K aprovechable para las plantas, una porción del K no intercambiable pasa a las formas cambiables, compensando de esta manera la cantidad de K perdido.

f. Los parámetros PBC^k , ΔK_0 y ΔKL resultan ser útiles como una medida de la disponibilidad nutrimental del K en haba, ya que se encontraron correlaciones entre estos parámetros y las variables de concentración de K y mg de K absorbidos en el cultivo.

g. El K intercambiable no resultó ser un buen indicador del suministro del K en los tepetates. El K soluble y el potencial $pK-0.5 pCa$, fueron buenos índices de respuesta a la disponibilidad del K antes de la siembra, válido sólo en el momento del muestreo.

LITERATURA CITADA

- ARIAS R., H.** 1991. Rehabilitación de tepetates: una alternativa para la producción agrícola y forestal, pp. 62-63. *In*: Resúmenes ampliados. I Simposio Internacional Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- ARNOLD, P. W.** 1962. The potassium status of some English soils considered as a problem of energy relationships. *Proc. Fert. Soc.* 72: 25-43.
- BECKETT, P. H. T.** 1964. The immediate Q/I relation of labile potassium in the soil. *J. Soil Sci.* 15: 9-23.
- BECKETT, P. H. T. y M. H. M. NAFADY.** 1967. Potassium-Calcium exchange equilibria in soils: the location of non specific (Gapon) and specific exchange sites. *J. Soil Sci.* 18: 263-281.
- BLACK, C. A.** 1965. (ed) *Methods of soil analysis.* Agronomy 9, Part 2, pp. 545-566. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- CAJUSTE J. L., J. CRUZ D. y J. ESTRADA W.** 1987. Presencia de materiales amorfos en algunos tepetates de la zona de influencia Chapingo, pp. 69-77 *In*: J. F. Ruiz F.(ed.) *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural.* Universidad Autónoma Chapingo, Depto. de Suelos, Chapingo, México.
- CRUZ D., J.** 1984. El uso de los parámetros Q/I y de los potenciales químicos (potasio, calcio y magnesio) como una medida de la disponibilidad nutrimental en algunos suelos cañeros de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- CRUZ D., J.** 1986. Importancia de las relaciones iónicas alcalino-térreos en algunos suelos derivados de cenizas volcánicas en México. *In*: II Seminario de los suelos de Ando. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- CRUZ D., J. y O. GRAJALES M.** 1992. Comparación de valores de energía libre en diferentes tepetates de la zona de Texcoco. *In*: *Avances del Centro de Edafología del Colegio de Postgraduados, Montecillo, México (en prensa)*
- ETCHEVERS B., J., C. ZEBROWSKI, C. HIDALGO M. y P. QUANTIN.** 1991. Fertilidad de los tepetates II. Situación del fósforo y del potasio en tepetates de México y Tlaxcala (México), pp. 74-77. *In*: Resúmenes ampliados. I. Simposio Internacional sobre los Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- EVANGELOU, V. P., A. D. KARATHANASIS y R. L. BLEVINS.** 1986. Effect of soil organic matter accumulation on potassium and ammonium Q/I relationships. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 378-382.
- FASSBENDER, W. H.** 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA, pp. 131-153 y 319-350. Turrialba, Costa Rica.
- GOEDERT, W. J., K. J. SYERS. y R. B. COREY.** 1975. Relacoes quantidade intensidade do potassio em solos do Rio Grande do Sul. *Pesq. Agropec. Brasileira, Serie Agronómica* 10:33.
- GOULDING, K. W. T.** 1987. Potassium fixation and release, pp. 137-174. *In*: *Proceedings of the 20th Colloquium: Methodology in soil-K research International Potash Institute.* Bern, Switzerland.
- HIDALGO C., P. QUANTIN, y C. ZEBROWSKI.** 1991. La cimentation des tepetates t2 et t3 de San Miguel Tlaixpan (p. 30 - Texcoco, México); étude de la silicification, p. 54. *In*: Resúmenes ampliados. I. Simposio Internacional sobre los Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- JACKSON, M. L.** 1976. Análisis químico de suelos. Editorial Omega, Barcelona, España.
- JONES, B. J.** 1974. Handbook on reference methods for soil testing. The council in soil testing and plant analysis. College Station Road Athens, Georgia, USA. 87 p.
- JONES B. J., B. WOLF y A. A. MILLS.** 1991. *Plant Analysis Handbook.* Micro-Macro Publishing Inc. Athens, Georgia, USA. 118 p.
- MIEHLICH, G.** 1991. Chronosequences of volcanic ash soils. Verein zur Förderung der Bodenkunde in Hamburg, Hamburg, BRD.
- MIEHLICH, G., W. HEIDE, y W. KNEIB.** 1980. Los suelos de la Sierra Nevada de México. Suplemento de comunicaciones. Fundación Alemana para la Investigación Científica. Proyecto Puebla-Tlaxcala, Puebla, México.

- MIRANDA M., M.E., M.E. DELGADILLO P. y B. R. RUIZ H. 1989. Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la Cuenca de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Chapingo, México.
- NAIR, P. K. R. y H. GRIMME. 1979. Q/I relations and electro-ultrafiltration of soils as measures of potassium availability to plants. *Z. Pflanz. Bod.* 142: 87-94.
- NIR, S., D. HIRSCH., J. NAVROT y A. BAUNIN. 1986. Specific adsorption of lithium, sodium, potassium and strontium to montmorillonite. Observations and predictions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 40-45.
- PACHECO, L. M. C. 1979. Cartografía y caracterización mineralógica de los tepetates del Oriente del Valle de México. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.
- PAGE, M. B. y O. TALIBUDEEN. 1982(a) Critical potassium potentials for crops. I The effect of soil type in the growth of rye grass and creeping red fescue. *J. Soil Sci.* 33: 329-329.
- PAGE, M. B. y O. TALIBUDEEN. 1982(b) Critical potassium potentials for wheat, maize, peas, beans, and sugar beet in early growth on a sandy loam. *J. Soil Sci.* 33: 771-778.
- PEÑA H. D. y C. ZEBROWSKI. 1991. Incorporación de los tepetates a la producción agrícola. I. Cartografía. *In: Resúmenes ampliados. I Simposio Internacional Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates).* Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- QUANTIN, P. 1991a. L'induration de matériaux volcaniques pyroclastiques; processus géologiques et pédologiques, pp. 7-9. *In: Resúmenes Ampliados I Simp. Int. Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates).* Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- QUANTIN, P. 1991b. Etude des sols volcaniques indurés "tepetates" des bassins de Tlaxcala (Mexique). Deuxième Rapport Annuel d'avancement des travaux 1. Avril 1990-31 mai 1991. Presentado a la Comunidad Económica Europea (material xerografiado).
- REY, C. J. 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la cuenca del río Texcoco en base al factor K. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- RICHARDS, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. USDA Handbook Nº 60, Washington, USA.
- RODRIGUEZ, S. J. y A. GALVIS S. 1989. Suministro de potasio en los suelos del país. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía, Departamento de Ciencias Vegetales.
- SHAVIV, A. y JURY, W. A. 1986. Exchange fixation and precipitation of cations during leaching of soils amended with manure. Model simulation. *Soil Sci.* 141: 298-304.
- SPARKS, D. L. O. y W. C. LIEBHARDT. 1981. Effect of long-term lime and potassium applications on quantity-intensity (Q/I) relationships in sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 786-790.
- SPOSITO, G. 1986. Chemical models of inorganic pollutants in soils. *C.R.C. Crit. New Envir. Contr.* 15: 1-24.
- TSERLING, V. V. 1969. Diagnosis of nutrition of plants, pp. 706-709. *In: Agrochemical methods in study of soil.* Translated from Russian. Dokuchaev Inst. of Soil Sci. Academy of Sci. of the URSS.
- WERNER, G. 1991. Distribución de suelos volcánicos endurecidos (tepetates) en el estado de Tlaxcala y en el Sur del estado de Hidalgo con hincapié en su rehabilitación, manejo y conservación. *In: Resúmenes ampliados. 1er. Simp. Int. Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates).* Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- WOODRUFF, C. M. 1955. The energies of replacement of calcium by potassium in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 19: 167-171.

PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS EN LA RECUPERACION DE SUELOS MARGINALES

Role of Microorganisms in the Reclamation of Marginal Soils

Ronald Ferrera-Cerrato

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.

Palabras clave: Tepetate, Micorriza V-A, *Azospirillum*, *Rhizobium*, México.

Index words: Tepetate soils, V-A mycorrhiza, *Azospirillum*, *Rhizobium*, Mexico.

Azospirillum y micorriza V-A. Los datos preliminares indican que el manejo de agroecosistemas por esta técnica es promisorio.

RESUMEN

Los microorganismos en los agroecosistemas juegan un papel fundamental en la nutrición de las plantas debido a sus múltiples actividades metabólicas, como son la fijación de CO₂, biotransformación de la materia orgánica y síntesis de humus. Los procesos de la fijación de N₂ y nitrificación hacen disponible este elemento a las plantas. En cuanto al fósforo se libera por la solubilización de las rocas y es eficientemente translocado por la simbiosis micorrízica. La mayoría de estos eventos se amplifican en la rizósfera, sitio de interacción de los microorganismos con las raíces. En las zonas perturbadas esta dinámica se ha alterado en forma dramática hasta dar como resultado suelos marginados. Un ejemplo típico son los tepetates, que por su infertilidad y difícil manejo, requieren diferentes estrategias para incorporarlos a la producción. Este escrito trata del manejo de agroecosistemas incorporando materia orgánica e inoculantes microbianos a base de *Rhizobium* y

SUMMARY

Microorganisms in the agro-ecological systems play a fundamental role on plant nutrition as a consequence of their multiple metabolic activities: CO₂ fixation organic matter transformation and humus synthesis. Processes of N₂ fixation and nitrification make this element available to plants. Phosphorus is released by rock solubilization and efficiently translocated by mycorrhizal symbiosis. Most of these events are amplified in the rhizosphere, where interactions between microorganisms and roots take place. In disturbed areas, these mechanisms have been altered in a dramatic way originating marginal soils. A typical example is infertile and hardened soils, that need different strategies to make them productive. This paper deals with the management of agro-ecological systems by means of incorporating organic matter and *Rhizobium* and *Azospirillum* and V-A mycorrhiza inoculants. Preliminary data show promising results managing agroecological systems in this way.

INTRODUCCION

El mal manejo de los ecosistemas, agroecosistemas, deja como consecuencia lo que se conoce como suelos marginales, los cuales han perdido la capacidad productiva desde un punto de vista agropecuario y forestal sin mencionar los impactos ecológicos que llegan a considerarse como desastres ambientales.

¿Cuál es la herencia que pensamos dejar a las generaciones futuras? ¿Que les devolveremos de lo que les hemos pedido prestado? ¿Páramos desiertos, plantas y animales extintos, un planeta en ruinas?

El grito actual de las sociedades es recuperación y conservación de los recursos naturales. Dentro de éstos, el suelo y el agua, binomio que sostiene la vida en el planeta, son junto al aire los más importantes. Una de las expresiones del uso irracional del suelo es la erosión, proceso mediante el cual se pierden cantidades del mismo. Este fenómeno ha alcanzado cifras alarmantes en México. En la actualidad, el crecimiento de la población, el requerimiento de más alimentos, así como el proceso de urbanización ha conducido a la búsqueda de nuevos suelos cultivables. Este recurso cotidianamente ha sido obtenido de los bosques y praderas, sin embargo, esta práctica ha resultado en deterioro ecológico, en muchos casos irreversibles. La vía más lógica y quizá la de mayor costo es la recuperación de los suelos marginales, abandonados debido a la alta erosión o contaminación.

Ante esta situación ha surgido la pregunta, ¿Cuál es el mejor método para recuperar los suelos marginales? Han aparecido una diversidad de métodos; sin embargo, si se considera la existencia real de uno solo, el natural, el hombre deberá esperar milenios para tener nuevamente ante sí suelos aprovechables.

La entrada principal de energía en un ecosistema o agroecosistema es la fotosíntesis. Los productores primarios, las plantas, sintetizan mediante este proceso los esqueletos carbonados que las constituirán como tales. Una vez que

éstos terminan su ciclo de vida, toda o parte de su biomasa ingresará al suelo enriqueciéndolo con materia orgánica y otros nutrientes. Finalmente, la microbiota del suelo será la responsable de realizar las transformaciones de los polímeros que constituyen el material vegetal para hacer disponible los nutrientes tanto para las plantas como para la microflora y microfauna del suelo. Esto indica que es factible recuperar los suelos marginales bajo el concepto del manejo adecuado del agroecosistema, el que tiene que estar ligado con los sistemas microbianos que le dan la vida. La pregunta que surge es: ¿qué papel juegan los microorganismos en la recuperación de estos suelos? Quizá sea presunción, pero no deja de ser interesante lo que Margulis y Schwartz (1985) mencionan en su tratado sobre los cinco reinos, si las bacterias se extinguieran, la vida sobre la tierra se terminaría más rápidamente que si los animales y las plantas desaparecieran.

Esta proposición se basa en el hecho que las bacterias fueron los primeros organismos en poblar la tierra y de dominarla hasta nuestros días. Para esto, fue necesario considerar el registro fósil de las bacterias que se remonta a cerca de 3,400 millones de años, el de los animales que es de 700 millones y las plantas que es de 470 millones de años. Desde el punto de vista vital, se sabe que las cianobacterias (antiguamente llamadas algas cianofitas, que tienen la capacidad de generar O_2) realizaron uno de los mayores cambios que ha sufrido la atmósfera del planeta, debido a que llevaron la concentración de oxígeno del 1% a cerca del 20%, sin esta concentración, ni los hombres ni los otros animales habrían evolucionado.

Además, no hay que olvidar que la actividad actual del hombre en el planeta se debe a un subproducto microbiano, el petróleo (Margulis y Schwartz, 1985; Sagan y Margulis, 1988). En relación al suelo, se sabe que un gramo de suelo de jardín tiene 109 bacterias y que la materia orgánica es descompuesta y sintetizada gracias a estos microorganismos. Por otro lado, la simbiosis es un fenómeno universal (Ahmadjian y Paracer, 1986; Smith y Douglas, 1987) que hace pensar

Cuadro 1. Hongos ectomicorrízicos encontrados en especies vegetales que se desarrollan sobre suelos contaminados con desechos de minas.

Especie de ectomicorriza	Tipo de contaminante
<i>Amanita muscaria</i> (L. ex Fr.) Hooker	Desperdicios de arsénico
<i>Amanita rubescens</i> (Fr.) S.F.Gray	Desperdicios de carbón
<i>Cenococcum geophilum</i> Fr.	Desperdicios de carbón
<i>Leccinum scabrum</i> (Bull. ex Fr.) Gray	Desperdicios de arsénico
<i>Lactarius rufus</i> (Scop ex Fr.) Fr.	Desperdicios de arsénico
<i>Scleroderma citrinum</i> Pers.	Desperdicios de arsénico
<i>Thelephora caryophyllea</i> Schaeffer ex Fr.	Desperdicios de carbón
<i>Thelephora terrestris</i> Ehrh ex Fr.	Arena con residuos de aceite Desperdicios de carbón

Fuente: Danielson (1985).

seriamente en la importancia que los microorganismos tienen en los ecosistemas y agroecosistemas. Sólo basta observar su participación en la fijación de CO₂, de N₂, en la disponibilidad de minerales, ya sea por la descomposición de la materia orgánica o capacidad de solubilizar las rocas, además de que en la relación planta microorganismo (simbiosis micorrízica) se encuentra la optimización nutricional de las mismas, así como el control biológico frente a patógenos de hábito radicales (Marx, 1969; Marx y Darvey, 1969).

Está bien establecido, que independientemente de los factores ambientales de las zonas contaminadas con desechos de minas de carbón, arsénico, petróleo, etc., la micorriza juega un papel importante en la recuperación de esos suelos.

En el Cuadro 1 se presentan las diferentes especies de hongos micorrízicos encontrados en asociación con las plantas que se desarrollan en suelos contaminados con desechos de minas. Es importante resaltar que estos hongos forman asociación ectomicorrízica con diferentes tipos de plantas como pinos, abetos, encinos, abedules, eucaliptos, sauces y álamos (Ruehle y Marx, 1979; Danielson, 1985).

Cuadro 2. Hongos endomicorrízicos encontrados en especies vegetales que crecen sobre suelos contaminados con desechos de minas.

Especie de endomicorriza	Tipo de contaminante
<i>Entrophospora infrequens</i> (Hall) & Schneider	Desperdicios de carbón
<i>Gigaspora calospora</i>	Desperdicios de carbón
<i>Gigaspora gigantea</i>	Desperdicios de carbón
<i>Glomus aggregatum</i>	Arena con residuos de aceite
Schenck & Smith	Desperdicios de carbón
<i>Glomus fasciculatum</i>	Desperdicios de carbón
<i>Glomus macrocarpum</i> var. <i>geospora</i>	Desperdicios de carbón
<i>Glomus mosseae</i> (Nicol & Gerd) Gerd & Trappe	Desperdicios de Zn-Cd
<i>Sclerocystis rubiformis</i> Gerdemann & Trappe	Desperdicios de carbón

Fuente: Danielson (1985).

En el caso de la endomicorriza (Cuadro 2) el rango de hospederos es más grande pero en esencia se ha encontrado que la endomicorriza V-A al igual que la ectomicorriza le permite a las plantas adaptarse mejor a las condiciones limitantes, así como al estrés ambiental (Danielson, 1985).

ENDOMICORRIZA V-A EN LA RECUPERACION DE TEPETATES

En el caso de los tepetates, los trabajos donde se emplean hongos micorrízicos son pocos. Gómez y Ferrera-Cerrato (1990) realizaron un estudio empleando capulín (*Prunus serotina* spp. *capulif*) para conocer la micotrofia de esta planta en tepetate amarillo inoculada con ocho cepas del género *Glomus* procedentes de Zacatecas, y encontraron que el capulín respondió a la inoculación con las cepas *Glomus* sp. ZAC 6 y *Glomus* sp. CPH23 presentando más del 50% de colonización y una altura superior al testigo. Estos autores mencionan que sus resultados son alentadores y que el capulín puede ser un candidato ideal para recuperar zonas altamente erosionadas.

Matfás (1990) quien inoculó diferentes cepas de *Glomus sp.* en plantas de *Eysenhardtia polystachya* crecidas en invernadero sobre tepetate blanco, encontró que las tres cepas de hongos micorrízicos permitían mejor desarrollo y adaptación de la planta en el tepetate que las plantas testigos. En el Cuadro 3 se muestra el efecto de los hongos en cuanto, a altura y contenido, de fósforo de la planta así como la colonización micorrízica, que varía de 36 a 80%. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que esta simbiosis debe ser tomada en consideración en los trabajos de recuperación. Es importante mencionar que dichos hongos en estos suelos se encuentran con muy bajo número de propágulos y en ocasiones no fueron detectados.

Cuadro 3. Efecto de tres cepas de hongos endomicorrízicos V-A sobre el desarrollo y nutrición de *Eysenhardtia polystachya* en tepetate.

Tratamiento	Altura planta cm	Peso seco g	Nutrimentos			Colonización %	Nº de esporas/ 100g
			N	P	K		
			----- % -----				
Testi.	18.68	2.15	1.08	0.06	2.10	0	0
Glo.1	35.75	5.06	1.15	0.09	1.83	36	318
Glo.10	27.70	3.27	1.25	0.10	1.95	36	356
Glo.19	42.93	6.91	1.35	0.14	2.37	80	1654

Fuente: Matfás et al. (1991b).

LOS GRUPOS MICROBIANOS Y EL INDICE RESPIRATORIO COMO INDICADORES EN LA RECUPERACION DE TEPETATES

En la actualidad hay enorme cantidad de información acerca de análisis biológico y bioquímico de los suelos. Estos análisis han revelado una gran diversidad de especies microbianas, así como de actividades metabólicas.

El estudio de los microorganismos del suelo sigue siendo un problema debido a la falta de homogeneidad, así como a la característica del suelo de ser un cuerpo opaco, además de otros factores como son grado de adhesión que presentan los microorganismos con las partículas del mismo.

Con el fin de conocer el papel que tienen los microorganismos en la recuperación de tepetates, se planteó el manejo agroecológico del mismo, teniendo como base el uso de materia orgánica e inoculación de diferentes microorganismos que tienen reconocida capacidad de participar en la nutrición de las plantas tales como la endomicorriza V-A en la captación y translocación de fósforo y otros nutrientes y *Azospirillum sp* y *Rhizobium* en la fijación de N₂. Se procedió también al recuento total de bacterias, actinomicetos y hongos empleando el método de dilución en placa, frecuentemente usado en estudios microbiológicos, así como la medición del consumo de oxígeno, además de verificar la sobrevivencia de *Rhizobium* y *Azospirillum* previamente inoculados.

Los resultados son preliminares pero indicativos del proceso de recuperación. En el Cuadro 4 se puede observar que los valores cambiaron con el manejo, por ejemplo, sólo con la roturación, el número de microorganismos fue mayor que en el material no roturado. Las poblaciones microbianas se vieron incrementadas con la adición de materia orgánica y las primeras lluvias.

Cuadro 4. Efecto de la roturación y la incorporación de materia orgánica en la microflora total del tepetate.

Tepetates	Bacterias	Actino- micetos	Hongos
Sin roturación	2.23 x 10 ⁴	11.8 x 10 ³	6.57 x 10 ¹
Con roturación	5.97 x 10 ⁴	19.6 x 10 ³	12.9 x 10 ¹
Sin MO*	9.89 x 10 ⁴	34.9 x 10 ³	17.3 x 10 ¹
Con MO*	2.49 x 10 ⁶	13.5 x 10 ⁴	6.5 x 10 ¹
Testigo: Suelo agrícola adyacente	4.59 x 10 ⁷	2.11 x 10 ⁵	39.6 x 10 ²

* Tepetates roturados con humedad debido a las primeras lluvias.

Fuente: Alvarez et al. (1991).

La presencia del cultivo y su manejo inducen cambios importantes en este material, la mayoría de las muestras fueron tomadas de tepetate adherido a la superficie de la raíz de los cultivos (denominándoseles suelo tepetatoso rizosférico de maíz, frijol, haba y veza) y una muestra de tepetate a 25 cm de distancia de los cultivos, así

Cuadro 5. Efecto rizosférico del maíz, frijol, haba y veza en la microflora total del tepetate a los 50 días después de la siembra.

M.O.	Cultivos	Bacterias	Actino- micetos	Hongos
Sin	Maíz	31×10^6	7.0×10^4	1.9×10^4
	Frijol	98×10^6	30.0×10^4	1.5×10^3
	Haba	16×10^7	1.4×10^5	2.5×10^3
	Veza	54×10^6	8.2×10^4	1.9×10^3
	A distancia (25 cm)	32×10^5	9.3×10^4	8.8×10^2
Con	Maíz	16×10^7	8.0×10^5	5.8×10^3
	Frijol	16×10^7	11.0×10^5	1.9×10^3
	Haba	38×10^7	1.3×10^6	6.3×10^3
	Veza	20×10^7	1.8×10^6	4.7×10^3
	A distancia (25 cm)	63×10^6	8.6×10^5	4.7×10^3
Sin	Sin	49×10^5	12.5×10^4	1.5×10^2

Fuente: Alvarez et al. (1991).

como muestras de tepetate sin materia orgánica y sin cultivo. Los efectos de la rizósfera de cada uno de los cultivos se observa en el Cuadro 5. Se encontró un efecto notorio en el incremento de la microflora de la rizósfera por la adición de materia orgánica en comparación con las parcelas que no recibieron este insumo; los datos de cada tratamiento pueden compararse con los obtenidos en tepetates a distancia de 25 cm y con la parcela que no tiene materia orgánica ni cultivo.

Cuadro 6. Sobrevivencia de *Rhizobium leguminosarum phaseoli* y de *Azospirillum sp.* en tepetate rizosférico de la asociación de frijol y maíz, respectivamente, a los 50 días después de la siembra.

Materia Orgánica	<i>Rhizobium</i>	<i>Azospirillum</i>
Sin	8.9×10^4	1.18×10^4
Con	1.33×10^4	2.84×10^4

Las cepas de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* tienen una resistencia a antibióticos de 1000 µg/ml de Kanamicina *azospirillum sp.* resistencia a 500 mg/ml espectinomicina y 500 mg/ml estreptomina.

Fuente: Alvarez et al. (1991).

Por otro lado, se evaluó la sobrevivencia de *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* en la rizósfera del frijol y *Azospirillum sp.* en la de

maíz, las dos cepas empleadas fueron marcadas con antibióticos para facilitar su detección. Los resultados obtenidos nos permiten visualizar que a los 50 días de inoculadas las plantas, los microsimbiontes se encontraron completamente establecidos en la rizósfera (Cuadro 6).

RESPIRACION MICROBIANA EN LOS TEPETATES

Un indicador de la actividad de los microorganismos del suelo o de la rizósfera se mide por el consumo de oxígeno, la evolución de CO₂ ó la evaluación de otros productos del metabolismo. Los datos generados en este estudio se refieren al consumo de O₂. Para tal efecto se usó un respirómetro marca YSI modelo 5300. La metodología empleada se presentó en el trabajo de Matías *et al.* (1991a).

Los resultados demuestran cambios notorios, encontrándose mayor actividad respiratoria en el tepetate roturado que sin roturar (Figura 1). Se observó que la adición de materia orgánica indujo un efecto modificador de los patrones de respiración en el tepetate, siendo ésta mayor que en las parcelas que no recibieron materia orgánica, sin llegar a superar los patrones de respiración del suelo agrícola que muestra mayor actividad (Figura 2).

Es prematuro llegar a conclusiones con los datos que se tienen hasta el momento, pero podría indicarse que en la recuperación de suelos marginales, el manejo del agroecosistema redundará en una recuperación más acorde con el ambiente, tendiente a una producción orgánica para finalmente llegar a establecer una producción sostenida.

Forma parte del proyecto nuevo CONACYT 0280-N9107.

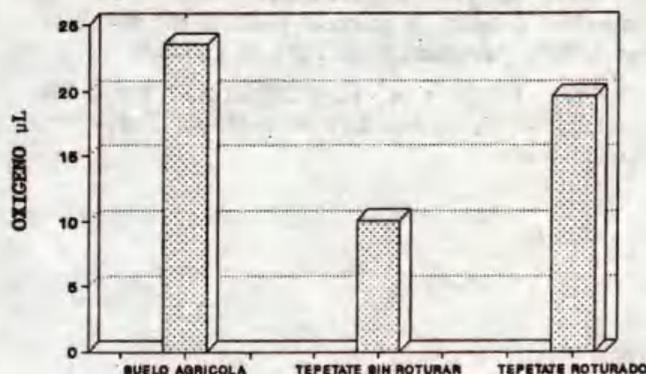


Figura 1. El consumo de oxígeno por los microorganismos presentes en el suelo agrícola, tepetate sin roturar y tepetate roturado en Tlalpan, Mpio. de Hueyotlipan, Edo. de Tlaxcala. (Determinación durante 15 min.).

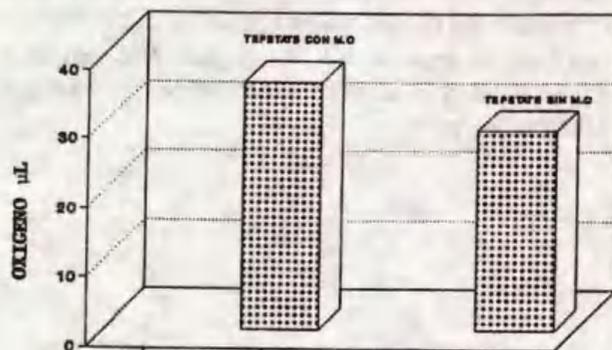


Figura 2. El consumo de oxígeno por la población en tepetate con y sin materia orgánica en Tlalpan, Mpio. de Hueyotlipan, Edo. de Tlaxcala. (Determinación durante 15 min.).

LITERATURA CITADA

- AHMADJIAN, V. y S. PARACER. 1986. Symbiosis: an introduction to biological associations. University Press of New England. London, GB.
- ALVAREZ SOLIS, J.D., R. FERRERA-CERRATO y C. ZEBROWSKI. 1991. Análisis de la microflora asociada al manejo agroecológico en la recuperación de tepetates. In: Resúmenes del I Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- DANIELSON, R. M. 1985. Mycorrhizae and reclamation of stressed terrestrial environments. In: Tate R.L. and D.A. Klein (eds.). Soil reclamation processes, microbiological analyses and applications. Marcel Dekker Ed. New York, N.Y., USA.
- GOMEZ C, G. y R. FERRERA-CERRATO. 1990. *Prunus serotina* spp *capuli* (Cav. Mc. Vaugh) y la micorriza V-A en tepetate amarillo del Estado de México Resúmenes del V Congreso Latinoamericano de Botánica I Simposio Latinoamericano de micorrizas. La Habana, Cuba. 399 p.
- MARGULIS, L. y V. K. SCHWARTZ. 1985. Cinco Reinos. Guía ilustrada de los phyla de la vida en la tierra. Editorial Labor. España.
- MARX, D. H. 1969. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria. *Phytopathology* 59: 153-163.
- MARX, D. H. 1980. Ectomicorrhizal Fungus inoculation, a tool for improving forestation practices. In: P. Mikola (ed.) Tropical Mycorrhiza research. Clarendon Press, Oxford, GB.
- MARX, D. H. y C. B. DARVEY. 1969 Resistance of aseptically formed mycorrhizae to infection by *Phytophthora cinnamomi*. *Phytopathology* 59: 549-558.
- MATIAS C., J. S. 1990. *Azolla caroliniana* como biofertilizante en *Eysenhardtia polystachya* inoculada con micorriza V-A en tepetate. Tesis de Licenciatura. UACH, Chapingo, México. 157 p.
- MATIAS C, J. S., R. FERRERA-CERRATO. y C. ZEBROWSKI. 1991a. Respiración microbiana como indicador de la fertilidad de los suelos y tepetates del Estado de Tlaxcala. In: Resúmenes del I. Simposio internacional sobre suelos volcánicos endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

MATIAS C, J. S., G. GOMEZ CRUZ, R. FERRERA-CERRATO, R. QUINTERO LIZAOLA y J.A. SANTIZO RINCON. 1991b. La influencia de los hongos endomicorrízicos V-A en la disponibilidad de fósforo en *Eysenhardtia polystachya* creciendo en tepetate. XXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Nov. 12-16. Pachuca, Hidalgo, México. 366 p.

RUEHLE, J. L. y D. H. MARX. 1979. Fiber, Food, Fuel, and Fungal Symbionts. *Science* 206: 419-422.

SAGAN, D. y L. MARGULIS. 1988. Garden of microbial delights. A practical guide to the subvisible world H.B. Publishers, New York, N.Y., USA.

SMITH, D. C. y A. E. DOUGLAS. 1987. The biology of symbiosis. Edward Arnold. (Publishers) London, GB.

INTRODUCCION

Es realmente alarmante la destrucción que presentan los suelos agrícolas y otros recursos como agua, flora y fauna, que debieron ser protegidos y debidamente conservados en condiciones de aprovechamiento adecuado; cada día disminuye su capacidad productiva hasta quedar completamente destruidos. Así ha sucedido con muchas tierras de primera calidad, han perdido su buena productividad hasta convertirse en tierras tepetatosas las cuales son abandonadas por improductivas.

Por esta razón se están buscando plantas que se adapten y prosperen bajo estas condiciones, tal es el caso de *Eysenhardtia polystachya* (Palo Dulce). Leguminosa que carece de espinas, tiene un follaje que es consumido por el ganado vacuno, caprino y ovino. Esta planta puede prosperar con bajas precipitaciones y en suelos sumamente degradados. Dichas características la convierten en un candidato para la regeneración de áreas "tepetatosas", permitiendo una explotación ganadera en un plazo relativamente corto (Morfin y Morfin, 1987), particularmente si junto a ella se incorpora *Azolla caroliniana*, un helecho acuático que en asociación con *Anaena-Azollae* fija nitrógeno atmosférico.

Singh (1979) reporta que *Azolla* se descompone rápidamente y que su mineralización ocurre en tres semanas. Este mismo autor menciona que a temperaturas de 24°C la mineralización es aún más rápida, con lo cual se libera el 80% del nitrógeno que contiene, de donde el 56% está en forma de amonio, forma de nitrógeno más fácilmente absorbido por las plantas. Además se emplea *Azolla* como alimento para ciertos peces (carpas) en Asia y África. También hay informes sobre el uso de *Azolla* como forraje para cerdos, ganado, patos, pollos, etc. (Lumpkin y Plucknett, 1980; Castañeda *et al.*, 1990). Debido a su alto contenido proteínico, su valor nutritivo es muy considerable, ya que Tran y Dao (1973) mencionan que *Azolla* produce de 540 - 720 kg de proteína por hectárea por mes. *Azolla* empleada como abono verde disminuye la

densidad aparente del suelo, incrementa la porosidad (3.7 - 4.2%) y el contenido de materia orgánica (Lumpkin y Plucknett, 1980).

Muchos investigadores han observado mayor absorción de nitrógeno por las plantas de arroz cuando se incorpora *Azolla* al suelo, que cuando se deja descomponer en el agua (Talley *et al.*, 1977; Watanabe, 1978; Singh, 1979).

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en invernadero con material "tepetatoso" procedente de Río Hondo Texcoco, Estado de México.

La muestra fue tomada de los primeros 50 cm de la superficie, se molió y se tamizó a 2 mm. Posteriormente se secó al aire y se fumigó con bromuro de metilo cubriéndolo perfectamente con un plástico durante ocho días y cinco días destapado para eliminar residuos tóxicos.

La propagación de *Azolla caroliniana* se realizó en invernadero, poniendo varias charolas inoculadas con 5 g de *Azolla*, agregándoles solución nutritiva Yoshida. Las dosis incorporadas fueron equivalentes a 3, 6, 9 y 12 ton/ha de *Azolla* como materia verde. Para la obtención de las plantas de *Eysenhardtia polystachya* se construyó un semillero, usando agrolita estéril como sustrato, obteniéndose las plantas a los 50 días. En esta investigación se utilizó un diseño experimental completamente al azar y las variables en estudio fueron: altura de planta, peso seco de follaje y contenido de nitrógeno, fósforo y potasio.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados finales de las variables estudiadas se presentan en el Cuadro 1.

Se observa que la aplicación de *Azolla c.* como biofertilizante nitrogenado en la dosis de 12 ton/ha presenta los mejores resultados sobre el desarrollo y nutrición de *Eysenhardtia polystachya*,

ya que su influencia en altura de planta, peso seco del follaje, contenido de nitrógeno total en la planta y contenido de potasio fue significativamente diferente de las obtenidas con dosis de 3, 6 y 9 ton/ha.

Cuadro 1. Altura de plantas (días después de la siembra), peso seco y contenido nutrimental establecida en *Eysenhardtia polystachya* en tepetate con cuatro dosis de *Azolla caroliniana*.

Tratamiento ton/ha	Altura de planta				Peso seco g	Contenido nutrimental %		
	43 días	78 días	99 días	136 días		N	P	K
Testigo	0.80	5.50	10.60	18.68	0.51	1.10	0.06	0.10
3	3.17	6.00	8.65	13.96	0.93	1.30	0.09	1.70
6	0.65	5.00	8.50	17.06	1.53	1.31	0.15	1.74
9	3.90	10.95	16.70	26.75	3.45	1.36	0.08	1.66
12	4.00	11.95	17.00	33.07	5.06	1.56	0.07	1.30

En la Figura 1 se muestran los resultados de altura de *E. polystachya* durante su desarrollo en invernadero. Se observa que la dosis de 12 ton/ha presenta la mayor respuesta. En cuanto a contenido de nitrógeno, los resultados se presentan en la Figura 2, en la cual se observa que el mayor contenido de nitrógeno sobre la planta es cuando se incorporan 12 ton/ha de *Azolla caroliniana* como biofertilizante.

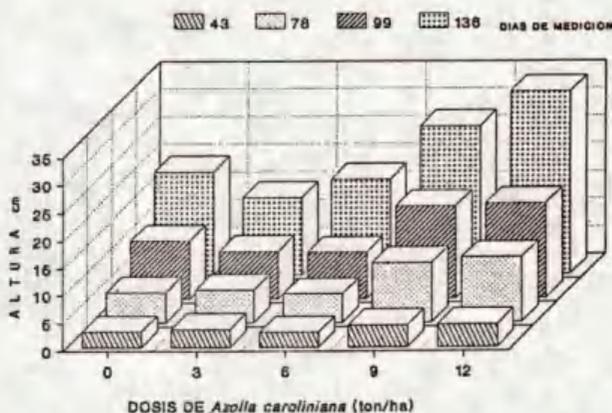


Figura 1. Altura de *Eysenhardtia polystachya* durante su desarrollo en tepetate con cuatro dosis de *Azolla caroliniana*, bajo invernadero.

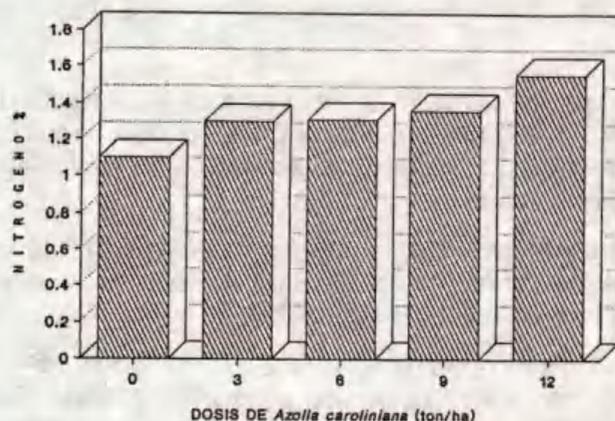


Figura 2. Porcentaje de nitrógeno total en la parte aérea de *Eysenhardtia polystachya* tratada con cuatro dosis de *Azolla caroliniana*.

Los resultados del contenido de potasio en el follaje se muestran en la Figura 3. La mejor respuesta la presentan las plantas de *Eysenhardtia polystachya* que recibieron 9 ton/ha de *Azolla* incorporada como materia verde.

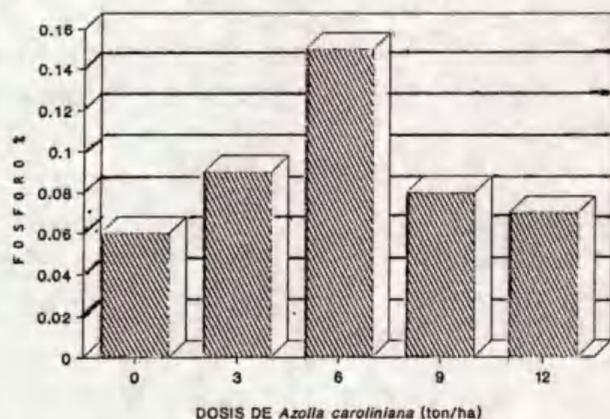


Figura 3. Porcentaje de fósforo en la parte aérea de *Eysenhardtia polystachya* en la incorporación de cuatro dosis de *Azolla caroliniana*.

LITERATURA CITADA

CASTAÑEDA, G. E., R. FERRERA-CERRATO, R. QUINTERO L. y E. AVILA G. 1990. Potencial protéico del helecho acuático *Azolla sp.* para pollos. *Revista Chapingo* 65-66: 109.

LUMPKIN, T.A. y D. L. PLUCKNETT. 1980. *Azolla* Botany Physiology, and use as green manure. *Economic Botany* 34 (2): 111-153.

MORFIN LOYDEN, L. y F. C. MORFIN. 1987. El Palo Dulce *Eysenhardtia polystachya*. (Ortega). Una alternativa para la explotación forrajera de áreas tepetatosas, pp. 192-198. *In:* F. J. Ruiz F. (ed.) *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural*. Chapingo, México.

SINGH, P. K. 1979. Use of *Azolla* in India. Paper presented at the International Rice Research Conference. The International Rice Research Institute. Los Baños, Laguna, Philippines.

TALLEY, S. N., B.J. TALLEY y D.W. RAINS. 1977. Nitrogen fixation by *Azolla* in rice fields, pp. 259-281. *In:* A. Hollaender (eds). *Genetic engineering for nitrogen fixation*. Plenum Publishing Corporation.

TRAN, Q. T. y DAO, T. 1973. *Azolla* a green compost, pp. 119-127. *In:* Vietnamese Studies 38, Agric. Problems. Agron. Data 4.

WATANABE, I. 1978. *Azolla* and its use in lowland rice culture. *Soil and Microbe* 20: 1-10.

ANALISIS DE LA MICROFLORA ASOCIADA AL MANEJO AGROECOLOGICO EN LA RECUPERACION DE TEPETATES

Analysis of Microflora Associated to Agroecological Management in the Reclamation of Tepetates

J. D. Alvarez-Solis ¹, Ronald Ferrera-Cerrato ¹ y Claude Zebrowski ²

¹ Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

² ORSTOM, México.

Palabras clave: Tepetate, Comunidad microbiana, *Rhizobium*, *Azospirillum*.

Index words: Tepetate, Microbial community, *Rhizobium*, *Azospirillum*.

RESUMEN

En un tepetate sin roturar se encontró una escasa comunidad microbiana (2.3×10^4 bacterias, 11.8×10^3 actinomicetos y 6.57×10^1 hongos), pero ésta incrementó posteriormente con la roturación (5.97×10^4 bacterias, 19.6×10^3 actinomicetos y 12.9×10^1 hongos) y a la incorporación de estiércol de bovino (2.49×10^6 bacterias, 13.5×10^4 actinomicetos y 6.5×10^2 hongos). Se observó, además, un efecto estimulador de la rizósfera de las plantas cultivadas. Las poblaciones de *Rhizobium* y de *Azospirillum* introducidas al tepetate, se establecieron en la rizósfera de sus macrosimbiontes 50 días después de la siembra (en promedio 5.13×10^4 y 2.01×10^4 , respectivamente), pero posteriormente declinaron. El porcentaje de infección con *Rhizobium* introducido fue similar en el tepetate sin y con estiércol de bovino; sin embargo, *Azospirillum* introducido infectó más al maíz en el tepetate sin incorporación de estiércol.

SUMMARY

The microbial community found in a non-tilled tepetate was scarce (2.3×10^4 bacteria, 11.8×10^3 actinomycetes, and 6.57×10^1 fungi), however, the number of microorganism increased when the tepetate was ripped off by tillage (5.97×10^4 bacteria, 19.6×10^3 actinomycetes and 12.9×10^1 fungi) and after farm manure addition (2.49×10^6 bacteria, 13.5×10^4 actinomycetes and 6.5×10^2 fungi). A stimulant effect was observed on the rhizosphere of cultivated plants. *Rhizobium* and *Azospirillum* populations incorporated to tepetate soil established in the rhizosphere of their macrosymbionts 50 days after sowing (in the average, 5.13×10^4 and 2.01×10^4 , respectively) but declined later. *Rhizobium* infection percentage was similar in tepetate with and without cow manure, although corn without manure was more infected with introduced *Azospirillum*.

INTRODUCCION

La incorporación a la producción agrícola, pecuaria y forestal de las áreas tepetatosas

erosionadas requiere de un elevado ingreso de energía externa, mecánica o manual para su roturación y química para mejorar el bajo nivel nutrimental, especialmente de nitrógeno y de fósforo (García, 1961; Zebrowski *et al.*, 1989).

Varios estudios han señalado la importancia del bajo nivel de materia orgánica como un factor limitante en la capacidad productiva del tepetate (García, 1961; Valdez, 1970; Rey, 1979; Cajuste y Cruz, 1987) y de los beneficios de la incorporación de materiales orgánicos en la estructura y en la actividad biológica del tepetate (Tovar, 1987; Sánchez *et al.*, 1987).

El costo económico y eventualmente ambiental que implica el elevar los niveles nutrimentales con base en la aplicación de fertilizantes sintéticos hace necesaria la búsqueda de alternativas que permitan disminuir la dependencia de insumos sintéticos y mejoren el contenido de materia orgánica, la estructura y la actividad biológica del tepetate.

Existen prácticas ancestrales de manejo agroecológico, tales como el uso de policultivos, rotación de cultivos y la incorporación de materiales orgánicos que han mostrado su viabilidad durante cientos de años por su efecto en la conservación y en el mejoramiento de la fertilidad del suelo (Mountjoy y Gliessman, 1988; Altieri, 1987; Gliessman, 1990).

En el agroecosistema, las raíces de las plantas se encuentran asociadas además del ambiente inanimado, compuesto de sustancias orgánicas e inorgánicas, a una vasta comunidad de microorganismos metabólicamente activos, los cuales afectan la nutrición de las plantas en forma favorable o perjudicial, dependiendo de los microorganismos involucrados y de las condiciones ambientales (Schippers *et al.*, 1987).

El presente trabajo tiene como objetivo conocer el efecto del uso de cultivos asociados (maíz-frijol-haba), un cultivo de rotación (veza) e incorporación de materia orgánica (estiércol de bovino), sobre la comunidad microbiana nativa (bacteria, actinomicetos y hongos) y en poblaciones de microorganismos introducidos (*Rhizobium*

y *Azospirillum*) en el proceso de recuperación de la capacidad productiva del tepetate.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación y Diseño Experimental

El trabajo de campo se realizó en Tlalpan, municipio de Hueyotlipan en el Estado de Tlaxcala, México. El experimento se estableció después de una roturación y construcción de terrazas; bajo un diseño de parcelas divididas, ordenadas en bloques al azar con cuatro repeticiones. Se utilizó la asociación maíz-frijol-haba y la veza como cultivo de rotación con o sin inóculo de bacterias simbióticas fijadoras del nitrógeno atmosférico (*Rhizobium* y *Azospirillum*) y la endomicorriza V-A (*Glomus sp.*), con o sin incorporación de materia orgánica (estiércol de bovino, 0 y 40 ton/ha). En todos los casos se aplicó superfosfato simple (60 kg de P/ha). La unidad experimental estuvo integrada por cinco surcos de 4 m de longitud, con una distancia entre surcos de 0.8 m.

Los tratamientos establecidos fueron:

1. Maíz/frijol asociados y haba intercalada, con materia orgánica (MO).
2. Maíz/frijol asociados y haba intercalada sin MO.
3. Veza inoculada y con MO (para rotación).
4. Veza inoculada sin MO (para rotación).
5. Maíz/frijol asociados y haba intercalada inoculados + micorriza vesículo-arbuscular (MVA) con MO.
6. Maíz/frijol asociados y haba intercalada inoculados + MVA sin MO.
7. Manejo del agricultor (maíz/frijol y haba sin MO, sin inoculación, sin MVA), con fertilizante en 120-60-00 (N-P-K)

Obtención de Inóculos e Inoculación

Las cepas de *Rhizobium* y de *Azospirillum* introducidas corresponden a la colección del

Laboratorio de Microbiología del Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Se utilizó para maíz la cepa CPMEX-167 de *Azospirillum* sp. marcada por resistencia a estreptomycin (500 µg/ml) y a espectinomycin (500 µg/ml); para frijol la cepa CPMEX-111 de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* marcada por resistencia a kanamicina (1,000 µg/ml); las cepas de *R. leguminosarum* bv. *viceae* CPMEX-107 y CPMEX-108 para el haba y las cepas CPMEX-169 y CPMEX-170 para la veza.

La preparación de los inoculantes y su aplicación a la semilla en el campo se realizó de acuerdo al procedimiento descrito por Vincent (1970), utilizando turba molida, neutralizada y estéril como soporte.

Muestreos y Análisis Microbiológicos

Antes y después de la roturación e incorporación de la materia orgánica, así como a los 50 días después de la siembra se colectaron muestras de tepetate y tepetate rizosférico, el cual se obtuvo a partir de la colecta de dos plantas de cada especie en cada una de las unidades experimentales. El tepetate no rizosférico se colectó a 25 cm de la planta más cercana y se tomaron muestras de tepetate sin cultivo y sin materia orgánica. Se elaboraron dos muestras compuestas para cada tratamiento y se procesaron siguiendo la técnica de dilución seriada y vaciado en placa con medio selectivo.

El número de unidades formadoras de colonias se obtuvo utilizando los siguientes medios nutritivos: para bacterias, extracto de suelo-glucosa-agar modificado para estudios de rizósfera (Echegaray, 1991); para actinomicetos agar Czapeck-Dox (Merck); para *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*, el extracto de levadura-manitol-agar con rojo congo (Vincent, 1970) con 1000 µg/ml de kanamicina; para *Azospirillum* sp., el DNFB (Dobereiner y Day, 1974) con 500 µg/ml de estreptomycin y espectinomycin. A todos los medios nutritivos anteriores se les adicionó 40 µg/ml de actidiona

(ciclohexamide, Sigma Co.). Para cuantificar a los hongos se empleó el medio papa-dextrosa-agar (Difco) con 50 µg/ml de estreptomycin.

RESULTADOS Y DISCUSION

Poblaciones de Bacterias, Actinomicetos y Hongos

En el Cuadro 1 se observa que en el tepetate sin roturar se encontró una escasa comunidad microbiana, la cual se incrementó posterior a la roturación y a la incorporación de la materia orgánica, aun cuando ésta fue menor a la observada en un suelo de cultivo adyacente utilizado como testigo.

La escasa comunidad microbiana encontrada en el tepetate sin roturar puede estar relacionada con el bajo intercambio gaseoso que ocurre en el tepetate debido a la cementación de estos horizontes con la sílice soluble y/o el carbonato de calcio (Valdez, 1970); de tal forma que con la roturación se mejora el intercambio gaseoso y la actividad fisiológica de los microorganismos, aun cuando ésta queda limitada por la baja disponibilidad de compuestos orgánicos para el metabolismo microbiano. Sánchez et al. (1987) observaron en condiciones de invernadero una escasa comunidad microbiana en el tepetate, la cual se incrementó con la adición de estiércoles de bovino y gallinaza.

Cuadro 1. Efecto de la roturación y de la incorporación de materia orgánica en las poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos.

Tepetate	Unidades formadoras de colonias		
	Bacterias	Actinomicetos	Hongos
Sin roturación	2.23 x 10 ⁴	11.8 x 10 ³	6.57 x 10 ¹
Con roturación	5.97 x 10 ⁴	19.6 x 10 ³	12.90 x 10 ¹
Sin materia orgánica	9.89 x 10 ⁴	34.9 x 10 ³	17.30 x 10 ¹
Con materia orgánica	2.49 x 10 ⁶	13.5 x 10 ⁴	6.50 x 10 ²
Testigo: Suelo agrícola adyacente	4.59 x 10 ⁷	2.11 x 10 ⁵	39.6 x 10 ²

En el muestreo del tepetate realizado a los 50 días después de la siembra, se observó un efecto estimulante de la rizósfera sobre las poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos; el cual aumentó cuando se incorporó materia orgánica (Cuadro 2). La comunidad microbiana en la rizósfera del maíz, frijol, haba y veza fue mayor a la del tepetate a distancia (25 cm de la raíz) y a la del tepetate sin cultivo y sin materia orgánica.

Cuadro 2. Efecto rizosférico del maíz, frijol, haba y veza en las poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos a los 50 días después de la siembra en tepetate.

Tepetate	Rizósfera	Unidades formadoras de colonias		
		Bacterias	Actino- micetos	Hongos
Sin materia orgánica	Maíz	31 x 10 ⁶	7.0 x 10 ⁴	1.9 x 10 ⁴
	Frijol	98 x 10 ⁶	30.0 x 10 ⁴	1.5 x 10 ³
	Haba	16 x 10 ⁷	1.4 x 10 ⁵	2.5 x 10 ³
	Veza	54 x 10 ⁶	8.2 x 10 ⁴	1.9 x 10 ³
	A distancia	32 x 10 ⁵	9.3 x 10 ⁴	8.8 x 10 ²
Con materia orgánica	Maíz	16 x 10 ⁷	8.0 x 10 ⁵	5.8 x 10 ³
	Frijol	16 x 10 ⁷	11.0 x 10 ⁵	1.9 x 10 ³
	Haba	38 x 10 ⁷	1.3 x 10 ⁶	6.3 x 10 ³
	Veza	20 x 10 ⁷	1.8 x 10 ⁶	4.7 x 10 ³
	A distancia	63 x 10 ⁶	8.6 x 10 ⁵	4.7 x 10 ³
Sin materia orgánica y sin cultivo		49 x 10 ⁵	12.5 x 10 ⁴	4.4 x 10 ²

Un índice utilizado en microbiología para conocer el efecto rizosférico lo constituye la relación suelo-rizósfera. En el presente trabajo se observó que fueron las bacterias las que presentaron mayor estimulación rizosférica y en menor grado los hongos y los actinomicetos, lo cual está de acuerdo con lo reportado por Alexander (1981). Para las bacterias, la relación en el tepetate sin cultivo, y en la rizósfera del tepetate sin incorporación de materia orgánica, fue de 1:6 en el maíz, 1:20 en el frijol, 1:33 en el haba y 1:11 en la veza; mientras que cuando se incorporó la materia orgánica, la relación fue de 1:33, 1:34, 1:78 y 1:42 en maíz, frijol, haba y veza, respectivamente.

La estimulación del crecimiento microbiano en la rizósfera es debido principalmente a la disponibilidad de compuestos orgánicos secretados por las raíces de las plantas cultivadas (Keith *et al.*, 1986; Martín y Kemp, 1986 y Jansen y Bruinsma, 1989).

Sobrevivencia de *Rhizobium* y de *Azospirillum*

La sobrevivencia de las bacterias simbióticas fijadoras del nitrógeno atmosférico introducidas al tepetate al momento de la siembra, *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* (CPMEX-111) y *Azospirillum* sp. (CPMEX-167), cambió ligeramente en función de la incorporación de la materia orgánica. *Rhizobium* presentó valores más altos en la rizósfera del frijol en el tepetate sin incorporación de materia orgánica; mientras que en la rizósfera del maíz, *Azospirillum* presentó mayor número en el tepetate con materia orgánica (Cuadro 3). Estos resultados evidencian que a los 50 días después de la siembra, *Rhizobium* y *Azospirillum* se encuentran establecidos en la rizósfera de sus respectivos macrosimbiontes. Sin embargo, en los muestreos posteriores (100 y 168 días después de la siembra) las poblaciones de ambos microorganismos disminuyeron progresivamente.

Cuadro 3. Sobrevivencia de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* (CPMEX-111) y de *Azospirillum* sp. (CPMEX-167) en tepetate rizosférico de frijol y maíz, respectivamente, a los 50 días después de la siembra.

	<i>Rhizobium</i>	<i>Azospirillum</i>
Sin materia orgánica	8.94 x 10 ⁴	1.18 x 10 ⁴
Con materia orgánica	1.33 x 10 ⁴	2.84 x 10 ⁴

No obstante el alto número de *Rhizobium* y de *Azospirillum* observado en la rizósfera a los 50 días después de la siembra, los porcentajes de infección de ambos microsimbiontes fue notoriamente bajo. De los nódulos formados en la raíz del frijol, la cepa de *Rhizobium* introducida indujo el 7.3% y el 8.9%, respectivamente, en el tepetate sin y con incorporación de materia orgánica. Las plantas de maíz presentaron un porcentaje de infección por *Azospirillum* de 34.5 y 39.8, respectivamente, en el tepetate sin y con incorporación de materia orgánica, del cual el 20.3 y el 7.5%, respectivamente, correspondió a la cepa de *Azospirillum* introducida.

El bajo porcentaje de infección que presentó la cepa de *Rhizobium* introducida puede estar relacionado con la presencia de cepas nativas en

el tepetate que compitieron por los sitios de infección en la raíz del frijol, ya que aunque no se determinó el NMP de rizobia nativa, los controles sin inocular presentaron un número de nódulos similar al de las plantas inoculadas (datos no presentados). Dowling y Broughton (1986) señalan que uno de los factores que más afecta el éxito de la inoculación en el campo lo constituye la presencia de cepas nativas.

CONCLUSIONES

Las prácticas de manejo, tales como la rotación y la incorporación de estiércol de bovino,

estimulan la actividad de la comunidad microbiana del tepetate, lo que aunado a la estimulación rizosférica de las plantas cultivadas resulta en un incremento en las poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos.

Las poblaciones de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* y de *Azospirillum* sp. se establecen en el tepetate sin y con incorporación de estiércol de bovino y alcanzan valores altos en la rizósfera de sus respectivos macrosimbiontes a los 50 días después de la siembra, para posteriormente declinar.

LITERATURA CITADA

- ALTIERI, M. A. 1987. Agroecology: The scientific basis of alternative agriculture. Westview Press, Boulder, Colorado, USA.
- ALEXANDER, M. 1981. Introducción a la microbiología del suelo. AGT Ed., D.F., México.
- CAJUSTE, L. J. y D. J. CRUZ. 1987. Presencia de materiales amorfos en algunos tepetates de la zona de influencia de Chapingo, pp. 69-77. In: J. F. Ruiz F. (ed). Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, Chapingo, México.
- DOBEREINER, J. y D. J. DAY. 1974. Associative symbiosis in tropical grasses of microorganisms and dinitrogen fixing species, 2: 518-539. In: W Newton and C. J. Nyman. (eds.) Proceedings of the first International Symposium on Nitrogen Fixation. Washington State, University Press Pullman, U.S.A.
- DOWLING, D. N. y W. J. BROUGHTON. 1986. Competition for nodulation of legumes. Ann. Rev. Microbiol. 40: 131-157.
- ECHEGARAY, A. 1991. Manual de prácticas de microbiología. CEDAF, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- GARCIA E., A. 1961. Estudio de los suelos tepetatosos y de las posibilidades de recuperación agrícola. Tesis de Ing. Agrónomo Especialista en Suelos. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.
- GLIESSMAN, S. R. 1990. Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture. Springer-Verlag. New-York, N.Y., USA.
- JANSEN, H. H. y BRUINSMAN. 1989. Methodology for the quantification of root and rhizosphere nitrogen dynamics by exposure of shoots to ¹⁵N-labeled ammonia. Soil Biol. Biochem. 21: 189-196.
- KEITH, H., J. M. OADES y J. K. MARTIN. 1986. Input of carbon to soil from wheat plants. Soil Biol. Biochem. 18: 445-449.
- MARTIN, J. M. y J. R. KEMP. 1986. The measurement of C transfers within the rhizosphere of wheat grown in field plots. Soil Biol. Biochem. 18: 103-108.
- MOUNTJOY, D. C. y S. R. GLIESSMAN. 1988. Traditional management of a hillside agroecosystem in Tlaxcala, Mexico: an ecologically based maintenance system. Am. J. of Alternative Agriculture 3: 3-10.
- REY C., J. A. 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la cuenca del río Texcoco en base al factor K. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- SANCHEZ J., M., F. J. RUIZ F. y E. CUAUTLE F. 1987. Comportamiento de dos tipos de tepetates bajo la adición de abonos orgánicos y abonos verdes en condiciones de invernadero, pp. 50-68. In: J. F. Ruiz F. (ed.) Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, Chapingo, México.
- SCHIPPERS, B., A.W. BAKKER y A.H.M. BAKKER. 1987. Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and their effect of cropping practices. Ann. Rev. Phytopathology 25: 339-358.

TOVAR T., A. 1987. Determinación del efecto de aplicación de estiércol de bovino semiseco y fresco sobre el rendimiento de cebada en suelos erosionados, pp. 156-171. *In:* J. F. Ruíz F. (ed.) *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural.* UACH, Chapingo, México.

VALDEZ M., L. A. 1970. Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de tepetate en la Cuenca de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

VINCENT J., M. 1970. A manual for the practical study of the root-nodule bacteria. *Int. Biol. Programme.* Blackwell Scientific Pub. Oxford, GB. 164 p.

ZEBROWSKI, C., D. PEÑA H., M.L.M. ORTIZ S. y D. J. ETCHEVERS B. 1989. Incorporación de los tepetates a la producción agrícola: rendimiento y efectos de roturación sobre características físico-químicas de tepetates. XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Montecillo, México.

RESPIRACION MICROBIANA COMO UN INDICADOR DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS AGRICOLAS Y TEPETATES EN EL ESTADO DE TLAXCALA

Microbian Respiration as an Indicator of Fertility in the Agricultural and Tepetate Soils in the State of Tlaxcala

Salvador Matías Crisóstomo ¹, Ronald Ferrera-Cerrato ¹ y Claude Zebrowski ²

¹ Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

² ORSTOM, México.

Palabras clave: Respiración microbiana, Suelo, Tepetate, Materia orgánica.

Index words: Microbian respiration, Soil, Tepetate, Organic matter.

roturar, 19.00 μl de O_2 en tepetate roturado, 36.00 μl de O_2 en tepetate con materia orgánica y 28.00 μl de O_2 en tepetate sin materia orgánica. Estos resultados reafirman que mediante la incorporación de materia orgánica al tepetate se podrá a corto plazo darle un uso agrícola.

RESUMEN

La presente investigación fue realizada con el fin de evaluar la actividad microbiana existente en suelo agrícola, tepetate y tepetate rizosférico de maíz, frijol, haba y veza con y sin materia orgánica con base en el consumo de oxígeno.

El estudio fue realizado en un suelo agrícola y en un tepetate blanco procedentes de Tlalpan, Municipio de Hueyotlipan, estado de Tlaxcala. Los resultados que se presentan muestran el efecto de la materia orgánica incorporada al tepetate recién roturado, la cual aumenta significativamente el consumo de oxígeno (O_2) por la población microbiana presente en estos dos sustratos. La cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos se determinó en 0.5 g de suelo y tepetate durante 15 minutos en una solución amortiguadora de fosfato. Los resultados que se obtuvieron son: 24.00 μl de O_2 en suelo agrícola, 10.00 μl de O_2 en tepetate sin

SUMMARY

The goal of this research was to evaluate the microbial activity present in an agricultural soil as well as in a tepetate soil based on the oxygen consumption. The agricultural and white tepetate soil samples were taken from Tlalpan, municipality of Hueyotlipan, state of Tlaxcala.

Results show the effect of organic matter incorporated to the just broken up tepetate soil. A significant increase in oxygen (O_2) consumption by the microbial population, as shown by the higher amount of oxygen consumed by microorganisms was observed, agricultural soil (24 μl of O_2), non broken up tepetate soil (10 μl of O_2), broken up tepetate soil (19 μl of O_2), tepetate soil with organic matter (36 μl of O_2) and tepetate soil without organic matter (28 μl of O_2). The test was done using 0.5 g of soil incubated for 15 minutes

in phosphate buffer solution. Results confirm that the incorporation of organic matter to tepetate can may be of them agricultural soils in the short term.

INTRODUCCION

Los microorganismos juegan un papel importante en la descomposición de la materia orgánica en el suelo. Se ha reportado que existe una correlación entre el número de microorganismos presentes en el suelo y el consumo de oxígeno; sin embargo, esto depende directamente del contenido de materia orgánica que se encuentra en el suelo (Gray y Wallace, 1957). La transformación de la materia orgánica a formas más simples contribuye a aumentar la fertilidad del suelo.

Una consecuencia de la infertilidad de los tepetates, es su baja capacidad para la producción vegetal. Esta además se pierde debido al fenómeno erosivo, el cual provoca un desequilibrio entre los componentes orgánicos e inorgánicos del suelo. Una forma de iniciar el reciclaje de nutrientes en el tepetate, es mediante el uso constante de materia orgánica y residuos vegetales incorporados al sustrato, los cuales son la fuente de nutrición y energía de los microorganismos del suelo (Boguslawski y Debruck, 1983).

Buckman y Brady (1970) afirman que muchas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo son afectadas por la aplicación del estiércol. Los efectos inmediatos son menos marcados, aunque se observa un incremento de la aireación y de la infiltración del agua en suelos pesados. Uno de los beneficios más importantes del estiércol es el de mejorar las condiciones físicas del suelo: capacidad de retención de agua, la permeabilidad del suelo, la aireación y las relaciones de temperatura. Se han realizado numerosas investigaciones sobre la influencia del estiércol de bovino aplicado en diferentes dosis, tipos de suelo y gran variedad de cultivos; en lo que respecta al estiércol de aves, Beandblossom,

(1966) y Perkins (1964) indican que es un producto valioso como fuente de nutrimentos para las plantas, y que su contenido nutrimental depende de varios factores tales como: características ambientales del alojamiento, tipo y edad de las aves y alimentación de las mismas, etc. Se ha observado que al aplicar gallinaza al suelo, el pH aumenta, y el incremento es proporcional a la cantidad de gallinaza utilizada. Este efecto se atribuye al ion amonio liberado durante el proceso de descomposición del estiércol aviar, aunque éste desaparece cuando el amonio se convierte en nitrato por la actividad microbiana. Una forma indirecta de determinar la fertilidad global de un suelo es midiendo su actividad microbiana; en forma general se puede decir que cuanto mayor sea la actividad microbiana más productivo es este suelo.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la respiración microbiana, mediante un respirómetro electrónico YSI 5300 en suelo, tepetate, tepetate roturado con y sin materia orgánica y en la rizósfera de maíz, frijol, haba y veza, como un indicador de la actividad biológica en el proceso de recuperación del tepetate.

MATERIALES Y METODOS

El experimento fue establecido en un tepetate recién roturado con y sin adición de materia orgánica, en Tlalpan, Municipio de Hueyotlipan, estado de Tlaxcala, el 11 de junio de 1991; se sembró maíz, frijol, haba intercalados y veza como monocultivo. El experimento tuvo una duración de seis meses, durante los cuales se realizaron muestreos en la rizósfera de cada uno de los cultivos, para determinar la actividad microbiana (consumo de oxígeno). También se analizó tepetate sin cultivo.

En la determinación del consumo de oxígeno se utilizó un respirómetro electrónico YSI modelo 5300, compuesto por: un sensor polarográfico tipo Clark, vasos de reacción de 10 ml sumergidos completamente en agua

recirculada a temperatura constante, un motor de agitación bajo el baño, magnetos en los vasos de reacción, un amplificador y un registrador. Las muestras analizadas fueron de: a) tepetate no roturado, b) tepetate roturado, c) tepetate rizosférico y suelo agrícola. Posteriormente se analizó un segundo muestreo de tepetate roturado con materia orgánica y tepetate roturado sin materia orgánica.

En el laboratorio se trabajó con una solución reguladora de fosfatos con pH 7, se tomaron 0.5 g de suelo y tepetate, se agitaron en 5 ml de la solución durante 5 min, una vez agitados se tomaron 3 ml, los cuales se pusieron en los vasos de reacción del respirómetro durante 15 min para determinar el consumo de oxígeno por los microorganismos existentes en suelo y tepetate.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos nos muestran claramente el comportamiento del tepetate, tepetate roturado y el suelo agrícola, con base en su actividad microbiana (Figura 1). El consumo de oxígeno que presentó el suelo agrícola fue mayor que el del tepetate sin roturar y el tepetate roturado. Este mayor consumo se debe a que existe, en el primer tratamiento, una población microbiana mayor. La actividad microbiana del tepetate roturado fue mayor que la del tepetate sin roturar. Estos resultados son lógicos ya que en el suelo agrícola hay mejores condiciones tanto físicas, químicas y nutrimentales que ayudan a un mejor desarrollo de la población microbiana, mientras que el tepetate es un sustrato biológicamente inerte y de condiciones físicas y químicas muy desfavorables para el desarrollo de una población microbiana.

En la Figura 2 se presentan los resultados de la actividad microbiana (consumo de O_2) en tepetate con materia orgánica (40 ton/ha) y la actividad del tepetate sin materia orgánica. Los

resultados indican el comportamiento que tiene la actividad microbiana al iniciarse la adición de compuestos orgánicos en el tepetate. Las condiciones tanto físicas, químicas y biológicas se ven claramente favorecidas, lo cual se refleja en un mayor consumo de oxígeno por los microorganismos. Este comportamiento destaca la importancia de la materia orgánica sobre el tepetate en el aporte de nutrimentos; la materia orgánica adicionada origina un aumento de la población microbiana y como consecuencia de ello una mayor actividad respiratoria. En contraste, la actividad del tepetate sin materia orgánica fue muy baja. Posteriormente se analizó tepetate rizosférico de maíz, frijol, haba y veza, los resultados se presentan en la Figura 3. Estos resultados muestran la influencia de la materia orgánica sobre la actividad microbiana y el consumo de oxígeno; observándose que el maíz y frijol presentaron mayor consumo de oxígeno, que el haba y la veza, siendo menor el consumo de oxígeno cuando fueron sembrados sin la adición de materia orgánica. Pero al mismo tiempo es mayor que el consumo del haba y la veza. Los resultados reafirman la importancia de la materia orgánica sobre la actividad respiratoria de los microorganismos en cada uno de los cultivos que se sembraron, ya que la actividad microbiana tanto en tepetate roturado y en maíz, frijol, haba, veza con y sin materia orgánica fue mayor que la actividad respiratoria (consumo de O_2) del testigo (tepetate sin sembrar). Baver (1972) menciona que la incorporación de la materia orgánica al suelo acelera la acción de los microorganismos, pues ésta es la principal fuente de energía para que la población microbiana participe eficazmente en la descomposición de la misma con efectos, en la nutrición de las plantas y en la formación de agregados del suelo. En relación a la metodología empleada, se encontró que fue factible evaluar el consumo de O_2 empleando el respirómetro electrónico de Clark poco usado para medir la respiración del suelo.

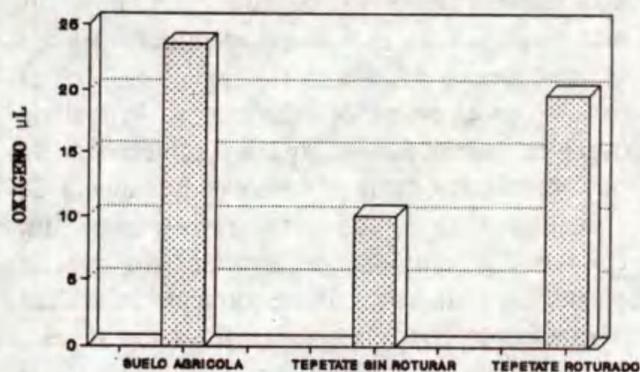


Figura 1. Consumo de oxígeno por los microorganismos presentes en el suelo agrícola, tepetate sin roturación y tepetate roturado en Tlalpan, Mpio. de Hueyotlipan, Edo. de Tlaxcala (determinación durante 15 minutos).

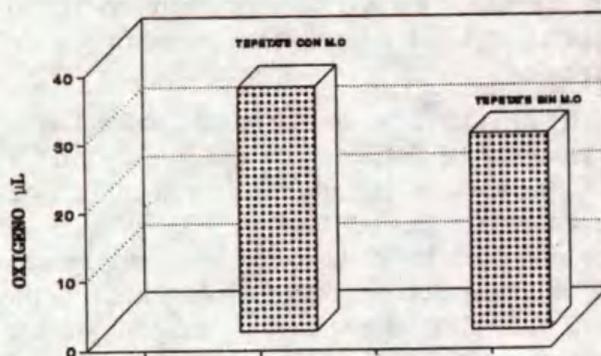


Figura 2. Consumo de oxígeno por la población microbiana en tepetate con y sin materia orgánica en Tlalpan, Mpio. de Hueyotlipan, Edo. de Tlaxcala (determinación durante 15 minutos).

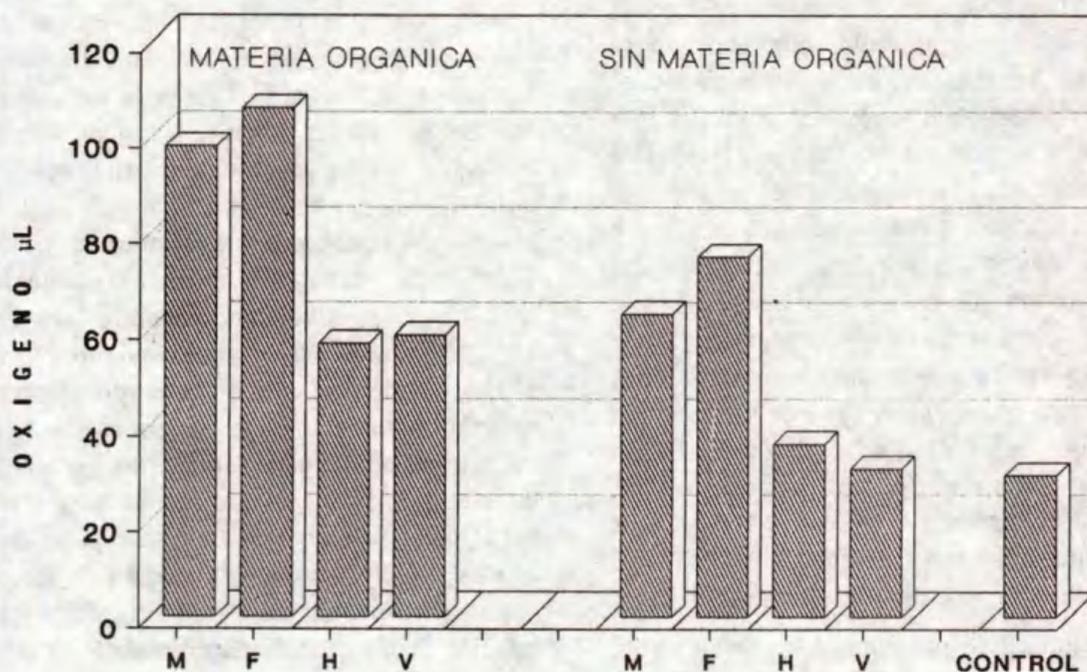


Figura 3. Respiración microbiana en tepetate de la rizósfera de maíz, frijol, haba y veza cultivados con y sin materia orgánica en Tlalpan, Mpio. de Hueyotlipan, Edo. de Tlaxcala (determinación durante 15 minutos).

LITERATURA CITADA .

BAVER, L. D. 1972. Soil physics. 3a. Edición, John Wiley & Sons. Publ. New York, USA. 489 p.

BEANDBLOSSOM, F. Z. M. 1966. Como aplicar eficazmente el estiércol de las aves. La Hacienda, Vol. 61.

BOGUSLAWSKI, E. V. y DEBRUCK, J. 1983. La paja y la fertilidad de los suelos. Editorial Continental, 1a edición en Español. D.F., México.

BUCKMAN y BRADY. 1970. Naturaleza y propiedades de los suelos. 1a. Edición, Editorial Montaner y Simon. Barcelona, España.

GRAY, P. H. H. y WALLACE, R. H. 1957. Correlation between bacterial numbers and Ccarbonte dioxide in a field soil. Can. J. Microbial. 3: 191.

PERKINS. 1964. Estudio sobre utilización de gallinaza en cultivo de maíz, avena, algodón, forrajes y repollo durante el periodo de 1955-1962. Art. inédito.

EVALUACION DE LA REFORESTACION SOBRE TEPETATES EN LA ZONA ORIENTE DE LA CUENCA DE MEXICO

Evaluation of the Reforestation Program in Tepetates in the West Part of the Mexico Basin

Héctor M. Arias R. ¹ y Guillermo García Torres ²

¹ Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.

² Proyecto Lago de Texcoco, Texcoco, México.

Palabras clave: Reforestación, Tepetates, Coníferas, Proyecto Lago de Texcoco, Cuenca de México.

Key words: Reforestation, Tepetate, Conifers, Lago de Texcoco project, Mexico basin.

coníferas importantes tuvieron mejor desarrollo cuando la plantación se hizo en suelo.

RESUMEN

El Proyecto Lago de Texcoco, antes Comisión del Lago de Texcoco, inició trabajos para el control de la degradación de los recursos naturales de la parte oriente de la Cuenca de México desde 1972. Uno de estos trabajos fue la reforestación de áreas erosionadas que mostraban afloramiento de tepetates, debido al mal manejo de los recursos.

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el programa de reforestación, realizado casi enteramente sobre tepetates usando como parámetros de evaluación: el incremento medio anual en altura (IMAA) y el incremento medio anual en volumen (IMAV).

Los resultados muestran que después de casi 20 años de trabajo se han reforestado más de 5,110 ha con diferentes especies. *Pinus montezumae* mostró los mayores incrementos medios anuales en altura y volumen en tepetate rojo (T3 sin carbonatos) que en el suelo. Otras

SUMMARY

Proyecto Lago de Texcoco, known before as Comisión del Lago de Texcoco, started works for the control of land degradation in the east part of the Mexico Basin since 1972. One of the works performed was reforestation of severely eroded areas that showed surfacing of tepetates (a local name for hardened layers of volcanic origin) due to mismanagement of natural resources.

The aim of this paper was to evaluate a reforestation program in tepetates, using the mean annual increase in height (IMAA), and the mean annual increase in volume (IMAV) of the planted trees as evaluation parameters.

The results showed that after almost 20 years, 5,110 ha have been reforested with different species. Higher values of IMAA and IMAV of trees planted in red tepetate (t3 without carbonates) than over soils, were found for *Pinus montezumae*. Other conifers showed better results when planted in soil than in tepetates.

INTRODUCCION

La presencia de suelos erosionables, con fuertes pendientes y un mal manejo de la vegetación, produjo una degradación del ambiente que resultó en altas tasas de sedimentación y grandes avenidas en la zona oriente de la Cuenca de México. El programa de rescate emprendido por el Proyecto Lago de Texcoco (antes Comisión Lago de Texcoco), consistió en el control de avenidas a través de la construcción de presas y de la regeneración de la vegetación, la cual se realizó principalmente con reforestaciones complementadas con obras para disminuir la erosión.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el programa de reforestación realizado en la zona oriente del Proyecto Lago de Texcoco, especialmente en relación al efecto que los sustratos han tenido sobre las plantaciones, con la finalidad de encontrar las especies forestales más adecuadas para controlar la degradación del ambiente en esta región de la Cuenca de México, y de generar prácticas de manejo.

MATERIALES Y METODOS

Localización y Medio Ambiente

La zona de estudio pertenece al área del Proyecto Lago de Texcoco, el cual cubre 144,180 ha. Está ubicada entre los paralelos 19°22'30" y 19°30'00" y los meridianos 98°47'30" y 98°51'15" y se ha dividido en tres zonas: la zona noreste, oriente y la sureste. La división entre estas zonas son los parteaguas de los ríos Coxacoaco y Texcoco entre la zona noreste y oriente, y los ríos Coatepec y San Francisco entre la zona oriente y sureste. El presente trabajo se llevó a cabo solamente en la zona oriente que tiene una superficie de 17,520 ha (Arias *et al.*, 1990).

El clima predominante de la zona de estudio es templado subhúmedo con verano fresco y con

lluvias. La topografía es accidentada con alturas desde 2,237 msnm en el ex-lago de Texcoco hasta 4,120 msnm en el cerro El Tlaloc. La zona de lomeríos, donde se llevó a cabo la mayor parte de la reforestación comprende de 2,400 a 2,800 msnm, y es la zona con más problemas de erosión debido a la combinación entre la topografía accidentada, el clima y la acción del hombre.

La geología de la cuenca está asociada a la formación de la fractura Chapala-Acambay en el Terciario Medio, formándose la Sierra de Rfo Frío que es el parteaguas de la Cuenca de México en la parte oriente. El basamento de la cuenca está formado por calizas marinas emergidas durante el Cretácico, cubiertas por lavas, tobas y brechas de erupciones volcánicas posteriores.

Los principales suelos identificados, de acuerdo a la clasificación FAO-Unesco utilizada por INEGI, son Solonchak gléyico, Vertisol pélico y Phaeozem háptico en las partes bajas de la cuenca; Litosoles, Cambisoles húmicos, éutricos y dístricos, en la parte media; Andosoles húmicos y mólicos, y las diferentes variaciones de Cambisoles en las partes altas. En la zona clasificada como Litosoles se tiene una heterogeneidad de capas endurecidas, sobresaliendo la presencia de brechas volcánicas y tobas de diferente coloración y composición. Estas últimas han sido clasificadas por color como tepetate gris, rojo y amarillo (Rey, 1979); sin embargo, debido a similitudes entre las propiedades de los tepetates rojo y amarillo, en este trabajo se les identificó como tepetate rojo.

La vegetación de la zona es variable en función de la altitud. En las partes bajas se tienen pastizales, principalmente *Distichlis spicata*, *Eragrostis obtusifolia* y *Saueda difusa*, y agricultura de riego. En la parte media, con lomeríos, se tiene vegetación herbácea del tipo gramíneas, leguminosas, cactáceas, liliáceas, y compuestas; agricultura de temporal, principalmente maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), cebada (*Hordeum vulgare*), y haba (*Vicia faba*) y vegetación forestal representada

por *Pinus leiophylla*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *Taxodium mucronatum*, y *Senecio salignus*. Finalmente, en la parte alta se tienen pastizales de altura, principalmente *Muhlenbergia macroura*, y vegetación forestal compuesta por *Pinus hartwegii*, *Garry laurifolia*, y *Juniperus depeana* en las partes abiertas, y *Abies religiosa* y *Quercus sp* en las barrancas o partes más húmedas (Pedraza, 1987).

Hidrologicamente la zona tiene once corrientes, cuatro en la parte noreste, cinco en la parte oriente y dos en la parte sureste. La caracterización está mejor detallada en Arias *et al.* (1990).

Muestreo

Se hizo un muestreo completamente al azar sobreponiendo una cuadrícula de 1 cm de lado a un plano topográfico escala 1:50,000, en la cuál los vértices de la cuadrícula son los puntos de muestreo siempre y cuando coincidieran con una zona reforestada. Se seleccionaron 107 sitios de muestreo circulares de 1,000 m² cada uno, correspondiendo al 0.5% de la superficie del área.

Producción Forestal

Los parámetros como altura y volumen no son buenos indicadores de comparación cuando las plantaciones se realizan en diferentes fechas. Es por eso que los parámetros que incluyan las tasas de crecimiento en función del tiempo son mejores. Las plantaciones muestreadas no tienen registros de fechas de plantación, por lo que los indicadores que toman en cuenta el tiempo sólo se incluyeron en el caso de coníferas, ya que es posible estimar la edad a través del conteo de los anillos. Para incluir las angiospermas en las comparaciones, se utilizó el volumen del fuste o las existencias reales totales (m³/sitio/especie).

Los parámetros de comparación de las coníferas fueron el incremento medio anual en altura (IMAA) medido en m/año y el incremento medio anual en volumen (IMAV) medido en m³/ha/año.

El primero se utiliza como indicador del desarrollo promedio del arbolado, ya que no toma en cuenta el número de árboles, mientras que el segundo indica la densidad de árboles, ya que se calcula el volumen formado por todos los árboles.

Las existencias reales totales se obtuvieron al cubicar el volumen del fuste por especie por sitio. El volumen se estimó bajo el supuesto de que el tronco tiene forma de cono, utilizando el área basal y la altura. La finalidad de hacer esta medición es conocer la producción de madera por especie por sitio y usarla como medida de comparación.

El IMAA se determinó al medir la altura total con un estadal, tomar el promedio de alturas por especie por sitio y dividirlo entre la edad. La edad se determinó a través de muestras de virutas extraídas con el taladro de Pressler y contando el número de anillos.

El IMAA es un buen indicador del crecimiento, refleja las condiciones del sitio, ya que toma en cuenta los efectos del tiempo. En el caso de coníferas se cuantificó al tomar la edad de dos árboles representativos del sitio, a través de muestras de virutas extraídas con el taladro de Pressler contando el número de anillos en la última pulgada superficial.

El IMAV se calculó dividiendo el volumen de los fustes de los árboles del sitio, extrapolándolos a una hectárea y dividiéndolos entre la edad promedio de la especie plantada.

RESULTADOS

Un aspecto importante antes del análisis es mencionar que la mayor parte del programa de reforestación se realizó en zonas altamente erosionadas (68.4 %) sobre tepetate rojo, gris o brecha volcánica.

Cuadro 1. Relaciones entre el IMAA promedio y sustratos (se incluye el número de muestras tomado entre paréntesis).

Especie	Incremento medio anual en altura				Promedio especie
	Suelo	Tep. rojo	Tep. gris m/año	Brecha	
<i>Cupressus lindleyi</i>	0.47 (10)	0.35 (17)	0.11 (1)	0.30 (1)	0.38 (29)
<i>Pinus montezumae</i>	0.31 (2)	0.52 (15)	0.32 (3)	0.26 (1)	0.46 (21)
<i>Pinus michoacana</i>	0.45 (2)	0.35 (6)	0.50 (1)	-	0.39 (9)
<i>Pinus radiata</i>	0.57 (1)	0.32 (12)	-	0.46 (1)	0.35 (14)
<i>P. pseudostrobus</i>	0.60 (1)	-	-	-	6.60 (1)
<i>Pinus leiophylla</i>	0.43 (1)	-	-	-	0.43 (1)
<i>Pinus ayacahuite</i>	-	0.29 (1)	-	-	0.29 (1)
<i>Promedio sustrato</i>	0.46 (17)	0.39 (51)	0.31 (5)	0.34 (3)	0.40 (76)

Incremento Medio Anual en Altura (IMAA)

El incremento medio anual en altura promedio por sitio, seleccionado como el parámetro más adecuado para evaluar el desarrollo de las coníferas, fue de 0.40 m/año (Cuadro 1), el cual también muestra que las especies con mayor crecimiento medio fueron *Pinus montezumae* (0.46 m/año), seguido por *Pinus michoacana* (0.39 m/año), aunque la diferencia es pequeña con *Cupressus lindleyi* (0.38 m/año). Le sigue *Pinus radiata*. *Pinus pseudostrobus* (0.60 m/año) fue la especie con mayor crecimiento, pero desafortunadamente sólo se tuvo una muestra, lo mismo que *Pinus leiophylla* (0.43 m/año) y *Pinus ayacahuite* (0.29), por lo que es conveniente investigar más estas tres especies.

El mejor sustrato, cuando se utiliza el IMAA promedio como indicador, es el suelo (0.46 m/año), seguido por tepetate rojo (0.39 m/año), brecha (0.34 m/año). El sustrato que tuvo la menor respuesta positiva fue el tepetate gris (0.31 m/año), del cual se conoce su baja calidad nutrimental (Rey, 1976). *Pinus montezumae*, el de mayor IMAA promedio, creció mejor en tepetates (0.52 m/año), mientras

que los demás tuvieron mejor desarrollo en suelo. *Pinus michoacana* tuvo un valor alto en su desarrollo sobre tepetate gris, desafortunadamente sólo se contó con una muestra.

Incremento Medio Anual en Volumen (IMAV)

En el Cuadro 2, se presentan los promedios de los incrementos medios anuales en volumen de las coníferas. El IMAV promedio fue de 0.56 m³/ha/año. *Pinus pseudostrobus* plantado bajo buenas condiciones tuvo una alta tasa de crecimiento (6.64 m³/ha/año), como un caso especial ya que sólo se detectó en un sitio. Después de esta especie, fue *Pinus montezumae* la conífera con mayor potencial de producción de madera (0.56 m³/ha/año), seguida por *Pinus leiophylla* (una sola muestra) *Pinus michoacana*, *Cupressus lindleyi*, *Pinus radiata*, y finalmente, *Pinus leiophylla*. El mejor sustrato fue el suelo, seguido por tepetate rojo, tepetate gris, y finalmente brecha. Para *Pinus montezumae*, la especie con mayor promedio de IMAV, el mejor sustrato fue el tepetate rojo (0.69 m³/ha/año), mientras que para las demás especies, fue el suelo.

Cuadro 2. Incremento medio anual en volumen (IMAV) promedio para coníferas (se incluye el número de muestras tomado entre paréntesis).

Especie	Incremento medio anual en volumen				Promedio especie
	Suelo	Tep. rojo	Tep. gris m ³ /ha/año	Brecha	
<i>Cupressus lindleyi</i>	0.55 (10)	0.46 (17)	0.11 (1)	0.23 (1)	0.47 (29)
<i>Pinus montezumae</i>	0.11 (2)	0.69 (15)	0.32 (3)	0.20 (1)	0.56 (21)
<i>Pinus michoacana</i>	0.50 (2)	0.50 (6)	0.50 (1)	-	0.50 (9)
<i>Pinus radiata</i>	0.57 (1)	0.36 (12)	-	0.46 (1)	0.38 (14)
<i>P. pseudostrobus</i>	6.64 (1)	-	-	-	6.64 (1)
<i>Pinus leiophylla</i>	0.37 (1)	-	-	-	0.37 (1)
<i>Pinus ayacahuite</i>	-	0.49 (1)	-	-	0.49 (1)
Promedio sustrato	0.84 (17)	0.51 (51)	0.31 (5)	0.30 (3)	0.56 (76)

Cuadro 3. Producción maderable de las distintas especies forestales por sustrato (se incluye el número de muestras tomado entre paréntesis).

Especie	Producción maderable				Promedio especie
	Suelo	Tep. rojo	Tep. gris m ³ /1 000 m ²	Brecha	
<i>Eucalyptus sp.</i>	0.69 (7)	0.63 (28)	0.37 (5)	0.13 (1)	0.60 (41)
<i>Casuarina sp.</i>	0.53 (7)	0.26 (16)	0.54 (2)	0.76 (2)	0.37 (26)
<i>Cupressus lindleyi</i>	0.56 (14)	0.47 (27)	0.18 (1)	0.23 (4)	0.47 (46)
<i>Pinus montezumae</i>	0.18 (2)	0.73 (21)	0.47 (3)	0.18 (2)	0.62 (28)
<i>Pinus radiata</i>	0.35 (1)	0.57 (17)	0.02 (2)	0.62 (1)	0.51 (21)
<i>Pinus michoacana</i>	0.57 (2)	0.50 (7)	0.43 (1)	-	0.50 (10)
<i>Pinus pseudostrobus</i>	8.31 (1)	0.09 (1)	-	-	4.20 (2)
<i>Pinus ayacahuite</i>	1.78 (1)	0.52 (2)	-	-	0.94 (3)
<i>Pinus leiophylla</i>	0.16 (2)	0.02 (1)	-	-	0.10 (3)
<i>Pinus patula</i>	-	0.18 (4)	-	0.00 (1)	0.04 (5)
<i>Pinus gregii</i>	-	0.01 (1)	-	-	0.01 (1)
Promedio sustrato	0.77 (37)	0.52 (125)	0.36 (14)	0.28 (10)	0.54 (186)

Existencias Reales Totales

Se hizo un análisis de las existencias reales totales tomando en cuenta las principales especies forestales. En el Cuadro 3, se muestra la producción maderable por sustrato para las diferentes especies forestales. Las mayores existencias reales totales promedio por 1,000 m² fueron para *Pinus pseudostrobus* (4.20 m³), seguido por *P. ayacahuite* (0.94 m³), sin embargo, sólo se registraron 2 y 3 sitios, respectivamente. Las especies que tuvieron un mayor número de sitios muestreados y que tuvieron altos valores promedio son *P. montezumae*, *Eucalyptus sp.*, *P. radiata*, *P. michoacana*, *Cupressus lindleyi*, y *Casuarina equisetifolia*.

El análisis en relación al sustrato mostró que el suelo es el mejor (0.77 m³/ha) sustrato, seguido por tepetate rojo, tepetate gris y brecha (0.28 m³/ha). La única diferencia en comparación a las relaciones sustrato con las variables de producción forestal fue que aquí el tepetate gris fue mejor que la brecha. Por especie, *Casuarina equisetifolia* mostró valores más altos en brecha y tepetate gris, pero el número de muestras fue pequeño (1 y 2 muestras solamente). *Pinus montezumae* mostró mayor producción sobre tepetate y *P. radiata* tuvo mayor producción en brecha (una sola muestra) y tepetate rojo (17 muestras). Las demás especies tuvieron las mayores existencias reales totales cuando se plantaron sobre suelo.

Las mayores existencias reales totales fueron de 100.81 m³ en 10.7 ha muestreadas (107 sitios de 1,000 m²). Tomando este valor como representativo, la producción maderable de la zona reforestada (2,114.82 ha) es de 19,926 m³, de los cuales 13,168 m³ corresponden a coníferas, en contraste del valor que se había estimado utilizando el IMAV, ya que 6.23 m³/ha corresponden a coníferas.

CONCLUSIONES

El incremento medio anual en altura (IMAA) promedio de las coníferas fue de 0.40 m/año. Cuando se utilizó el IMAA como indicador del crecimiento de coníferas, *Pinus pseudostrobus* fue el mejor (0.60 m/año), desafortunadamente sólo se tuvo una muestra. *P. montezumae* fue el siguiente con 0.46 m/año, seguido por *P. michoacana* (0.39 m/año), *Cupressus lindleyi* (0.38 m/año) y *P. radiata* (0.35 m/año).

Si se utilizó el IMAA como indicador de la calidad del sustrato, el suelo fue el mejor sustrato (0.46 m/año), seguido por el tepetate rojo (0.39 m/año), brecha (0.34 m/año) y tepetate gris (0.31 m/año). Con excepción de *P. montezumae*, las coníferas tuvieron valores de IMAA más altos cuando se plantaron en suelo. *P. montezumae* tuvo valores más altos cuando se plantó sobre tepetate rojo.

El incremento medio anual en volumen promedio (IMAV), como indicador de la densidad del arbolado y de volumen maderable, fue de 0.56 m³/ha/año. *Pinus pseudostrobus* tuvo

el promedio más alto (6.64 m³/ha/año) pero sólo se registró en un sitio. Las coníferas que tuvieron valores de IMAV promedio más altos fueron *P. montezumae*, *P. michoacana*, *P. ayacahuite* (una muestra), *Cupressus lindleyi*, v, y *P. leiophylla*, con valores de 0.56, 0.50, 0.49, 0.47, 0.38, y 0.37 m³/ha/año.

Utilizando el IMAV como indicador en la relación especie forestal-sustrato, el mejor sustrato fue el suelo, seguido del tepetate rojo, tepetate gris, y brecha, con valores de 0.84, 0.51, 0.31 y 0.30 m³/ha/año. La única especie forestal que no tuvo su mayor valor de IMAV en suelo fue *Pinus montezumae* (0.69 m³/ha/año).

La producción maderable de los sitios muestreados fue de 9.42 m³/ha, que extrapolado al área reforestada en la zona oriente (2,115 ha) equivale a 19,926 m³, de los cuales 13,168 m³ corresponden a coníferas.

La mayor producción maderable fue obtenida por *Pinus pseudostrobus* con 4.20 m³/ha, seguida por *P. ayacahuite* con 0.94 m³; sin embargo, sólo se tuvieron dos y tres sitios de muestreo. Después de estos dos casos especiales, la mayor producción maderable fue de *P. montezumae*, *Eucalyptus sp.*, *P. radiata*, *P. michoacana*, *Cupressus lindleyi*, y *Casuarina equisetifolia*, con 0.62, 0.59, 0.51, 0.50, 0.47, y 0.37 m³/1,000 m².

El mejor sustrato para la producción de madera fue el suelo, seguido por tepetate rojo, tepetate gris y brecha con rendimientos de 0.77, 0.52, 0.36 y 0.28 m³/1,000 m². La mayor producción de las plantaciones ocurrió en el suelo, excepto para *P. montezumae* (0.73 m³/ha) y *P. radiata* (0.57 m³).

LITERATURA CITADA

ARIAS R., H. M., A. GOMEZ G., S. ADAME M. y M. E. MIRANDA M. 1990. Evaluación del Programa de Reforestación del Proyecto Lago de Texcoco. Contrato GAVM-PT-FE-02-90 INEISACH-Proyecto Lago de Texcoco. Montecillo, México. 94 p.

LLERENA V., F. ALBERTO y R. MARTINEZ E. 1988. Obras de recuperación de suelos y agua al oriente de la Cuenca del Valle de México para la restauración y preservación de la ecología de la zona. In: VI Congreso de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Querétaro, Qro.

PEDRAZA C., E., C. RODRIGUEZ F. y A. M. FIERROS G. 1987. Establecimiento de cinco especies forestales en tres tipos de tepetate de la zona de Tequexquahuac a Coatepec, Estado de México, pp 128-140. *In*: Ruiz F., J. F. (ed). *Uso y Manejo de tepetates para el desarrollo rural*. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

PROYECTO LAGO DE TEXCOCO. 1989. informe de actividades de la Jefatura del Proyecto de Conservación de Suelo y Agua. Comisión Nacional del Agua, SARH. Texcoco, México.

REY C., J. A. 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la cuenca del Río Texcoco en base al factor K. Tesis MC. Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

DESARROLLO DE TRES PLANTACIONES FORESTALES BAJO TRES METODOS DE PREPARACION DEL TEPETATE EN EL AREA EXPERIMENTAL FORESTAL "MATLALOHCAN", TLAXCALA

Growth of Three Forestal Plantations with Three Methods of Tepetate Preparation in the Experimental Area, "Matlalohean", Tlaxcala

Ma. Lucila Gutiérrez Rodríguez, Vidal Guerra de la Cruz y Carlos E. Garzón Ceballos

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Delegación Tlaxcala.

Palabras clave: México, Tlaxcala, Suelos volcánicos endurecidos, Tepetate, Arbol, Manejo de suelos, Adaptación.

Key words: Mexico, Tlaxcala, Indurated volcanic soils, Tepetate, Tree, Soil management, Adaptation.

RESUMEN

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias estableció en 1973 el Area Experimental Forestal (AEF) "Matlalohean", en el Estado de Tlaxcala con el propósito de realizar investigación en la conservación y recuperación de suelos a través de la implementación de diferentes experimentos con diversas especies forestales.

Los tepetates del AEF "Matlalohean" son clasificados como Gris claro, Duripanes (D1). En el presente trabajo se evaluó, en 1989, el desarrollo de tres especies forestales (*Pinus radiata* D. Don., *Fraxinus udhei* (Wenz) Ling. y *Pinus montezumae* Lamb) bajo tres métodos de preparación del tepetate: terraceo, subsoleo y cepa; a los 10 años de establecidas. Los objetivos fueron: 1) Determinar el mejor método de preparación del tepetate para cada especie forestal, 2) Evaluar el desarrollo de las tres

especies y 3) Conocer el incremento de materia orgánica y nitrógeno total por especie forestal bajo cada método de preparación del tepetate.

Las variables evaluadas fueron: altura total, cobertura de la copa, diámetro del fuste, sobrevivencia e incrementos de materia orgánica y nitrógeno total en un período de cinco años (1982-1987).

Los resultados indican que para *P. radiata* el mejor método de preparación del tepetate fue el terraceo, para *P. montezumae* la cepa y para *F. udhei* fue indistinto. *P. radiata* tuvo mejores desarrollos en terraceo y subsoleo y *P. montezumae* en cepa. *F. udhei* mostró desarrollos bajos. En cuanto a los incrementos de materia orgánica *P. radiata* presentó los mayores en cepa; *F. udhei* en cepa y subsoleo. Para *P. montezumae* no hubo diferencias significativas. Con respecto a los incrementos en nitrógeno total no hubo diferencias estadísticas.

SUMMARY

The National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock established the "Matlalohean" Experimental Forest Area (MEFA) in 1973 in the state of Tlaxcala with the purpose of developing

research in the field of soil conservation and recuperation through different experiments with several forest species.

The hardened volcanic soils (tepetates) of MEFA are classified as clear gray Duripans (D1). In this work, the development of three species (*Pinus radiata* D. Don, *Fraxinus udhei* (Wenz) Ling, and *Pinus montezumae* Lamb) was evaluated during 1989 under three methods of soil preparation: terracing, subsoiling and stump, at 10 years of establishment. The objectives were: 1) to determine the best method of soil preparation for each species, 2) to evaluate the development of the species, and 3) determine the organic matter and total nitrogen for each species.

The variables evaluated were: total height, canopy cover, stem diameter, survivorship, and organic matter and total nitrogen increase during a 5 year period (1982-1987).

The results indicate that the best method for *P. radiata* was terracing; for *P. montezumae* was stumping; and for *F. udhei* it was indistinct. *P. radiata* had the best development in terracing and subsoiling, *P. montezumae* in stumping. *F. udhei* showed low development. With respect to organic matter and total nitrogen increases, *P. radiata* had the highest; *F. udhei* in stumping and subsoiling and for *P. montezumae* there were no significant differences. Concerning total nitrogen increase there were no statistic differences.

INTRODUCCION

La erosión del suelo es la manifestación más evidente del uso irracional del suelo propiciado, frecuentemente, por la necesidad apremiante de explotar la reducida productividad de una tierra ya agotada por las generaciones precedentes, por el uso del monocultivo, talas, quemas inmoderadas y técnicas inapropiadas de cultivo en terrenos con fuertes pendientes (Ruiz, 1987). Tal es el caso del Estado de Tlaxcala que tiene una superficie de 391,400 ha, de las cuales 296,149 ha (80%) están afectadas por la erosión

moderada, severa y muy severa, de acuerdo al inventario de áreas erosionadas realizado por la extinta Dirección General de Conservación de Suelo y Agua-SARH (1982).

La destrucción de la cubierta de sedimentos de tobas volcánicas por erosión, típica en muchas regiones del centro de nuestro país, conduce al afloramiento de los tepetates, los que por sus características llegan a ser inadecuados en forma permanente para uso agropecuario y forestal (Ruiz, 1987). Werner *et al.* (1978), mencionan la existencia de cuatro tipos de tepetate en la entidad: Gris claro, Duripanes (D1); Café amarillento (D2), Café claro (D3) y Gris (D4) reportando una pérdida de suelo de 20 ton/ha para el tepetate Gris claro y 17 para el Café amarillento en la temporada de lluvias de 1975 (Werner, citado por Ruiz *et al.*, 1987).

La distribución del tepetate Gris claro (D1) en el Estado, se da en las áreas del Bloque Tlaxcala con vastas regiones de relieve ondulado, superficies muy pequeñas aparecen en los cerros Xochitécatl y Zompitécatl en el casco tectónico lateral del Bloque (Werner *et al.*, 1978).

Por otro lado, aproximadamente un 80% de las precipitaciones que caen sobre duripanes desaguan por la superficie (Wegener citado por Werner, 1986). Este mismo porcentaje de las precipitaciones ocurridas provoca erosión siendo particularmente importantes las que se presentan al inicio y en la segunda mitad del período de lluvias por su alto poder erosivo y por coincidir con el poco desarrollo de las plantas cultivadas, lo que se traduce en poca protección al suelo (Werner citado por Ruiz *et al.*, 1987).

La recuperación de ecosistemas en desequilibrio es una de los principales objetivos de las plantaciones forestales (Bonilla y Carrillo, 1985). Por lo que para evitar el avance de la erosión del suelo se deben reforestar las superficies de tepetates (Werner *et al.*, 1978). Sin embargo, frecuentemente, cuando se hace este tipo de trabajos, los fracasos no se hacen esperar si se descuidan varios aspectos interrelacionados, entre los que se destacan: preparación del terreno,

características biológicas de las especies seleccionadas, los factores del medio, fecha de plantación desfasada, inadecuado manejo de la planta desde el vivero hasta el momento de plantar (Pimentel, 1978,1987; Patiño y Vela, 1981) y falta de manejo a las plantaciones.

Dado que el establecimiento de cubiertas vegetales es una práctica ampliamente utilizada en el mejoramiento de la capacidad productiva de un terreno, en la disminución de la erosión y en la conservación del suelo, el presente trabajo pretende mostrar la relación que existe entre el desarrollo de tres especies forestales *Pinus radiata* D. Don., *Fraxinus udhei* (Wenz) Ling y *Pinus montezumae* Lamb con tres métodos de preparación del tepetate y su efecto en el mejoramiento del suelo.

OBJETIVOS

1. Determinar el mejor método de preparación al tepetate para cada especie forestal.
2. Evaluar el desarrollo de tres especies forestales establecidas en tepetate Gris claro (D1).
3. Conocer el efecto de las especies forestales en el incremento de materia orgánica y nitrógeno total.

MATERIALES Y METODOS

El Area Experimental Forestal "Matlalohcan", CIFAP-Tlaxcala, INIFAP, se localiza en el kilómetro 6.5 de la carretera Apizaco-Tlaxco, en el Estado de Tlaxcala, a los 19°26' de latitud norte y 98°08' de longitud oeste, con exposición SE y una altitud de 2,525 m. El tipo de clima es templado subhúmedo C (w'2) (W) big, con lluvias en verano cuya precipitación promedio anual es de 859.3 mm y el porcentaje de lluvia invernal es menor de 5% de la anual. La temperatura media del mes más frío es de 11.0°C, correspondiendo al mes de enero y la temperatura media del mes

más caliente es de 15.9°C en mayo y junio, teniendo una oscilación isothermal menor de 5°C (Est. Met. Apizaco, 1989).

De acuerdo con Werner (1980, 1986), los suelos del Area Experimental son derivados de cenizas volcánicas, pero debido al manejo agrícola a que estuvieron sujetos, se encuentran completamente erosionados, presentando las características de los suelos llamados tepetate Gris claro, Duripanes (D1).

La vegetación se limita a pocas especies que se encuentran sobre relictos de suelo, siendo las principales *Juniperus deppeana* Steud, *Agave sp.*, *Opuntia sp.* y *Baccharis conferta* H.B.K.

El inicio de los trabajos en el área data de julio de 1973 y su objetivo principal es el de realizar investigación en la conservación y recuperación de suelo a través del establecimiento de diferentes experimentos con diversas especies forestales. Hasta la fecha se han ensayado tres especies arbustivas, 22 especies de pináceas y cuatro latifoliadas. La dirección técnica (1973-1980) estuvo a cargo de E. Villavicencio Ruiz.

Para este trabajo, las características de las plantaciones evaluadas aparecen en el Cuadro 1.

Los datos se analizaron estadísticamente con un diseño completamente al azar desbalanceado, considerando como tratamiento la preparación del tepetate. Posteriormente se realizó una prueba de Tukey para la comparación de medias. De la misma manera se realizó la comparación entre especies.

En cuanto al suelo, se tomó como referencia el muestreo realizado en 1982, en el cual se analizó el porcentaje de materia orgánica (0.12%) y de nitrógeno total (0.03%), en ambos casos se tomó el valor promedio de los análisis. En el segundo análisis de suelo en 1987, se hicieron las mismas determinaciones, pero las muestras se tomaron para cada especie forestal. Los datos se analizaron estadísticamente con un diseño completamente al azar desbalanceado, seguido de una prueba de Tukey para la comparación de medias.

Cuadro 1. Características de las plantaciones evaluadas.

Preparación del talpetate	Superficie (m ²)	Especies evaluadas	Nº de individuos presentes y evaluados
Terrazas de banco a nivel de 7 m de ancho, con subsoleo de 30-50 cm	9 344	<i>Pinus radiata</i>	1 731
		<i>Fraxinus udhei</i>	1 112
		<i>Pinus montezumae</i>	139
		Subtotal	2 982
Subsoleo de 30-50 cm	2 265	<i>Pinus radiata</i>	327
		<i>Fraxinus udhei</i>	303
		<i>Pinus montezumae</i>	140
		Subtotal	770
Cepa 50x50x50 cm	1 800	<i>Pinus radiata</i>	70
		<i>Fraxinus udhei</i>	231
		<i>Pinus montezumae</i>	350
		Subtotal	651
TOTALES	13 409		4 403

Fecha de establecimiento: junio de 1979.
 Distancia entre plantas: 1.5 m.
 Año de evaluación de las plantaciones: 1989.

Variables evaluadas: Altura total en m
 Cobertura de la copa en m²
 Diámetro a 1.30 m en cm
 Porcentaje de sobrevivencia.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de los datos proporcionó la siguiente información.

Pinus radiata D. Don

Para esta especie hubo diferencias significativas en las variables: altura (4.25 m), cobertura (1.46 m²) y diámetro (5.05 cm), siendo superiores en el terraceo, en comparación con subsoleo y la cepa, en que fueron inferiores e iguales estadísticamente. En la variable sobrevivencia los tres métodos de preparación del tepetate no presentaron diferencias estadísticas (terraceo: 70.91%, subsoleo: 81.51% y cepa: 82.86%) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de tres métodos de preparación del tepetate sobre la altura, cobertura, diámetro y sobrevivencia de *Pinus radiata* D. Don A E F Matlahocan. CIFAP-Tlaxcala. INIFAP. SARH. 1991.

Método de preparación	Altura (cm)	Cobertura (m ²)	Diámetro (cm)	Sobrevivencia (%)
Terraceo	4.25 A*	1.46 A	5.05 A	70.91 A
Subsoleo	2.42 B	0.74 B	2.91 B	81.51 A
Cepa	2.42 B	0.73 B	2.51 B	82.86 A

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

Fraxinus udhei (Wenz) Ling

Para el fresno sólo hubo diferencia en la cobertura, fueron iguales la cepa y el terraceo (0.51 y 0.31 m², respectivamente), también fueron iguales el terraceo y el subsoleo (0.31 y 0.15 m², respectivamente), pero fue superior la cepa (0.51 m²) al subsoleo (0.15 m²). En las variables altura, diámetro y sobrevivencia no hubo diferencias significativas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de tres métodos de preparación del tepetate sobre la altura, cobertura, diámetro y sobrevivencia de *Fraxinus udhei* Wenz) Ling. A E F Matlahocan. CIFAP-Tlaxcala. INIFAP. SARH. 1991.

Método de preparación	Altura (cm)	Cobertura (m ²)	Diámetro (cm)	Sobrevivencia (%)
Terraceo	0.89 A*	0.31 AB	1.38 A	87.55 A
Subsoleo	0.76 A	0.15 B	1.56 A	75.50 A
Cepa	1.07 A	0.51 A	1.23 A	81.75 A

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

Pinus montezumae Lamb

En cuanto a esta especie, hubo diferencias significativas en las cuatro variables. En altura fue superior la cepa (2.52 m), seguida de

terraceo (1.91 m) y después el subsoleo (1.30 m). Para la cobertura fueron iguales la cepa (1.51 m²) y el terraceo (1.50 m²), ambos, superiores al subsoleo (0.52 m²). Respecto al diámetro, la cepa (5.35 cm) superó al terraceo (4.29 cm) y subsoleo (3.87 cm), los que fueron iguales. Para la sobrevivencia hubo diferencias, fue mayor en cepa (85.67%), después en subsoleo (46.00%) y por último en terraceo (28.64%) (Cuadro 4).

Al realizar la comparación entre especies los resultados fueron: en terrazas *P. radiata* sobresalió en altura, cobertura y diámetro (4.25 m, 1.46 m² y 5.05 cm, respectivamente), no así en sobrevivencia (70.91%), siendo en esta variable en la única en que destacó *F. udhei* con 87.55%. *P. montezumae* fue mejor sólo en cobertura (1.5 m²), aunque igual a *P. radiata* en este parámetro (Cuadro 5).

Cuadro 4. Efecto de tres métodos de preparación al tepetate sobre la altura, cobertura, diámetro y sobrevivencia de *Pinus montezumae* Lamb A E F Matlahocan, CIFAP-Tlaxcala. INIFAP. SARH. 1991.

Método de preparación	Altura cm	Cobertura m ²	Diámetro cm	Sobrevivencia %
Terraceo	1.91 B*	1.50 A	4.29 B	28.64 C
Subsoleo	1.30 C	0.52 B	3.87 B	46.00 B
Cepa	2.52 A	1.51 A	5.85 A	85.67 A

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

Cuadro 5. Altura, cobertura, diámetro y sobrevivencia de tres especies forestales en terrazas de tepetate. A E F Matlahocan, CIFAP-Tlaxcala. INIFAP. SARH. 1991.

Especie	Altura cm	Cobertura m ²	Diámetro cm	Sobrevivencia %
<i>Pinus radiata</i>	4.25 A*	1.46 A	5.05 A	70.91 A
<i>Fraxinus udhei</i>	0.89 C	0.31 B	1.38 C	87.55 A
<i>Pinus montezumae</i>	1.91 B	1.50 A	4.29 B	28.64 C

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

Para la preparación del tepetate por subsoleo *P. radiata* superó a las otras especies en altura, cobertura y sobrevivencia con 2.42 m, 0.73 m² y 81.51%, respectivamente, seguida de *P. montezumae* y *F. udhei*. *P. montezumae* sobresalió sólo en diámetro con 3.87 cm pero fue altamente superada en sobrevivencia (Cuadro 6).

En cuanto a cepa, *P. montezumae* fue superior en cobertura y diámetro con 1.55 m² y 5.35 cm, respectivamente, en altura (2.52 m) fue igual a *P. radiata* (2.42 m). Para la sobrevivencia no hubo diferencia entre las especies (Cuadro 7).

Musalem et al. (1975), citados por Bonilla y Carrillo (1985) y Pedraza et al. (1987) evaluaron la influencia de la preparación del suelo en la sobrevivencia y crecimiento inicial de *P. radiata* a raíz desnuda bajo cuatro métodos de preparación al suelo: subsoleado, subsoleado y un paso de rastra, cepa común (40x40x40 cm) y palada,

Cuadro 6. Altura, cobertura, diámetro y sobrevivencia de tres especies forestales en tepetates subsoleados. A E F Matlahocan, CIFAP-Tlaxcala. INIFAP. SARH. 1991.

Especie	Altura cm	Cobertura m ²	Diámetro cm	Sobrevivencia %
<i>Pinus radiata</i>	2.42 A*	0.73 A	2.91 B	81.51 A
<i>Fraxinus udhei</i>	0.76 C	0.15 B	1.56 C	75.50 A
<i>Pinus montezumae</i>	1.30 B	0.52 A	3.87 A	46.00 C

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

Cuadro 7. Altura, cobertura, diámetro y sobrevivencia de tres especies forestales en cepa en tepetates. A E F Matlahocan, CIFAP-Tlaxcala. INIFAP. SARH. 1991.

Especie	Altura cm	Cobertura m ²	Diámetro cm	Sobrevivencia %
<i>Pinus radiata</i>	2.42 A*	0.73 B	2.51 B	82.86 A
<i>Fraxinus udhei</i>	1.07 B	0.51 B	1.23 C	81.75 A
<i>Pinus montezumae</i>	2.52 A	1.55 A	5.35 A	85.67 A

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

encontrando que a dos años de establecida la plantación no hubo diferencias significativas entre subsoleado, subsoleado y rastra, y cepa común siendo superiores al método de palada para las variables estudiadas. En el presente trabajo tampoco se encontraron diferencias significativas para el subsoleo y cepa en las variables mencionadas a 10 años de su plantación a pesar de que no se plantó a raíz desnuda.

Garzón (1987) evaluó otra plantación en el A E F Matlahocan, compuesta por cuatro especies forestales (*P. radiata*, *F. udhei*, *P. montezumae* y *Cupressus lindleyii*) en terrazas después de once años de plantadas. Si bien encontró que *Cupressus lindleyii* tuvo mejor desarrollo; respecto a las especies restantes se coincide con los resultados de la presente evaluación en que *P. radiata* es la de mayor altura y la de menor, *F. udhei*. En cobertura son similares entre sí *P. radiata* y *P. montezumae*, ambas superiores a *F. udhei*. En cuanto a la sobrevivencia es mejor *F. udhei*, seguida de *P. radiata* y después *P. montezumae*.

A pesar de que *F. udhei* siempre mostró altos porcentajes de sobrevivencia, su poco desarrollo en las otras variables se debe posiblemente a que año con año es fuertemente afectada por heladas.

Respecto al efecto de las especies en el mejoramiento al suelo el análisis estadístico indica que en cuanto a materia orgánica *P. radiata* tuvo mayor incremento en cepa (0.673%), después en subsoleo (0.370%) y terraceo (0.138%), ambos iguales. *F. udhei* mostró los mayores incrementos en subsoleo (0.765%) y cepa (0.613%) con igual significado estadístico, y el menor en terraceo (0.350%). *P. montezumae* no observó diferencias en este parámetro.

Por otro lado, para el incremento de nitrógeno total no hubo diferencias estadísticas, a pesar de haberlas encontrado en materia orgánica, posiblemente esto se deba a que el proceso de descomposición sea sumamente lento, como lo indica Tovar (1987) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Incrementos* de materia orgánica y nitrógeno total en plantaciones de tres especies forestales bajo tres métodos de preparación del tepetate. A E F Matlahocan. CIFAP-Tlaxcala. INIFAP. SARH. 1991.

Especie	Método de preparación	Materia orgánica %	Nitrógeno total %
<i>Pinus radiata</i>	Terraceo	0.138 B**	0.0173 A
	Subsoleo	0.370 B	0.0115 A
	Cepa	0.673 A	0.0246 A
<i>Fraxinus udhei</i>	Terraceo	0.350 B	0.0226 A
	Subsoleo	0.765 A	0.0305 A
	Cepa	0.613 A	0.0305 A
<i>Pinus montezumae</i>	Terraceo	0.396 A	0.0256 A
	Subsoleo	0.435 A	0.0230 A
	Cepa	0.695 A	0.0300 A

* Los incrementos son a partir de 0.12% de materia orgánica y 0.03% de nitrógeno total, en un período de 5 años (1982-1987).

** Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

CONCLUSIONES

1. Para *P. radiata* el mejor método de preparación del tepetate fue el terraceo, mientras que para *P. montezumae* fue la cepa. Para *F. udhei* fue indistinto.

2. De la comparación entre especies se concluye que *P. radiata* superó en desarrollo a *P. montezumae* y *F. udhei* en terrazas y subsoleo, pero en cepa la mejor fue *P. montezumae*.

3. *P. radiata* mostró los mayores incrementos de materia orgánica en cepa, *F. udhei* en cepa y subsoleo. *P. montezumae* no observó diferencias significativas. En cuanto a los incrementos de nitrógeno total no hubo diferencias.

LITERATURA CITADA

- BONILLA, B. R. y F. CARRILLO A.** 1985. Desarrollo histórico, situación actual y perspectivas del establecimiento de plantaciones, pp. 531-557. *In:* Memoria de la III Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. Pub. Esp. N° 48. INIF-SF-SARH, México.
- DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE SUELO Y AGUA.** 1982. Inventario de áreas erosionadas de México. SARH. Fotocopia.
- GARZON, C. C. E.** 1987. Avances de investigación en la introducción de especies forestales sobre tepetates del A E F Matlahochan, Tlax., pp. 35-47. *In:* I Reunión de Investigación Forestal en el Estado de Tlaxcala. Avances y Perspectivas. CIFAP-Tlaxcala, INIFAP, SARH. México.
- PATIÑO, V.F. y L. VELA G.** 1981. Criterios para el establecimiento de plantaciones forestales por área ecológica, pp. 101-144. *In:* Memoria de la II Reunión sobre Plantaciones Forestales. Publicación Especial N° 33. INIF.SFF. SARH. México.
- PEDRAZA, C. E., F. RODRIGUEZ C. y A. M. FIERROS G.** 1987. Establecimiento de cinco especies forestales en tres tipos de tepetate de la zona de Tequesquináhuac a Coatepec, Estado de México, pp. 128-140. *In:* 1er. Simposio Nacional sobre el Uso y Manejo de Tepetates para el Desarrollo Rural. Depto. de Suelos, UACH. Chapingo, México.
- PIMENTEL, B. L.** 1978. Preparación del terreno en plantaciones forestales, pp. 187-193. *In:* Memoria de la I Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. Publicación Especial N° 13. INIF-SARH, México.
- PIMENTEL, B. L.** 1987. Importancia de la roturación del tepetate en plantaciones forestales, pp. 198-211. *In:* 1er. Simposio Nacional sobre el Uso y Manejo de Tepetates para el Desarrollo Rural. Depto. de Suelos, UACH. Chapingo, México.
- RUIZ, F. J. F.** 1987. Prólogo, pp. v-vi. *In:* 1er. Simposio Nacional sobre Uso y Manejo de Tepetates para el Desarrollo Rural. Depto. de Suelos, UACH. Chapingo, México.
- RUIZ, F. J. F. et al.** 1987. Los tepetates de Tlaxcala. Descripción de sitios de observación. Recorrido de campo, pp. 214-221. *In:* 1er. Simposio Nacional sobre el Uso y Manejo de Tepetates para el Desarrollo Rural. Depto. de Suelos, UACH. Chapingo, México.
- TOVAR, T.A.** 1987. Determinación del efecto de aplicación de estiércol bovino semiseco y fresco sobre el rendimiento de cebada en suelos erosionados, pp. 156-171. *In:* 1er. Simposio Nacional sobre Uso y Manejo de Tepetates para el Desarrollo Rural. Depto. de Suelos, UACH. Chapingo, México.
- WERNER, G. et al.** 1978. Los suelos de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores (Comentarios a un mapa de suelos). Suplemento Comunicaciones. Fundación Alemana para la Investigación Científica. Puebla, México. 95 p.
- WERNER, G.** 1986. Los suelos en el Estado de Tlaxcala. Altiplano Central Mexicano. Investigaciones relacionadas con su desarrollo, extensión, erosión y su utilización bajo la influencia de actividades agrícolas en 3,000 años. UAT, Centro de Estudios Municipales del Estado de Tlaxcala, México. 162 p.

CRECIMIENTO DE CINCO ESPECIES FORESTALES Y SU RELACION CON LA RECUPERACION DE SUELOS EN TLAXCALA, MEXICO

Growing of Five Forest Species and its Relationship with Soil Reclamation in Tlaxcala, Mexico

Vidal Guerra de la Cruz ¹ y C. E. Garzón Ceballos ²

¹ CIFAP-Tlaxcala, INIFAP-SARH.

² CIFAP-MEXICO, INIFAP-SARH.

Palabras clave: México, Tlaxcala, Suelos volcánicos endurecidos, Tepetate, Reforestación, Manejo de suelos.

Index words: Mexico, Tlaxcala, Volcanic indurated soils, Tepetate, Reforestation, Soil management.

RESUMEN

En este trabajo se evaluaron cinco parámetros para cinco especies forestales, establecidas en 1979 y 1980 sobre tepetates grises en el Area Experimental Matlalohecan del CIFAP-Tlaxcala. *Casuarina equisetifolia* (Ce) y *Acacia retinoides* (Ar) se plantaron en cepas tipo española de 50x50x50 cm; *Buddleia cordata* (Bc), *Cotoneaster panosa* (Cp) y *Tecoma stans* (Ts) fueron plantadas bajo un diseño experimental completamente al azar, en cepas de 30x30x30 cm. Las especies se establecieron a una densidad inicial de 5,000 individuos/ha. Se registraron incrementos anuales en altura para las especies, así como la sobrevivencia. Se compararon dos mediciones, con diferencia de cinco años, de materia orgánica (MO) y nitrógeno total (Nt) en el suelo para determinar el efecto de las plantaciones sobre el suelo.

Los resultados indican que las especies con mayores incrementos medios anuales (IMA) en

altura fueron Ar (19.2 cm/año), Ce (19.1 cm/año) y Cp (17.1 cm/año). En sobrevivencia fueron mejores Cp (97.3%), Ce (95.7%) y Bc (90.6%). En cuanto a altura total (HT), Ce, Ar y Cp superaron a las otras especies al alcanzar 275, 267 y 167 cm, respectivamente. En estos parámetros Ts siempre presentó los valores más bajos. En la recuperación de suelos Bc fue mejor en la incorporación de MO (0.44%), Nt (0.021%) y hojarasca al suelo (106 gr/planta) en el periodo evaluado; aunque no se encontró diferencia estadística en estos parámetros respecto a las otras especies. Cp y Ts fueron los que presentaron los valores más bajos en estos parámetros del suelo. Para Cp y Bc fue posible obtener las ecuaciones que describen su crecimiento en estas condiciones. En conclusión, todas las especies excepto Ts muestran buena adaptación al lugar y contribuyen casi en la misma medida a recuperar los suelos del área experimental.

SUMMARY

In this paper, five parameters are evaluated for five forestry species planted in 1979 and 1980 on grayish "tepetates" of the Matlalohecan experimental area of CIFAP-Tlaxcala. *Casuarina equisetifolia* (Ce) and *Acacia retinoides* (Ar)

were planted in 50x50x50 cm spanish kind holes; *Buddleya cordata* (Bc), *Cotoneaster panosa* (Cp) and *Tecoma stans* (Ts) were planted with a completely randomized blocks design in 30x30x30 cm holes. All species were distributed with an initial 5,000 plants/ha density. Annual increment in height and survival were measured for all species for about ten years. Two five years separated measurements of organic matter (MO) and total nitrogen (Nt) in soil were compared in order to detect the plantation effect on soil reclamation.

The results show that species with greater annual average increment in height are: Ar (19.2 cm/yr), Ce (19.1 cm/yr) and Cp (17.1 cm/yr). The survival was best for Cp (97.3%), Ce (95.7%) and Bc (90.6%). In total height, Ce, Ar and Cp were higher than the other species with 275, 267 and 167 cm, respectively. In these parameters Ts showed always the lower values. In soil reclamation Bc was the best in litter (leaves) with 160 g/tree; MO (0.44%) and Nt (0.021%) incorporation to soil in the evaluated period. Although the difference between species was not statistically important in MO and Nt, Cp and Ts showed lower values. It was possible to obtain, for Cp and Bc, the equations that describe the growth in height in the conditions of the experimental area. As a conclusion, all species, except Ts, showed good adaptability to the area and contributed almost in the same measure to reclaim the soil of the site.

INTRODUCCION

La erosión de los suelos es uno de los problemas ambientales de efecto persistente más graves que enfrenta el estado de Tlaxcala, ya que disminuye considerablemente la capacidad de producción primaria de la entidad. Los reportes de superficie erosionada indican que más del 90% del territorio estatal presenta algún grado de erosión (Ruiz *et al.*, 1987; Werner, 1988) y para 1981 más de 23,000 ha estaban destruidas irreversiblemente (Werner *op. cit.*). A lo anterior habría que agregar el efecto adverso de las precipitaciones, cuya distribución, intensidad y duración

hacen necesaria la presencia de coberturas vegetales continuas y permanentes que protejan al suelo del poder erosivo de estas precipitaciones y eventualmente contribuyan a disminuir la erosión en estas áreas. En este contexto, todas aquellas acciones que se realicen con fines de restauración de la capacidad productiva de los mismos adquieren gran importancia ecológica y social a través del tiempo.

A este respecto las plantaciones forestales han sido tradicionalmente una de las alternativas más utilizadas (Pedraza *et al.*, 1985, 1987; Saldivar, 1985; Pedraza, 1987). Sin embargo, dadas las implicaciones y costos que tiene su establecimiento, es fundamental que se cuente con los conocimientos precisos sobre las especies utilizadas, sus respuestas a las condiciones y técnicas de plantación, así como a las condiciones climáticas, para garantizar en cierta medida el logro de los objetivos planteados. Particularmente en Tlaxcala, las medidas implementadas para la recuperación de suelos y control de la erosión han sido muchas y muy diversas; sin embargo, los resultados de muchos años no se han evaluado sistemáticamente, para hacer esta información útil y disponible en futuras acciones de restauración de suelos.

Con la idea de subsanar esta situación, se presenta este trabajo con los siguientes objetivos:

- 1- Evaluar el crecimiento anual de cinco plantaciones experimentales establecidas en 1979 y 1980 sobre tepetates grises del área experimental "Matlalohcan" del CIFAP-Tlaxcala.
- 2- Estimar los cambios en los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total en los tepetates por efecto de estas plantaciones en un lapso de cinco años.

MATERIALES Y METODOS

Localización del Area de Estudio

Las plantaciones evaluadas en este trabajo se ubican en el área experimental "Matlalohcan" (AEM) del CIFAP-Tlaxcala. Dicha área se sitúa

en la parte este del km 6.5 de la carretera Apizaco-Tlaxco en las siguientes coordenadas: 19°26'30" latitud norte y 98°07'30" longitud oeste, a una altitud promedio de 2525 msnm.

Por su ubicación en el Bloque Tlaxcala, los suelos del AEM quedan incluidos entre los Cambisoles con Duripanes de la zona Db del mapa edafológico de la región Puebla-Tlaxcala (Werner, 1978). El clima es templado subhúmedo (Cw2) con una temperatura media anual de 13.5°C, con un promedio de precipitación de 819.9 mm al año (Estación meteorológica Apizaco, CNA 1989). Originalmente la vegetación debió ser una asociación de coníferas: *Juniperus deppeana* y *Pinus teocote*, las cuales sólo persisten en los relictos de vegetación. Actualmente la mayor parte del AEM consiste de tepetates que han sido reforestados con diferentes especies forestales.

Características de las Plantaciones

Casuarina equisetifolia y *Acacia retinoides*

Estas especies fueron establecidas en agosto de 1979 sobre tepetates grises con 12% de pendiente. La plantación se hizo en cepas tipo Españolas de 50x50x50 cm (con bordes en media luna para captar escurrimientos) a una densidad inicial de 5,000 árboles/ha. (1.5x1.5 m de distancia entre plantas).

Buddleia cordata, *Cotoneaster panosa** y *Tecoma stans*

Se establecieron en julio de 1980 en tepetate gris con 11% de pendiente; en cepas de 30x30x30 cm con bordes en media luna a una densidad inicial de 5,000 árboles/ha. (1.5x1.5 m de distancia entre plantas). A diferencia de las anteriores, estas especies fueron establecidas bajo un diseño experimental completamente al azar de tres tratamientos (especies) con seis repeticiones, con la finalidad de detectar el efecto de cada especie sobre la recuperación del suelo.

Los trabajos de planeación y ejecución para todas las plantaciones estuvieron a cargo de E. Villavicencio Ruiz, H. Salinas V. y F. Rubio.

Para esta evaluación se consideraron los siguientes parámetros: incrementos anuales en altura, altura total y sobrevivencia de las plantas; en el suelo se determinó el contenido de materia orgánica y nitrógeno total como indicadores de "recuperación" por efecto de estas plantaciones. Para estas determinaciones se tomaron muestras de suelo en los primeros 20 cm de profundidad a pie de árbol en cada caso. La información para las tres últimas especies fue analizada mediante análisis de varianza debido al diseño establecido previamente, en todos los casos se aplicó también un análisis de regresión para buscar la ecuación de crecimiento para cada especie, tomando siempre como variable independiente (x) al tiempo (años para las dos primeras especies y meses para las restantes) y como variable dependiente al crecimiento en altura en el período estudiado.

RESULTADOS Y DISCUSION

Dado que *C. equisetifolia* y *A. retinoides* se establecieron físicamente en lugares, condiciones y fechas ligeramente diferentes a las tres especies restantes, los resultados de cada grupo de especies se manejan y analizan por separado.

Cuadro 1. Valores medios de cada parámetro para las dos especies establecidas en 1979 sobre tepetates del AEM.

Especie	Promedio de 11 años (79-89)		Dif. Incrementada en 2 años		
	ic.altura cm	H.total cm	sobrev. %	inc. m.o. %	inc. Nt %
<i>C. equisetifolia</i>	19.10	275	95.7	0.265	0.017
<i>A. retinoides</i>	19.20	267	88.5	0.262	0.020

* Corresponde a la misma especie reportada por error como *Amelanchier denticulata* (Garzón, 1987, 1988).

Debido a que estas plantaciones se establecieron sin un diseño experimental definido y a las diferencias inherentes a cada especie, en cuanto a sus características biológicas, no se compararon estadísticamente, pero los valores observados en este cuadro indican una similitud considerable entre las dos especies en todos los parámetros. Aunque los incrementos en altura parecen bajos para las dos especies, en el caso de *C. equisetifolia* es bastante aceptable, ya que supera los resultados hallados por Saldivar (1985) en crecimiento y sobrevivencia de esta especie en Coatlinchán, Méx. Si bien este autor sólo midió cuatro años, los incrementos en altura total que reporta y la sobrevivencia alcanzada son menores a los registrados en este mismo lapso de tiempo, con la salvedad de que la altura inicial de las plantas fue mayor en este trabajo (86.0 cm) que en Coatlinchán (30 cm); además de las diferencias en la preparación del terreno (cepas a mano de obra en el AEM y terrazas con subsoleo en Coatlinchán). Lo anterior sugiere la importancia de la altura al momento de la plantación y la forma de preparación de terreno para el buen desarrollo de esta especie bajo estas condiciones. Por otro lado, en la evaluación reportada por Arias *et al.* (1990), esta especie fue una de las que mejor respuesta tuvieron en altura total y otros parámetros evaluados sobre tepetates grises, sin embargo, la edad de las plantaciones fue en promedio mayor que el de este trabajo y no se menciona la altura inicial ni se indica una relación entre la preparación de terreno con el crecimiento en altura, por lo anterior no pueden hacerse comparaciones más consistentes en los parámetros reportados aquí. Sin embargo, cabe destacar el alto porcentaje de sobrevivencia de esta especie después de 10 años de establecimiento, en comparación con los reportados en los trabajos de Saldivar (1985) y Arias *et al.* (1990).

En el caso de *A. retinoides* su incremento promedio anual en altura es comparativamente menor al reportado por Pedraza y Rodríguez (1985) en la cuenca del ex-lago de Texcoco, estos autores encontraron incrementos medios en alturas de 31 cm/año, que es considerablemente

mayor a la que se reporta en este trabajo; sin embargo, la sobrevivencia es ligeramente mayor con respecto a la reportada en el ex-lago de Texcoco (86.6%). Cabe agregar que aunque no indican la altura inicial ni especifican la preparación del terreno, la altura total que señalan sólo es ligeramente superior (286.0 cm) que la alcanzada casi en el mismo lapso en este trabajo. Por su parte Arias *et al.* (1990) registraron para esta especie una altura promedio de 210 cm comparativamente más baja, considerando la edad promedio un poco mayor al de Tlaxcala y un sustrato relativamente mejor (tepetate rojo) que al del AEM. Sin embargo, estos autores indican que sus resultados para *A. retinoides* deben tomarse con reserva por su escasa representatividad en el trabajo.

En cuanto al aporte de materia orgánica y nitrógeno al suelo, a pesar de las características inherentes al follaje de las dos especies, no se observan diferencias considerables en los valores de estos parámetros, si bien puede apreciarse una incorporación de nitrógeno ligeramente mayor de *A. retinoides*, efecto que puede atribuirse a la forma de sus hojas que le permiten tener una más rápida descomposición. No obstante, en este aspecto puede afirmarse que ambas especies tienen respuestas suficientemente adecuadas para considerarse como recomendables para estas condiciones. Para el caso de *A. retinoides* vale la pena destacar su gran producción de semillas y su regeneración natural a partir de yemas radicales, por lo que se considera como una de las especies mejor adaptadas a las condiciones del AEM.

Análisis de Regresión

Con el fin de encontrar una ecuación que describa el crecimiento en altura de cada especie durante el tiempo que llevan establecidas, se probaron diferentes modelos de regresión, tomando como variable dependiente (y) a la altura y como variable independiente (x) a la edad de la plantación, para ver cuál se ajustaba mejor a los datos observados.

Para estas dos especies se encontraron modelos de tipo logístico (Cuadro 2) que considera un crecimiento cada vez más lento por efecto de las limitaciones del medio, como puede preverse en las condiciones del AEM. Estos modelos se adoptan como preliminares a pesar de ser altamente significativos ($\alpha=0.01$) y de tener un coeficiente de determinación alto; debido a que no muestran claramente la etapa inicial de lento crecimiento, característica de una curva logística lo que en este caso puede deberse a que estas especies por su altura inicial se adaptaron rápidamente a las condiciones del lugar pero actualmente ya muestran un crecimiento cada vez más lento (como en la fase final de una curva logística) especialmente *A. retinoides* que si bien puede alcanzar talles mayores a la aquí reportada, en las condiciones del AEM difícilmente podrá hacerlo a diferencia de *C. equisetifolia* de que podría esperarse incrementos más regulares por su hábito de crecimiento.

Como se observa en el Cuadro 2, las ecuaciones que mejor ajustan los datos de crecimiento, fueron lineales, sin embargo, dado el bajo valor de r^2 , se asume que estas ecuaciones sólo describen parcialmente el crecimiento en altura de estas especies, es decir, que se ajustan más bien a una etapa inicial del crecimiento, que está acercándose a un límite, pues en estas condiciones difícilmente podría esperarse una etapa futura de incrementos constantes como lo indican los modelos, al menos para *A. retinoides*. Es probable que *C. equisetifolia* pueda seguir ajustándose al modelo en un futuro, si las condiciones le favorecen, esto es porque esta especie puede alcanzar tallas mayores que *A. retinoides*. Por lo tanto estos modelos deben tomarse como parciales o preliminares, aun cuando el análisis de varianza indica que son altamente significativas ($\alpha=0.01$).

Cuadro 2. Resultados del análisis de regresión para las dos especies establecidas en 1979.

Especie	Ecuación de crecimiento	r^2
<i>C. equisetifolia</i>	$HT = 280/1 + e^{0.847 - 0.49t}$	0.96
<i>A. retinoides</i>	$HT = 270/1 + e^{0.934 - 0.445t}$	0.95

donde HT = altura total (cm)

t = tiempo (años)

Cotoneaster panosa, *Buddleia cordata* y *Tecoma stans*

Antes de evaluar el desarrollo de las tres especies en estas condiciones es necesario resaltar un hecho importante que puede estar determinando los valores observados, que es la forma de crecimiento de cada una, es decir, *C. panosa* es de hábito arbustivo a diferencia de *B. cordata* y *T. stans* que son más bien arbóreas, de talla mediana y pequeña, respectivamente. Este hecho influye en gran medida en sus valores de crecimiento y hace inconsistente una comparación de las tres especies con base en estos parámetros, por lo que en este trabajo se toman sólo como indicadores para definir la relación que tienen con la recuperación de suelos. La sobrevivencia en cambio puede ser un mejor criterio para compararlas hasta cierto punto, dado que existen diferencias iniciales que pudieran afectar también este parámetro como la altura al momento de la plantación, sin embargo este parámetro si fue comparado estadísticamente para las tres especies dada la similitud observada en *C. panosa* y *B. cordata*.

Para *B. cordata* el crecimiento anual en altura y la altura total se consideran bajos si se toma en cuenta que es una especie bien adaptada a estas condiciones por ser nativa y de procedencia local, es muy común en el AEM y los alrededores donde puede establecerse aún en grietas o fisuras pequeñas, por lo anterior la posible explicación de su baja respuesta es su altura al momento de la plantación que no le favoreció en la etapa inicial de establecimiento.

Cuadro 3. Valores medios de parámetros vegetales para las especies establecidas en 1980.

Especie	Incremento ¹ en altura cm/año	Altura total cm	Sobrevivencia %
<i>B. cordata</i>	12.65	104.8 b	90.6 a
<i>C. panosa</i>	17.81	167.4 a	97.3 a
<i>T. stans</i>	9.40	58.5 c	26.4 b

¹ Promedio de 9 años (1980-1988)

C. panosa en cambio parece tener una adaptación en las condiciones en que se estableció a pesar de no ser nativa y siendo un arbusto tiene mayores incrementos en altura y alcanzó más altura total que las especies consideradas arbóreas aunque puede decirse que está alcanzando un estado en la que sus incrementos son cada vez menores, situación que no puede afirmarse para *B. cordata*. El caso de *T. stans* es claro, su desarrollo tan irregular y sus bajos valores de crecimiento indican que no se adaptó bien a estas condiciones debido tal vez a su poca altura inicial aunado a su alta susceptibilidad a las heladas frecuentes en esta región.

Lo anterior indica que probablemente la altura inicial influyó en gran medida sobre la respuesta de estas tres especies, ya que el mayor crecimiento de *C. panosa* (que fue la más alta al momento de plantarse) se mantiene después de 11 años de haberse realizado la plantación, si bien, hasta esta evaluación *T. stans* se mantiene rezagada incluso de *B. cordata* a pesar de que sus alturas iniciales fueron similares.

En cuanto a sobrevivencia, nuevamente es evidente la mejor respuesta de *C. panosa* y *B. cordata*, cuyos valores son estadísticamente superiores ($\alpha=0.05$) a *T. stans* que prácticamente desde el segundo año de plantación empezó a mostrar valores de sobrevivencia descendentes, lo cual refleja su escasa adaptación en estas condiciones como ya se mencionó anteriormente.

Para *C. panosa* y *B. cordata*, el análisis de regresión permitió ajustar dos ecuaciones de tipo semilogarítmico (Cuadro 4) para el crecimiento en estas condiciones.

Cuadro 4. Resultados del análisis de regresión para las especies establecidas en 1980.

Especie	Ecuación de crecimiento	Coefficiente de det. (r^2)
<i>B. cordata</i>	HT = - 70.2 + 37.8 ln X	0.97 **
<i>C. panosa</i>	HT = -104.1 + 58.5 ln X	0.95 **
<i>T. stans</i>	NS	

donde HT = altura total (cm),
X = tiempo (meses).

Dado el alto valor de r^2 y alta significancia ($\alpha=0.01$) de estos modelos, es posible afirmar que estas dos especies se están acercando a una etapa de crecimiento más lento, es decir, sus incrementos en altura serán regulares pero cada vez menores. Para *C. panosa* esto es entendible dado su talla arbustiva, mientras que *B. cordata* con su capacidad de alcanzar tallas mayores, bajo estas condiciones difícilmente lo hará en un futuro cercano, a menos que ocurran cambios sustanciales en la plantación como la aplicación de algunas prácticas de cultivo.

En cuanto a la recuperación de suelos, es precisamente *B. cordata* la que muestra mejor respuesta por los valores observados en este cuadro, si bien nuevamente el análisis de varianza no indica diferencia significativa en la incorporación de materia orgánica y nitrógeno total, para las tres especies, es notable el mayor aporte de estos parámetros en *B. cordata*, lo cual puede estar en función de su mayor producción de hojarasca/planta, parámetro donde sí se encontró diferencia significativa ($\alpha=0.05$) y que tiene una importancia adicional por los fines de estas plantaciones, por su función protectora y eventualmente recuperadora de suelos.

Finalmente, en todos los casos se considera que los valores encontrados de materia orgánica y nitrógeno total, no son altos y a juzgar por la falta de significancia estadística entre especies en estos parámetros, no puede hablarse de una relación claramente definida de la recuperación con las especies evaluadas, sino más bien con la cobertura vegetal en general. Habría que considerar, sin embargo, el periodo tan corto (5 años) de evaluación de estos parámetros.

Cuadro 5. Valores medios de los parámetros de recuperación de suelos para las especies establecidas en 1980.

Especie	Incorporación ¹ MO %	Incorporación ¹ Nitrógeno %	Hojarasca ² por planta gr
<i>B. cordata</i>	0.44	0.021	106.6 a
<i>C. panosa</i>	0.17	0.013	47.3 b
<i>T. stans</i>	0.22	0.011	18.5 c

¹ Diferencias incrementadas de 1982 a 1987.

² Medición de 1987.

CONCLUSIONES

Del análisis realizado para las cinco especies forestales en este trabajo es posible concluir que:

1. Las especies que presentan los mejores incrementos promedio anuales en altura son: *C. equisetifolia* (19.10 cm/año), *A. retinoides* (19.20 cm/año) y *C. panosa* (17.10 cm/año).

2. En sobrevivencia las mejores respuestas fueron de *C. panosa* (97.3%), *C. equisetifolia* (95.7%) y *B. cordata* (90.6%).

3. En altura total, *C. equisetifolia* fue la más alta (275 cm) de las especies arbóreas, seguida por *A. retinoides* (267 cm). *C. panosa* con su hábito arbustivo, presentó una altura (167 cm) comparativamente buena.

4. En los tres parámetros anteriores, *T. stans* fue la que mostró los valores más bajos, lo cual es

indicativo de su escasa adaptabilidad en estas condiciones.

5. En los parámetros considerados como indicadores de recuperación de suelos, los valores más altos fueron invariablemente para *B. cordata*, que presentó la mayor incorporación de hojarasca (106 g/planta), materia orgánica (0.44 %) y nitrógeno total (0.021 %) al suelo, en el periodo evaluado.

6. Las especies que registraron los valores más bajos en estos parámetros fueron *C. panosa* y *T. stans*, ubicándose a *C. equisetifolia* y *A. retinoides* en puntos intermedios.

7. El crecimiento en altura, bajo las condiciones del AEM, para *B. cordata* y *C. panosa* puede describirse, con un alto nivel de confiabilidad, por las siguientes ecuaciones:

$$C. panosa HT = -104.1 + 58.5 \ln X$$

$$B. cordata HT = -70.2 + 37.8 \ln X$$

LITERATURA CITADA

ARIAS R., H. M., A. GOMEZ G., S. ADAME M. y M. E. MIRANDA M. 1990. Evaluación del Programa de Reforestación del Proyecto Lago de Texcoco. Contrato GAVM-PT-FE-02-90 INEISACH-Proyecto Lago de Texcoco. Montecillo, México. 94 p.

GARZON, C. C. 1987. Avances de investigación en la introducción de especies forestales sobre Tepetates del Area Experimental Forestal Matlalohcan, Tlax. In: Memoria I Reunion de investigación forestal en el estado de Tlaxcala. CIFAP-Tlaxcala, SARH.

GARZON, C.C. 1988. Establecimiento y desarrollo de 3 especies forestales en tepetates del AEF Matlalohcan, Tlax. In: 1ra. Reunión Científica Forestal y Agropecuaria del CIFAP-Tlaxcala. Ixtacuixtla, Tlax., Méx.

PEDRAZA, C. E. y RODRIGUEZ F. C. 1985. Evaluación de plantaciones para protección y recuperación de suelos en la cuenca oriental del ex-lago de Texcoco. In: Mem. III Reunión nacional sobre plantaciones forestales. Publ. esp. N° 48. INIF- SARH. Méx.

PEDRAZA, C. E., C. RODRIGUEZ F. y A. FIERROS, G. 1987. Establecimiento de 5 especies forestales en 3 tipos de Tepetates de la zona de Tequesquináhuac a Coatepec, Edo. de México, pp. 128-140. In: Memorias, Congreso sobre uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH. Chapingo, México.

PEDRAZA, C.L. 1987. Síntesis del proceso de establecimiento y construcción de los trabajos de Conservación de suelos, agua y reforestación en áreas erosionadas de la cuenca oriental del ex-lago de Texcoco. In: Memoria del Congreso sobre uso y manejo de los Tepetates para el desarrollo rural. UACH, Chapingo, Méx.

RUIZ, F. J., S. C. ORTIZ, C. L. TORRES y A. A. MACHUCA. 1987. Tepetates de Tlaxcala. In: Memoria del Congreso sobre uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, Chapingo, México.

SALDIVAR, C. J. 1985. Ensayo de fertilización en plantaciones de cinco especies forestales efectuado en las proximidades de Coatlinchán, Méx. In: Publ. esp. N° 48. INIF- SARH. D.F., México.

WERNER, G. 1978. Los suelos y las sociedades de suelos de Puebla-Tlaxcala. Segundo Simposio de la Fundación Alemana para la investigación científica. Comunicaciones. Tomo 15.

WERNER, G. 1988. Los suelos en el estado de Tlaxcala. Altiplano Central Mexicano. Gob. del Estado de Tlaxcala, UAT, 2a. Ed. Tlaxcala, México.

ANALISIS AGRONOMICO COMPARATIVO EN TEPETATES

Comparative Agronomical Analysis in Tepetates

Hermilio Navarro Garza ¹ y Claude Zebrowski ²

¹ Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

² ORSTOM, México.

Palabras clave: Tepetate, Evaluación de la producción, Aptitud productiva, Seguimiento de parcelas, Manejo de sistemas de cultivo, Análisis de componentes del rendimiento.

Key words: Tepetate, Production evaluation, Productive capacity, Parcel supervision, Management of agricultural systems, Analysis of yield components.

RESUMEN

La finalidad de este proyecto en tepetates se orientó hacia el conocimiento de su productividad, de su variabilidad, de la evolución de las aptitudes de producción del mismo y, en general, a la identificación de las causas y mecanismos posibles para la explicación de los rendimientos.

El método consistió en el seguimiento de parcelas de agricultores, privilegiando el tepetate café (t3) por ser el más importante en superficie y en consecuencia, se ponderó la valorización social del manejo de los mismos.

Al interior de cada una de estas parcelas se establecieron cuatro áreas de muestreo, en las cuales se hicieron las observaciones de sitio y la estimación del rendimiento.

Los resultados muestran que algunas limitantes físico-químicas de los tepetates se modifican en función de su utilización agrícola, es decir, que su manejo agrícola posibilita el desarrollo de una mayor aptitud de producción. Finalmente, es notorio que la variación de los rendimientos en tepetates recuperados para la producción agrícola, así como en suelos no endurecidos, depende en forma sustantiva del manejo realizado durante el ciclo productivo.

SUMMARY

The purpose of this project on the tepetate is the knowledge of its productivity, its variability, the evolution of its production capacities, as well as the identification of the causes and the possible mechanisms for the explanation of its yields.

The method used consisted in following through farmers parcels, granting a privilege to the brown tepetate (t3) due to its great extension. Four sample areas were defined into each parcel, and site observations were achieved, including yield estimate.

The results of this study show that some of the physicochemical restrictions of the tepetates are modified according to its agricultural utilization. In other words, its agricultural management allows the development of a better capacity of production.

Finally, it is obvious that the yields variation in recovered tepetates for the agricultural production, as well as in non-indurated soils, depends mainly on the management during the productive cycle.

EL TEPETATE COMO RECURSO Y PROBLEMATICA AGRONOMICA

Los tepetates ocupan actualmente una superficie importante en varios países de América Latina. En el eje neovolcánico de México cubren una superficie superior a 3 millones de hectáreas.

Estos materiales tepetatosos son diversos en su naturaleza física y química. Se encuentran localizados principalmente entre 1,800 y 2,900 msnm, en climas de tipo subhúmedos y semiáridos, caracterizados por una estación invernal seca, bien definida (Dubroeuq *et al.*, 1989).

El tepetate es una capa dura subyacente en el suelo, que se presenta expuesta en la superficie por remoción y pérdida del mismo, esto en muchos casos debido principalmente a su manejo irracional. En el mundo rural y agronómico es conocida la limitada aptitud de producción del tepetate.

Cabe señalar que numerosas de estas áreas tepetatosas erosionadas, están ubicadas en laderas que han sido incorporadas a la producción agrícola en forma sustantiva en época reciente, esto debido a la fuerte presión demográfica que caracteriza dicho eje neovolcánico.

Sin embargo, esas tierras erosionadas manifiestan ciertas propiedades restrictivas para la producción agrícola. Según Etchevers *et al.* (1991) tienen limitantes fuertes para la producción

debido a que los contenidos de nitrógeno total son extraordinariamente bajos y el fósforo extractable (Olsen) es prácticamente inexistente en todos los tipos de tepetate de referencia. Asimismo Cajuste y Cruz (1987) han señalado su difícil manejo por su gran dureza, debido a un alto grado de cementación y a su impermeabilidad.

Según García (1961), citado por Delgadillo *et al.* (1989), esas formaciones tepetatosas son pobres en nitrógeno, materia orgánica y fósforo. En consecuencia, es fácil anticipar la existencia de limitantes físicas, químicas y biológicas que inciden en la dificultad de su manejo, así como en la producción y en la eficiencia de esta última.

A pesar de su naturaleza marginal desde el punto de vista de su productividad, los tepetates han sido y siguen siendo reincorporados a la producción agrícola. Así, según González (1991), antes del siglo XVI se desarrollaron técnicas para el control de la erosión, entre ellas los cultivos en laderas mediante terrazas y la realización de canales, los cuales eran útiles para el desalojo del agua o su retención, según el caso.

A la fecha se discute la rentabilidad de la recuperación de los tepetates. Un primer paso para evaluarla es la cuantificación de la producción y la determinación de los factores limitantes en tepetates ya reincorporados. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es realizar el análisis agronómico en el marco de las condiciones de manejo de los productores y discutir las posibles alternativas tecnológicas.

METODOLOGIA

Los elementos señalados nos llevan a reflexionar y evaluar el estado actual de los conocimientos agronómicos adquiridos en relación con el tepetate, a precisar el rol de los componentes de la fertilidad y en última instancia, a proponer modelos funcionales que permitan mejorar las formas de razonamiento para su conocimiento y mejor manejo.

Considerando que la producción para un cultivo o una asociación de cultivos es el resultado de la interacción entre el medio, los procesos técnicos y la población o comunidad vegetal, fue necesario caracterizar los principales factores de producción que actúan como limitantes, evaluar la producción de los cultivos principales y registrar las técnicas utilizadas, a través de un seguimiento agronómico durante el ciclo de desarrollo de los cultivos.

Dicho seguimiento se realizó en parcelas de agricultores, el cual además de permitirnos una evaluación de los rendimientos globales, nos facilitó la explicación de la variación de los mismos en función de sus componentes.

Estos parámetros son definidos en diferentes etapas del desarrollo de los cultivos y, por lo tanto, pueden ser utilizados como lectores de condiciones y estados de estrés, que se manifiestan durante su período de desarrollo y crecimiento al interior del ciclo de cultivo, de acuerdo con Fleury *et al.* (1985).

En la Figura 1 se presentan, a manera de ejemplo, los principales componentes del rendimiento para el cultivo del maíz, durante el periodo de siembra hasta la cosecha.

-> su evolución
 N° Plantas/m²
 N° Hileras
 N° Granos/hilera
 N° Mazorcas
 N° Granos/m²
 Periodo llenado de granos
 N° Granos x Peso granos
RENDIMIENTO

siembra ⇒ floración ⇒ cosecha

Figura 1. Análisis de componentes del rendimiento en maíz y su periodo de definición.

El interés de este esquema radica en el estudio de la definición de los diferentes componentes del rendimiento, de su importancia relativa en la composición del mismo y la posible explicación de su variación en relación con la presencia y/o

ausencia de factores limitantes durante el momento de su definición, así como de ciertos estados estructurales y con el tipo y calidad de manejo.

El seguimiento agronómico del cultivo y la evaluación de los rendimientos en maíz se realizaron mediante el establecimiento de cuatro áreas de muestreo al interior de cada uno de los sistemas de cultivo que fueron seleccionados.

En cada una de las áreas se delimitó una superficie de 8 m², es decir, dos surcos de 5 m cada uno, en los cuales se estimaron las variables de sitio, entre estas variables se privilegiaron durante el ciclo: el seguimiento hídrico, la evolución del número de plantas, el análisis foliar durante la floración femenina y la presencia de maleza.

En lo que se refiere al rendimiento de grano, en cada área muestreada se pesaron en verde las mazorcas, de las cuales se llevó una muestra a laboratorio para la estimación de los componentes. Esta técnica nos permite anticipar un cierto grado de confiabilidad de los mismos, para estratificar las aptitudes de producción en relación con el medio y el manejo.

ZONA DE ESTUDIO, SELECCION DE SITIOS Y CULTIVOS

El seguimiento agronómico de parcelas de agricultores se realizó en 1989 en una comunidad del este del valle de México y, con cierto interés de estratificación espacial, se seleccionaron dos comunidades en el estado de Tlaxcala, durante 1990 y 1991.

En estas zonas los cultivos más representativos son: el maíz y los cereales de grano pequeño como trigo y cebada. Para la evaluación agronómica fueron seleccionados el trigo y el maíz.

Dichas zonas tienen características similares de tipo ambiental, así:

- entre 2,400 y 2,600 msnm, la estación de crecimiento sin riesgo de heladas es de tan sólo 180 a 210 días;

- el riesgo de las primeras heladas con probabilidad de ocurrencia significativa hacia fines de septiembre-principios de octubre, es en orden decreciente para maíz, trigo y cebada;

- una existencia predominante del tepetate café (t3) que ocupa superficies mayores en relación al gris (t2).

Las parcelas fueron seleccionadas en tepetate café y gris, no obstante, se privilegiaron aquéllas en tepetate café. Con el propósito de comparar la producción de esos tepetates con la del suelo no endurecido fueron seleccionadas algunas parcelas con este último.

Además se tomó en cuenta como criterio de selección de las parcelas el tiempo de uso agrícola de los tepetates, es decir, su "edad" de reincorporación.

Los seguimientos agronómicos de parcelas de agricultores han sido realizados de 1989 a 1991, pero en este trabajo serán valorizados principalmente los resultados de 1989 y 1990, en particular las parcelas del estado de Tlaxcala durante este último año.

Para estas parcelas en el Cuadro 1 se anota el tipo de sustrato, el tiempo de uso agrícola, algunas características químicas y el rendimiento de grano (t/ha). El cultivo de maíz (M) se realizó en el conjunto de parcelas comprendidas entre la clave 15 y C, en el resto se cultivó trigo (T).

Cuadro 1. Características y rendimientos de sistemas de cultivo en tepetate y suelo.

Clave	Tipo	Edad años	pH	N	M.O. %	P ppm	K me	Cul-tivo	Rdto. t/ha
15	t3	1	6.9	0.07	0.87	5	0.84	M	0.7
14	t3	3	6.9	0.06	1.27	3.7	0.77	M	2.3
16	t3	3	6.4	0.10	2.40	7.5	0.90	M	2.5
10	t3	5	6.6	0.14	2.88	6.5	1.95	M	3.1
11	t3	5	6.6	0.09	1.47	19.2	1.84	M	2.5
A	Suelo	-	6.6	0.14	3.02	37.5	1.47	M	2.3
B	Suelo	-	6.2	0.10	2.01	15.5	0.43	M	3.3
C	Suelo	-	6.9	0.08	1.47	6.0	0.41	M	1.9
13	t3	1	7.3	0.05	0.91	3.7	1.25	T	1.5
12	t3	3	7.8	0.05	0.87	4.0	1.72	T	1.5
20	t2	3	7.2	0.05	1.00	3.7	1.56	T	1.4
D	Suelo	-	6.1	0.18	3.75	9.7	0.33	T	2.3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Roturación y Manejo Rotacional

Un aspecto revelador del manejo del tepetate se presenta en su proceso de reincorporación al uso agrícola, a partir de su roturación. En este proceso la calidad física de la roturación puede jugar posteriormente un papel importante en la explicación de los rendimientos, durante los primeros años de su utilización agrícola.

Al interior de este proceso tecno-económico, se da un proceso de manejo que se inicia con la decisión del patrón rotacional a seguir para la reincorporación productiva de este recurso. Con base en la encuesta de 1990-91 en Tlaxcala, los agricultores privilegian como cultivo inicial a los cereales de grano pequeño, o sea, el trigo en 60% de las parcelas y cebada en 20% de las mismas; en el resto se cultiva el maíz en asociación con frijol.

Para el segundo año el trigo y el maíz representan cada uno 35% de la superficie, el 30% restante se divide en igual proporción entre maíz-frijol y maíz-haba. Finalmente, durante el tercer año el maíz-frijol es dominante con 45%, le sigue maíz con el mismo 35% y el trigo representa el 20%. En la comunidad del valle de México para el primer año el maíz es aparentemente el cultivo más frecuente.

La fertilización se hace básicamente con nitrógeno y fósforo, sin potasio. En los diferentes tepetates el nivel de nitrógeno aplicado es similar en términos generales, pero hay diferencias entre ellos en relación a la aplicación de fósforo. Para los suelos no endurecidos la cantidad de nitrógeno es superior a la que se aplica al tepetate y el aporte de fósforo es similar.

Caracterización Agronómica: Rendimientos y Factores de Producción

El seguimiento de parcelas en 1989 se limitó al cultivo del maíz, para tres clases de sustrato:

tepetate t3 con edades de 9 a 18 años y promedio de 14 años de recuperación al uso agrícola; tepetate t2 con edades de 9 a 16 años y un promedio de 13 años en uso y suelo no endurecido.

Los mejores rendimientos se obtuvieron en suelo no endurecido con 1.92 t/ha en 7 parcelas, en tepetate café (t3) se registró un promedio de 1.76 t/ha en 8 parcelas y, finalmente en tepetate gris (t2) 1.04 t/ha sobre 6 parcelas. En forma preliminar el rendimiento se ordena de la manera siguiente: **suelo > t3 > t2**

El análisis de suelo con fines comparativos entre los diferentes sustratos, nos permite conocer que la materia orgánica varía desde un contenido extremadamente bajo en tepetate no reincorporado al cultivo, hacia un contenido bajo en los tepetates cultivados y un contenido medio en suelos (Figura 2).

En relación al fósforo, en la misma Figura 2 se muestra su nivel de variación en cada sustrato. Se observa un bajo contenido de fósforo en tepetate no cultivado, un contenido medio en tepetate cultivado y alto en suelo no endurecido.

No obstante, cabe señalar la variabilidad importante que se registra al interior de cada tipo de suelo, así por ejemplo para el tepetate café se reportan valores de materia orgánica entre bajos y medios. En el caso del fósforo se registra la mayor variabilidad al interior de los tepetates café y suelo no endurecido, con valores entre medios y altos; que limitan posibles conclusiones sobre comportamientos medios.

En la Figura 3 y en el Cuadro 1 están indicados los resultados para las parcelas seguidas durante 1990 en Tlaxcala, en la cual se observa que con el tiempo de reincorporación del tepetate a la agricultura:

- el pH disminuye,
- los contenidos de materia orgánica, del nitrógeno y del fósforo aumentan sensiblemente hasta un nivel medio, pero quedan por debajo de aquéllos de los suelos no endurecidos,
- los contenidos de potasio, altos en el tepetate no roturado, tienen valores todavía altos en los tepetates reincorporados a la agricultura a pesar de que no hay fertilización potásica, pero en los suelos no endurecidos los valores son relativamente bajos.

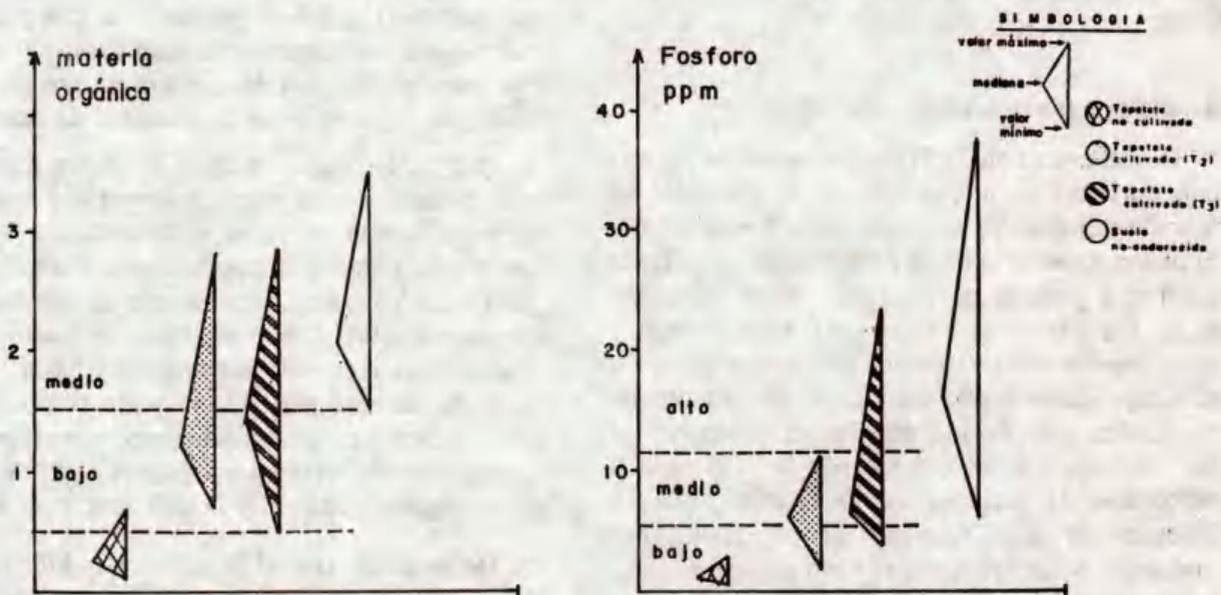


Figura 2. Variación de materia orgánica y fósforo en tepetates y suelos no endurecidos.

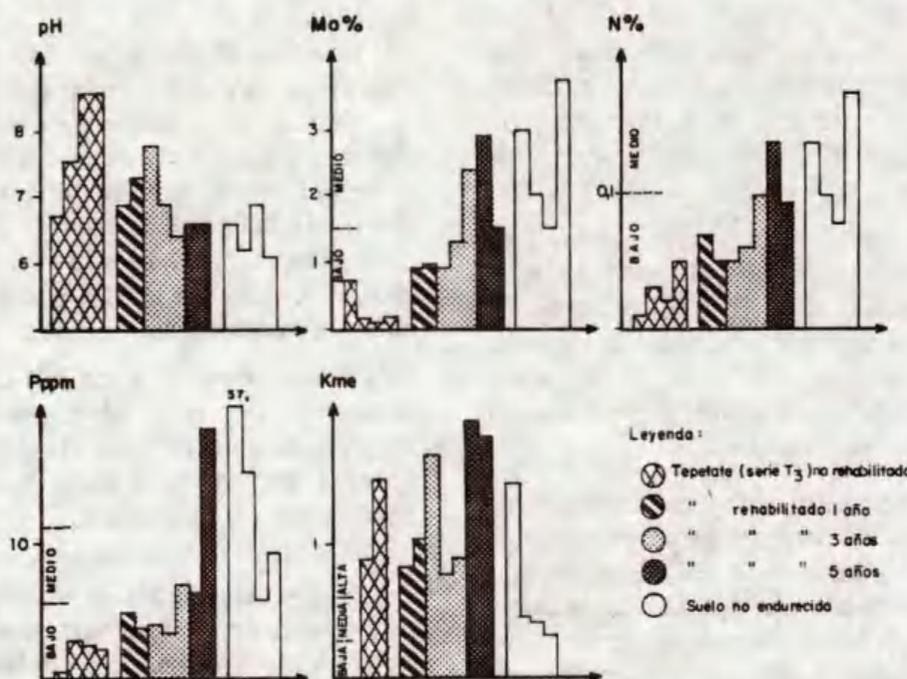


Figura 3. Características analíticas del suelo en las parcelas de 1990.

El Análisis de Componentes del Rendimiento

Este método se aplicó para parcelas con diferentes edades, principalmente en tepetate café (t3), en los cultivos de maíz solo o asociado y de trigo.

Análisis de los rendimientos en maíz

De acuerdo con la Figura 4, se presenta una baja correlación entre el número de mazorcas en función del número de plantas. Para este último, se observa que su ámbito de variación es entre 23 y 54 mil plantas por hectárea. Esta variación entre los extremos mayor del 100%, explica parcialmente las variaciones del rendimiento. En términos generales la variación del número de plantas/ha, uno de los principales componentes del rendimiento, se explica por la eficiencia o problemas de manejo, así es posible tener en tepetate un bajo número de plantas/ha por limitantes físicas como el tamaño de los terrones; o biológicas por la calidad de la semilla o el efecto de fitocompetidores no controlados; o por ineficientes prácticas culturales.

Observamos que los tepetates con mayor "edad" en uso agrícola y los suelos tienden a presentar las mayores densidades (número de plantas/ha). Es lo contrario para los tepetates más recientes y también para una parcela de suelo no endurecido (C), que se preparó con dos pasos de rasra pero sin barbecho, lo cual limitó el estado favorable de la cama de siembra y tuvo en cierta forma un impacto sobre la densidad de plantas.

Con base en un principio biológico general a cada planta de maíz correspondería una mazorca, de acuerdo con la Figura 4, la distancia vertical entre cada punto y la bisectriz nos podría indicar para cada parcela, la existencia de condiciones limitantes sobre el número final de mazorcas, lo cual se decide durante la floración y hasta 15 días después. En este periodo conocido como crítico, los factores limitantes más importantes para la producción vegetal en los tepetates son la escasez de nitrógeno y fósforo y la deficiencia de agua.

De acuerdo con el seguimiento hídrico que fue realizado en 1990, la humedad disponible en el suelo no actuó como factor limitante, excepto para el sistema de cultivo C. En consecuencia,

para la generalidad de las parcelas la ineficiencia para la producción de mazorcas y sus implicaciones sobre el rendimiento fue debida sustantivamente a condiciones nutrimentales.

En la misma Figura 4 se observa que existe una correlación positiva entre el componente número de granos y el de mazorcas. Además, la variación del contenido de nitrógeno foliar durante la floración femenina de acuerdo con las clases de correcto, insuficiente y bajo, explica sensiblemente la variación de dichos componentes.

A pesar que los contenidos de nitrógeno en el suelo (Cuadro 1) al inicio del ciclo de cultivo explican parte de la variación de los rendimientos, existen probablemente otros factores no evaluados, como por ejemplo la mineralización de la materia orgánica, que inciden en la correcta nutrición nitrogenada del maíz.

Cabe señalar que en relación al fósforo no se detectaron carencias en las diferentes poblaciones

vegetales, por lo cual deducimos que el nitrógeno es el factor químico que actúa como principal limitante.

En la Figura 5 se presenta la variación del rendimiento en grano a 15% de humedad en función del número de granos, se observa también la importancia del peso de los granos en las líneas convergentes con los iso-pesos de 250, 200 y 150 mg. Es notorio que el ordenamiento de parcelas en la Figura 4 se mantiene en esta Figura 5.

Los mejores rendimientos se observan para los suelos no endurecidos y tepetates de 3 a 5 años. Sin embargo, la parcela C presenta bajos rendimientos debido a su bajo número de plantas, de mazorcas, de granos e insuficiente contenido de nitrógeno foliar. Todo lo cual se debe en gran parte a un mal manejo, que incluso se manifestó por una alta competencia de malas hierbas durante el período de llenado del grano de maíz.

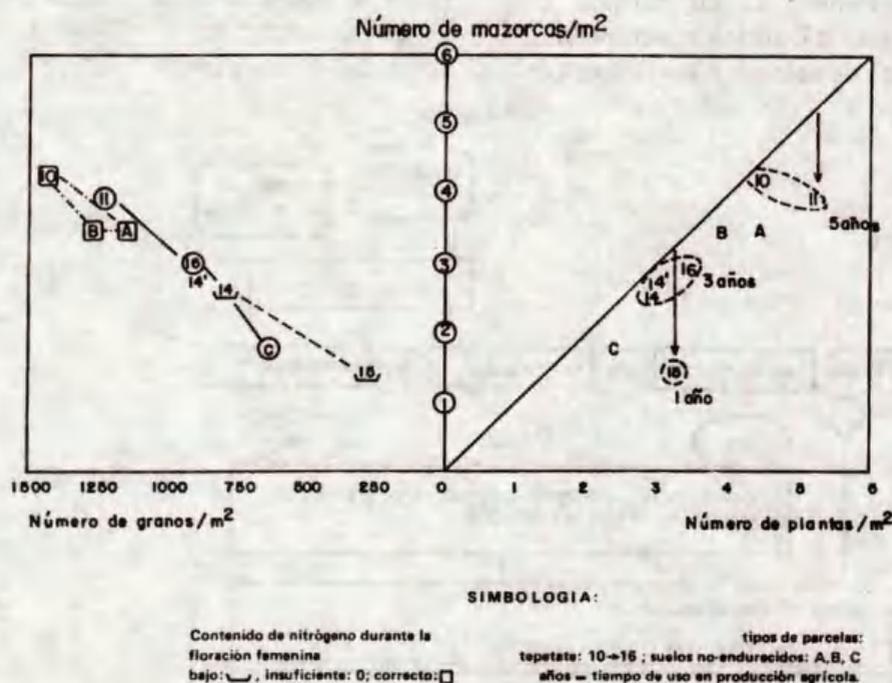


Figura 4. Variación entre componentes del rendimiento de maíz, contenido foliar de nitrógeno durante la floración y años de uso agrícola del tepetate en 1990.

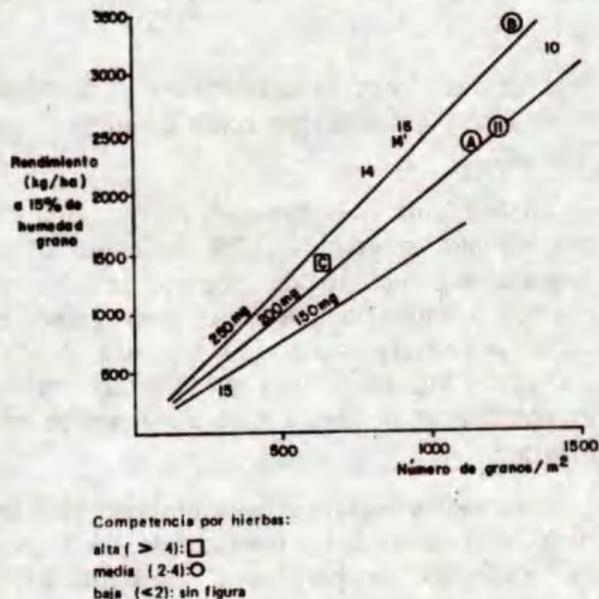


Figura 5. Variación del rendimiento de maíz en función del número y peso de los granos.

Para el sistema 15, además de los elementos señalados para el caso anterior, es notorio que presenta el más bajo peso de granos, lo cual traduce la existencia de condiciones limitantes durante la fase de llenado de los mismos. Es decir, para este tepetate (13) recién reincorporado, los factores limitantes de manejo y los factores de

crecimiento desempeñaron un papel esencial durante los periodos de definición de los principales componentes del rendimiento.

A manera de conclusión parcial es importante señalar, que el manejo de características tanto físicas como químicas y de prácticas culturales, puede ser tan importante en la explicación de la variación de los rendimientos, como las limitantes naturales de este recurso.

Con la finalidad de presentar un modelo provisional de la elaboración del rendimiento a partir de sus componentes, en la Figura 6 se presenta el análisis de rendimiento en relación al conjunto de variables que han sido señaladas, tratando de hacer su ordenación de acuerdo con el orden de aparición de las mismas y de la importancia relativa con ayuda de los coeficientes de correlación de las variables consideradas.

Es importante subrayar, en relación con la adaptación a la estación de crecimiento regional y el riesgo de producción por las primeras heladas, que el alto contenido de humedad del grano al momento de la cosecha juega en forma negativa, aunque no significativa sobre el peso promedio de los granos.

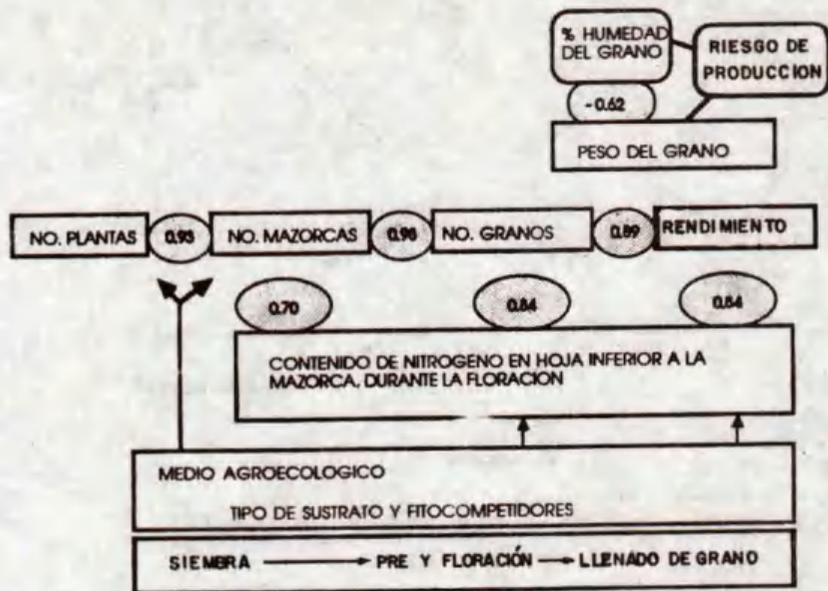


Figura 6. Modelo agronómico preliminar de manejo regional de maíz en tepetate.

Análisis de rendimiento en trigo

Este análisis fue realizado en 1990 en cuatro parcelas de agricultores (Cuadro 1). Una de las parcelas en suelo no endurecido, dos en tepetate café 13, correspondiendo la parcela 13 a tepetate de primer año de uso agrícola y la 12 con 3 años de reincorporación a la agricultura. En la parcela 13 se aplicó una elevada fertilización nitrogenada, al momento de la siembra y el encañe, con un total de 120 unidades/hectárea.

Con el propósito de evaluar el papel del tipo de sustrato se escogió igualmente una parcela de 3 años (número 20) localizada en tepetate gris t2 (vecina de la 12) y trabajada en términos similares por el mismo agricultor.

De acuerdo con la Figura 1 uno en maíz de los principales componentes del rendimiento en maíz es el número de granos/m². Para el caso del trigo el número de granos/m² es dependiente de los números de plantas/m², de espigas y de granos/espiga; los cuales, como ha sido señalado, se expresan en función de las condiciones y estados que favorezcan o limiten el crecimiento y desarrollo en el momento de su definición.

Los rendimientos evaluados presentan una sensible relación positiva y lineal en función del número de granos. El mejor rendimiento (2.3 t/ha)

se observó en el suelo no endurecido. En tepetate, los rendimientos de 1.4 a 1.5 t/ha nos sugieren que son independientes de la edad de reincorporación a la agricultura, así como del tipo de sustrato.

CONCLUSIONES

La producción de maíz en relación con la edad del tepetate es baja el primer año. Después se mejora y puede llegar a ser similar a la obtenida en suelo después de 5 años o más de utilización para la producción agrícola.

La baja producción se debe más a limitantes físicas que nutrimentales, estas últimas pueden ser corregidas mediante la fertilización desde el primer año, mientras que las características físicas se modifican poco a poco con el tiempo de manejo productivo.

En el caso común de siembra de trigo el primer año, la producción es mayor en relación con el maíz, lo que explica la decisión de los agricultores de iniciar la recuperación del tepetate con este cultivo.

El manejo aparenta ser también un gran limitante en la expresión de los rendimientos y en la variación de los mismos, tanto en tepetate como en suelo no endurecido.

LITERATURA CITADA

- CAJUSTE L., J. y J. CRUZ D. 1987. Presencia de materiales amorfos en algunos tepetates de la zona de influencia de Chapingo, pp. 69-77. *In*: Ruiz F.J.F. (ed.) Uso y manejo de tepetates para el desarrollo rural. UACH, Chapingo, México.
- DELGADILLO P., M. E., M. E. MIRANDA M. y H.R. RUIZ H. 1989. Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la cuenca de México. Tesis UACH, Chapingo, México. 172 p.
- DUBROEUCQ, D., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI. 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. *Terra* 7 (1): 3-12.
- ETCHEVERS, J., C. ZEBROWSKI, R. M. LOPEZ R. y D. PEÑA. 1991. Incorporación de los tepetates a la producción agrícola. V. Caracterización química, pp.50-53. *In*: Resúmenes. I Simposio Internacional de Suelos volcánicos endurecidos. Colegio de Postgraduados, México.
- FLEURY, A., H. NAVARRO G. y M. SEBILLOTE. 1985. Essai d'analyse critique des choix variétaux des agriculteurs pour la production du maïs en limite d'aire de culture. *C.R. Acad. Agri. de France* 71 (6): 577-586.
- GONZALEZ J., A. 1991. Manejo de agua y el suelo en condiciones de secano en Tlaxcala, pp. 106. *In*: Resúmenes. I Simposio Internacional de Suelos volcánicos endurecidos. Colegio de Postgraduados, México.

REHABILITACION DEL TEPETATE MEDIANTE EL MANEJO TRADICIONAL, EN TLAXCALA-MEXICO

Rehabilitation of Tepetate by Traditional Management, in Tlaxcala - Mexico

Verónica Nava Rodríguez ¹, Jesús Sánchez ², Yolanda Olvera Oliveros ² y Alma Rosa Leyte ²

¹ Instituto de Fisiología Celular, UNAM. México, D.F.

² Universidad Autónoma Metropolitana-X., Depto. del Hombre y su Ambiente, México, D.F.

Palabras clave: México, Tlaxcala, Suelos volcánicos endurecidos, Tepetate, Caracterización, Manejo de suelo-agua, Recuperación de suelo, Agronomía.

Key words: Mexico, Tlaxcala, Indurated volcanic soils, Tepetate characterization, Soil and water management, Soil reclamation, Agronomy.

RESUMEN

Se compararon tres zonas agrícolas en Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala, México: la zona de loma; originalmente cubierta de tepetate, bajo; valle caracterizado por la presencia de parcelas agrícolas denominadas "camellones", y la zona de laguna, tierras en donde originalmente hubo una laguna.

Los factores comparados fueron: la productividad del cultivo de alfalfa (biomasa seca) y su relación con otras características de la planta (biomasa fresca, número de individuos, número de hojas, anchura, altura y superficie de la planta); la calidad del agua de riego, las características físico-químicas del suelo; el impacto del manejo tradicional.

La parcela con mayor productividad resultó ser la de la loma (1.187 g/m/dfa), seguida por la del valle (0.817 g/m/dfa) y la de la laguna

(0.748 g/m/dfa), pero la diferencia no es significativa. En los resultados de superficie y biomasa fresca, la parcela con los valores más altos, aunque no significativos fue la zona de loma (6.30 g/m/dfa), luego la del valle (3.58 g/m/dfa) y la de la laguna (3.43 g/m/dfa).

El número de individuos, su altura, ancho y superficie fueron mayores en la parcela de loma.

El agua usada para riego, en las tres zonas, tenía la salinidad adecuada y las concentraciones de Cl no fueron tóxicas.

El suelo en la parcela de la laguna fue el de mayor salinidad (1.96 mmhos/cm) y el de mayor contenido de materia orgánica (4.4 %).

El manejo tradicional consiste principalmente en la aplicación de estiércol con rastrojo de maíz, usado indistintamente en las tres zonas por los campesinos y puede estar directamente relacionado con los resultados similares de productividad en las tres parcelas. Así el manejo tradicional puede rehabilitar el suelo de tepetate y hacerlo productivo.

SUMMARY

Three different farming zones were compared in Santa Inés Tecuexcomac, southwest Tlaxcala,

Mexico. The plots were studied in a hill zone, originally with hardpan, a lowland valley, and a lake side zone.

The factors compared were: Alfalfa productivity (dry biomass) and its relation with other characteristics of the plant (fresh biomass, number of individuals, number of leaves, height, width and surface of the plant); irrigation water quality; physicochemical characteristics of the soils; traditional management impact.

The plot with the highest productivity was that on the hill (1.187 g/m/day), followed by the lowland (0.817 g/m/day) and the lake side plot (0.748 g/m/day), with no significant differences between them. For the fresh biomass again the hill plot was the most productive (6.30 g/m/day), then the lowland plot (3.58 g/m/day) and the lake side plot (3.43 g/m/day).

The number of individuals, individual height, width and surface were higher on the hill plot.

The water used for irrigation on three zones was adequate in its salinity and Cl content.

The lake side plot had the highest salinity (1.96 mmhos/cm) and the highest content of organic matter (4.4%).

The traditional management, consisting principally on the application of organic matter (cow manure), used by the peasants indistinctly on the three different zones, maybe directly related with the similar results on the dry biomass productivity of the three plots. Traditional management may rehabilitate the hardpan soil and make it productive.

INTRODUCCION

El estudio se realizó en el poblado de Santa Inés Tecuexcomac, municipio de Ixtacuixtla, en el suroeste de Tlaxcala, durante el ciclo de invierno 90-91. El ejido consta de tres zonas que difieren entre sí con respecto a su topografía y agua con los que riegan los cultivos de invierno.

1 Loma. Elevación de 20 a 30 m de altura con respecto a bajo, anteriormente de tepetate. En 1987, por órdenes gubernamentales se usó maquinaria pesada para romper el tepetate y poder utilizar estos terrenos para la agricultura. El agua para riego se extrae de pozos con bombas y se distribuye por medio de canales de cemento.

2 Bajo. Valle caracterizado por la presencia de parcelas agrícolas conocidas como "cammellones"; delimitados en dos o tres de sus lados por árboles (ailes, capulines, ciruelos, entre otros árboles de la región) y zanjas. Las parcelas son regadas con agua que proviene del río Atoyac.

3 Laguna. Este sitio fue ocupado anteriormente por la laguna de Tecuexcomac, sus aguas fueron encausadas hacia un canal, en esta zona el manto freático es muy elevado, las parcelas también están delimitadas por zanjas que contienen agua permanentemente, así como plantas y algunos animales acuáticos.

Los campesinos en esta zona realizan una agricultura de tipo tradicional, familiar, principalmente de autoconsumo, sin asesoría técnica y en donde predomina la energía animal y/o humana en las labores de campo. El tractor se usa para las labores de barbecho y nivelación del terreno, y la yunta para el surcado, enterramiento y deshierbe (Anaya et al., 1987; González, 1984, 1986).

En este sitio, el campesino hace un manejo muy diverso de sus cultivos, tanto en tiempo como en espacio, siendo el principal cultivo el maíz que es sembrado junto con frijol y calabaza, algunas plantas de haba y melgas de alfalfa. Durante la época de invierno puede sembrar melgas de alfalfa, ebo sola o mezclada con avena, y haba. Cada dos o tres años rota sus cultivos de maíz con frijol, haba y alfalfa (Nava, 1989).

El campesino utiliza los forrajes (alfalfa, ebo y avena), plantas silvestres y restos de cultivos para alimento de sus animales (ganado vacuno, burros, puercos y aves de corral). Los desechos de sus animales los revuelve con rastrojo de maíz, obteniendo de esta manera abono orgánico que va acumulando en las orillas de las parcelas para

aplicarlo un mes antes de la siembra del siguiente cultivo.

Asimismo, cada dos o tres años aplica agualodo que se va acumulando en las zanjas que delimitan las parcelas de bajo y laguna.

Su parcela la riega una o dos veces al mes durante la época de sequía.

Este manejo tradicional, permite un reciclamiento adecuado de los componentes del agroecosistema, disminuyendo los gastos de insumos (al utilizar menor cantidad de fertilizantes inorgánicos), favorece la conservación del suelo a través de la siembra, asociación y rotación con leguminosas, así como una mejor utilización de sus recursos y diversidad en su alimentación.

Los objetivos de esta investigación fueron, conocer en las tres zonas la productividad de la parte aérea de la alfalfa a través de la determinación de su biomasa seca. Determinar si otras características de la alfalfa, tales como: número de individuos, altura, ancho, superficie, y biomasa fresca de la planta, tienen relación con la producción. Conocer la calidad de agua de riego de las tres zonas, las características físico-químicas del suelo y comentar el impacto del manejo tradicional sobre estos parámetros.

METODOLOGIA

Las parcelas se escogieron tomando en cuenta que hayan sido sembradas con la misma variedad de alfalfa ("atlixqueña") y edad (un año).

En cada zona se seleccionaron diez cuadrantes de 0.25 m por 0.25 m en una melga de alfalfa de 4 m x 3 m, en donde se cosecharon las plantas presentes en ellos, en un período de crecimiento de 20 días (período de corte usado por el campesino), durante la época de invierno.

Para cada cuadrante se cuantificó el número de individuos, altura, ancho, superficie y número de hojas por planta, biomasa fresca y seca.

Por cada zona, se tomaron 4 ó 2 muestras de suelo de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm de profundidad, que fueron mezcladas, secadas y tamizadas, y se efectuó su análisis físico y químico.

Para el análisis de agua, se sumergieron las botellas de plástico directamente en las zanjas para la zona de laguna, en el pozo en la zona de loma y en los canales de riego en bajo. Se hicieron los análisis para conocer su salinidad, a partir de los índices de salinidad efectiva, salinidad potencial y carbonato de sodio residual.

RESULTADOS Y DISCUSION

Productividad y Características de la Alfalfa

La mayor producción se obtuvo en la zona de loma (1.187 g/m/día), seguida de la zona de bajo (0.817 g/m/d) y la menor en laguna (0.748 g/m/d), estas diferencias no fueron estadísticamente diferentes (prueba de Tukey).

En biomasa fresca, se obtuvo la mayor cantidad en loma (6.30 g/m/día), bajo (3.58 g/m/día) y laguna (3.43 g/m/día), los cuales fueron significativamente menores. En cuanto a número de individuos, loma fue la más alta con 513 individuos, laguna tuvo 389 y bajo 388.

No hay diferencias en número de hojas. En ancho de hoja, loma es mayor estadísticamente a laguna y bajo. En altura de la planta, loma (19.7 cm) y bajo (19.4) fueron mayores estadísticamente ($P < 0.05$) que laguna (13.9 cm). En cuanto a superficie de la planta, loma fue la más alta (58.14 cm), le siguió bajo (46.63 cm) y finalmente laguna (30.95 cm) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores medios de algunas características de la alfalfa en las tres zonas de estudio.

Zona	Nº Ind.	Nº Hojas	Altura cm	Ancho cm	Sup. cm ²	B.F. g	B.S. g
Bajo	38.8	27.90	19.37	2.40	46.63	44.78	10.21
Loma	51.3	27.66	19.74	3.10	58.14	78.77	14.84
Laguna	38.9	24.29	13.98	2.20	30.94	42.92	9.36

Relación de las Variables de la Alfalfa con la Producción

Por medio de un análisis de regresión lineal múltiple se realizó un modelo global, donde se incluyen las variables anteriormente mencionadas de las tres zonas, y se observó que las variables que tienen mayor influencia sobre la producción (biomasa seca) fueron la biomasa fresca, número de individuos y ancho de la hoja.

Y así el modelo global para las 3 zonas fue:

$$BS = 0.476 + 0.043 (\text{ind}) - 0.588 (\text{ancho}) + 0.160 (\text{bf})$$

$$R^2 = 0.983 \text{ y } P < 0.0001$$

Donde: BS = biomasa seca.

ind. = no. de individuos.

ancho = ancho de la hoja.

bf = biomasa fresca.

Análisis de Suelo

Los tres suelos (Cuadro 2) son ligeramente alcalinos y no salinos, pero la zona de laguna presenta la mayor salinidad (1.96 mmhos/cm) y loma la menor (0.34 mmhos/cm).

La zona de bajo y loma tienen un suelo franco-arcilloso-arenoso, y loma de tipo franco-arenoso. No presentan deficiencia de fósforo, magnesio y sodio. En loma el potasio es deficiente y el calcio en las tres zonas es muy pobre. En laguna existe mayor cantidad de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, potasio, sodio y calcio que en bajo y loma. La relación de sodio intercambiable fue mayor en laguna, y más baja en loma.

Cuadro 2. Análisis de los suelos de las tres áreas de estudio.

Zona	Prof	pH	CE	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl	SO	K	Ca	Mg	Na
Bajo	0-30	7.86	0.64	0.97	4.82	0.42	0.94	0.56	2.08	2.88	2.32
	30-60	7.88	0.57	0.77	3.30	0.63	1.37	0.33	1.25	1.51	3.26
Loma	0-30	7.69	0.34	0.65	5.37	0.31	0.50	0.05	1.04	1.16	1.16
	30-60	7.68	0.31	0.39	1.94	0.24	0.05	0.50	0.03	0.96	1.23
Laguna	0-30	7.75	1.96	2.07	7.63	5.61	10.51	0.42	7.07	9.43	9.06
	30-60	7.75	0.90	1.03	4.59	1.64	3.62	0.82	3.28	3.15	4.13

Análisis de Agua

La calidad del agua de riego en las tres zonas es buena con respecto a salinidad efectiva, salinidad potencial y carbonato de sodio residual, no hubo problemas de toxicidad con respecto al ion cloro en las tres zonas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis del agua de las tres áreas de estudio.

Zona	Salinidad		NaCO ₃ Residual	Cl ⁻	Calidad del agua.
	Efectiva	Potencial			
Bajo	0.460	0.385	1.736	0.410	buena
Loma	1.031	0.272	0.195	0.560	buena
Laguna	1.064	0.039	0.575	0.381	buena

La producción de alfalfa en relación con biomasa seca es muy semejante en las tres zonas, mostrándonos que el manejo tradicional semejante en las zonas permite contrarrestar deficiencias (lixiviación de nutrientes en loma) o excesos (sales en la zona de laguna) y permitir la infiltración del agua en bajo (Castellanos y Walker, 1988). El manejo con respecto a riego en la zona de loma parece ser más adecuado, ya que la biomasa fresca fue mucho mayor en esta zona. Asimismo se observó un aumento considerable del número y tamaño (60 cm) de raíces secundarias en las plantas creciendo en esta zona, adaptación que presentan con respecto a la presencia de trozos de tepetate más profundos, de tal manera que pueden captar mayor cantidad de agua y sales minerales del suelo, a diferencia de laguna y bajo en donde predominaba la presencia de una raíz principal de tipo pivotante con raíces secundarias poco desarrolladas.

CONCLUSIONES

La productividad (biomasa seca) de la alfalfa fue semejante en las tres zonas agrícolas.

La biomasa seca está directamente relacionada con la biomasa fresca, número de individuos, y ancho de la hoja.

La biomasa fresca fue significativamente mayor en loma en relación con bajo y laguna. Esta variable está relacionada con número de individuos y superficie de la planta, que fueron mayores en loma, después en bajo y laguna.

Los suelos no tuvieron problemas de salinidad; en las tres zonas el más salino fue el de laguna y el menor loma.

La calidad del agua de riego es buena en cuanto a salinidad y contenido de Cl.

El manejo tradicional puede permitir la rehabilitación de suelos de tepetate y hacerlos productivos.

Para el caso de la alfalfa se observó la presencia de raíces secundarias de gran tamaño en presencia de trozos de tepetate que obstaculizan su crecimiento.

LITERATURA CITADA

ANAYA, A.L., RAMOS, L., CRUZ, O. R., HERNANDEZ, J. y V. NAVA. 1987. Perspectives on allelopathy in Mexican traditional agroecosystems: a case study in Tlaxcala. *J. Chem. Ecol.* 13: 2083-2101.

CASTELLANOS, Z. J. y E. WALKER. 1988. Relaciones entre algunas características físicas del suelo y el rendimiento de la alfalfa en parcelas tratadas con estiércol. *Turrialba* 38: 288-294.

GONZALEZ, J. A. 1984. Agroecosistemas en las tierras altas de México. *Economía y Sociedad. Boletín UIA* 146: 26-33.

GONZALEZ, J. A. 1986. Agroecología del Suroeste de Tlaxcala, pp. 201-220. *In: Memorias del Primer Simposio Internacional de Investigaciones Socio-Históricas sobre Tlaxcala.* Tlaxcala, México.

NAVA, R. V. 1989. Estudio sobre rotación y abonos verdes de algunas leguminosas cultivadas en los camellones de Tlaxcala. *In: Primera Reunión Nacional de Ecología Química.* Instituto de Fisiología Celular, UNAM. México, D.F.

ALTERNATIVAS AGRONOMICAS PARA LA RECUPERACION DE TEPETATES

Agronomic Alternatives for the Recuperation of Tepetates

Alfonso Márquez Ramos ¹, Claude Zebrowski ¹ y Hermilio Navarro Garza ²

¹ ORSTOM, México.

² Centro de Estudios del Desarrollo Rural, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Palabras clave: México, Tlaxcala, Potencial productivo, Sistema productivo, Rotaciones.

Key words: Mexico, Tlaxcala, Productive potential, Productive system, Rotation.

RESUMEN

En el estado de Tlaxcala están dadas las condiciones para que el tepetate aflore en más de la mitad de su área territorial.

Los campesinos de la región, y de otras donde se cultivan los tepetates, obtienen rendimientos diferentes debido al tipo de manejo a que los someten. Los rendimientos de maíz en el primer año de cultivo son de sólo unos cuantos cientos de kilogramos de granos por hectárea pero la producción tiende a incrementar después de 5 a 7 años de cultivo, hasta alcanzar de 1 a 2 ton/ha.

Este documento se refiere a los rendimientos de varios subsistemas de cultivo establecidos en un tepetate de primer año de recuperación, en la comunidad de Santiago Tlalpan, Tlaxcala. Este sustrato pertenece a la serie estratigráfica de tobas denominada T3; es de color café, relativamente duro, poco fértil.

Se empleó un diseño factorial de tratamientos con una distribución en bloques al azar en el campo. Los tratamientos fueron: aplicación de estiércol (0 y 40 ton/ha), fertilización (0-60-0, 60-60-0 y 120-60-0 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente), subsistemas de cultivo (asociación maíz-frijol-haba, trigo y veza). La parcela experimental fue de 4x4m. Cada tratamiento se repitió tres veces.

Los resultados preliminares indican una fuerte influencia de la proporción de partículas finas y de la profundidad de la capa arable, situación generada por el tipo de roturación realizado en dos bloques. La aplicación de materia orgánica (MO), como estiércol, produjo los mayores rendimientos. La fertilización intermedia (60-60-0) se perfila como la más adecuada y el cultivo de mejor comportamiento fue el trigo.

SUMMARY

In the state of Tlaxcala the tepetate rises to the surface in more than half its territorial area.

The farmers of the region, and those of other regions where tepetates are cultivated, obtain different yields due to the type of handling they

give to their lands. During the first year of cultivation, the corn's yields are only of some hundreds of kilogrammes of grain per hectare but the production tends to increase after 5 to 7 years of cultivation, until it reaches 1 to 2 ton/ha.

This document refers to the yields of several cultivation subsystems established in a tepetate in its first year of reclamation, in the community of Santiago Tlalpan, Tlax. This substratum belongs to a stratigraphic series of tuffs denominated T3; it is brown, relatively hard, not very fertile.

A factorial design of treatments with randomized blocks in the field was used. The treatments were: manure application (0 to 40 tons/ha), fertilization (0-60-0, 60-60-0, 120-60-0 kg/ha of N, P₂O₅ and K₂O, respectively), cultivation subsystems (corn-bean-broad bean association, wheat and peas). The experimental parcel measured 4 x 4m. Each treatment was repeated three times.

The preliminar results show a strong influence of the proportion of fine particles as well as of the depth of the arable layer. This situation is generated by the type of roturation achieved in two blocks. The application of organic matter, such as manure, gave the greatest yields. The intermediate fertilization (60-60-0) turned out to be the most adequate and the crop which presented the best results was wheat.

INTRODUCCION

Los tepetates, suelos con fase dúrica, se localizan principalmente en el altiplano entre los 1,800 y 2,900 msnm y en zonas relativamente secas de precipitaciones < 1,000 mm (Dubroeuq *et al.*, 1989).

La presión demográfica y la actitud irracional en el uso de los recursos, entre otros aspectos, han aumentado el número de zonas con afloramientos de tepetates en la parte central del país (Bataillon, 1981).

Una geología regional caracterizada por la presencia de tobas volcánicas fácilmente erosionables, la existencia de superficies con relieve ondulado y el uso excesivo de las áreas de cultivo, han hecho que en el estado de Tlaxcala, en general, y en el municipio de Hueyotlipán, en particular, predomine la erosión de tipo hídrico (Rodríguez *et al.*, 1979). Esto favorece el afloramiento del tepetate. Del total del área del estado de Tlaxcala, actualmente hay cerca de 15% con tepetate en superficie, pero más de la mitad del territorio estatal es susceptible de presentar afloramiento de esta capa dura (Zebrowski, 1991. Conf. "Situación de los suelos en el Estado de Tlaxcala.").

De acuerdo a la clasificación campesina, esta capa endurecida puede ser de color rojo, amarillo o café, y blanco o gris; duro o muy duro; arenoso o pesado (Márquez *et al.*, 1990). Todos estos tepetates contienen bajo nivel de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, medianas cantidades de potasio, abundancia de magnesio, calcio y sodio, con un pH de 7 a 8.

El manejo del tepetate en la actividad agrícola es diferente entre los campesinos: unos usan maíz el primer año de cultivo, otros trigo, otros más haba o frijol; hay productores que aplican estiércol y otros que no lo hacen. Los rendimientos en este primer año, según los propios campesinos, son bajos en el caso del maíz mientras en trigo son más cercanos a la media regional (Márquez *et al.*, 1990).

En 1989, en el ejido de San Pablo Ixayoc, Texcoco, se realizó un diagnóstico de la productividad de los tepetates incorporados a la agricultura. En la Figura 1 se observan los rendimientos de diferentes suelos del ejido.

Estos datos de rendimiento, junto con el seguimiento agronómico de las parcelas, demuestran alta variabilidad entre sitios con sustrato común, así como entre sustratos.

Esta primera prospección, en conjunto con un seguimiento agronómico en Hueyotlipán (Tlaxc.) durante 1990, permitió proponer un protocolo

experimental, en el cual se consideró al tepetate como un sustrato con potencialidades agrícolas, y parte de la problemática de producción de este sustrato en función de su manejo, así como de la necesidad de proponer un uso rotacional que nos permita hacer productivo a este material. Con el anterior propósito se decidió implantar el experimento de rehabilitación, que tendrá una duración de 3 a 4 años, utilizando diferentes aportes de materia orgánica, fertilizaciones y varios sistemas de cultivo. El experimento se conduce en un tepetate que fue roturado en mayo de 1991. En el primer año la aptitud productiva de este sustrato fue evaluada con trigo, asociación maíz-frijol-haba y veza, los cuales fueron ensayados con diferentes tratamientos ¿Cómo evoluciona un tepetate recién roturado utilizando rotaciones locales que inicien la recuperación? ¿Cuál es la producción de este material recién roturado?, son preguntas que nos proponemos resolver.

Los resultados aquí presentados se refieren a los rendimientos obtenidos en el mismo año de la roturación.

El presente trabajo es englobado dentro de un proyecto de investigación más amplio que, además de partir de las condiciones de trabajo campesino, considera los diferentes aspectos que conforman la problemática de la incorporación de los tepetates a la producción agrícola.

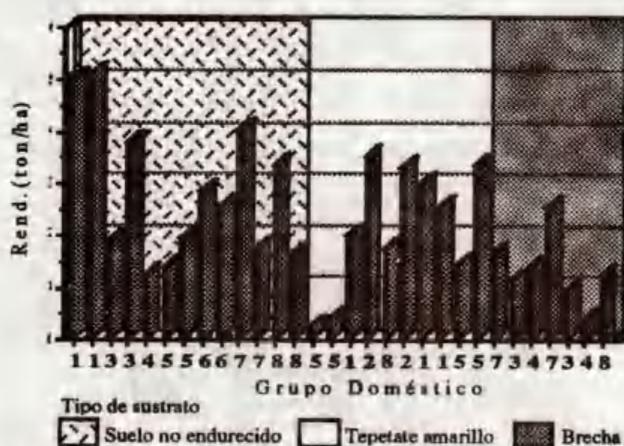


Figura 1. Comparación de rendimientos por tipo de sustrato y grupo doméstico en el ejido de San Pablo Ixayoc, Estado de México.

MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se realizó en el ejido de Santiago Tlalpan, mpio. Hueyotlipán, Tlaxcala (19° 20' de latitud norte y 98° 20' de longitud oeste) ubicada aproximadamente a de 2,600 msnm. El experimento se encuentra en un tepetate de la serie estratigráfica T3, de color café. Se eligió a éste por ser el más representativo en la región. El área experimental se encuentra en una zona erosionada de superficie irregular con una pendiente general de 3%.

Antes de la roturación se tomaron muestras de suelo, las que fueron sometidas a análisis físico-químicos (Cuadro 1).

El tepetate tiene un pH neutro y una salinidad baja. Es extremadamente pobre en materia orgánica, nitrógeno y fósforo y presenta altas cantidades de cationes intercambiables (Etchevers, 1987) Se trata de un tepetate relativamente duro (115 kg/cm² de resistencia), que se desagrega en estado húmedo, lo que es característico de un fragipán.

La roturación se realizó con un tractor de oruga Caterpillar D-5 con tres subsoladores, a una profundidad media de 40 cm.

Las experiencias de campo nos indican que, en un tepetate recién roturado, los campesinos cultivan trigo (*Triticum aestivum*) o maíz (*Zea mays*) solo o asociado. Para este experimento se consideraron ambos, sólo que el maíz por el riesgo de producción del primer año, fue asociado con frijol (*Phaseolus vulgaris*) y haba (*Vicia faba*),

Cuadro 1. Caracterización físico-química del sitio experimental. Santiago Tlalpan, Hueyotlipán, Tlaxcala (1991).

pH	CE	Textura	MO	N	P
1:2 H ₂ O	mmhos		%	%	(Olsen)
					ppm
7.31	0.29	Franco arcilloso arenoso	0.10	0.02	t
K	Ca	Mg	Na	Resistencia	Densidad aparente
-----meq/100g-----				(kg/cm ²)	(g/cm ³)
1.87	11.75	9.97	0.56	115	1.47.

especies que además de ser comúnmente cultivadas por la familia campesina -junto al maíz- proporcionan nitrógeno al suelo y, además, mejoran su estructura. Como cultivo alternativo se consideró a la veza (*Vicia sativa*), leguminosa forrajera, de alta digestibilidad y valor protéico, tolerante a la sequía y a bajas temperaturas.

Estos subsistemas de cultivo fueron ensayados con aplicación de 0 y 40 ton/ha de materia orgánica (como estiércol básicamente de bovino), y tres fórmulas de fertilización: 0-60-00 (F1), 60-60-0 (F2) y 120-60-0 (F3). Se varió el elemento nitrógeno por haberse evaluado como insuficiente en maíz durante la floración femenina (Navarro y Zebrowski, 1991). Los fertilizantes utilizados fueron el sulfato de amonio combinado con el superfosfato de calcio simple (Cuadro 2).

El diseño estadístico fue un factorial distribuido en bloques al azar, con tres repeticiones y 16 m² por unidad experimental.

Las precipitaciones pluviales, así como las temperaturas medias, máxima y mínima fueron registradas *in situ*, durante el ciclo agrícola.

Para la roturación del tepetate se empleó un tractor tipo caterpillar, de oruga, considerado como de mediana potencia. Primero subsoleo para después formar una terraza levantando un bordo de contención a lo largo de la parte alta de ésta.

Para trabajar 2,600 m² el caterpillar utilizó 30 horas, es decir, 115 horas/ha, lo que representaría para el productor una inversión de 10,350,000 pesos/ha (90,000 pesos/hora a precios de 1991 -1 dólar = 3,000 pesos-).

Después de la roturación, un tractor de neumáticos, también de mediana potencia, dio un paso de rastra con su cruz a toda la terraza, para romper aún más los bloques de tepetate; posteriormente se surcó.

Cuadro 2. Claves de los cultivos según tratamientos, con y sin materia orgánica.

Fertilización	F1				F2			F3		
Cultivos	T	As	V	As	T	As	V	T	As	V
Clave de parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

T=Trigo As=Asociación Maíz-Frijol-Haba V=Veza
2=Asociación no inoculada

El sustrato de la terraza quedó conformado por partículas de diferentes tamaños y profundidades también diferentes: en la mitad de la parcela hacia arriba y con 10-15 cm de profundidad de la capa arable, predominan las partículas gruesas, mientras que en la parte media hacia abajo, por el acarreo del tepetate pulverizado se formó una capa arable de 40 a 80 cm de profundidad, integrada mayormente por partículas finas.

El análisis del tamaño de partícula mostró diferencias entre estos dos tipos de bloques (Fig. 2). Mientras la parte media hacia abajo tiene más del 50% de partículas menores a 1.68 mm, casi un tercio de las partículas de la terraza en su parte media hacia arriba son mayores a 22.2 mm.

Por tratarse de una siembra tardía se escogieron semillas precoces para evitar el posible efecto negativo de eventos climáticos tardíos. La siembra fue por etapas: mientras el maíz, el trigo y la veza fueron sembrados "en seco", el haba y frijol tuvieron que esperar condiciones favorables de humedad que facilitarían el desarrollo del *Rhizobium* inoculado en estas semillas. A excepción de la veza, a los otros subsistemas de cultivo se les aplicó fertilización fraccionada colocando todo el fósforo y la mitad del nitrógeno a la siembra y el resto del nitrógeno a la segunda labor. En la parte surcada se realizaron las dos labores que facilitaron el crecimiento de la asociación establecida. El conjunto de actividades se muestra en el Cuadro 3.

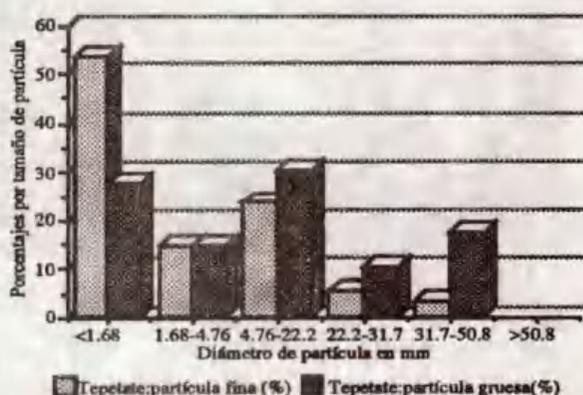


Figura 2. Distribución de los diámetros de partícula.

Cuadro 3. Calendario de actividades agrícolas realizadas.

Actividad	Especie	Maíz Criollo amarillo chico	Frijol Criollo "Ojo de liebre"	Haba Criolla chica	Trigo Zaca-tecas	Veza Sativa
Preparación	Rastra	14/05	14/05	14/05	14/05	14/05
Siembra	Surcado	22/05	22/05	22/05	-	-
	Densidad (kg/ha)	17	11	51	150	50
Labores	1ra.Fertili.	24/05	24/05	24/05	24/05	24/05
	1ra. Labor	7/08	7/08	7/08	-	-
	2da.Fertili.	17/09	17/09	17/09	17/09	-
	2da. Labor	17/09	17/09	17/09	-	-
Cosecha		13/11	26/10	26/10	26/10	5/11

RESULTADOS

El comportamiento de las precipitaciones (Figura 3) se ajustó a las condiciones de los subsistemas agrícolas; la siembra tardía permitió a los cultivos contar con el agua necesaria en sus periodos vegetativo, de floración y fructificación (formación y llenado del grano). Los promedios mensuales de temperaturas máxima (21.9°C), mínima (9.0°C) y media (15.5°C) favorecieron también el desarrollo de los cultivos. Además no hubo heladas ni granizadas durante el ciclo agrícola.

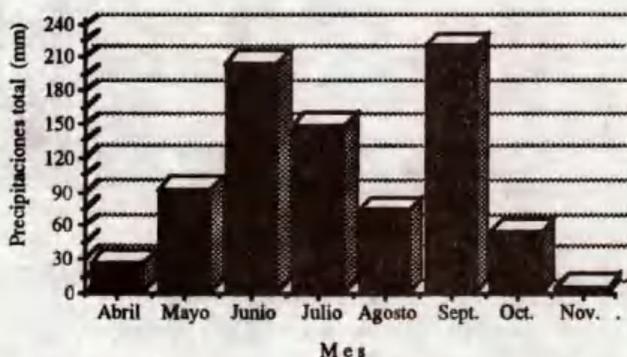


Figura 3. Evolución de las precipitaciones pluviales durante el ciclo agrícola.

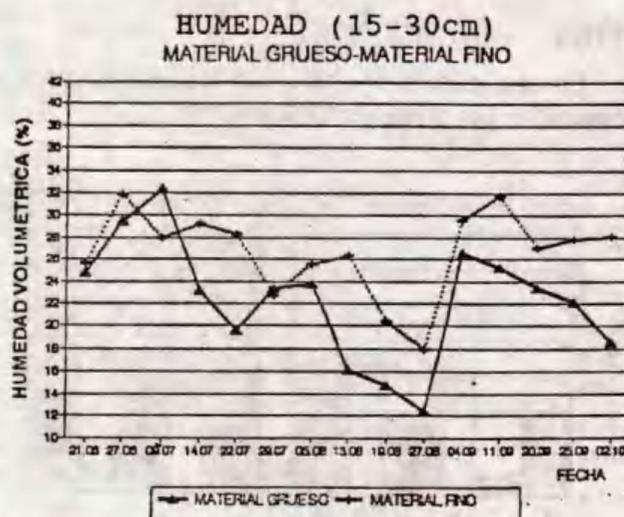


Figura 4. Evolución de la humedad en los dos bloques de la terraza (según Baumann, 1991).

El seguimiento del porcentaje de humedad en diferentes unidades experimentales demuestra que no se presentó periodo alguno con déficit de agua. El sustrato con partículas finas dominantes retuvo más humedad que el sustrato con mayores porcentajes de partículas gruesas (Fig. 4).

Rendimientos por Especie

El espesor de la capa arable y la mayor proporción relativa de partículas de tamaño fino influyeron en el desarrollo de las especies cultivadas. Esta situación se vio reflejada en los rendimientos medidos; a excepción de la veza y algunos otros tratamientos que se ubicaron en parcelas con predominancia de partícula gruesa con una capa arable de 10 a 15 cm de profundidad, todos los demás tratamientos tuvieron menores rendimientos que sus similares en parcelas con mayores porcentajes de partículas finas y espesor de 40 a 80 cm en la capa arable. En todos los resultados la relación del tamaño de partícula predominante y el espesor de la capa arable mencionada, es constante.

A continuación se hace un análisis de rendimiento por especie cultivada.

Trigo

En la Figura 5 se presentan los rendimientos obtenidos por tratamiento, en trigo.

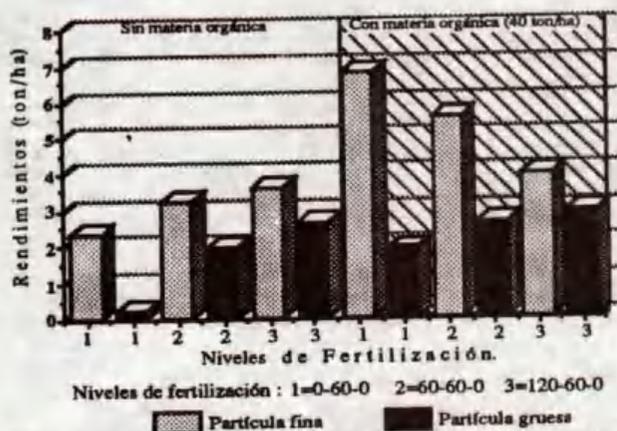


Figura 5. Influencia de los tratamientos en los rendimientos de trigo.

En general los rendimientos obtenidos en la mayoría de los tratamientos superaron las 2 ton/ha que es el rendimiento promedio regional. El trigo presentó mayores rendimientos en las parcelas con MO en comparación con aquellas que no se aplicó. Los rendimientos obtenidos en parcelas con dominancia de partículas finas fueron más altos que de parcelas con aquéllos con dominancia de partículas gruesas. Las unidades experimentales con mayor proporción de partículas gruesas y que fueron tratadas con la fertilización 120-60-0 (F3) y 60-60-0 (F2), presentaron rendimientos mayores. Estos resultados no se dieron en las parcelas con más partículas finas y MO, ya que los altos rendimientos en las que aplicaron F1 y F2 se debió, además de la predominancia de la partícula fina, al mayor espesor de su capa arable, así como al hecho de encontrarse en el área baja de la terraza, por lo que recibieron más agua y con ésta, nutrientes de las partes media y alta de la zona experimental.

Veza

La Figura 6 muestra el comportamiento de producción de este subsistema agrícola.

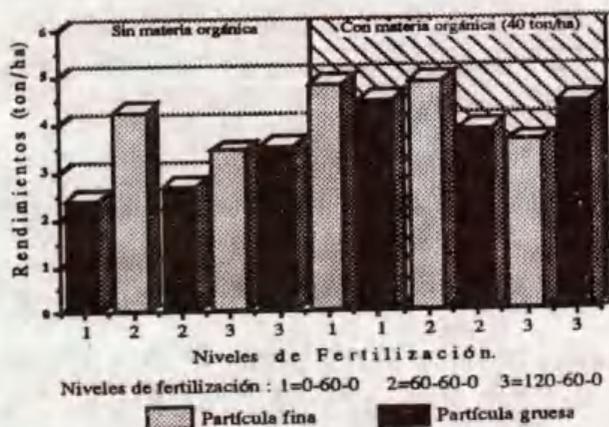


Figura 6. Efecto de los diferentes tratamientos en los rendimientos de veza.

Los rendimientos de la veza, entre 2.8 y 4.8 ton/ha de materia seca, son medios si se consideran los reportados por Moreno *et al.* (1979, citado por Hernández, 1991) de 7.4 ton/ha para veza sembrada sola. Hay diferencias de producción entre parcelas con estiércol y las que no se les aplicó, las parcelas con MO tuvieron mayores rendimientos. El efecto de la fertilización es débil en las parcelas sin MO, ausente en las parcelas con MO. El efecto del tamaño de partícula no fue tan claro en las distintas parcelas.

Maíz

En la Figura 7 se observan los rendimientos por tratamiento.

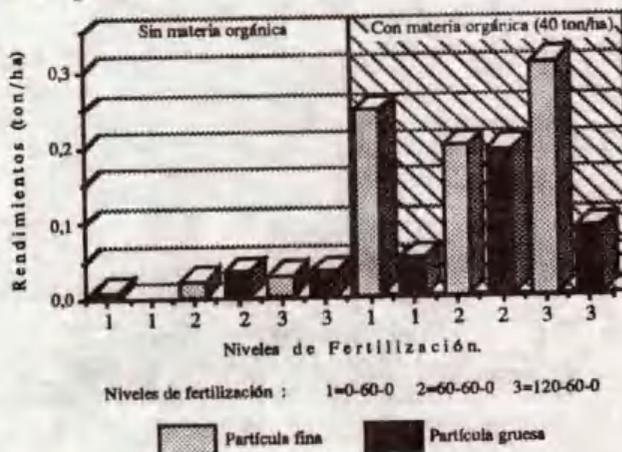


Figura 7. Influencia de los tratamientos en los rendimientos de maíz.

En general, los rendimientos del maíz, de 0 a 0.3 ton/ha, fueron muy bajos si los comparamos con la media de la región, que es de 1.82 ton/ha. La MO proporcionó a las parcelas condiciones más adecuadas, las cuales se expresaron en mayores rendimientos de grano, con respecto a las parcelas sin MO. Los rendimientos de maíz fueron bajos, en las parcelas con MO, pero casi nulos en las parcelas sin MO. No obstante, el frijol y haba asociados tuvieron mayores rendimientos.

Frijol

La Figura 8 muestra los resultados de esta especie.

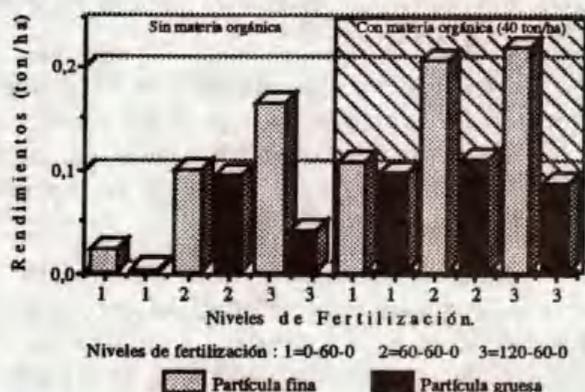


Figura 8 Influencia de los tratamientos en los rendimientos de frijol.

Los rendimientos que van de 0.03 a 0.22 ton/ha, son medios a bajos si se considera que la media de la región es de 0.75 ton/ha. La aplicación de MO coadyuvó a obtener mayores rendimientos de frijol. Las parcelas con predominancia de partículas finas tuvieron rendimientos más altos que aquéllas con mayores porcentajes de partículas gruesas. El efecto de las fórmulas de fertilización se aprecia más en parcelas en las que sobresalen las partículas finas

Haba

La Figura 9 presenta las producciones, en seco en los diferentes tratamientos.

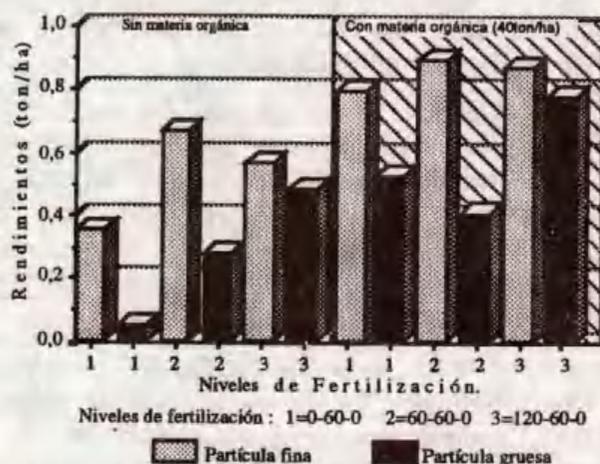


Figura 9. Influencia de los tratamientos en los rendimientos de haba.

Los rendimientos de haba, de 0.05 a 0.9 ton/ha, fueron medios en relación al promedio regional de 1.33 ton/ha en grano seco. En general los rendimientos de las parcelas con MO fueron mayores a sus similares sin MO. La producción de las parcelas con predominancia de partículas finas superan a su similar con más partículas gruesas. El mayor rendimiento se obtuvo en las parcelas a las que se les aplicó F2, con y sin MO. En las parcelas sin MO hay una relación directa entre el tamaño de las partículas gruesas y la fórmula de fertilización, presentando mayores rendimientos las parcelas con F3. Con respecto a las unidades experimentales con MO, las parcelas con predominancia de partículas gruesas tuvieron un comportamiento irregular, situación menos evidente en las parcelas con mayor porcentaje de partículas finas.

Al comparar cada una de las especies de la asociación con sus respectivos promedios regionales, el haba fue la de mayor rendimiento.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en este primer año de cultivo son preliminares si se considera que la duración del proyecto global es de 3 a 4 años. Después de tener los resultados de todos los

años se estará en posibilidad de proponer un modelo de manejo para la incorporación de los tepetates a la producción agrícola.

- El tiempo de la roturación fue cinco veces más que el usualmente empleado, por las exigencias del experimento mismo. La terraza conformada fue de buen tamaño, pero se generaron áreas con predominancia de partículas gruesas y áreas con predominancia de partículas finas en la cama de siembra.

- El costo de la roturación, aún en condiciones normales, es alto para la familia campesina, aunque reviste justificación social y ecológica. La incorporación de los residuos de cosecha va a enriquecer al tepetate.

- La mayor proporción de partículas finas en combinación con espesor de 40 a 80 cm de la capa arable y la posición en la parte baja de la terraza, tuvieron un efecto determinante en el comportamiento de 4 de las 5 especies cultivadas, por lo que podría considerarse que un factor importante es el tipo de roturación. Aquí hay que señalar la conveniencia de abrir líneas de investigación que tengan como variable a estudiar el tipo de roturación, contemplando también un análisis económico.

- El segundo elemento determinante fue la aplicación del estiércol; las parcelas donde se aplicó este material tuvieron mayores rendimientos en comparación con las unidades experimentales sin estiércol. Para los niveles de los rendimientos obtenidos, las 40 ton/ha fueron suficientes. Habría que probar con dosis hacia arriba y hacia abajo de ésta para determinar la certeza de esta conclusión.

- En general, los rendimientos de los tratamientos con F2 fueron casi iguales a los rendimientos con F3, mientras que en unos pocos fue mayor y en los menos la F3 superó a la F2.

- De las especies cultivadas, las que mejor comportamiento mostraron son: trigo, haba y

veza. Sugerimos tomarlos en cuenta como cultivos de primer año en tepetates, aunque faltaría precisar densidades óptimas de siembra, tipos de siembra más adecuados -sobre todo para la veza- así como el comportamiento de estas especies en unicultivo y/o en condiciones de sequía.

- El comportamiento de la asociación maíz-frijol-haba en general se consideró regular, ya que de las tres especies se obtuvieron producciones, aun con tendencia a ser bajas. Es claro que el maíz fue el que menos rindió y que el haba la que mejores rendimientos tuvo. Faltó incluir tratamientos con estos cultivos solos, para evaluar y comparar su comportamiento con respecto de la asociación. Otro aspecto importante que debe realizarse al mismo tiempo, es ensayar con la variedad genética de la región, para determinar las más aptas para el tepetate, solas o en asociación.

- La constante interrelación con los productores de la comunidad nos permitió adecuar el experimento al contexto de la región, lo que es importante para la generación de recomendaciones adecuadas.

- Retomar la tecnología del campesino y mejorarla constituye el objetivo del experimento. La recuperación del tepetate con base en los residuos que se generen, conduce a un equilibrio entre la naturaleza y la actividad humana.

AGRADECIMIENTOS

A los(as) pasantes en agronomía: E. Huerta Martínez, S. Paniagua Buelnas, R. Rodríguez Rubio y C. Padilla Garduño de Ingeniería Agrícola, UNAM; M. Mateos Hernández y M. Valeriano Hernández (UACH) y R. O. Cano Elizondo (UAT), que realizaron su servicio social, nuestro reconocimiento por sus aportes, en particular a Cecilio, (responsable de campo). Agradecemos al matrimonio de V. Cuellar y J. Bautista, así como a V. Bautista Cuellar y demás familia por su valiosa ayuda en el trabajo de campo. A ellos y a la comunidad de Santiago Tlalpan, Tlaxcala, muchas gracias.

LITERATURA CITADA

- BATAILLON, C.** 1981. Las regiones geográficas de México. Editorial Siglo XXI. México.
- BAUMANN, J.** 1991. Aspectos sobre el régimen hídrico de tepetates roturados. Simposio internacional: Suelos volcánicos endurecidos. Resúmenes ampliados. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- DUBROEUCQ, D., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI.** 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. Terra 7 (1): 3-12.
- ETCHEVERS, J. D.** 1987. Análisis químico de suelos y plantas. Notas de clase. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- HERNANDEZ R., R.** 1991. Identificación, aislamiento y producción de inóculo de la bacteria del género *Rhizobium* que forma los nódulos de veza de invierno (*Vicia vellosa*) y comprobación de la eficacia del *Rhizobium* aislado en otras leguminosas. Tesis de licenciatura. U.N.A.M. Cuautitlán, México.
- MARQUEZ R., A., H. NAVARRO G. y F. OLIVARES R.** 1990-1991, encuestas y observaciones de campo. Por publicar.
- NAVARRO, H. y C. ZEBROWSKI.** 1991. Análisis agronómico comparativo en tepetates. En este volumen.
- RODRIGUEZ G., R. et al.** 1979 Aspectos físicos y agropecuarios del estado de Tlaxcala. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Dirección General de Estudios. México.

PRODUCCION HORTICOLA EN TEPETATES DE SAN MIGUEL TLAIXPAN, EDO. DE MEXICO, BAJO AGRICULTURA BIO-INTENSIVA SOSTENIBLE

Horticultural Production of the Tepetates from San Miguel Tlaixpan (State of Mexico), under Sustainable Bio-intensive Agriculture

José Feliciano Ruiz Figueroa y Luis S. Torres Cedillo

Universidad Autónoma Chapingo, Depto. de Suelos, Edo. México, México.

Palabras clave: Suelos volcánicos endurecidos, Tepetate, Cultivo bio-intensivo.

Key words: Indurated volcanic soils, Tepetate, Bio-intensive culture.

RESUMEN

Una agricultura bio-intensiva en tepetate da lugar a una producción menos costosa y más sostenible que una agricultura intensiva utilizando fertilizantes y pesticidas. El aporte de estiércol permite un mejor rendimiento de rábano y de calabaza que los obtenidos con la composta.

SUMMARY

A tepetate bio-intensive agriculture is more sustainable and productive than an intensive agriculture using fertilizers and pesticides. The manures allow a better yield of raddish and zuchinni than ones with composts.

INTRODUCCION

Con frecuencia habremos escuchado, sobre todo los que estamos ligados con el medio

agronómico de que nuestra agricultura nacional, está en crisis? y de pronto cada especialidad en el área agrícola sesudamente ofrece su explicación, conjugando y manejando su experiencia de gabinete y campo con las no menos precisas e inventadas estadísticas nacionales. El resultado es que no aceptamos ni ayudamos a definir una política agrícola nacional, que nos conduzca a ser auto-suficientes en la producción de alimentos. Se continúa importando vastas cantidades de granos básicos que andan en el orden de quince millones de toneladas, si es que se hace caso de esas estadísticas. El estancamiento de la producción primaria es manifiesta en la profundización de la miseria rural y en los crecientes volúmenes de alimentos que se tienen que importar, el deterioro del sector agrícola y el crecimiento de la población han provocado el aumento de las importaciones de granos y semillas oleaginosas. (Plan Nal. de Desarrollo, 1989).

La mayor pérdida del dinamismo de las actividades agrícolas radica en el estancamiento de la superficie cosechada que se ha mantenido en alrededor de 20×10^6 ha. en los últimos años, lo que ha disminuido es la superficie de temporal, sobre todo la destinada al cultivo de alimentos básicos (maíz, frijol, trigo), dadas las relaciones entre agricultura de temporal, cultivos básicos y productores tradicionales. Puede decirse entonces que la crisis agrícola afecta

fundamentalmente a los campesinos pobres y sus cultivos tradicionales y más grave será la crisis para este sector, cuando se firme el tratado de libre comercio (TLC) México-USA-Canadá, ya que va implícita una alta competitividad que no han tenido ni tendrán nuestros compatriotas ejidatarios, minifundistas y parvifundistas con o sin el apoyo de solidaridad.

No obstante lo anterior, el ejido y la comunidad son todavía la única forma para que 3.5 millones de familias, se mantengan con sus propios medios y recursos. El dilema es que hay que producir más con menor superficie de tierra y de menor calidad.

El presente trabajo está precisamente dirigido a aquellas áreas donde ya no es posible practicar un agricultura de subsistencia ni mucho menos comercial, por el alto avance de la degradación del recurso edáfico al extremo del afloramiento del material parental, regionalmente denominado "Tepetate" (Ruiz 1987).

Agricultura intensiva vs agricultura Bio-Intensiva

No es posible emprender las bondades de la agricultura bio-intensiva sino se entienden los efectos de la agricultura extensiva. Transcurrió más de medio siglo para que el modelo de agricultura denominada moderna o química, como algunos autores la llaman, pusiera de manifiesto de manera evidente sus grandes defectos como modelo de producción de alimentos, a saber: es altamente consumidora de energía, frágil económica y biológicamente, insuficiente energéticamente y autodestructiva. La fragilidad económica de la agricultura moderna está dada por el mito de la intensificación, es decir, la búsqueda del margen bruto máximo por unidad de superficie. La búsqueda de este óptimo económico, bajo una formulación matemática sofisticada para convencer a los incautos de que es irrefutable, constituye en realidad una insensatez (Jeavons, 1991).

No hay que olvidar que la agricultura sobre el plan económico es la combinación de nume-

rosos factores de la producción que se agrupan en tierra-trabajo-capital. Maximizar por si solo la productividad no tiene ningún sentido en general, al menos que sea únicamente por la satisfacción del agricultor, pero para ciertas condiciones, vale más maximizar la productividad del capital, porque maximizar la productividad de la tierra, tiene al menos un resultado cierto, que es hacer gastar al agricultor lo más que pueda, llegándose a un límite tal que el agricultor pierde dinero, entonces bajo la óptica de la agricultura moderna, la intensificación de la agricultura es la maximización de la satisfacción de los vendedores de insumos hacia el productor.

La fragilidad biológica de la agricultura industrializada se presenta cuando en lugar de buscar la producción de plantas sanas y resistentes a las enfermedades, se busca producir dosis crecientes de insecticidas, un ejemplo sería el cultivo de algodón en México, donde el 60% de los costos de producción son destinados al control químico de plagas y enfermedades. Las consecuencias ecológicas de las técnicas modernas de producción no han sido debidamente evaluadas en nuestro país, pero hay indicios de que el exceso de insumos de la producción como los fertilizantes inorgánicos y los pesticidas, sobre todo, estos últimos, cuyos efectos residuales y de persistencia hasta de 20 años, contaminan en forma irreversible al suelo y al agua (National Research, 1989).

La agricultura moderna es council porque propicia la destrucción del medio físico que es el soporte fundamental de la producción, como es el caso de la estructura natural del suelo que es destruido por el exceso de tráfico de maquinaria agrícola, labranza excesiva, causando además problemas indirectos en el suelo como es la compactación, piso de arado, formación de costras superficiales, las que a su vez originan una disminución en la tasa de infiltración y un aumento en los volúmenes de escorrentía, que transportan los nutrientes del suelo y de la materia orgánica en forma de sedimentos.

Existe otra forma de practicar la agricultura, que sea respetuosa de la naturaleza, es una agricultura que ha sido poco entendida y es aquella donde las técnicas de producción se conjugan en forma armónica con las leyes de la naturaleza que no sigan considerando al suelo como una fábrica de producción de alimentos, sino como un ecosistema.

El nombre de esta manera de hacer producir la tierra, sin explotarla, varía, para los europeos es conocida como agricultura biológica o ecológica, para los norteamericanos como agricultura orgánica, bio-dinámica, bio-intensiva o de alternativa. Cualquiera que sea el nombre bajo el cual se le denomine, estaremos hablando de una agricultura en la que se minimice el consumo de energía, los rendimientos energéticos de la producción, así como la posibilidad de demostrar que es capaz de aportar a la población, las calorías proteínas que le son necesarias en su dieta alimenticia, con un menor consumo de energía, una menor superficie de suelo, una mayor calidad de los productos y una saludable restauración del medio ambiente.

El método biodinámico intensivo francés es una síntesis de una variedad de técnicas desarrolladas por escuelas europeas de agricultura y recopiladas por Alan Chadwick, un horticultor inglés. Este método consiste en excavar camas elevadas de 1 a 2 m de ancho por 6 de largo. Los fertilizantes que se utilizan son materias renovables como el estiércol, cenizas de madera, harina de huesos y plantas leguminosas. Las semillas se siembran con espaciamento uniforme sobre toda la cama, el espaciamento mínimo entre las plantas estimula el crecimiento más vigoroso de las mismas, conservando la humedad y retardando el crecimiento de la maleza. Estos elementos se combinan entre sí para lograr un ambiente óptimo para el desarrollo de las plantas.

Los resultados preliminares muestran que este método puede incrementar los rendimientos de hortalizas en un 400% en comparación con los resultados obtenidos con las técnicas agrícolas mecanizadas que se usan hoy en día en los USA.

Las investigaciones efectuadas directamente en el campo indican que se puede cultivar un régimen alimenticio completo y balanceado para una persona en un área de tierra tan pequeña como 260 m² en una temporada de 8 meses, para obtener resultados similares usando técnicas agrícolas comerciales, se requiere de 3,400 m² /persona en la India, 1,100 m²/persona en Estados Unidos y 550 m² en Japón (Larson, 1986).

Sostenibilidad

La agricultura biológicamente sana, puede sostener sus rendimientos porque regresa a la tierra los elementos necesarios para mantenerla fértil. El método bio-intensivo nutre la vida del suelo y mejora la estructura del mismo, es económicamente productivo a pequeña escala y proporciona mejores rendimientos.

En resumen el método de agricultura bio-intensiva por sus características de requerir una tecnología mínima pero sofisticada y poca orientación, es accesible a regiones con recursos limitados a saber:

- * Bajo costo inicial. El método no requiere de maquinaria complicada o de fertilizantes químicos. El elemento tecnológico clave es la pala común.

- * Se necesita de 1/3 a 1/30 de consumo de agua, este aspecto es particularmente importante en zonas áridas o con lluvias escasas.

- * Propicia la autosuficiencia en aquellos lugares con alto desempleo.

- * La diversidad de las cosechas que se pueden obtener estimula la siembra combinada con plantas originarias del lugar, logrando en esta forma un régimen alimenticio variado.

- * Construye un suelo saludable que es la clave para la producción de alimentos se requiere alentar la investigación formal en varias partes del mundo.

Para esta correcta evaluación de la contribución de este método al campo de la producción de alimentos se requiere alentar la investigación formal en varias partes del mundo.

El Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo ha desarrollado un convenio tripartito con Ecology Action y la Universidad de Ohio, para desarrollar el método bio-intensivo en tepetates seleccionando dos áreas experimentales, una en San Miguel Tlaixpan, Edo. de México y otra en Tlaxcala, cuyos objetivos globales son:

a) Demostrar al minifundista de San Miguel Tlaixpan y Tlaxcala que es factible producir hortalizas en los tepetates con el método bio-intensivo.

b) Establecer un módulo demostrativo del método bio-intensivo en los tepetates que sirve para difusión y adopción del método.

c) Evaluar científicamente los cambios físicos, químicos y biológicos, propiciados en los tepetates por la utilización del método bio-intensivo.

MATERIALES Y METODOS

Sitio Experimental

En el Campo Experimental del Departamento de Suelos, de San Miguel Tlaixpan, se establecieron 4 camas en Tepetate Amarillo, se excavaron a una profundidad de 35 cm, cada cama, tiene una longitud de 6 m de largo por 1.50 m de ancho, lo que da un volumen total roturado de tepetate de 3.15 m³.

Tratamientos

Se ensayaron cuatro tratamientos:

Cama N° 1. Testigo, consistió en el tepetate roturado sin adición de ningún material orgánico.

Cama N° 2. Composta, se le adicionó 1 m³ de composta, la cual se mezcló con el tepetate roturado hasta una profundidad de 35 cm. La composta utilizada se fabricó previamente con material verde, alfalfa y materia seca, hoja de

frijol mezclada con pasto, intercalado con copas y añadiendo suelo.

Cama N° 3. Estiércol, se le aplicó 1 m³ de estiércol vacuno, fresco, mezclándose con el tepetate roturado, el estiércol provino de la Granja Experimental de la UACH.

Cama N° 4. Mixto, se mezclaron partes proporcionales de compostas y estiércol, con el tepetate roturado.

Siembra

Cada cama se fraccionó en cuatro partes iguales, es decir, en áreas de 2.25 m² a cada fracción se le asignó un cultivo diferente como a continuación se indica en los Cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Esquema de repartición de los cultivos por cada tratamiento.

Tratamientos	Cultivo			
Testigo	a	b	c	d
Composta	b	c	d	a
Estiércol	c	d	a	b
Mixto	d	a	b	c

a. Rábano. Siembra directa, cuatro semillas por golpe, aclarando a una sola planta dando una densidad de población de 176 plantas.

b. Col. Siembra de trasplante manual con una densidad de 20 plantas por parcela.

c. Coliflor. Siembra de trasplante manual con una densidad de población de 30 plantas por parcela.

d. Calabaza. Siembra directa, con una densidad de población de 15 plantas por parcela.

Cuadro 2. Población de plantas de rábano y calabaza en el experimento de agricultura bio-intensiva en tepetates de San Miguel Tlaixpan.

Tratamiento	Rábano	Col	Coliflor	Calabaza*
Testigo	176	20	30	15
Composta	176	20	30	15
Estiércol	176	20	30	15
Mixto	176	20	30	15

* Plantación reciente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para la ilustración de la bondad del método bio-intensivo sólo se presentarán los datos del cultivo del rábano y la calabaza.

En el Cuadro 3, se indican los resultados del cultivo del rábano.

Cuadro 3. Caracterización del cultivo del rábano bajo condiciones de agricultura bio-intensiva en San Miguel Tlaixpan, Edo. de México.

Características	Testigo	Composta	Estiércol	Mixto
Nº Plantas/parcela	176	450	172	183
Rend. Mat. fresca (kg)	2.40	28.80	30.65	16.30
Follaje (kg)	1.50	13.65	21.35	10.00
Rábano (kg)	0.90	10.15	9.30	6.30
Diámetro medio (cm)	1.54	2.23	2.80	2.22
Long. promedio (cm)	10.80	16.00	15.14	13.40
Rábanos deformados (%)	100	25.12	33.87	19.84

No obstante que el número de plantas de rábano desarrolladas en el testigo fueron suficientes, éstas no desarrollaron satisfactoriamente mas bien fueron raquíticas, reflejándose en el rendimiento y en 100% de deformación de los frutos.

Existe una diferencia marcada en relación al desarrollo del cultivo del rábano en los tratamientos de composta y estiércol, obteniéndose el mayor rendimiento en este último, por lo que se infiere que es el mejor tratamiento en relación al cultivo de rábano.

En el Cuadro 4 se presentan los rendimientos de la calabaza observándose que éstos son mayores en el tratamiento con estiércol, muy similares con el mixto y nulo en el tratamiento testigo.

En relación al consumo de agua por el cultivo del rábano y calabaza éste fue de 750 y de 1071 litros por ciclo, respectivamente, correspondiendo el mejor IDP para ambos cultivos al tratamiento con estiércol.

Cuadro 4. Rendimiento promedio e índice de producción de los cultivos de rábano y calabaza en tepetates de San Miguel Tlaixpan, Edo. de México.

Tratamiento	Rábano			Calabaza		
	Nº de plantas	Rend. kg/m ²	IDP*	Nº de plantas	Rend. kg/m ²	IDP*
Testigo	176	0.400	12x10 ⁻⁴	15	-	-
Composta	176	3.532	106x10 ⁻⁴	15	5.320	112x10 ⁻⁴
Estiércol	176	4.000	122x10 ⁻⁴	15	10.450	220x10 ⁻⁴
Mixto	176	3.159	95x10 ⁻⁴	15	9.589	202x10 ⁻⁴

*IDP. Índice de producción (Rend/consum de agua)

Los cultivos ensayados son contrastantes, ya que el rábano se desarrolla superficialmente y la calabaza en forma aérea o superficial, por la naturaleza misma del tepetate, así como la escasa profundidad, los cultivos aéreos tienen mejor potencial en la región de estudio que aquéllos que se desarrollan por raíces o tubérculos.

El tratamiento de estiércol es superior en rendimiento para ambos cultivos en relación al de composta lo que se explica por su diferente composición, el estiércol es aproximadamente rico en 11 partes de N, 4 de P y 10 de K y una composta de paja tiene una relación C/N de 15:1 y una composición en % de 1.9N, 0.9P y 2.7K, lo que indica una mayor pobreza nutricional de la composta, por ello la diferencia en rendimientos.

CONCLUSIONES

Los tepetates son materiales biológicamente pobres que por sí solos, no sostienen un cultivo, sino que es necesario roturarlos y adecuarles dosis altas de materiales orgánicos, bajo el criterio de agricultura bio-intensiva.

Los cultivos hortícolas representan un potencial para la producción de alimentos en tepetates, mediante el método bio-intensivo.

LITERATURA CITADA

JEAVONS, J. 1991. Cultivo bio-intensivo de alimentos. Ecology Action, Willits, C. A.

LARSON C. 1986. Como alimentar al mundo entero. Rev. Fusión. Vol. 1, No. 2.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1989. Alternative Agriculture, national Academy press. Washington, USA.

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO. 1989-1994. Poder Ejecutivo Federal. D. F., México.

RUIZ FIGUEROA, J. F. 1987. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Departamento de Suelos-UACH. Chapingo, México.

IMPACTOS HUMANOS Y ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

"TEPETATE" IN 16TH CENTURY AND CONTEMPORARY FOLK TERMINOLOGY VALLEY OF MEXICO

El "Tepetate" en el Siglo XVI y la Terminología Popular Contemporánea, Valle de México

Barbara J. Williams

University of Wisconsin Center-Janesville, USA.

Palabras clave: Tepetate, México, Clasificación, Manuscritos, Histórico.

Key words: Tepetate, Mexico, Classification, Manuscript, Historical.

deductivas hoy en día, es poco probable que la clasificación popular corresponda con una taxonomía técnica del tepetate.

RESUMEN

Tepetate, un término popular mexicano del nahuatl tepetlatl, tiene un amplio rango semántico en el uso popular y técnico. Un análisis de documentos sugiere que en la clasificación nahuatl de materiales terrestres del siglo XVI, tepetate fue una clase deductiva definida por una consistencia algo friable y pertenecía a una clase superordenada de materiales "parecidos a piedra," y al mismo tiempo fue una categoría inductiva configuracional incluida en la clase superordenada "tierras de labor". Glifos de suelos dibujados en dos manuscritos pictóricos muestran una taxonomía formal de tepetate de labor basado sobre la textura (y quizás la dureza y otros atributos). El uso contemporáneo coloca al tepetate dentro de ambos dominios de suelo y no-suelo, siguiendo la clasificación original indígena, pero mantiene sólo el atributo "parecida a piedra" con las clases subordinadas basado sobre el color. Porque éstas son las clases

SUMMARY

Tepetate, a Mexican folk term from the Nahuatl tepetlatl, has a wide semantic range in both folk and technical usage. Analysis of documents suggests that in the sixteenth century Nahua classification of earth materials, tepetate was a deductive class defined by slightly friable consistence immediately included in a superordinate class "rock-like" materials, and also an inductive configurational category immediately included in the superordinate class "arable soil." Soil glyphs depicted in two pictorial manuscripts show a formal taxonomy of arable tepetate based on texture (and perhaps hardness and other attributes). Contemporary folk usage places tepetate in both soil and nonsoil domains, as in the original native classification, but retains only the deductive class attribute of rock-like with subordinate classes based on colour. Because these are deductive classes today, the folk classification is unlikely to correspond to a technical taxonomy of tepetate.

INTRODUCTION

Nearly one-third of the piedmont surface surrounding the Valley of Mexico consists of a duripan exposed through erosion of overlying soil. Called tepetate by campesinos (rural folk) from the Nahuatl *tepetlati*, the term has been incorporated into technical scientific vocabulary with a variety of geological and pedological meanings reflecting the semantic range of the native lexeme (Nimlos and Ortiz, 1987; Williams, 1972). To complement discussion of the technical classification of tepetate, this paper examines the folk classification through analysis of 16th century documents and contemporary usage. Pertinent questions addressed include identification of the lexical domain(s) to which tepetate pertains, its use as a soil and nonsoil taxon label, a deductive taxon and an inductive configurational category, taxonomic relations, and its potential for correspondence to scientific taxa.

MATERIALS AND METHODS

Preliminary data on contemporary folk Spanish and Nahuatl soil taxonomies and soil management were gathered through observation and interviewing of campesinos primarily as they worked in their fields during summer ethnographic field work in San Bartolome Coatepec (municipio of Huixquilucan, piedmont west of Mexico City, 1965-1966), in Tepetlaoxtoc (Williams and Ortiz, 1981), San Jeronimo Amanalco and Santa Maria Tecuanulco (eastern piedmont east of Texcoco in 1978-1979), and in Milpa Alta (southern piedmont, 1979) (Williams, 1982). These studies were only preliminary, and much work remains to be accomplished in the field of ethnopedology in the Valley of Mexico and elsewhere.

Historical data on tepetate and the folk soils domain are drawn in part from *The Florentine Codex: General History of the Things of New Spain: Book 11* (Sahagun, 1963). Written in the mid-sixteenth century by Fray Bernardino de

Sahagun using Nahuatl-speaking informants, this codex is a compendium of ethnographic and historical data unique in scope and detail for Nahuatl culture in the Valley of Mexico. In addition, and of primary importance for this paper, are the decipherment and analysis of two pictorial manuscripts, the *Codice de Santa Maria Asuncion* and the *Codex Vergara*. These codices of approximately 50 folios each were drawn in the mid-1540's in preconquest native hieroglyphic style but without colour. They picture approximately 1,100 household properties for fifteen settlements in the environs of Tepetlaoxtoc, located 8 km northeast of Texcoco in the eastern Valley. The agricultural fields pertaining to each household are drawn twice in two different sections of each codex. In one section, called *milcocoli*, fields are drawn to show perimeter measurements and the soil type, shown by a glyph in the center of the field (Fig. 1A). In another section, called *tlahuelmantli*, the same fields are drawn again, but instead of perimeter measurements, the area of each field is shown, and again the soil type of the field is indicated by a glyph (Fig. 1B) (Williams and Harvey, 1988). By comparing these duplicate field lists with their associated soil types, glyphs representing generic and subordinate soil taxa may be identified and segregated from glyphs which represent descriptive phrases or which are merely stylistic variants (Williams, 1982).

From the work of Berlin *et al.* (1973), Brown *et al.* (1976) and Hunn (1977), general principles of folk taxonomies have been identified and provide the analytical framework applied here. A folk taxonomic structure usually has a Unique Beginner at Level 0, few classes at Level 1 (analogous to life form level in biological domains), the bulk of the taxa at Level 2 (generic), and few taxa at Level 3 (species), usually a contrast set partitioned on one or two dimensions. Level 4 (varietal) taxa are very rare. Nomenclature in folk taxonomies usually provides a guide to the taxonomic structure. In mapping folk taxonomies, particularly in the soils domain, a major problem lies in differentiating between lexemes which label taxa from those which are descriptive

phrases. Generally, taxa are characterized by multiple criteria whereas descriptive phrases only add features referred to in the phrase. Also, taxa labels are more stable over time and between informants (Williams and Ortiz, 1981).

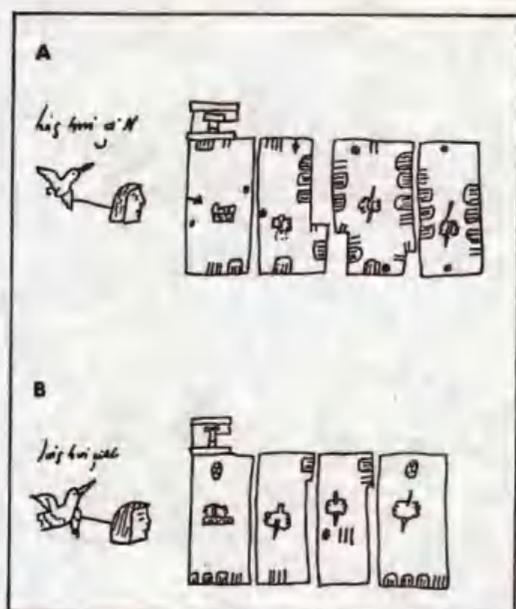


Figure 1. Household Fields of Luis Huiciti with Soil Glyph in Center, as shown in Milcocoli List (A) and Tlahuelmantli List (B), Codice de Santa Maria Asuncion.

The categories present in folk taxonomies result from the processes of both deduction and induction. As noted by Hunn (1977): "Deduction generates categories a priori by statement of a defining rule. Such categories are known by reference to a set of defining features. If an object possesses the defining features, it is a member of the category... Inductive categories must be created by abstracting a configuration from a sample of the membership of the category. No defining rule is given. With reference to folk-biological taxa, inductive categorization is constrained by the objective discontinuities in nature. Induction tends to produce a best possible fit between natural discontinuities and a psychologically and ecologically efficient system of classification."

TEPETATE AS A NONSOIL CLASS IN THE 16TH CENTURY

In Nahuatl *talli* is a Unique Beginner Level 0 lexeme with a number of referents, including soil, earth, topography, and homeland. In Book 11, Chapter 12 under the category of different kinds of earths /*talli*/ (analogous to Level 1 life form), Sahagun records the nature of soils (third paragraph), the useless soils (meaning non-agricultural, fourth paragraph), kinds of earth from which to make ollas and water jars (fifth paragraph), topographic features (sixth paragraph), and rocks that are worked (also including other rocks, seventh paragraph). The lexeme *tepetlatl*, from which the Spanish term *tepetate* is derived, is described under the section on rocks: "It is whitish, porous. It is porous. I break up *tepetlatl*. I dig up *tepetlatl*" (Sahagun, 1963). I have suggested elsewhere, however, that rather than true rock, *tepetlatl* was (and is) a lexeme labeling an earth material intermediate in consistence between hard, consolidated rock (*tetl*) and unconsolidated material (e.g. *xalli* loose sand) (Williams, 1972). The etymology of *tepetlatl* (*tetl*, *petlatl*: rock mat) suggests "soft rock" or "rock-like". Also, other descriptions in Sahagun imply a tripartite classification of earth materials into non-rock, rock-like, and rock with the differentiating criterion being the ability to crush or pulverize the material with moderate pressure, such as by hand. The importance of resistance to pressure, for example, is seen in the description of mica: "It can be broken up; it is resistant; it is something which can be reduced to fragments in the hands" (Sahagun, 1963). In a number of instances, the lexeme *tepetlatl* is used as a comparative reference, as in the description of a type of limestone, *tenextetl*: "It is (a rock) which may be broken up; which is broken up, which is burned. It is like *tepetate*, like *cacalotetl*; hard" (Sahagun, 1963). The idea that friability continues to be a defining criterion was demonstrated in the field, when informants illustrated the difference between genuine rock *piedra legitima* and rock-like *tepetate* by picking up a

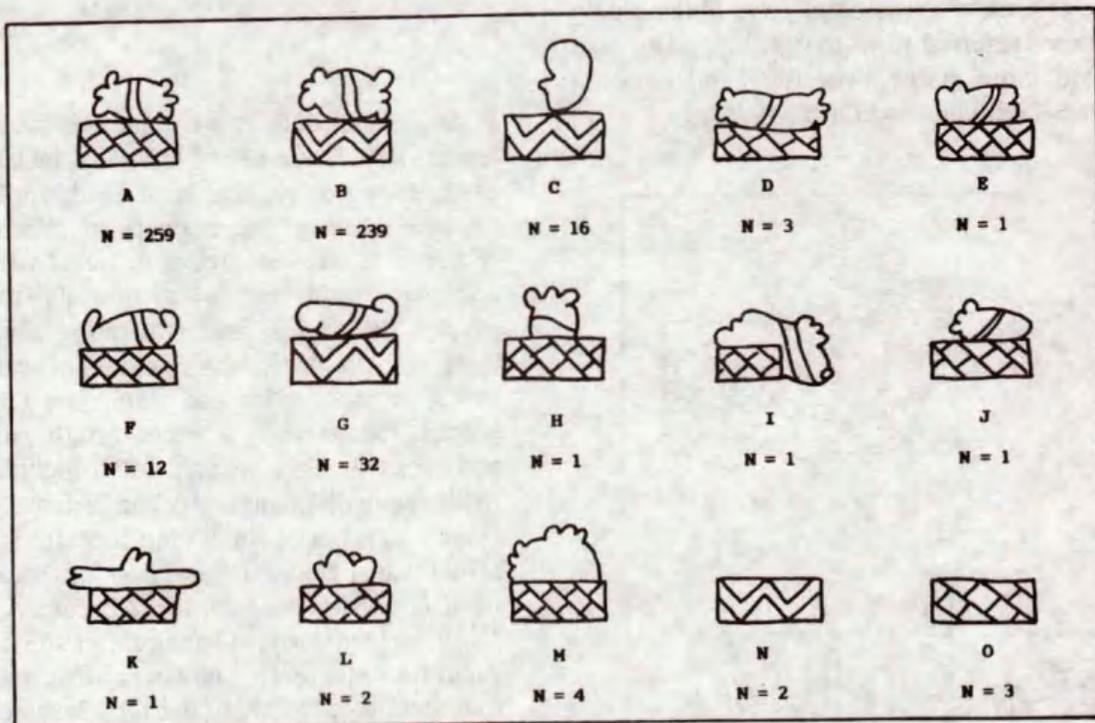


Figure 2. Glyphic Variants of Tepetlatl (tepetate), Level 2 Generic Taxon. N= frequency in the Codice de Santa Maria Asuncion and the Codex Vergara.

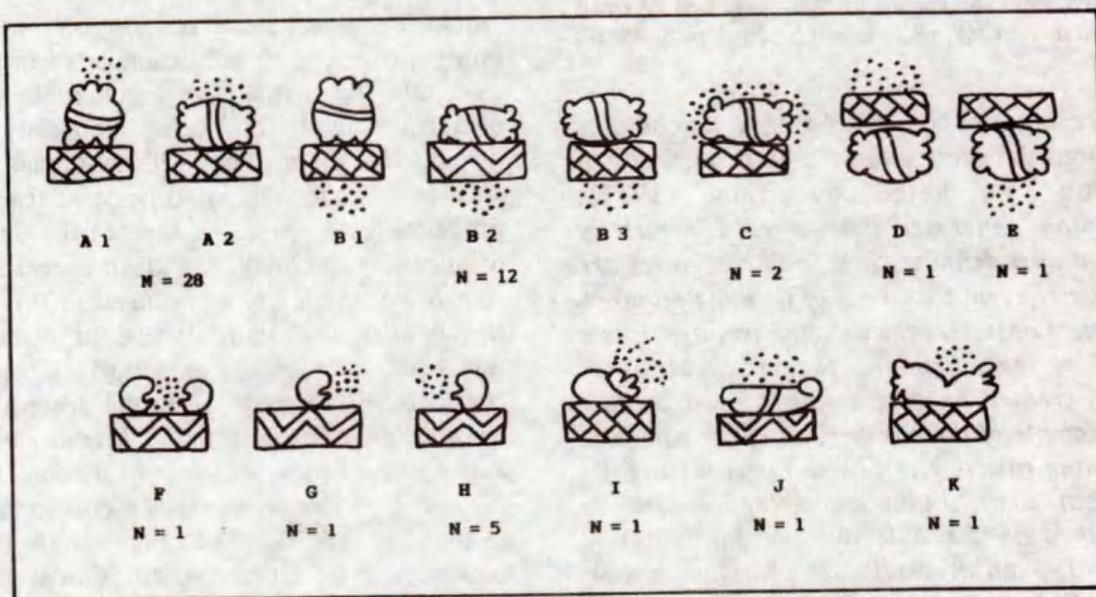


Figure 3. Glyphic Variants of Tepetlatl xalalli (sandy/gravelly tepetate), Level 3 Species Taxon. N = frequency in the Codice de Santa Maria Asuncion and the Codex Vergara.

block of tepetate and crushing it in the hand and by throwing a block against a stone, where upon the tepetate disintegrated into small clumps and particles. Tepetlatl, therefore, seems to have been a deductive taxon in 16th century Nahuatl, defined by the criterion of very slightly friable, which could apply to a wide variety of earth materials and would explain its wide semantic range surviving to the present.

TEPETATE AS A SOIL TAXON IN THE 16TH CENTURY

According to Sahagun, tepetlatl belonged to the domain of rock or rock-like materials. But, in the 16th century did tepetlatl pertain to the domain of soils as well? Although Sahagun's Florentine Codex makes no reference to tepetlatl as part of the soils domain, the codices from Tepetlaoxtoc indicate quite clearly that it pertained to a life form Level 1 class "arable soil" in that area. The constituent noun roots of tepetlatl are shown by a combination of the glyph for *teitl* (stone) or *tentli* (lips) to give the syllable *te-* and the glyph for *petlatl* (mat). This glyphic combination with additions of dots and the spine graphemes occurs in several hundred fields in the codices. The glyphs may be grouped into four sets on the basis of their constituent graphemes. These sets, I believe, pictorially show taxonomic relations between classes of arable tepetate. Included also within the Level 1 class of arable soils as shown by the soil glyphs were clays, yellow soil, alluvium, sandy soil, stony soils, and "hillslope" soils. Documentary and ethnographic data suggest that most of these were multi-dimensional configurational categories contrasting at the generic level. It is reasonable to assume, then, that tepetate was also a configurational category at the generic level contrasting with these other soil taxa.

Tepetate at the generic Level 2 is shown by stone or lips plus mat which would be read *tepetlatl* (Fig. 2). Based on the graphemes there were two contrasting subordinate classes of *tepetlatl*. One is shown by a combination of stone or lips plus mat plus dots, the latter which I

interpret as sand or gravel, and would read *xaltepetlatl* or *tepetlatl xalalli*, sandy/gravelly tepetate (Fig. 3). The other Level 3 species taxon is composed of stone plus mat plus spine, the latter which gives the syllable *-co*. A stone pierced by a spine reads *tecoquitl*, clayey soil. Thus, this combination may be read clayey tepetate, *tepetlatl tecoquitl* (Fig. 4). Finally, a fourth combination of glyphic elements (stone, mat, dots, and spine) forms a varietal Level 4 class reading sandy/gravelly clayey tepetate, *tepetlatl tecoquitl xalalli* (Fig. 5). Thus, the pictorial record suggests a hierarchy of classes which would qualify as a formal taxonomy: tepetate gn, a specific level contrast set of clayey and sandy/gravelly tepetate, and a varietal sub-class, sandy/gravelly clayey tepetate.

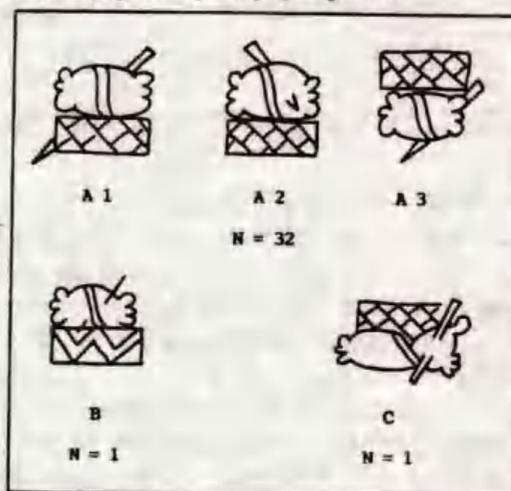


Figure 4. Glyphic Variants of *Tepetlatl tecoquitl* (clayey tepetate), Level 3 Species Taxon. N = frequency in the *Codice de Santa Maria Asuncion* and the *Codex Vergara*.

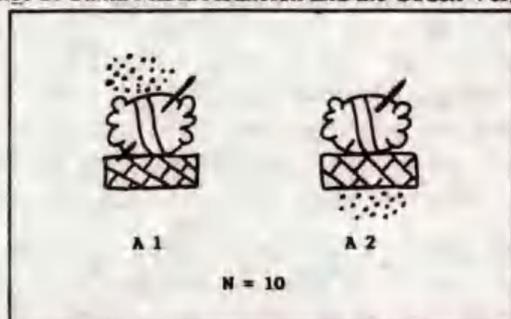


Figure 5. Glyphic Variants of *Tepetlatl tecoquitl xalalli* (sandy/gravelly clayey tepetate), Level 4 Varietal Taxon. N = frequency in the *Codice de Santa Maria Asuncion* and the *Codex Vergara*.

Each of these taxa have a number of glyphic variants. Some are drawn only a few times, which suggests scribal omission (for example, see taxa Fig. 2-N and 2-O which lack the stone glyph) or stylistic variation (for example, see taxa Fig. 3-G and 3-H). On the other hand, as Joaquin Galarza and his students have shown in numerous studies of native pictorial manuscripts (for example Galarza, 1972; Thouvenot, 1982; Mohar, 1990), native scribes were very meticulous, and details of each grapheme, arrangement on the page, size of grapheme, and so forth, convey a text. Thus, these soil glyph variants probably relate more information about the particular soil than suggested here. Whether a more complete decipherment would reveal descriptive phrases or further elaboration of configurational categories requires further investigation.

16TH CENTURY LEXEME STABILITY

The large number of glyphic variants raises the question of the stability of lexemes and the taxa which they represent. Because grapheme combinations (e.g. stone-mat-spine) reoccur in different communities, the soil lexemes and taxa apparently were stable between informants and shared across community boundaries, and were not the product of place-specific observation and naming practices (Williams, 1980). Consistency in the identification of taxa and application of lexemes also tests stability. Fortunately, the listing of household fields occurs twice in the codices, so that consistency can be analyzed in the identification of soil types as shown by the graphemes. As a case study, the tlahueltmantli fields with tepetate taxa have been compared with the same fields in the milcocoli list in the *Codice de Santa Maria Asuncion*. The results are discussed below.

The generic level tepetate glyph occurs in 90 tlahueltmantli fields (Fig. 6). An identical glyph is found in 38% of the matching milcocoli fields, and variant stone glyphs with mat match another 14% of the tlahueltmantli glyphs, so that in approximately half (52%) of the occurrences,

tepetate is consistently identified in both field records. The majority of the non-matches (28%) show tepetate classed instead as stony soil (tetlalli), shown by stone glyphs. That a field could be classed as stony (attribute of hard?) soil at one time and tepetate at another would fit with the rock:rock-like definition of the class mentioned in Sahagun. In 8% of the cases tepetate is classed in the milcocoli list as what I have identified as "yellow soil" (tlalcoztli, shown by the stone-dot glyphs). In Tepetlaoxtoc today, tepetate is not a soil taxon, but when it is pulverized and worked, the earth is then classed as tierra amarilla, "yellow soil". Possibly what the mismatch reflects is a fuzzy taxonomic boundary between tepetate and what tepetate can become with management over time (i.e. with pulverization and addition of amendments). Generic tepetate is classed also as clay in 8% of the milcocoli fields and is discussed below.

Neither of the two Level 3 sub-classes of tepetate are applied consistently between the two lists: clayey tepetate is consistent in only 12% of the fields, sandy/gravelly tepetate in only 8%. The Level 4 taxon sandy/gravelly clayey tepetate is not applied at all in the milcocoli list, and is not discussed here because of low frequency (N=6). Clayey tepetate is most often reclassified in the milcocoli field list as clay or sandy clay (46% of the occurrences), that is, with another generic class entirely. Only in 27% of the non-match occurrences does clayey tepetate remain as a tepetate taxon, either the generic or the sandy/gravelly sub-class (Fig. 7). This same pattern is found in the reclassifications of sandy/gravelly tepetate. Sandy/gravelly tepetate is most often reclassified as clay or sandy clay (59% of the fields). Only in 29% of the non-match fields does it fall into generic tepetate or clayey tepetates (Fig. 8). In other words, the soils landholders or the scribes identified as sub-classes of tepetate when the tlahueltmantli record was drawn were more often identified as clay taxa (46% and 52% of the time) than as tepetate taxa (39% and 34% of the time) when the milcocoli record was drawn. Classifications of the two specific level tepetate taxa into clay taxa are too

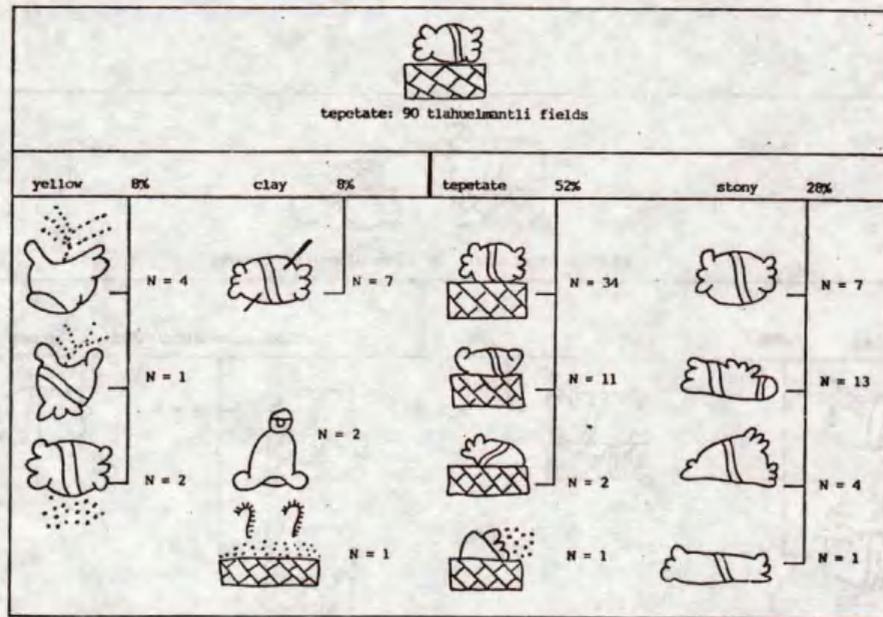


Figure 6. Tlahuelmantli Fields Classed as Tepetate (top row) as Shown in Milcooli Field List (columns). In 52% of the fields, tepetate is consistently identified in the two lists.

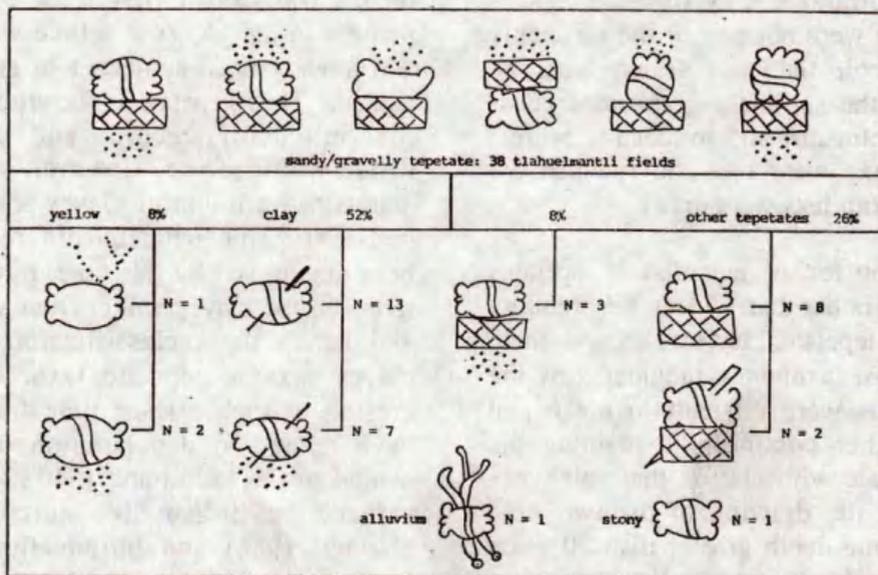


Figure 7. Tlahuelmantli Fields Classed as Sandy/Gravelly Tepetate (top row) as Shown in the Milcooli Field List (columns). In 8% of the fields, sandy/gravelly tepetate is consistently identified in the two lists.

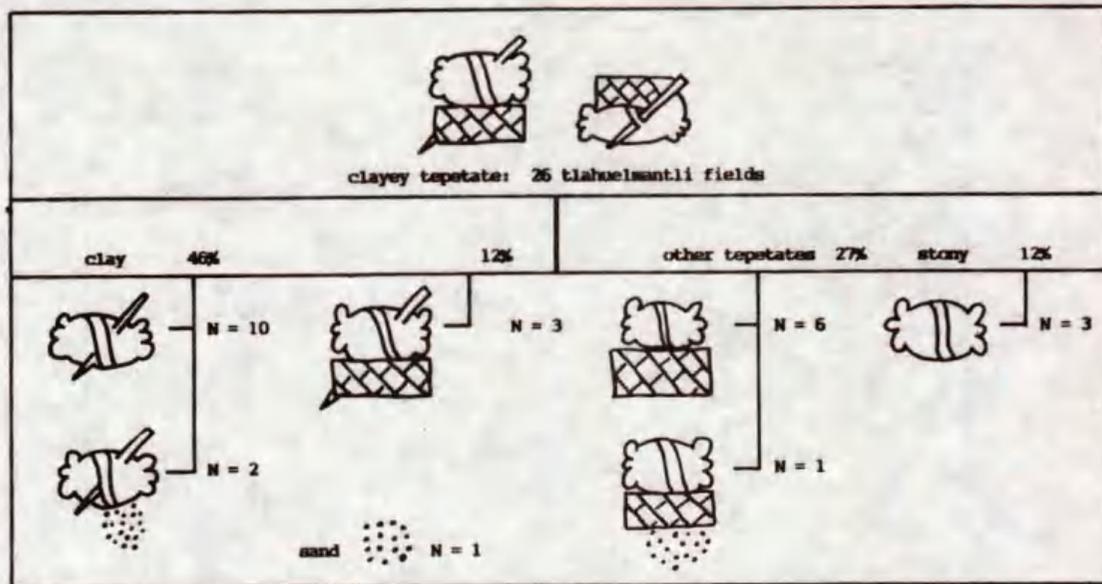


Figure 8. Tlahuelmantli Fields Classified as Clayey Tepetate (top row) as Shown in the Milcocoli Field List (columns). In 12% of the fields, clayey tepetate is consistently identified in the two lists.

systematic to be fortuitous. A hypothesis that subclasses of tepetate were not part of the taxonomy when the milcocoli list was drawn must be rejected because the sub-class graphemes occur in both the tlahuelmantli and milcocoli records. Apparently the taxa were real and spanned the timeframe when both lists were drawn.

One explanation for the equation of tepetates with clays is that, rather than a clear discontinuity between clay and tepetate, clay was seen to grade into tepetate. Thus, taxonomic judgments by the Nahuatl campesinos were difficult to make and ambiguous. Another possibility explaining the equation of tepetate with clay is that soil types changed between the drawing of the two field lists. However, time depth greater than 20 years (a generation) is unlikely because the lists are so similar in terms of matching of other soil types, the same landholders appear in both lists, properties match, and so forth. As a possible sequence of events, I suggest that the milcocoli

record was drawn first after Spanish contact, perhaps in the 1530's at a time when some fields had already been subjected to erosion exposing tepetate. Thus, tepetate is shown in some fields in the milcocoli record and again in the tlahuelmantli record. However, some fields still maintained a solum of clayey soils. Then, in the mid-1540's, the tlahuelmantli record may have been drawn, and by this time, further erosion had removed the clayey solum from still more fields, and hence the reclassification of soils from clayey taxa to tepetate taxa. Causes for the erosion in such a short time framework would have related to depopulation due to the epidemics of the 1530's and 1540's (all communities suffered greater than 50% mortality according to Harvey, 1986) and introduction of livestock, perhaps beginning with the assignment of Tepetlaoxtoc to the encomienda of Cortés and Gonzalo de Salazar. Other papers in this volume may provide data from which to assess the plausibility of the scenario suggested here.

In summary, the grapheme combinations in the two Tepetlaoxtoc codices indicate that a formal taxonomy of four hierarchical levels probably existed for tepetate as an agricultural soil. They also suggest partitioning based on texture and hardness. Tepetate was most consistently identified at the generic Level 2 (50%) and overlapped most closely with stony soil (28%). Subordinate tepetate taxa show low consistency of identifications. Explanations for the inconsistency in taxonomic identifications may relate to actual soil changes in the interim between the drawing of the two records or ambiguity in the taxa.

CONTEMPORARY CLASSIFICATIONS OF TEPETATE

In the Valley of Mexico today, tepetate is perceived as an arable soil, as a soil but non-arable, as a nonsoil, or a combination of the above, depending on the type of tepetate. That is, tepetate belongs to several domains. Some of the nonsoil non-agricultural categories are made arable by technology (hand and mechanized pulverization and addition of amendments). When nonsoil tepetate is converted into an arable soil in Tepetlaoxtoc, it becomes part of the soils domain at the generic level label *tierra amarilla*, with no linguistic indication of taxonomic relations with tepetate. In other parts of the Valley both the soil and nonsoil types are classed by colour as white tepetate, red tepetate and yellow tepetate, by both Spanish and Nahuatl-speaking campesinos.

Soil class labels referring to colour, although suggesting single dimension categories, in fact have been found to label configurational categories typical of generic taxa (Williams and Ortiz, 1981). Published data offer little clarification of this point for tepetate. (See Wilken, 1987 for a discussion of tepetate soils in Tlaxcala). Among Nahuatl speakers in San Geronimo Amanalco and Sta. Maria Tecuanulco, generic tepetate is identified by its rock-like

attribute but partitioning of the class is not based on hardness. Probably because arable tepetates are largely anthroposols (ethnosols), and the soils are managed soils, Nahuatl campesinos are aware of soil mixtures, which they add to the class labels as descriptive phrases, such as *tepetlacutzli cuauhtlalli tlanelique* (yellow tepetate mixed with wood soil) (Williams, 1982).

CONCLUSIONS

In the 16th century, *tepetlatl* referred to both rock-like materials and agricultural soils. As a rock-like material, *tepetlatl* probably was a deductive taxon based on a defining criterion of slightly friable consistence. As an agricultural soil, soil glyphs suggest there was a complex, formal taxonomy of three or four levels, which structurally conformed to the general principles of folk taxonomies. The agricultural soil taxa may have been configurational categories defined in part by texture (and perhaps hardness and other dimensions). More detailed decipherment of the soil glyphs and additional textual material are needed to clarify this point. At least in the Tepetlaoxtoc area, the taxonomy of tepetate as an agricultural soil was shared between informants and between communities.

Although data are incomplete, the contemporary folk classification of tepetate seems extremely shallow and simple compared to that of the 16th century Nahuatl as represented in the codices from Tepetlaoxtoc. Spanish influences apparently brought simplification of native language taxonomies as linguistic acculturation occurred (Williams and Ortiz, 1982). Rural depopulation and agricultural transformations which took place in the Colonial period further attenuated knowledge in the soils domain. Also, where erosion of the solum occurred, the 16th century folk classifications would have been rendered obsolete and non-adaptive in the changing agricultural environment (See Dunning n.d. for discussion of native soil classifications and agricultural change).

Surviving from 16th century Nahua classification are:

1 ambiguity at the life form Level 1. Tepetate still refers to rock-like material and to agricultural soils;

2 tepetate today is apparently a deductive generic taxon based on consistence (very slightly friable) from the Nahua class of rock-like material with sub-classes not based on texture or hardness but on colour, the latter attribute not part of Nahua taxonomy of arable tepetate but rock-like tepetate;

3 if configurational categories of tepetate as an agricultural soil existed as proposed, they have not survived.

Several technical studies on tepetate which have taken the contemporary folk classes into account found no systematic, measurable differences between the folk classes. For example, Pacheco (1979) found that tepetates of different colours had similar mineral composition in the sand fraction and that the red-yellow colour contrast reversibly changes with exposure to varying moisture. On the other hand, significant differences have been shown to exist in tepetate materials (Nimlos, 1989; Nimlos and Hillery, 1990). Further investigation may confirm that the contemporary folk classes of tepetate illustrate Hunn's observation (1977) that deductive folk taxa rarely correspond to scientific taxa. In this case, the folk classification may not be a good guide to a scientific taxonomy of tepetate in the Valley of Mexico.

REFERENCES CITED

- BERLIN, B., D. E. BREEDLOVE and P. H. RAVEN. 1973. General principles of classifications and nomenclature in folk biology. *Am. Anthropologist* 75: 214-242.
- BROWN, C. H., H. KOLAR, B. J. TORREY, T. TRUONG QUANG, and P. VOLKMAN. 1976. Some general principles of biological and non-biological folk classification. *Am. Ethnologist* 3: 73-85.
- CODEX VERGARA, MS MEX. 3-39. Bibliothèque Nationale de Paris, France.
- CODICE DE SANTA MARIA ASUNCION, APEO Y DESLINDE DE TIERRAS (DE LOS TERRENOS) DE STA. MARIA ASUNCION. MS 1497 bis, Biblioteca Nacional de México.
- DUNNING, N. 1990. The implications of folk soil taxonomies for agricultural change in Middle America. In: Cyrus B. Dawsey III (ed.). *Proceedings, Conference of Latin Americanist Geographers 20 th Anniversary Meetings*. Auburn: Auburn Univ. Press, USA.
- GALARZA, J. 1972. Lienzos de Chiepetlan (México). *Mission Archéologique et Ethnologique Française au Mexique*, Mexico, Mexique.
- HARVEY, H. R. 1986. The population of Tepetlaotoc in the 16th century. *Mexicon* 8 (5): 107-111.
- HUNN, E. 1977. *Tzeltal folk zoology*. Academic Press, New York, N.Y., USA.
- MOHAR B., L. M. 1990. *La escritura en el México Antiguo*. Plaza y Valdés Publ., México, México.
- NIMLOS, T. J. 1989. The density and strength of mexican tepetate (Duric materials). *Soil Science* 147 (1): 23-27.
- NIMLOS, T. J. and P. A. HILLERY. 1990. The strength/moisture relations and hydraulic conductivity of mexican tepetate. *Soil Science* 150 (1): 425-430.
- NIMLOS, T. J. and C. ORTIZ S. 1987. Tepetate the rock material. *The Journal of Soil and Water Conservation* 42 (2): 83-86.
- PACHECO L., M. d C. 1979. *Cartografía y caracterización mineralógica de los tepetates del oriente del Valle de México*. Tesis Ing. Agrónomo (Suelos). UACH. Chapingo, México.
- SAHAGUN, FRAY BERNARDINO DE. 1963. *The Florentine Codex: general history of the things of New Spain: Book 11*. Charles E. Dibble and Arthur J. Anderson (ed. and trans.) School of American Research and University of Utah Press, Santa Fe, Utah, USA.

THOUVENOT, M. 1982. Pierres précieuses glyphées: étude de quelques vignettes du Codex Florentino de Fray Bernardino de Sahagún (Mexique ancien). *L'ethnographie* 78 (86) 1: 31-102.

WILKEN, G. 1987. Good farmers: traditional agricultural resource management in Mexico and Central America. Univ. of California Press, Berkeley, USA.

WILLIAMS, B. J. 1972. Tepetate in the Valley of Mexico. *Annals of the Association of American Geographers* 62 (4): 618-623.

WILLIAMS, B. J. 1980. Pictorial representation of soils in the Valley of Mexico: evidence from the Codex Vergara. *Geoscience and Man* 21: 51-61.

WILLIAMS, B. J. 1982. Aztec soil glyphs and contemporary Nahua soil classification, pp. 206-222. *In*: M.N. Jansen & T.J.J. Leyenaar (eds.). *The Indians of Mexico in Precolumbian and Modern Times*. Rijksmuseum voor Volkenkunde, Leiden, Netherlands.

WILLIAMS, B. J. and C. ORTIZ S. 1981. Middle American folk soil taxonomy. *Annals of the Association of American Geographers* 71: 335-358.

WILLIAMS, B. J. and H.R. HARVEY. 1988. Content, provenience and significance of the Codex Vergara and the Códice de Santa María Asunción. *American Antiquity* 53: 337-351.

MANEJO DEL AGUA EN CONDICIONES DE SECAÑO EN TLAXCALA, MEXICO

Water Management in Rainfed Agriculture in Tlaxcala, Mexico

Alba González Jácome

Posgrado en Antropología Social, Depto. Ciencias Sociales y Políticas, Univ. Iberoamericana, D.F., Méx.

Palabras clave: Tepetates, Suelos volcánicos endurecidos, Tlaxcala, Erosión, Historia, Recuperación de suelos.

Index words: Tepetate, Indurated volcanic soils, Tlaxcala, Erosion, History, Soil reclamation.

RESUMEN

Este trabajo da una perspectiva global del manejo de los recursos naturales relacionados con la erosión y las acciones dirigidas a la recuperación de suelos endurecidos con fines agrícolas en Tlaxcala desde tiempos prehispánicos. Se incluyen ejemplos de manejo, de la tecnología empleada, y de los efectos socioculturales.

La erosión de los suelos provocada por el hombre en Tlaxcala está reportada por varios investigadores para épocas tan tempranas como la prehispánica. Zonas agrícolas prehispánicas importantes, como las zonas terraceadas de los Cerros Blancos, fueron abandonadas con el decrecimiento poblacional. La pendiente, la falta de vegetación protectora, las lluvias torrenciales, la acción eólica y el abandono humano, permitieron que estas zonas quedaran rápidamente erosionadas y sus posibilidades de uso agrícola reducidas al mínimo.

Durante la colonia, la creación de asentamientos humanos y su expansión hacia los cerros se asocian también con la presencia de zonas

erosionadas. La conversión de terrenos agrícolas a zonas de pastoreo para ovejas no ayudó a la recuperación del suelo.

A finales del siglo XIX y principios del XX, áreas agrícolas con presencia de tepetate se convirtieron en minas para obtención de cantera y productos minerales.

La construcción inadecuada de caminos incrementó el proceso de formación de barrancas, principalmente en la zona Hueyotlipan-Apizaco, y junto con la introducción de maquinaria agrícola, deforestación creciente, monocultivo y pastoreo, ha acentuado los procesos de erosión en Tlaxcala.

La erosión ha afectado la economía de los campesinos que han visto disminuir la productividad de sus terrenos de cultivo. Sin embargo, actualmente se están presentando fenómenos en relación a la recuperación de terrenos agrícolas con la roturación de tepetates por los propietarios de los terrenos, a través de un proceso que si bien ha sido lento, ha sido constante y con el apoyo de programas estatales de terraceo mediante la utilización de maquinaria pesada.

SUMMARY

This work gives a global perspective of the management of natural resources in relation to

erosion and the actions that lead to the reclamation of hardened volcanic soils for agricultural use in Tlaxcala since prehispanic times. Examples of management, technology employed, and sociocultural effects are discussed.

Soil erosion caused by man in Tlaxcala has been reported by several researchers from prehispanic times. Important prehispanic agricultural zones, such as those from Cerros Blancos, were abandoned because of population decrements. Slope, lack of vegetation, thunderstorms, wind, and human abandonment allowed erosion to take place fast in those zones, producing minimum possibilities of agricultural use.

During colonial times, urbanization and its expansion to the hillslopes are also associated to eroded zones. The change from agricultural to grazing lands did not help the reclamation of those lands.

By the end of the XIX century and the beginning of the XX century, agricultural lands with tepetate were turned into mines to obtain stone and mineral products.

The inadequate construction of roads increased the formation of gullies, mainly in the Hueyotlipan-Apizaco zone, and along with the introduction of heavy machinery in agriculture, deforestation, monoculture, and grazing, have accelerated the erosion processes in Tlaxcala.

Erosion has affected the farmers' economy, who have seen a diminishment of their land productivity. However, a phenomena related to the reclamation of eroded lands has been arising through the ripping of tepetates by the land owners, a slow although steady process, and by state programs of terracing using heavy machinery.

INTRODUCCION

La erosión en Tlaxcala se ha incrementado. De acuerdo a Cruz (1949), el 72.2% del total estatal sufría algún efecto erosivo y para 1981 se

incrementó a 75.7%, de acuerdo a la modificación de Werner al inventario de la SARH de 1983 (Werner, 1988).

El incremento del área afectada por erosión y su grado de impacto se relacionan con el manejo del suelo. En este escrito, se explorarán algunos elementos históricos y contemporáneos acerca de la erosión y del manejo de los recursos que han hecho los Tlaxcaltecas.

EPOCA PREHISPANICA

En Tlaxcala, la erosión causada por el hombre está reportada por arqueólogos e historiadores para épocas tan tempranas como la prehispánica. García (1986) señala: "Durante la época prehispánica los cultivos y la tala de los bosques para ampliar éstos, o para el uso de la madera, fueron los elementos básicos en los fenómenos de erosión."

Para García (1986), en la época prehispánica hay dos elementos que permiten el control de la erosión: 1) la siembra de cultivos en laderas y cerros mediante terrazas, cuya altura y anchura dependían de la pendiente, y 2) la fabricación de canales de drenaje, o de control de la erosión. El mismo autor elabora una cronología sobre la aparición de técnicas relacionadas con el control de la erosión como se observa en el Cuadro 1.

Doolittle (1990) opina que aún faltan incluir descripciones detalladas de los elementos asociados con los sistemas de riego en Tlaxcala y que la información proporcionada por los arqueólogos que han investigado el área, carece aún de suficiente evidencia en relación con varios problemas: desconocimiento de la antigüedad de los mismos, descripciones detalladas de sus características (ancho de los muros, grosor de la base, etc), y explicaciones adecuadas de la "complejidad" de los sistemas.

Hernández (1987) consideraba que, en la construcción de terrazas prehispánicas, los pobladores utilizaron las zonas de tepetate como

basamento para construir sus habitaciones; de la misma forma construyeron los primeros canales para desviar el agua fuera de las terrazas, debido a que durante la estación lluviosa el tepetate podía ablandarse y fracturarse fácilmente. De ahí, también aprendieron que el tepetate podía cortarse y modelarse a su gusto, mediante la aplicación de agua, lo que ocurriría 600 años AC.

Las zonas cultivadas intensivamente (2 ó 3 cosechas anuales), tanto en terrazas como en camellones, estaban protegidas a lo largo del año, atenuando los efectos erosivos del agua y del viento, además de recibir periódicamente insumos de materia orgánica; tanto agualodo de los canales y zanjas, como abono verde de restos vegetales, y abono proveniente de heces humanas y algunos animales domésticos (aves) o silvestres (murciélagos). La plantación de maguey en los bordos permitió retener la tierra en las terrazas. Hernández (1987) considera que el maguey fue una planta introducida en Tlaxcala por grupos de origen chichimeca (otomí), procedente de las zonas áridas (noroeste); lo que ocurriría 600 a

800 años antes de la llegada de los españoles a Mesoamérica (Postclásico). Esta idea es diferente de la expresada por autores como Parsons y Parsons (1990) quienes piensan que el maguey fue la planta que permitió la expansión de las sociedades agrícolas mesoamericanas hacia el norte, durante el Clásico y el Posclásico.

La utilización prehispánica de la coa, o bastón plantador, en la agricultura, hizo que los terrenos que no se terracearan, estuviesen cubiertos con maleza, ya que sólo quedaba al descubierto el área aledaña al agujero por donde entraba la punta endurecida de la coa. Así, el suelo agrícola de zonas no terraceadas estuvo protegido de fenómenos relacionados con la erosión.

Los sistemas agrícolas de terrazas estaban asociados a la construcción de bordos de tierra, hileras de zanjas y canales y la incorporación de materia orgánica sobre las parcelas de cultivo, que requerían elevados niveles de fuerza de trabajo. Es probable que las fluctuaciones demográficas estuvieran relacionadas con la

Cuadro 1. Cronología de las prácticas relacionadas con el control de la erosión.

Época	Prácticas relacionadas a la erosión
1,600 a 1,200 AC	Terrazas modificando la pendiente, evitando o retardando la erosión, al retener el suelo.
1,200 a 800 AC	Uso de terrenos en lomas con pendiente que variaba de 1 a 12 grados (promedio: de 1 a 4 grados). Canales "...para tener control sobre el agua de lluvia..." en la parte superior, o al inicio de la terraza, continuando el peralte de la terraza inmediata anterior. Canales para desviar el agua hacia las barrancas; jagueyes excavados en tepetate y zanjas o estribos.
800 a 400 AC	Agricultura intensiva en el suroeste, incluye lomeríos y planos. Pendiente en lomas y cerros de 1 a 3 grados (35%), de 3 a 5 grados (30%) y mayor de 5 grados (10%). Canales de desagüe y de riego, depósitos y represas, terrazas con muros recubiertos de piedra o de tepetate cortado. Canales para controlar agua de lluvias, sistemas de canales de riego a partir de represas. Represas en 13% de los asentamientos. Diques de 2 a 4 metros de altura en barrancas de cerros, con drenes en los extremos para irrigar terrazas en la pendiente inferior.
400 AC a 200 DC	Máximo desarrollo de las técnicas de cultivo e irrigación. No se descubre ninguna otra. 75% de asentamientos están en lomas y cerros (Cultura Tezoquipan), 50% de ellos en pendientes <3 grados, 30% en pendientes de 3 a 5 grados y el 20% en pendientes >5 grados. Aumenta la captación de agua en jagueyes. Chinampas y camellones en lagunas y ciénagas. Diques en ríos asociados a canales para irrigar. Posible cultivo en áreas mayores, sin aplicar técnicas de control de erosión.
200 a 700 DC	Se inicia el cultivo del maguey en la orilla de terrazas (formación de bordos), reteniendo suelo. Aparecen instrumentos de piedra para trabajar la fibra del maguey y malacates para hilarlo, lo mismo que hornos para cocinar los quiotes del maguey. Primera etapa de destrucción y pérdida de suelos causada por actividades humanas.
700 a 1,100 DC	Incremento de procesos erosivos y abandono de zonas donde declina la productividad.
1,100 a 1,500 DC	Continúa la acción erosiva de suelos agrícolas.

degradación de sistemas agrícolas. Zonas agrícolas prehispánicas como las áreas terraceadas en Tizatlán, en los Cerros Blancos, fueron abandonadas y, por la pendiente, la falta de una capa protectora, los aguaceros torrenciales y/o la acción del viento, quedaron rápidamente erosionadas y sus posibilidades de uso agrícola decrecieron notablemente.

EPOCA COLONIAL

Varias causas se atribuyen a la erosión durante la época colonial. Urbanismo, pastoreo, cambios de uso del suelo son atribuidos por diferentes autores.

Urbanismo

Trautmann (1981) asocia la creación de asentamientos humanos con la presencia de zonas erosionadas. La construcción de ciudades, como Tlaxcala y Puebla, donde la deforestación se acentuó para construcción de casas, lugares para administración sociopolítica y edificios religiosos, como lo muestra el siguiente párrafo escrito por Fernández en 1931, que describe la fundación de Puebla el 16 de abril de 1530:

"... asignado ya el sitio y lugar en que se habla de hacer la nueva población, corrió al cargo de los Religiosos Franciscanos el agregar y atraer Españoles, que en él se poblasen y solicitar operarios y materiales para la fábrica de las casas ... consiguieron de ellos (los indígenas) que se encargasen de cortar las maderas y conducir las al lugar en que se habla de hacer la población, en el que por la inmediación al río (que hoy se llama de San Francisco) había abundancia de piedra, lodo y fagina, que eran los materiales de que hablan de fabricarse las casas y que trabajasen en ellas sin estipendio alguno."

Pastoreo

La introducción de ganado vacuno y rebaños de ovejas en el área se hizo desde los inicios del

siglo XVI. Las estancias de ganado menor generalmente operaban junto con un área agrícola y, a veces, con obrajes textiles. Cada estancia tenía de 500 a 2,000 ovejas. Los ovejeros eran indígenas y movían el rebaño durante la estación seca; existen informes de que en Nopalucan, los ovejeros y sus rebaños regresaban a la comunidad cada año, durante la festividad de San Pedro y San Pablo (Chevalier, 1963). Los rebaños invadían las tierras de cultivo en Tlaxcala, particularmente al sur y oriente de la Provincia, lo que originó litigios entre indios y españoles, situación que se estabilizó con el decrecimiento poblacional, como resultado de las epidemias y la emigración hacia el norte de la Nueva España (Chevalier, 1963).

Los efectos del pastoreo sobre suelo, agua y vegetación en Tlaxcala están poco estudiados, pero es claro que la cubierta vegetal debió cambiar debido al pastoreo. La introducción de majada, como componente del abono natural, modificó la productividad agrícola, pero la cubierta vegetal debió deteriorarse en suelos con escasez de herbáceas perennes en zonas semiáridas, en particular en zonas donde se introdujo el arado y los animales de tiro.

Industria

El agua de ríos y manantiales debió sufrir una disminución y, recibir sustancias del lavado de lanas y la aplicación de tintes, para la producción textil en los obrajes ubicados en los ríos Atoyac y Zahuapan.

Cambio de uso del suelo. El sistema de camellones en la Cuenca del Atoyac Zahuapan, Acuitlapilco, Apizaco, y el manejo de vegas a lo largo del Zahuapan y las orillas de barrancas y arroyos intermitentes, cambiaron por el abandono. Los canales entre las plataformas se convirtieron en zonas para extracción de tule, cacería de patos, gallinetas y demás aves acuáticas y, sus bosquecillos dieron lugar al desarrollo de una fauna silvestre que complementó la dieta de las gentes de la región.

EL SIGLO XIX

Haciendas Pulqueras

En el siglo XIX las haciendas pulqueras fueron relevantes en el control de la erosión y la economía de la zona. Debido a la extensión lateral de su sistema de raíces, el maguey sostiene los suelos delgados, pero también es un excelente inhibidor de la erosión de la capa de suelo, manteniendo sus partículas dentro de una densa red formada por sus raíces.

Las haciendas pulqueras manejaron una combinación de cultivos comerciales (trigo/maguey o cebada/maguey) a través del sistema agrícola de banales. El banal combinaba un plano para cultivo (área de siembra), protegido con bordos plantados con magueyes para evitar la erosión, y, ocasionalmente, se construyeron canales en las orillas para mantener la humedad (metlephantle). El área de siembra tenía una superficie entre 15 y 25 m de ancho que permitía la introducción de sembradoras y cosechadoras, en función de la pendiente; a mayor pendiente, menor área de siembra. Los bordos tenían un ancho entre 3 y 4 m y una altura de 1.0 a 1.5 m, siguiendo las curvas de nivel. Los magueyes se sembraban sobre los bordos cada 3.0 m.

La segunda mitad del siglo XIX fue escenario del desarrollo y auge de la producción de pulque en gran escala. La planicie noroccidental de Tlaxcala, que forma de hecho parte de los Llanos de Apam, sufrió grandes transformaciones debido a la introducción del ferrocarril, pues les permitió la comercialización de este producto en los mercados de México y Puebla (Rees, 1976). El mismo autor menciona que, entre 1893-1894, el pulque constituía el 11.7% del total de carga de artículos del Ferrocarril Interoceánico que viajaba en dirección este-oeste, y para el período 1894-1895, este movimiento había ascendido al 13.5%.

En zonas no pulqueras, el maguey jugaba un papel más ligado al trabajo agrícola que a la comercialización del pulque. Velasco en 1892,

habla de su utilización en la obtención de fibra (ixtle), alcohol, combustible y gusanos para alimentación. Lo anterior no significa que productos derivados del maguey no fuesen vendidos en pequeña escala y, aún se dio el caso de la especialización en pueblos, como Xiloxotla, en la fabricación de artículos derivados de la fibra, como costales, cinchos, bolsas, cuerdas. Esta actividad quedó eliminada de sus posibilidades comerciales con la introducción de las fibras sintéticas en gran escala, en 1930, a precios menores.

Minería

A finales del siglo XIX y principalmente en el XX, varias zonas erosionadas fueron utilizadas como minas para la obtención de cantera, arena y productos minerales. Actualmente, la extracción de bórax las ha vuelto zonas de extracción indiscriminada de minerales no metálicos para la industria, como ocurre en la zona de los Cerros Blancos y otros lugares del Bloque Tlaxcala.

EPOCA CONTEMPORANEA

El mal diseño y la falta de obras de protección de las carreteras y vías de ferrocarril provocaron la formación de barrancas. Estas barrancas, principalmente en la zona Hueyotlipan-Apizaco, junto con la introducción de maquinaria agrícola pesada, deforestación, monocultivo y pastoreo, han acentuado los procesos de erosión del suelo en la actualidad.

La importancia del maguey en la economía familiar continúa. Su utilización en los bordos que protegen las terrazas agrícolas es una de las más notables. En el suroeste de Tlaxcala, las gentes con ingresos menores usan el maguey y sus derivados en mayor escala que las que cuentan con ingresos fijos y más elevados. Aunque los usos más importantes son el agrícola y el alimenticio. Existe una lista de 61 usos de esta planta en pueblos de las faldas occidentales

de La Malinche, sin incluir los agrícolas. Las variedades cuya utilización es extensiva en el área son: 1) maguey manso (*Agave salmiana*), 2) maguey prieto (*A. ferox*) y 3) maguey palma (*A. mapisaga*).

Actualmente se da un fenómeno en relación a la pérdida de productividad de terrenos erosionados en Tlaxcala: la rehabilitación de terrenos erosionados por medio de la roturación de tepetate por los propietarios de los terrenos, a través de un proceso que si bien ha sido lento, también ha sido constante, gracias a los programas estatales que se han implementado desde 1960, cuando se crearon programas para la recuperación del suelo agrícola mediante terracedo con maquinaria pesada.

En la Cuenca del Río Totolac, afluente del Zahuapan, a una elevación de entre 2,400 y 2,500 msnm y bordeando un sistema de barrancas que incluyen el lecho del río, se localizan una serie de poblados entre los que destacan San Tadeo Huiloapan y San Mateo Huexoyucan. Estas localidades son importantes porque, al menos desde 1975, sus pobladores han estado recuperando, con fines agrícolas, zonas de tepetates amarillos a través de varios métodos que se caracterizan por realizarse en forma manual con pala y pico, a pequeña escala y empleando fuerza de trabajo familiar.

La Cuenca del Totolac muestra la presencia de numerosas zonas terracedas. Las terrazas siguen las curvas de nivel en laderas cuya inclinación raras veces sobrepasa los 30 ó 35°. Su construcción se inicia desde la parte más elevada de una colina, hasta llegar a las faldas inferiores. Cada terraza tiene una parte plana, llamada comúnmente bancal, en donde se establece el cultivo, y una rampa o peralte, denominada talud, que comunica la plataforma con el siguiente escalón. El área de siembra o bancal propiamente dicho tiene unos 20 m de ancho por 80 ó 100 m de largo, dependiendo de la inclinación del terreno.

Bordean a las plataformas de las terrazas, hileras de estribos, zanjas o cajetes, que es el canal propiamente dicho. Estos canales tienen

forma de paralelepípedo, excavados en el suelo con el fin de retener y/o conducir el exceso del agua de lluvia. La base mide entre 0.60 a 1.00 m, la profundidad varía de 0.60 a 1.20 m, con longitudes desde 1.5 a 20 m. En una terraza de 322.7 m de largo, en zanjas ubicadas en la orilla externa de la plataforma, que son las más comunes, la mayoría mide 4.58 m de largo, 0.66 m de ancho y 0.63 m de profundidad; la pared que divide una zanja de otra tiene un grosor promedio de 0.70 m (Mountjoy, 1985). La construcción de los canales o zanjas puede hacerse en varias formas:

1 Canales en la orilla externa de la plataforma de una terraza, generalmente asociado a un bordo antierosivo que puede, o no, tener plantas cultivadas en él; pero que está cubierto de vegetación ruderal.

2 Estribos, construidos en forma escalonada, siguiendo el radio de descenso de una terraza hacia las inferiores. Cuando la inclinación de la ladera varía entre el 7% y el 25%, disminuyen la velocidad con que el agua desciende, reduciendo su potencial erosivo. En este caso, el estribo ubicado en la sección inferior acumulará mayor cantidad de arena (arenero), que en los recipientes superiores, donde se acumulará agua (percolación gradual). Cuando los estribos o cajetes se construyen formando una línea al pie de la rampa, en la sección interior de la plataforma de una terraza; su finalidad esencial es acumular sedimentos para formar suelo y agua para ablandar los duripanes.

3 Hileras de zanjas o cajetes construidos en la orilla interna de la plataforma de una terraza, para acumular materia orgánica, se utilizan principalmente en el proceso de recuperación de suelos.

4 Zanjas de lindero, para delimitar las propiedades y, al mismo tiempo, contrarrestar la acción erosiva. A veces, se encuentran formando una doble hilera (Panotla), lo que se relaciona con problemas entre vecinos y/o falta de cooperación para realizar los trabajos de limpieza de las zanjas, o una hilera es utilizada como arenero y la otra, para acumular agua.

5 Limitando campos cultivados de zonas sin cultivo (por ejemplo a orillas de caminos y

barrancos). Hechos sólo para contrarrestar la acción erosiva y descargar el agua al final del campo. A veces se asocian con depósitos mayores (cajones). No se tiene información sobre la utilización del material en las zanjas bordeando barrancos; en los de orilla de caminos, se sabe que cada cuatro o cinco años, son vaciados y el contenido se coloca sobre los bordos de los terrenos de cultivo, lo que aumenta su altura. Se construyen para impedir la inundación del camino y de los terrenos de cultivo; son más largos (2.5 a 6 m) y anchos (1.0 m), que los otros tipos de depósitos y se construyen en zonas con pendiente suave, menor al 7% de inclinación. Generalmente, los que están a orillas de caminos se construyen mediante trabajo comunal.

6 Hileras de depósitos ubicadas en la sección media de un campo de cultivo, a lo largo, de las plataformas y ocasionalmente asociados a hileras paralelas de areneros. Muchas veces, ya no están cultivados y se asocian a agricultura prehispánica; están fechados entre 100 y 650 DC (Abascal y García, 1975).

7 Canales para drenar el exceso de agua de los terrenos, o las terrazas hacia las barrancas o drenes cercanos (6 a 20 m de largo).

El proceso de habilitación de terrenos erosionados a partir del tepetate, que se encuentra en amplias zonas de la Cuenca, cuyo objetivo es formar nuevas zonas de cultivo o recuperar las que se han degradado y convertido en tepetate. El proceso incluye las siguientes fases:

- 1 Primera fractura de tepetate usando pico.
- 2 Conformación de una terraza con su bancal y su talud. El bancal, o plataforma, se aplanan con un rasero (tablón).
- 3 Construcción de hileras de estribos en la plataforma, en la línea interior o exterior de la terraza, de acuerdo con su inclinación.
- 4 Acumulación de agua de lluvia y sedimentos en los estribos (agua, lodo, limo, plantas silvestres, animales).
- 5 Limpia de los estribos y deposición del agualodo y limo en la superficie plana de la terraza. Esto se realiza en diciembre.

6 Segunda fractura de los bloques de tepetate usando pico, antes de la siembra en mayo o junio.

7 Siembra de cebada o avena en el tepetate fracturado. Es evidente, que el cultivo no fructificará en los primeros años; sin embargo, ayudará en el proceso de formación de suelo agrícola. El campesino, considera que la avena ayuda a conservar la humedad y a formar el nuevo suelo.

8 Acumulación de agua, lodo y limo durante la temporada de lluvias en las zanjas.

9 Se inicia de nuevo el ciclo de deposición del material acumulado sobre la plataforma, aproximadamente en diciembre.

De esta forma se sigue el proceso, que dura de 4 a 5 años, y al finalizar, el campesino puede utilizar de manera normal su nueva parcela.

Los estribos, o zanjas, de mayor longitud (6 a 20 m) pueden llegar a confundirse con canales; sin embargo, no se continúan ni ramifican hacia otros. Pueden también construirse en terrenos planos, no terracedos, con el objeto de acumular sedimentos, en cuyo caso son desazolvados en diciembre, el material extraído queda amontonado sobre los bordos del terreno, para que se seque y, posteriormente, será agregado al campo como abono, hasta la época de siembra, entre finales de mayo y principios de junio. Estas zanjas sirven para drenar los terrenos.

Puede decirse que las funciones de los cajetes, estribos o zanjas, incluyen:

- 1 Colectar agua que puede usarse para riego a mano en la época de secas.
- 2 Proteger las zonas de ladera de la erosión.
- 3 Canalizar el agua y dirigirla hacia depósitos, tanques o campos.
- 4 Colectar suelo de otros campos.
- 5 Controlar velocidad y dirección del agua.
- 6 Drenar el agua excedente hacia lugares o zonas planas, tanques, o barrancas.
- 7 Ablandar tepetates para su recuperación como suelo agrícola.
- 8 Apoyar el crecimiento de plantas en los bordos (maguey, frutales, ruderales).
- 9 Proporcionar material (suelo) para la construcción de los bordos.

10 Funcionar como depósito para la formación de composta y materia orgánica.

11 Servir como barreras en el control biológico de insectos.

12 Servir como linderos entre propiedades.

13 Ser abrevaderos para los animales domésticos.

14 Limitar el acceso de animales y gentes a los campos de cultivo.

15 Servir como lavaderos para ropa, en zonas donde no existen ríos o depósitos donde llevar a cabo esa labor doméstica; al mismo tiempo, las plantas de los bordos son utilizadas para el secado de la ropa recién lavada.

16 Disminuir los efectos destructivos de las lluvias sobre los caminos locales y evitar la incomunicación de los poblados en la estación lluviosa.

La formación de estribos puede ser una dura tarea. Cada agujero, requiere cierto tiempo; por ejemplo, uno de 3.0 x 1.0 x 1.0 m excavado en tepetate duro, necesita del trabajo de un hombre durante 15 horas. En suelos planos y blandos, como los de la llanura de Panotla, una zanja puede ser excavada por un hombre en dos horas. La labor incluye:

1 Determinación de la zona donde se excavarán los estribos.

2 Clareado de maleza en la zona.

3 Señalamiento de las líneas por donde correrán las hileras de cajetes mediante cuerdas.

4 Señalamiento de los límites (paredes divisorias) entre cada estribo, usando una pala.

5 Excavado del estribo o depósito. Esta última fase suele hacerse con fuerza de trabajo asalariada.

El tepetate o suelo desplazado del agujero tiene usos diversos: si es suelo agrícola, sirve para formar nuevos bordos, o incrementar el tamaño de los ya existentes; si se está recuperando suelo para fines agrícolas, el tepetate excavado del agujero es fracturado y se aplica a la conformación y nivelación de la plataforma y el peralte o talud. Si se hace en zona de duripán anexa a un terreno agrícola en funcionamiento y el tepetate es duro, se usa para "enchapar"; es decir,

elaborar bloques en forma de ladrillo, que se aplican en la construcción de paredes de defensa para las terrazas, muros inferiores de las casas o, para rellenar y/o nivelar secciones de las plataformas de cultivo.

Los campesinos han desarrollado varias formas, por lo general muy simples, para retener y conservar el suelo y la humedad en las parcelas de cultivo. En general, son sistemas de bordos que pueden, o no, combinarse con redes de canales y/o canaletas, de distintas dimensiones, que se construyen y conservan de acuerdo con características específicas de cada lugar. Es decir, varían de acuerdo con la inclinación y el tipo de suelo en cada terreno. Las más importantes son:

1 Lomitos: Bordos de poca altura, recubiertos de pasto y/o zacate, construidos en terrenos cuyo desnivel es suave.

2 Metlepantle: Bordos, del tipo anterior, que tienen magueyes sembrados en la parte superior. En ocasiones, los magueyes se intercalan con árboles frutales nativos de la zona. Se deja crecer la maleza, que cubre y protege al bordo y, a la vez, sirve como barrera para controlar insectos.

3 Metlepantle con canal: Junto al bordo con magueyes, se añade un canal que va pegado al bordo y permite retener humedad y suelo.

4 Metlepantle con zanja o estribo: Cuando la pendiente es pronunciada, se excavan hileras de estribos que se construyen en la sección inferior del bordo (parte baja de la pendiente).

5 Canaletas y canales (por lo general de poca profundidad, excavados en curvas de nivel): Se ignora si son un primer paso en la conformación de sistemas más elaborados, como por ejemplo los banales o los metlepantles.

CONSIDERACIONES FINALES .

Aún falta mucho por aprender y entender de los procesos de manejo, conservación y utilización del suelo, particularmente del suelo endurecido, por los campesinos tlaxcaltecas. Muchas zonas de tepetates en Tlaxcala son producto de una combinación de factores naturales y

culturales, que incluyen en su lista: componentes climáticos, condiciones ambientales generales, manejos agrícolas inapropiados, pérdida de la vegetación natural y falta de elementos protectores que substituyan dicha pérdida.

Parece que dos procesos son importantes:

Los que pueden considerarse como inadecuados en la introducción de tecnología moderna; por ejemplo: eliminación indiscriminada de bordos y/o canales en zonas de ladera para aumentar la superficie bajo cultivo, introducción de maquinaria agrícola inadecuada para el tipo de suelo, apertura de carreteras y vías de comunicación sobre terrenos con gran potencial erosivo, sin la construcción de obras

que controlen la formación de barrancas y la pérdida del suelo,

El incremento acelerado en la densidad de población y, con ello, requerimientos para la apertura de nuevos campos de cultivo, zonas habitacionales, y centros de trabajo no agrícola.

Se espera que la difusión de esta problemática, y las actividades campesinas relacionadas con ella, sirvan de primer paso en la evaluación del problema y en el estudio científico de los aspectos tecnoambientales básicos para la elaboración de propuestas concretas y funcionales para el manejo apropiado y conservación de los suelos y sus distintos usos, en particular el agrícola.

LITERATURA CITADA

ABASCAL, R. y C. A. GARCIA. 1975. Sistemas de cultivo, riego y control de agua en el área de Tlaxcala. XIII Mesa redonda, Sociedad Mexicana de Antropología (SMA). *Arqueología I*: 199-210.

CRUZ L. C. 1949. Estudio agrológico regional del Estado de Tlaxcala. *Ingeniería hidráulica en México* 3(1): 57-97, (3): 78-136 (4): 44-96.

CHEVALIER, F. 1963. La formación de los latifundios en México. México, F.C.E.

DOOLITTLE, W. E. 1990. Canal irrigation in prehistoric México. The sequence of technological change. University of Texas Press, Texas, USA.

GARCIA C. A. 1986. El control de la erosión en Tlaxcala: Un Problema Secular. *Erdkunde* 40:251-261.

HERNANDEZ XOLOCOTZI, E. 1987. Etnobotánica de Tlaxcala, pp. 1-8. *In*: Ruiz Figueroa, J. F. (ed.) *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural*. UACH. Chapingo, Méx.

MOUNTJOY, D. C. 1985. Adaptation and change in a local agroecosystem of Tlaxcala, Mexico. Tesis de Licenciatura. Universidad de California, Santa Cruz, USA.

PARSONS, J. R. y M. H. PARSONS. 1990. Maguey utilization in Highland Central Mexico. An archaeological ethnography anthropological papers Nº 82, Museo de Antropología, Univ. of Michigan, Ann Arbor, USA.

REES, P. 1976. Los transportes y el comercio entre México y Veracruz; México, SepSetentas.

TRAUTMANN, W. 1981. Las transformaciones en el paisaje cultural de Tlaxcala durante la época colonial. Franz Steiner Verlag GMBH, Wiesbaden, BDR.

WERNER, G. 1988. Los suelos del Estado de Tlaxcala. Altiplano Central. Gobierno del Estado de Tlaxcala. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, México.

ANALISIS HISTORICO, SOCIAL Y ECONOMICO DE LA CANGAHUA EN ECUADOR

Historical, Social and Economical Analysis of the Cangahua in Ecuador

G. De Noni ¹, G. Trujillo ² y M. Viennot ¹

¹ ORSTOM, Montpellier, France.

² MAG, Quito, Ecuador.

Palabras clave: Ecuador, Sierra, Cangahua, Erosión, Historia, Socio-economía.

Key words: Ecuador, Sierra, Cangahua, Erosion, History, Socio-economy.

RESUMEN

El afloramiento de la cangahua en la Sierra centro-norte es un hecho histórico reciente y constituye un problema difícil para el desarrollo agrícola del sector rural, más aún si se considera que representa una tercera parte de las tierras erosionadas del Ecuador.

En la época precolombina se utilizaba la cangahua como material de construcción para vivienda mientras que su uso agrícola fue casi nulo, en razón de las extensas tierras baldías fértiles de que disponían y de la ausencia de herramientas que les permitieran recuperar esta formación.

La Conquista española provocó la agudización del problema por la introducción de nuevas especies agrícolas, nuevas herramientas y sistemas de labranza del suelo y el desarrollo de la ganadería que trajo como consecuencia la eliminación de técnicas tradicionales adaptadas al medio.

El crecimiento poblacional que pasó de 1920 a nuestros días de 1 millón a 10 millones de habitantes provocó una presión sobre los recursos en demanda de alimentos, y la víctima principal fue el suelo.

En los años sesenta se promulgó la ley de reforma agraria por medio de la cual se dio un reordenamiento del sistema de tenencia de la tierra. Los grandes propietarios entregaron a los campesinos las tierras de ladera, frágiles para las tareas agrícolas lo que trae consigo un nuevo minifundio.

Ante la magnitud del surgimiento de la cangahua el Estado, a través del Ministerio de Agricultura, ha ejecutado algunas acciones muy localizadas para el uso de esta formación, como son programas de reforestación (eucalipto) y recuperación mediante la construcción de terrazas.

SUMMARY

In the Northern Sierra of Ecuador, the outcrop of the *cangahua* happens to be a recent historical event. At the present time, it represents one third of the eroded land of the country and constitutes a real problem for the agriculture development.

During precolombian times, the *cangahua* was used as a building material. Not any agriculture practices were undergone on *cangahua* soils because of sufficient areas and as the local populations did not possess the appropriate tools in order to restore this material.

The Spanish conquest increase this erosion process by the introduction of tillage practices, new tillage tools, new crops and cattle breeding which displaced the traditional techniques best fitted to the environment.

The population boom (1 to 10 millions over 80 years) and consequently a higher food demand, provoked a high pressure on the land and therefore was prejudicial to the soil.

During the sixties a land reform program was enacted which led to a redistribution of the land. The big landowners parted with the hilly and fragil lands which were cultivated with annual crops by the new owners. The the smallholding was then born.

The surface increase of the *cangahua* outcrops forced the government to develop limited actions to take advantage of this formation (programs of reforestation and terraces building).

INTRODUCCION

La *cangahua*, por presentar características morfo-edafológicas y geológicas particulares en el contexto general de los suelos de la región andina, es un material que merece ser mejor definido y conocido. Además, es también un material que atrae más y más la curiosidad de las ciencias humanas, básicamente, porque sus condiciones actuales de afloramiento parecen tener una relación estrecha con la historia de la tenencia y uso del suelo en la Sierra del Ecuador. Como herencia de este pasado, la *cangahua* tiene hoy en día una extensión notable, en superficie en el callejón intra-andino, constituyéndose en uno de los principales factores limitantes para un mejor desarrollo del campesino serrano. El más afectado por este hecho, ha sido y sigue siendo el

pequeño campesino o minifundista. Según las regiones, algunos optaron por abandonar sus tierras estériles de *cangahua*, otros se resignaron y trataron de adaptarse al medio y de sacar el máximo provecho de la misma. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la *cangahua* es signo de pobreza y de hambre para el minifundista. En la actualidad, el problema se ha vuelto aún más preocupante, siendo en algunos casos alarmante, porque, frente a un desarrollo demográfico sin precedentes desde el inicio del siglo, la disponibilidad de nuevas tierras es cada vez más reducida. De tal manera que parece necesario frenar el abandono de las áreas de *cangahua* y encontrar formas de utilizarlas para tratar de fijar la población campesina.

El Afloramiento de la Cangahua en el Ecuador: un Hecho Histórico

El afloramiento de la *cangahua* no parece ser un hecho de siempre. En efecto, es extraño notar que esta situación no es resaltada por las crónicas de la colonia de los siglos XVI y XVII, así como por los primeros grandes viajeros extranjeros (como por ejemplo los sabios, franceses La Condamine y Boussingault o el gran naturalista Humbolt) quienes visitaron dicha región en los siglos XVIII y XIX. Conociendo los talentos de estos científicos para describir de manera muy precisa y real los misterios y maravillas de la naturaleza, no se tiene ningún estudio específico en sus relatos de expedición sobre esta formación.

Para los investigadores de la era moderna, así como para el naturalista común, la *cangahua* no pasa imperceptible y constituye un componente típico y de magnitud del entorno de la Sierra del Ecuador. Uno de los documentos más significativos de la problemática actual de la *cangahua* es el mapa de "Los principales procesos erosivos en el Ecuador", a escala 1/1.000.000, realizado conjuntamente por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el instituto francés ORSTOM (De Noni y Nouvelot, 1983; De Noni y Trujillo, 1989). Este mapa muestra que casi el 50% de la superficie

del país está afectada por la erosión. De las áreas afectadas, por lo menos un 60% se encuentra en la región montañosa de la Sierra, a su vez las zonas de cangahua dura aflorante, con áreas localmente recuperadas para el cultivo, representan un tercio de este porcentaje. La mayoría de la degradación se debe a procesos de escurrimiento y se encuentra en las parcelas del minifundio. La historia atormentada y difícil de la pequeña agricultura de tipo minifundio, que constituye hoy en día la forma de asentamiento agrícola más representativa en la Sierra de este país, parece haber contribuido, entre otros hechos mayores, al afloramiento en superficie de la cangahua y a la extensión bastante rápida del mismo.

Para explicar tal situación y tal diferencia en el tiempo en los relatos de los unos y de los otros, es necesario recordar algunos hechos históricos claves que marcaron la existencia del campesino serrano. En primer lugar, parece obvio suponer que los sabios de los siglos pasados no se han equivocado. Es menester reconocer que en este periodo la presión del hombre sobre el suelo no tenía nada que ver con la situación actual. Esto nos conduce a pensar que la situación actual de la cangahua se debe a etapas progresivas de degradación de las capas y suelos sobreyacentes con una aceleración rápida y notable de los fenómenos a medida que nos acercamos al periodo actual. Dicha aceleración de la erosión de los suelos parece haber sido y continúa siendo estrechamente condicionada por los siguientes acontecimientos históricos y sociales (De Noni, 1986).

- *La Conquista española* provocó cambios drásticos que afectaron los principales engranajes de la sociedad indígena. El choque socio-cultural fue particularmente duro a nivel del manejo y aprovechamiento del recurso suelo para la agricultura. Una de las consecuencias directas fue la activación de los procesos de erosión de los suelos agrícolas. Esta dinámica no se dio de un día a otro sino que empezó de manera paulatina e irreversible a medida que crecía la población, mayormente campesina durante este periodo, y la demanda alimenticia.

El proceso fue particularmente marcado en el callejón intra-andino que es el lugar, recordamos, donde se ubica la cangahua (Fig.1; Delaunay et al., 1990). En efecto, los Conquistadores estructuraron un proceso de agrupamiento de los indígenas en las zonas consideradas en la época como las más prósperas del callejón, dentro de las cuales el área comprendida entre Ibarra y Riobamba fue bastante solicitada. Hoy en día, esta misma área muestra extensas superficies de cangahua aflorante. Al sistema indígena del uso del suelo, marcado por labores agrícolas realizadas muy superficialmente en el suelo, con gran respeto por el mismo, y una repartición bastante extensiva de las tierras para poder aprovechar los diversos pisos climáticos que ofrecen los Andes, se impone a la fuerza un nuevo sistema agrícola en el cual se requieren imperativamente intensificación y rentabilidad. Es menester recordar que los Conquistadores se emplearon no solamente en instaurar su concepción de manejo del suelo sino también sus propios tipos de producción. Introdujeron nuevos cultivos: los cereales (trigo, cebada, avena), la arboricultura (manzanas, duraznos, albaricoques y limones) y las hortalizas (coliflor, zanahoria, arveja, lechuga). Desarrollaron la crianza de animales desconocidos hasta entonces en los Andes (caballos, bovinos, porcinos y ovejas) y la utilización de la tracción animal para la labranza de los campos. En realidad, se impuso el nuevo sistema: se intensificó el uso del suelo y se quiso rentabilizar los rendimientos a la manera de la España de los siglos XVI y XVII. ¿Cuales fueron los resultados y las consecuencias de este proceso? Se trata de un tema complejo donde entran algunos tipos de interpretaciones, lo único que parece admitido por las partes es que a partir de este cambio radical se arrancó un proceso de desequilibrio del medio ambiente, siendo el recurso suelo la principal víctima.

- *La reforma agraria* es otro acontecimiento clave en la historia del campesino serrano. Esta medida provocó una nueva distribución de la población agrícola hacia las tierras altas de la Sierra. La primera generación de esta migración

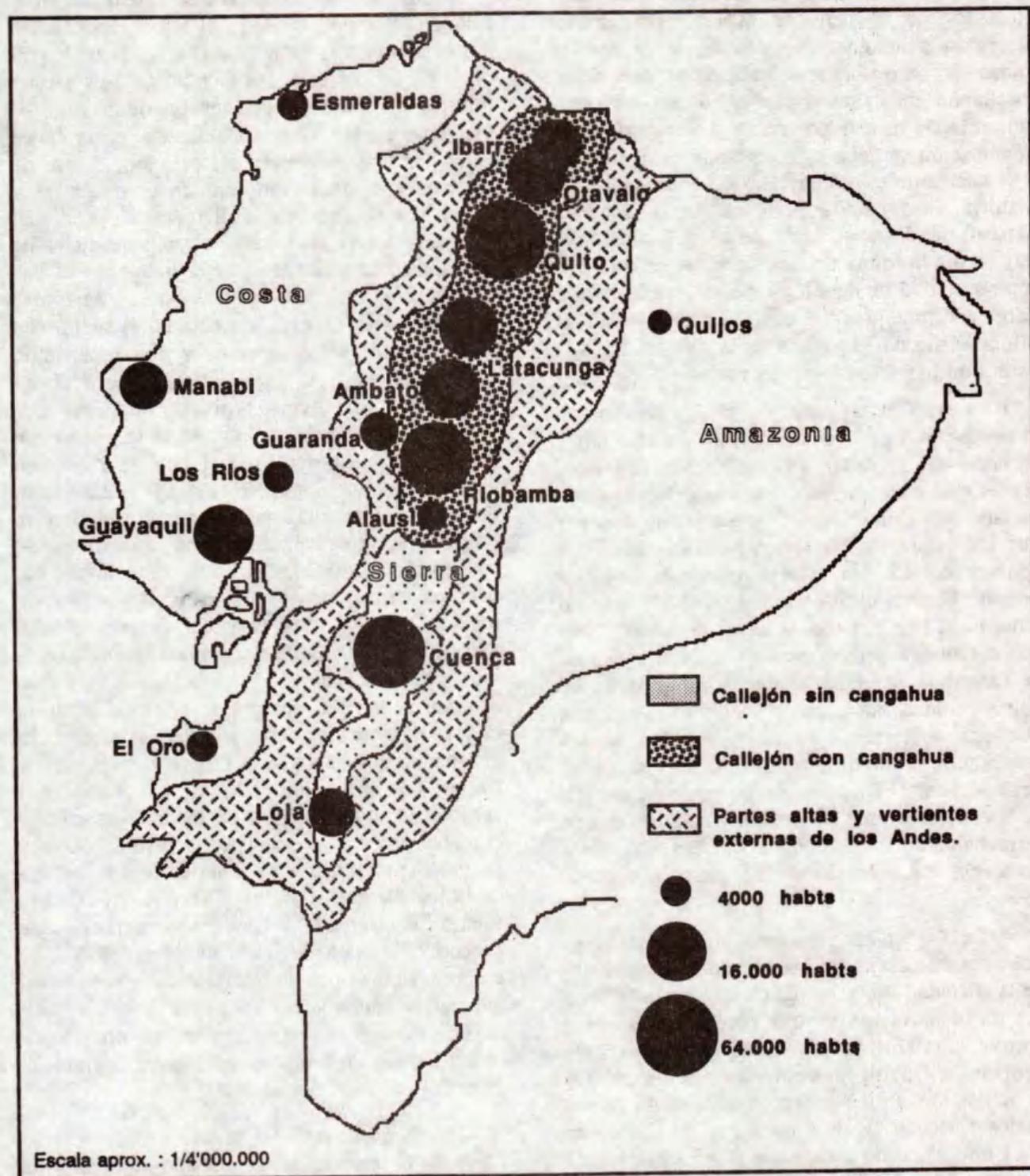


Figura 1. Repartición de la población ecuatoriana en 1825.

se asentó masivamente en las vertientes bajas y medianas que bordean las cuencas del callejón (De Noni *et al.*, 1990). En las partes central y norte del callejón, esas vertientes, hasta 3,200 m de altura, están conformadas por una cangahua dura a poca profundidad y presentan pendientes típicas de una montaña con una inclinación que va de 40 a 70%. En condiciones de agricultura intensiva, sin medida conservacionista particular, es un medio altamente susceptible a la erosión por escurrimiento.

Hasta la reforma agraria, el manejo y uso de la tierra era monopolio casi exclusivo de las grandes propiedades o haciendas. Este sistema de tenencia del suelo fue creado por la Conquista, con base en los agrupamientos de población indígena mencionados anteriormente. Dicha estructura dio lugar a la formación del "huasi-pungo" que se define como el agrupamiento masivo en un mismo lugar - la hacienda - de una mano de obra servil. A cambio de 4 a 6 días de trabajo por semana para la hacienda, el "huasipunguero" tenía el derecho a cultivar una pequeña parcela de tierra. El 11 de julio de 1964, el gobierno ecuatoriano promulgó la ley de reforma agraria que suprimía las relaciones de dependencia entre "huasipungueros" y terra-tenientes de haciendas, obligando los mismos a ceder una parte de sus dominios a los "ex-huasipungueros". En la práctica, los resultados fueron extremadamente decepcionantes. La concesión de los títulos de propiedad correspondió, en general, a las zonas marginadas y difíciles de cultivar de las haciendas. En su análisis del pequeño campesinado de la Sierra, Santana (1983) relata el ejemplo de la región de Cangahua, al norte de Quito. La reforma agraria reconoció el acceso a la propiedad a "ex-huasipungueros" en tierras de fuertes pendientes que rodean la planicie fértil de Cayambe, al norte de la gran hoyo de Quito. Además, la exigüidad de las tierras concedidas se reveló, rápidamente, como un factor limitante de primer orden para poder nutrir a toda la familia. El campesino fue obligado a utilizar muy intensivamente el suelo descuidando los periodos de rotación y de barbecho. La consecuencia directa fue la aceleración de la

erosión: en 25 años aproximadamente, la casi totalidad de la capa arable había desaparecido.

- Por fin, se debe mencionar el impresionante incremento poblacional que conoce el país desde el inicio del presente siglo (Fig. 2: Delaunay *et al.*, 1990). Se trata de un verdadero *boom* demográfico cuya dinámica contribuyó en un momento dado a incrementar el malestar popular y a generar la ley de reforma agraria. De todos modos, con o sin reforma agraria, este fenómeno sin precedente tenía que romper como fuese el esquema tradicional de distribución de la población heredado de la Conquista.

En 1586, la población total del país era de alrededor de 150,000 habitantes. En un siglo, entre 1780 y 1886, se duplicó pasando de 500,000 a 1 millón de habitantes. En 50 años de 1886 a 1941, el movimiento se aceleró notablemente triplicándose la población para pasar el límite de los 3 millones de habitantes. En los últimos 50 años, se vuelve a repetir esta triplicación alcanzando la población los 10 millones de habitantes.

Este fenómeno provoca por un lado una intensificación de la presión del hombre sobre el suelo en zonas ya cultivadas y por otro lado la colonización de nuevas tierras. Cualquiera que sea el sentido de esta redistribución poblacional, se trata siempre de gente de escasos recursos económicos, cuyos asentamientos y cultivos se realizan sea en lugares ya saturados de gente o sea en zonas caracterizadas por su fragilidad morfodinámica.

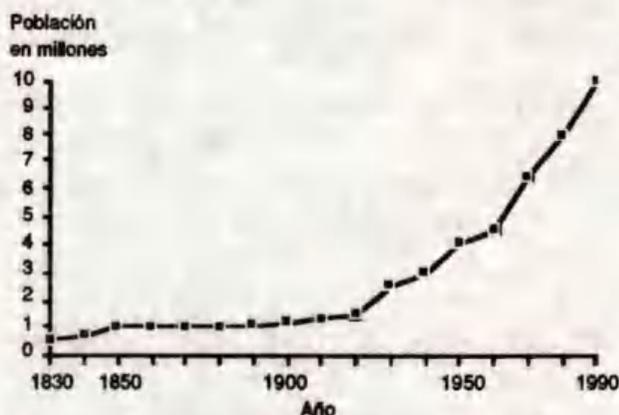


Figura 2. Incremento poblacional en función de los años.

MANEJO Y USOS DE LA CANGAHUA EN LA SOCIEDAD RURAL

En Ecuador, la cangahua es considerada como la tierra de los pobres porque es uno de los asentamientos típicos del minifundio. De tal forma que los principales manejos y usos actuales de la cangahua se deben a las costumbres y necesidades que tuvo que generar esta sociedad rural para poder subsistir y hacer frente a recursos de más en más escasos. Para entender mejor el contexto en el cual se concibieron estos tipos de manejos y usos, parece importante definir previamente lo que es la sociedad rural minifundista que vive sobre las tierras de cangahua.

La Tierra de "los Pobres"

La Sierra es la región del país en donde la presión del hombre sobre la tierra es mayor (Delaunay, 1989). Por regla general, las fuertes densidades de población corresponden al pequeño campesinado de tipo minifundio, cuyas propiedades tienen menos de 20 ha (De Noni *et al.*, 1990). En la parte de la Sierra donde hay grandes extensiones de cangahua, entre Ibarra y Riobamba, dichas densidades pueden fluctuar entre 80 y 160 habitantes por km², no siendo raro tener zonas bastante amplias de más de 160 habitantes por km².

Los censos agrícolas realizados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador permiten resaltar también dicha situación. La

utilización e interpretación de datos referentes al tamaño, número y superficie de las unidades de producción, permitió elaborar el Cuadro 1 donde se puede apreciar la evolución de la estructura agraria de dicho país entre 1954 y 1985.

Se observará que, sean cuales fueren los años considerados, las pequeñas propiedades, de 0 a 20 ha, son ampliamente mayoritarias: agrupan a más del 80% de las unidades de producción. Por otra parte, estos datos muestran igualmente una desigualdad muy marcada en la distribución de las superficies por tamaño. El minifundio ocupa apenas el 20% de las tierras agrícolas.

Este conjunto de datos permite explicar lo que se puede observar comúnmente en el campo e interpretar con justa razón, como una situación paradójica: por una parte, las haciendas que se encuentran situadas sobre las buenas tierras planas del callejón y que manejan una ganadería bovina muy extensiva; por otro lado, el minifundio con una población numerosa y una red densa de pequeñas parcelas ubicadas en las vertientes.

En esas condiciones, la situación actual del minifundio es precaria; según las regiones, el auto-abastecimiento está apenas garantizado; en cuanto a los excedentes de producción, son raros y corresponden a años de cultivo excepcionales. Otros datos del Ministerio de Agricultura sobre la evolución de la producción agrícola permitieron realizar el Cuadro 2, donde se hizo constar la evolución de la producción agrícola referente a los cultivos considerados como básicos para el minifundio, durante los últimos 15 años.

Cuadro 1. Estructura agraria entre 1954 y 1985 en Ecuador.

Extensión en hectáreas	1954		1974		1985	
	Número (%)	Superficie (%)	Número (%)	Superficie (%)	Número (%)	Superficie (%)
0 - 20	89.9	16.6	85.3	18.5	83.5	20.4
20 - 100	8.1	18.2	12.5	33.5	15.3	44.4
> 100	2.1	64.4	2.1	47.9	1.3	35.2

Cuadro 2. Producción agrícola (en millares de toneladas métricas) entre 1970-1985 en Ecuador.

Cultivos	1970	1975	1980	1985
Cebada	79	63	24	27
Mafz	168	90	45	35
Trigo	81	65	31	18
Papa	542	499	323	423

Se observará que, entre 1970 y 1980, la disminución de la producción agrícola es general y vertiginosa en el caso de estos cultivos. Es menos marcada en 1980 y 1985, período durante el cual se nota incluso un ligero aumento de la producción de cebada y un claro incremento de la de papa. Parecería que estos dos cultivos alcanzaron su menor nivel de producción durante el decenio anterior. En cambio, la producción de mafz típica de las áreas sobre cangahua continúa decreciendo y la caída del trigo sigue siendo espectacular.

Erosión de los suelos pero también "erosión de las condiciones y nivel de vida": en efecto, se estima que, a inicios de los años ochentas, alrededor del 90% de las familias del minifundio se encontraba en condiciones de pobreza absoluta. Este índice caracteriza a las personas o al grupo de población que tienen un nivel de vida que no les permite tener acceso a la canasta familiar (2,500 calorías y 45 gramos de proteínas por persona y por día).

Usos y Manejo de la Cangahua

Uso y manejo agrícolas

El primero de los usos es agrícola. El pequeño campesino tola y ablanda la cangahua para poder subsistir y cultiva de manera casi exclusiva mafz asociado con frijol.

A medida que la cangahua aflora en la superficie, el agricultor va incorporando paulatinamente este material como parte de la capa arable, sin tomar en cuenta los posibles cambios de pendiente realizados durante dicha labor. Para lograr dicho propósito, el sistema tradicional generalmente empleado por el minifundista para

recuperar la cangahua se compone de las siguientes operaciones:

- Romper con pico y barra ("tolar") la cangahua hasta una profundidad de 60 cm. Por lo general, esta operación se efectúa durante el invierno (de septiembre a diciembre) por estar la tierra húmeda y más fácil de trabajar con las herramientas ya indicadas. En esta labor, un hombre puede tardar 1 mes para trabajar unos 1,000 m²;

- Dejar podrir durante 3 ó 4 semanas el material roturado para que se descomponga la escasa cobertura vegetal incorporada que crece en la cangahua;

- Incorporar estiércol de chivo o de borrego mediante la construcción de pequeños corrales portátiles (rediles) donde se encierran los animales para que cubran de heces la superficie del terreno recuperado. Se estima una aplicación aproximada de 100 gramos por metro cuadrado;

- Romper nuevamente los molones o bloques de cangahua producto de la primera labor y mezclar con el estiércol incorporado;

- Preparar el terreno para la siembra de la asociación mafz-frijol, mediante la construcción de "huachos" (lomos y surcos);

- Sembrar el terreno preparado. Se hace de manera manual con una tola (palo con punta que permite hacer un hueco de 1 a 2 cm de profundidad) depositando en cada hueco tres semillas de mafz y una de frijol al mismo tiempo;

- Por fin, después de la siembra se dan dos labores superficiales (deshierba y palón), que no implican roturación de la cangahua.

Para sacar el máximo provecho de una tierra pobre, algunas comunidades se esfuerzan en cultivar especies nativas de mafz, por ser suaves y precoces. Tal práctica permite cosechar a los 4 meses, en estado tierno, el "choclo", que es un mafz dulce, bastante apetecido. Gracias a este periodo corto de cultivo, es posible en algunas zonas hacer otro cultivo, generalmente de arveja, en el mismo año. Sin embargo, tal costumbre está supeditada a las condiciones climáticas y no puede darse regularmente cada año.

Globalmente, como se mencionó antes, los resultados son definitivamente pocos en relación a la fuerza de trabajo invertida. Las posibilidades de buenas cosechas son aleatorias, así como la esperanza de excedentes para el mercado. Se notará que se trata de una práctica de recuperación bastante elemental para la cual no se reporta el uso de herramientas específicas y tradicionales para trabajar la cangahua, hecho que hace pensar que dicho tipo de labor entró recientemente en las costumbres y obligaciones del campesino.

Otros manejos y usos

Frente a la necesidad de adaptarse a un medio donde la cangahua es el material natural más abundante y accesible, los que se quedaron con estas tierras trataron de darle usos distintos que el agrícola. Dentro de los usos más exitosos y tradicionales es menester resaltar, diferentes maneras de trabajar la cangahua como material de construcción para vivienda, así como para linderar las parcelas y propiedades. Las técnicas más comúnmente empleadas son las siguientes:

La pared de mano

Esta técnica de construcción es autóctona de la provincia de Imbabura, al norte del país. Al sacar la tierra, se le puede mezclar directamente con agua, sin paja. La cangahua tiene una alta porosidad y absorbe rápidamente una elevada cantidad de agua. Antes se utilizaba este método para construir casas de hasta dos pisos. En la actualidad es utilizado únicamente en cerramientos. Para su aplicación, se amontona la tierra (cangahua más un poco de arcilla) en un círculo, dejando en la mitad un hueco que permite agregar agua. Cuando se prepara la masa, los terrones grandes se golpean con un palo hasta que todo esté bien molido. Luego, se agregan baldes de agua y se deja humedecer la tierra poco a poco. A continuación, se voltea y amontona a un lado con pedazos de tierra gruesa. Después, se pisa (con los pies desnudos o con botas) hasta obtener una buena mezcla. Se prosigue volteando la mezcla y amontonando a un lado, ahora con pedazos muy finos. Una vez

terminado el "turo" (lodo), que ha perdido mucho su humedad, se vuelve a agregar agua, en poca cantidad, paulatinamente con la mano. Se mezcla de nuevo el barro pisándolo, se comienza en los extremos de la masa para terminar en el centro, formando un cuadro o rectángulo, hasta dejarlo listo.

Se deja podrir (descansar) el lodo, por dos a cinco días en construcciones de casa y sólo una o dos horas para cerramientos. Todo el proceso de una masa de medio metro cúbico toma una hora de tiempo para su preparación. El lodo no debe ser ni muy suelto ni muy pegajoso.

Cuando la masa de lodo está lista para su utilización, se cortan los bloques, de más o menos 20 x 30 cm con un mango (cabo-herramienta). Por fin, se puede colocar los bloques en el sitio deseado, utilizando pedazos de lodo del propio bloque para nivelarlo. Todas estas operaciones se realizan con los puños de tal forma que se puede observar las huellas de los dedos en la pared. Se construye en paredes de 60 x 70 cm, hasta terminar una tanda de lodo. Un muro puede conservarse entre 8 a 10 años, después se debe rehacer con el mismo material del muro anterior. La tierra es arenosa y de buena plasticidad. Entre cada etapa, cuando la tanda se termina, se necesita mojar la pared en su lado vertical, nunca en su horizontal. Los maestros constructores se llaman entre sí "paraderos". En un día, un maestro puede hacer una pared de 5 a 6 m de longitud por 0.6 a 0.8 m de altura.

Los bloques

Consisten en obtener pedazos más o menos uniformes de cangahua, los mismos que se unen entre sí con lodo arcilloso ("barro") para formar las paredes de las casas. Este sistema en la actualidad prácticamente ha desaparecido y se lo emplea únicamente para linderos, amontonando los bloques uno encima de otro, sin pegarlos con barro.

El bahareque

Esta técnica de construcción tiene diferentes formas y nombres, según el ambiente, el clima y

las costumbres de vida de la población, en la que se utilizan materiales como palos, ramas, hojas, carrizo, cuero, palmeras, etc.

Normalmente consta de dos vigas (truncos de madera), una en la base y otra en la cima del muro. Por medio de perforaciones se sujetan las maderas verticales y se las redondea con fibras vegetales hasta dejar una trama resistente sobre la cual se echa lodo para podrirlo, generalmente a mano o bien con bloques de tierra dura. Las paredes tienen entre 10 y 20 cm de espesor. A veces, cuando se utilizan materiales más modernos, se llega a pulir las paredes para dar un mejor terminado a la construcción.

El adobe

Es una técnica que emplea como material una mezcla de arcilla y agua, y en menor proporción cangahua. Esta es una técnica mejorada porque tiene una mejor compactación gracias al uso de un molde de madera con formas rectangulares, generalmente de 0.20 x 0.40 m de superficie y 0.10 m de espesor. Luego de mezclar los materiales en las proporciones adecuadas y siguiendo una secuencia tecnológica ya conocida, se secan los adobes al sol durante aproximadamente 30 días antes de utilizarlos en la construcción de paredes.

LA RESPUESTA DEL ESTADO AL PROBLEMA DE LA CANGAHUA

En el Ecuador, la respuesta del estado fue tardía y empezó progresivamente hace unos 20 años para acelerarse de manera notable al inicio de los años 80. Se trata ahora de un tema concreto, considerado como bastante alarmante por las siguientes razones:

- a floramiento progresivo de la cangahua frente a la disminución de áreas con suelos fértiles,
- necesidad de recuperar dicha formación frente al aumento de la presión demográfica,
- alta susceptibilidad a la erosión de las áreas de cangahua recuperada.

Las dos primeras razones fueron ya analizadas y argumentadas anteriormente (Fig. 1 y 2): como consecuencia de la presión demográfica, aumenta la erosión en áreas agrícolas y las áreas de cangahua afloran de más en más. La otra razón es también digna de interés y no fue abordada hasta el momento. En efecto, el problema no parece ser solamente limitado al concepto agronómico de recuperación. Cualesquiera que sean las soluciones propuestas para hacer de la cangahua un suelo mejor adaptado al cultivo, es necesario previamente tolar y ablandar el material duro. El resultado conduce a un tipo de suelo de textura muy fina, pulverulenta, extremadamente susceptible a la erosión por el agua, así como por el viento. En la otra conferencia que presentamos en el marco de este Simposio ("La cangahua en el Ecuador: caracterización morpho-edafológica y comportamiento frente a la erosión"), se encontrarán datos de escurrimiento y de pérdidas de suelos, bastante reveladores de este tipo de problemática, obtenidos en la estación de Tumbaco ubicada sobre un suelo de cangahua recuperada y sembrado con maíz.

Otros estudios realizados por el proyecto DNA-ORSTOM en parcelas de escurrimiento cultivadas, demuestran también la importancia de la erosión sobre cangahua recuperada. Entre diciembre de 1981 y junio de 1984, procedimos al seguimiento de cuatro parcelas de escurrimiento de 50 m² (10 x 5 m) localizadas en Alangasí (28% de pendiente) e Ilaló (33% de pendiente) que son zonas agrícolas situadas en las afueras de Quito (De Noni et al., 1985 y 1986b). En el Cuadro 3 agrupamos las pérdidas de tierra medidas en esos dos sitios durante el período 1981-84 y reservamos una columna aparte para el año 1982 durante el cual tuvieron lugar los mayores eventos erosivos.

En el caso de Ilaló, el más patético, la erosión fue del orden de 600 t/ha para el período 1981-84, lo que representa (tomando una densidad del suelo de 1) una lámina de suelo perdido de 6 cm o sea un promedio de 1.5 cm por año. Es decir, que en 50 años, un agricultor podrá ver desaparecer en su parcela más o menos 75 cm de suelo.

Cuadro 3. Erosión en Alangasi y Ilaló.

Año	ALANGASI		ILALO	
	Cangahua + horizonte mólico Diversos, maíz	Pastizal degradado	Cangahua + horizonte recuperado Maíz	Barbecho
1981-1984	62	314	631	71
1982	58	204	421	58

Ante esta situación, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), desde hace aproximadamente 20 años, tomó la decisión de enfrentar el problema de la cangahua a través de la Dirección Nacional Forestal (DINAF). El programa emprendido, desde entonces, consiste en la siembra exclusiva de eucaliptos sin otras medidas conservacionistas. Hasta el momento, las áreas intervenidas son bastante puntuales y reducidas, del orden de unas 15,000 hectáreas más o menos. Los resultados son decepcionantes por una parte porque la cobertura provista por los eucaliptos es bastante discontinua y por otra parte porque no existe ninguna vegetación secundaria debajo de los árboles. En estas condiciones, la erosión es poco reducida y sigue creando estragos de magnitud. Parece obvio que se necesitaría asociar al eucalipto otro tipo de vegetación para proteger de manera más eficiente la superficie del suelo.

Desde la década de los 80, el papel del Estado se ha incrementado y diversificado notablemente, por un lado, se dedican las áreas de cangahua no solamente a la forestación sino también al cultivo y por otro lado se tienen programas de recuperación y conservación a largo tiempo. La entidad clave, dependiente del MAG, que tiene a su cargo la realización de esta nueva política es la Dirección Nacional Agrícola (DNA). Dicha Dirección se beneficia con la colaboración de algunos organismos internacionales, cuyas metas y acciones son complementarias con las del organismo anterior. Se puede mencionar en particular al instituto francés ORSTOM para las acciones de investigación (De Noni *et al.*, 1986 y 1988) y a los organismos internacionales tales como CARE para las operaciones de ejecución (1,500 ha de terrazas en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo) y FAO

con COTESU de Suiza para las actividades de enseñanza-formación (creación de una escuela para extensionistas y campesinos en Riobamba).

Hasta el momento, el sistema adoptado por la DNA es el de la formación de terrazas progresivas (Roose, 1980) sobre cangahua recuperada. Hasta 20% de pendiente, se puede lograr la formación de dichas terrazas con la colocación sobre la parcela de simples barreras vivas, dispuestas según las curvas de nivel. Por encima de 20% de pendiente, es necesario sustituir a las bandas por taludes hechos con bloques de cangahua duran fácilmente disponibles en este tipo de zona. Los estudios de ORSTOM sobre las estaciones de Tumbaco y Cangahua demuestran que estos dos tipos de obras son bastante bien adaptados: desde 1986, la erosión controlada de esta manera no pasó de 1t/ha/año (De Noni *et al.*, 1986b y 1990). CARE y FAO recomiendan y enseñan, una vez implementadas dichas obras, que se siembre e incorpore un abono verde que generalmente es la vicia (*Vicia sativa*), luego de lo cual se debe añadir materia orgánica. El costo que demanda la construcción de 1 ha de terreno con terrazas es de 1,000 a 1,200 dólares con maquinaria y puede disminuir hasta el 20 a 40% cuando es manual.

En cuanto a la forestación, parece claro ahora que se debe asociar otro tipo de especie al eucalipto. Algunas iniciativas privadas demuestran que la asociación con pasto Kikuyo (*Penisetum clandestinum*) podría constituir una buena alternativa, sobre todo que esta herbácea es una de las raras plantas que coloniza bien y rápidamente la cangahua. En otras áreas, se observa idéntica situación con la alfalfa que podría también constituir una buena respuesta a

Cuadro 4. Plantas que crecen en la cangahua.

Nombre común	Nombre científico	Descripción y uso
Cabuyo	<i>Agave americano</i> L.	Planta en roseta; para setos combustibles, licor y usos medicinales
Chilca	<i>Baccharis latifolia</i>	Arbusto de 1 hasta 3 m; leñas y usos medicinales
Mosqueiro	<i>Croton menthodoros</i>	Arbusto de 1 hasta 2 m; leñas y usos medicinales
Iso	<i>Dales caerulea</i> L.f.	Arbusto; buenas raíces para fijar el suelo
Chamana	<i>Dodonea viscosa</i>	Arbusto; leña
Mote casha viva	<i>Durantha tricantha</i>	Arbusto de 2 m; cerca

la propuesta de asociación bosques-pastos. Existen también algunas otras plantas que crecen bien sobre la cangahua (Cuadro 4).

El problema de la cangahua en el Ecuador constituye un reto que debe tener salida para las futuras generaciones. La situación actual permite visualizar momentos más alentadores porque se trata de juntar varios niveles donde intervienen investigadores, ejecutores, formadores y evidentemente políticos. Sin embargo, frente a los costos que implica recuperar y conservar la cangahua para la agricultura, el monocultivo del maíz, dominante hoy en día, no es la solución de

mañana. Los diversos niveles institucionales deben seguir trabajando y luchando hasta lograr establecer un sistema de optimización de la producción agrícola sobre cangahua recuperada que justifique las inversiones y permita alcanzar un real mejoramiento de las condiciones de vida. De tal forma que un sistema de este tipo debe integrar, además de la recuperación y de la conservación, acciones de riego y de fertilización. En esta propuesta, el maíz no sería la única alternativa y podría ser sustituido por productos de renta tales como hortalizas, frutales o flores, etc. para las cuales el Ecuador ofrece excelentes condiciones de producción.

LITERATURA CITADA

- DELAUNAY, D. 1989. Espacios demográficos y redes migratorias, pp. 71-98. In: Collection "Études de Géographie", Corporación Editora Nacional - Colegio de Geógrafos del Ecuador, Quito, Ecuador.
- DELAUNAY, D., J. LEON y M. PORTAIS. 1990. Transición demográfica en el Ecuador, Geografía básica del Ecuador. IPGH-ORSTOM-IGM, Quito, Ecuador. 269 p.
- DE NONI, G. 1986. Breve visión histórica de la erosión en el Ecuador. Documentos de investigación 6: 15-23. CEDIG-ORSTOM, Quito, Ecuador.
- DE NONI, G. y J.F. NOUVELOT. 1983. Los principales procesos erosivos en Ecuador, p. 11. In: Actes du Séminaire PRONACOS-UNESCO. Quito, Ecuador.
- DE NONI, G. y G. TRUJILLO. 1989. Principales causes et quelques réflexions sur la dégradation et la conservation des sols en Equateur, pp. 133-143. In: Colloque Ecuador 1986. Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris, France.
- DE NONI, G. y M. VIENNOT. 1990. De l'approximation cartographique aux réalisations de terrain: la lutte contre l'érosion agricole dans les Andes équatoriennes, pp. 61-65. In: Colloque Les sociétés rurales de montagne (Andes et Himalaya). Univ. Grenoble-CNRS, France.
- DE NONI, G., J.F. NOUVELOT y G. TRUJILLO. 1985. Erosion and conservation of volcanic ash soils in the highlands of Ecuador: a case study, pp. 263-274. In: Sixth International Soil Classification Workshop, Chile and Ecuador, Part 1. SMSS-PUCC. Santiago, Chile.
- DE NONI, G., J.F. NOUVELOT y G. TRUJILLO. 1986a. Estudio cuantitativo de la erosión con fines de protección de los suelos: las parcelas de Alangasi e Ilaló. Documentos de investigación 6: 35-47. CEDIG-ORSTOM, Quito, Ecuador.
- DE NONI, G., G. TRUJILLO y M. VIENNOT. 1986b. L'érosion et la conservation des sols en Equateur,

Cah. ORSTOM, Sér. Pédol. 22: 235-245.

DE NONI, G., G. TRUJILLO y M. VIENNOT 1988. The soil conservation project in the ecuatorian Sierra by MAG-ORSTOM, pp. 345-358. *In*: Taller "Usos sostenidos de tierras en laderas", DESFIL, Quito-Salcedo, Ecuador.

DE NONI, G., M. VIENNOT y G. TRUJILLO. 1990. Transformations agraires et érosion des sols dans les Andes de l'Equateur, Agriculture et paysanneries en Amérique Latine: Mutations et recompositions. Univ. Toulouse Le Mirail/CNRS, France. 10 p.

ROOSE, E. 1980. Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens d'Afrique occidentale: stratégies anciennes et nouvelles. Communication au Séminaire Gestion des eaux, des sols et des plantes. Niamey, Niger. 17 p.

SANTANA, R. 1983. Campesinado indígena y el desafío de la modernidad. CAAP, Quito, Ecuador. 209 p.

METODOLOGIA PARA ANALISIS DE SISTEMAS DE PRODUCCION, CON ENFASIS EN EL MANEJO DE TEPETATES

Methodology for Analyzing the Production Systems, with emphasis in Tepetates Management

Hermilio Navarro Garza

Centro de Estudios de Desarrollo Rural, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Palabras clave: Tepetate, Producción agrícola, Estrategias productivas, Sistemas económicos familiares, Procesos tecnológicos, Manejo rotacional.

Index words: Tepetate, Agricultural production, Productive strategies, Family economic system, Technological processes, Rotations.

RESUMEN

El tepetate como un recurso incorporado a la producción agrícola se estudia como parte del conjunto de estrategias productivas y económicas, que se deciden y ejecutan al interior de los sistemas económicos familiares. A nivel de unidad de producción se contempla conocer el patrón de actividades realizadas, la concurrencia y complementariedad de las mismas en relación a los procesos organizacionales, la asignación de recursos, los procesos tecnológicos, en su caso específicos, y en sí la importancia de la utilización de este recurso en el seno del sistema económico familiar. Este sistema familiar se estructura y organiza como producto de múltiples determinaciones de niveles englobantes, asimismo a su interior jerarquiza y organiza sus subsistemas y otras actividades, al nivel de una unidad integral en su funcionamiento, por definición coherente, de acuerdo con la información y objetivos de los productores y sus familias.

El estudio se realizó en dos comunidades de Tlaxcala, durante 1991, se seleccionaron 30 agricultores. Para cada agricultor se realizó un registro periódico de sus actividades productivas y económicas durante el ciclo agrícola.

Es notorio que las actividades asalariadas sean realizadas en la mayoría de los sistemas por el agricultor y/u otros miembros de la familia. El tepetate es un recurso incorporado por cualquier estrato económico entre los agricultores. Al interior de los sistemas económicos familiares se generan procesos específicos para el manejo rotacional de este recurso, así como para su manejo técnico. Durante los primeros años aparenta ser una actividad subsidiada por otros subsistemas familiares, no obstante, desempeña una función productiva importante para las familias que disponen de escasos recursos productivos.

SUMMARY

Tepetate soils are viewed in this paper as a strategic component of the economic system of a family associated to an agricultural production unit. The activities within the production unit, as well as the competence and the complementarity of these activities in relationship to the organizational processes, the way resources are allocated,

and the relative importance of the tepetate in the economy of the family group were studied. The economic system of a family associated to a tepetate production unit is organized and structured according to global considerations.

Hierarchical subsystems -which had their own organization- were recognized within the global system. These subsystems functioned in a coherent way according to the objectives and information managed by producers and their families.

The study was conducted in two communities of the state of Tlaxcala during 1991. The production and economical activities of 30 farmers were registered periodically during one growing season.

Extra farm payed activities are realized by most farmers or members of their family group. The tepetate is an economic resource incorporated to the production by any type of farmers.

Specific processes for rotation and technical management of the tepetates are developed within the economic system of a family.

Tepetate exploitation seems to be subsidized during the first years of operation after rehabilitation by economic resources coming from other subsystems. Tepetate production, however, is an important contribution to food production for families which own scarce productive resources.

EL TEPETATE Y LOS SISTEMAS DE PRODUCCION

Una óptica para el estudio del tepetate es el de su manejo como un recurso para la producción, con enfoque de sistemas, lo cual permite conocerlo en sus aspectos generales y en íntima relación con las características de su propia naturaleza, física, biológica, económica y social.

Si bien el origen físico del tepetate podría ser geológico o pedológico, es bien conocido en muchas regiones del eje neovolcánico mexicano que, la aparición en la superficie del paisaje de zonas con tepetates es contemporánea. Este es un

fenómeno vivido al interior de innumerables ejidos, ranchos y comunidades. O sea, que en transectos de campo son identificables por productores locales numerosas cárcavas y barrancas, que se han formado durante los últimos 15 a 25 años, las cuales han ido creciendo hacia la parte superior de las laderas.

En consecuencia, se supone que una de las causas regionales y locales de la presencia de los tepetates es un manejo social ineficiente, que se materializa mediante ciertas normas comunitarias y de unidades familiares, y tiene como efecto la erosión y presentación en superficie de este tipo de horizonte subyacente.

En este sentido, el interés del enfoque de sistemas de producción pretende conocer y mejorar la eficiencia y calidad del manejo de los recursos al interior de los sistemas económicos familiares (SEF), en los cuales se gestiona la unidad de producción en combinación con otras actividades, tales como el comercio, la artesanía, la recolección y mismo el trabajo asalariado.

La posible utilidad del enfoque de sistemas, entre otras, es de ponderar la importancia relativa de las actividades productivas agrícolas al interior de la estrategia económica de la familia, lo cual permitirá evaluar la función de dicha actividad agrícola y en su caso, la viabilidad de adoptar estrategias de manejo para mejorar la lógica familiar de gestión de sus subsystemas y de los recursos.

Es de nuestro interés, la ubicación del tepetate en el interior del conjunto de recursos potenciales del SEF y la reincorporación productiva del mismo, como parte del conjunto de subsystemas que componen el SEF, tales como: los diferentes sistemas de cultivo en que se realizan las producciones vegetales, los sistemas ganaderos y otras actividades económico-productivas.

La finalidad del enfoque de sistema es identificar y comprender mejor el conjunto de actividades en su interior, tales como: los procesos organizacionales en la producción, la oportunidad y calidad en la toma de decisiones de los mismos, la programación en la compra y venta de insumos

y productos, las estrategias y posibilidades de desarrollo tecnológico, entre varias que determinan la dinámica de los sistemas productivos locales.

ELEMENTOS TEORICOS Y METODOLOGICOS

El manejo del tepetate al interior de un sistema de cultivo se considera en los mismos términos que otros recursos y procesos, en interacción en el seno de la organización familiar global. Dichos recursos y procesos en conjunto, se relacionan en forma coherente al nivel emergente del sistema de producción, y éste, a su vez, se encuentra condicionado y estructurado en otro plano organizacional, que se manifiesta a través de su articulación y subordinación al medio socio-económico y agroecológico que lo determina socialmente.

En la Figura 1 se presenta el esquema simplificado de los componentes y flujos de un sistema económico familiar. Al interior del mismo se estructuran los subsistemas, entre los cuales se tienen los sistemas de cultivo (SC 1 y SC 2).

Alguno de estos subsistemas y para ciertos casos regionales de SEF, son varios los sistemas de cultivo que se establecen a partir de la recuperación de tepetates para uso agrícola.

En este marco complejo de diferentes niveles organizacionales de la agricultura regional, con múltiples determinaciones de relaciones macro => micro, se genera la organización de los recursos productivos del SEF, para la cual privilegiaremos el análisis de la organización tecnológica, del trabajo, de los recursos y algunas características económicas del sistema.

De acuerdo con Sebillotte (1989), la organización productivo-económica del sistema familiar se realiza a través de un proceso de toma de decisiones que conjuga relaciones de competencia y complementariedad de los recursos disponibles y de las actividades productivas.

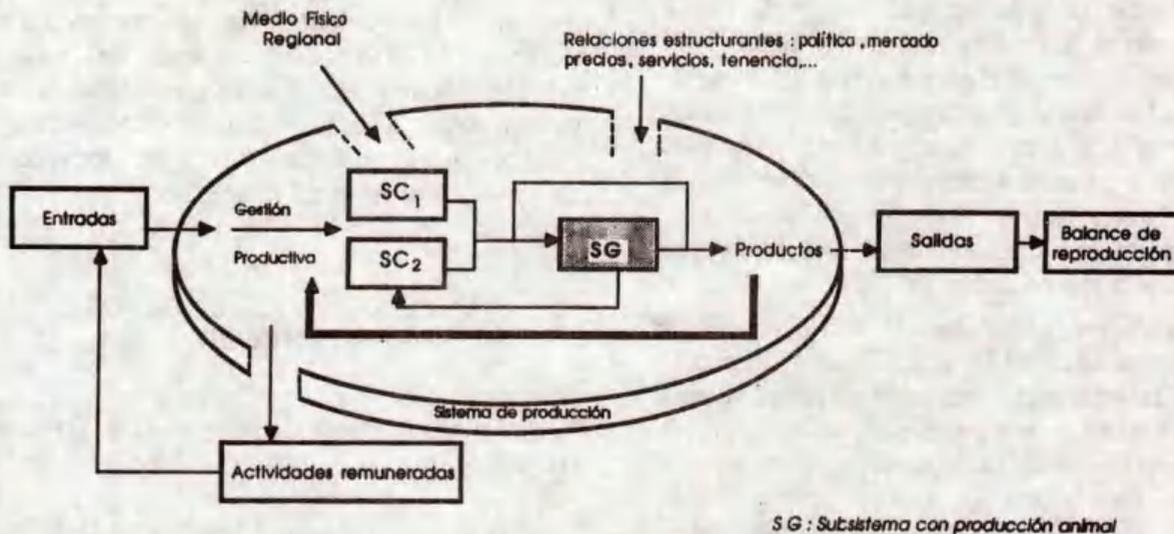


Figura 1. Esquema simplificado para el análisis de los sistemas económicos familiares.

A partir de este supuesto, que implica conocer el funcionamiento del sistema de producción, se identifica a los diferentes componentes y flujos que se establecen entre ellos. Es notorio señalar que la explicación del manejo técnico de un subsistema y en particular de un sistema de cultivo en tepetate, sólo será posible comprenderlo cuando se trata de enmarcar al interior de la lógica, necesidades e intereses del agricultor y su familia.

Así por ejemplo, es necesario entender por qué recupera el tepetate, de dónde deriva los recursos necesarios para la roturación y la producción marginal que se tiene durante los primeros años, cuál es la dinámica de la productividad del tepetate reincorporado y en el caso, su importancia económica creciente en el seno del SEF.

En relación a esta lógica de organización de los recursos, según Spedding (1979) el sistema de producción está finalizado por los propósitos del productor.

Para el análisis de los sistemas económicos familiares en la Mixteca, México, Navarro y Muench (1988) proponen como estrategia metodológica considerar los niveles organizacionales como categorías del análisis regional: (a) la región y/o la subregión, para caracterizar las condiciones y tendencias regionales, que en cierta forma condicionan el funcionamiento de los SEF; (b) la comunidad y/o los SEF para precisar y dar seguimiento a las formas y estrategias de reproducción familiar y comunitaria, en forma particular cuantitativa y cualitativamente y (c) el estudio de los subsistemas productivos, su posible modelización y de otras actividades económicas que posibilitan la reproducción del SEF.

Teniendo en cuenta algunas de las relaciones que engloban los SEF, de acuerdo con la Figura 1, se tiene la influencia sobre los mismos, de una política agraria reciente y actual, de una política de no-subservención a básicos, entre ellos maíz y trigo que constituyen los cultivos principales de la región, y mismo de una política de precios que, de una forma u otra, incide en las estrategias tecnológicas, en la producción y productividad y en la viabilidad o no de la agricultura al interior del conjunto de actividades del sistema.

Como eje de análisis se intentó privilegiar el manejo de los recursos, con interés en la combinación de actividades productivas y de los sistemas tecnológicos y organizacionales que configuran los sistemas de producción. Durante 1991, en dos comunidades de Tlaxcala se seleccionaron 30 sistemas económicos familiares, en los cuales se trató de conocer los procesos de su funcionamiento productivo y las diferentes estrategias que han posibilitado la reproducción familiar. En este marco amplio se ubicará la función del recurso tepetate y su importancia relativa al interior de la producción total y la generación de ingresos en el SEF.

Durante el ciclo agrícola se realizaron registros semanales de las prácticas culturales, de los procesos y de los costos en los diferentes sistemas de cultivo; en forma similar pero con menor precisión, se registraron los sistemas pecuarios; así como los tipos de actividades asalariadas que son realizadas, su periodicidad anual y los montos estimados que se obtienen de las mismas.

El funcionamiento de los SEF se intentó esquematizar a través de la estrategia organizacional de los diferentes procesos productivos, de los recursos utilizados y de los resultados obtenidos. La evolución se esboza en forma preliminar a través del análisis del pasado reciente, con referencia a la afectación agraria que dio lugar al ejido y conjunto de ejidos que constituyen la principal forma de aprovechamiento del espacio rural inmediato.

ANÁLISIS DE RESULTADOS PRELIMINARES

Elementos del Contexto Regional y Grandes Tipos de SEF Comunitario

En el ámbito regional el Distrito de Desarrollo Rural de Calpulalpan engloba 11 municipios y uno de ellos: Hueyotlilpan, comprende las dos comunidades de estudio, que se encuentran en la zona fisiográfica de lomeríos y cañadas.

El Distrito se constituye agrícolamente de 110,938 ha y 16,377 productores, (García 1990). Los ejidatarios representan el 67% de éstos y disponen del 54% de la tierra de uso agrícola. En Hueyotlipan un total de 1,532 productores disponen de 13,230 ha de uso agrícola, en donde 1,095 ejidatarios tienen una dotación promedio de 6.15 ha y 437 propietarios de 14.8 ha; casi la totalidad de la tierra agrícola es de temporal.

Los datos de INEGI (1990) señalan que el municipio tiene una población ocupada de 2,500 individuos, entre los cuales 1 de 2 trabajan por su cuenta, se supone que como productores agrícolas; 1 de 3 son empleados u obreros; 1 de 10 son jornaleros y otro 1 de 10 son trabajadores familiares no remunerados.

Desde el punto de vista del medio físico englobante (Figura 2), Hueyotlipan, como uno de los ejidos más grandes de Tlaxcala, se encuentra entre la llanura cebadera de Soltepec, hasta la zona de lomeríos y cañadas; la estación de crecimiento determinada por las heladas varía desde 180 hasta 210 días; en el mismo orden la precipitación en la misma estación de crecimiento varía de 300 a 500 mm; finalmente las unidades de suelo son principalmente del tipo feozem en la llanura, o cambisol-litosol en las laderas.

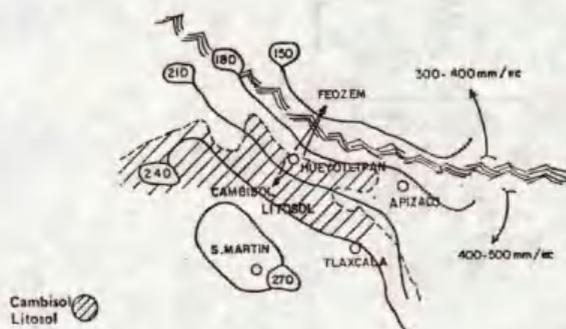


Figura 2. Estratificación espacial según: estación de crecimiento disponible en días con riesgos de 20% y 10% para última y primera helada; precipitación en estación de crecimiento y tipos de suelo.

Bajo este condicionamiento general se encuentran determinados los SEF y las decisiones de gestión específicas para cada uno de sus sistemas de cultivo, en su posible heterogeneidad al interior del sistema.

El análisis de los SEF en una comunidad nos muestra dos tipos generalizados de estrategias: (a) el 86 % con menos de 16 ha de temporal útil combinan actividades agrícolas, pecuarias y gran parte de ellos practican las asalariadas y, (b) el 14% restantes que son mayores de 16 ha, exclusivamente con actividades agrícolas y/o pecuarias.

Estrategia de Reincorporación y Manejo Rotacional

Importancia de la cantidad de tierra reincorporada

La reincorporación del tepetate como recurso para utilización en la producción agrícola se realiza en los dos tipos generalizados de sistemas de producción mencionados, es decir, independientemente de la cantidad total de la superficie agrícola disponible. No obstante, existe una tendencia a ser de mayor importancia relativa la superficie reincorporada de tepetate en el tipo de menos de 16 ha, y a su interior en los sistemas de producción con menos de 5 ha (Fig. 3).

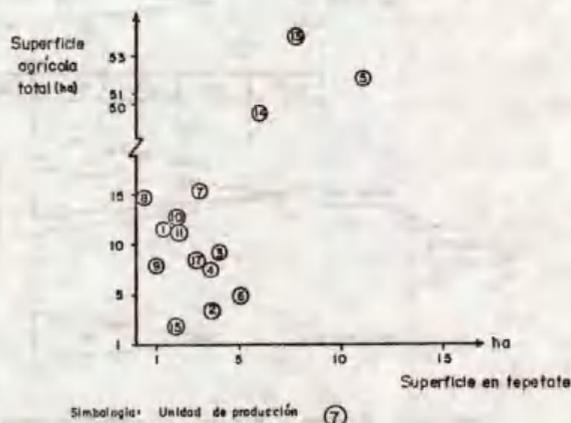


Figura 3. Superficie agrícola total en relación con la superficie de tepetate reincorporado.

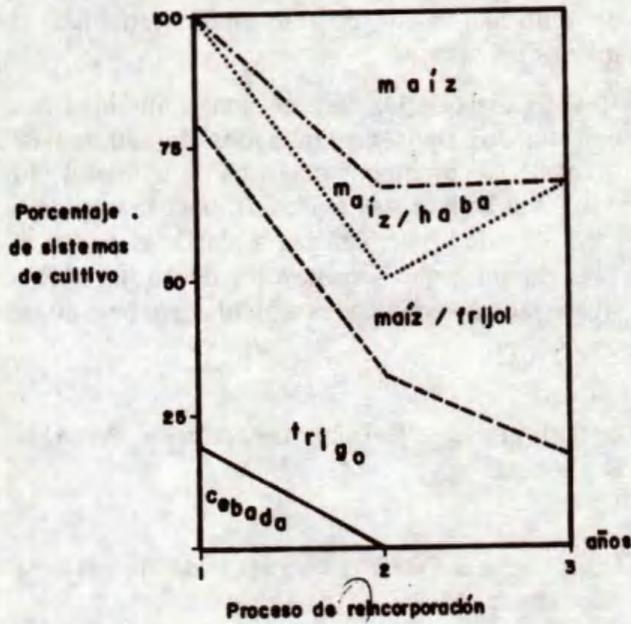
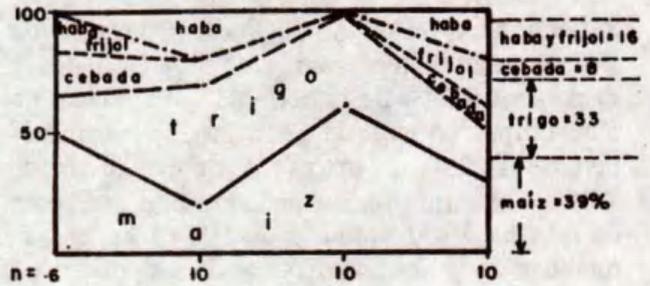


Fig. 4. Manejo rotacional durante el proceso de reincorporación de tepetates.

i) Tepetate amarillo-café



ii) Suelo no-endurecido

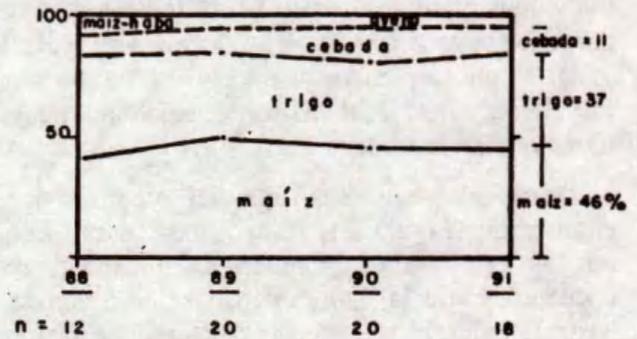


Fig. 5. Rotaciones y sistemas de cultivo en tepetate y suelo no-endurecido.

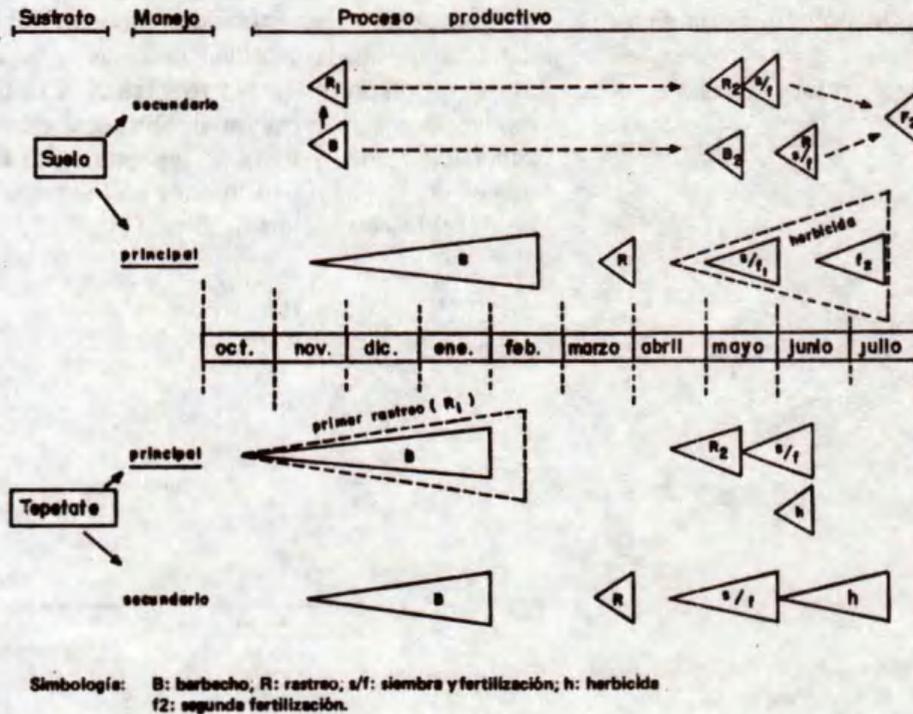


Fig. 6. Procesos tecnológicos generalizados para trigo en tepetate y suelo no-endurecido (ejido Hueyotlipan, Tlax., 1991).

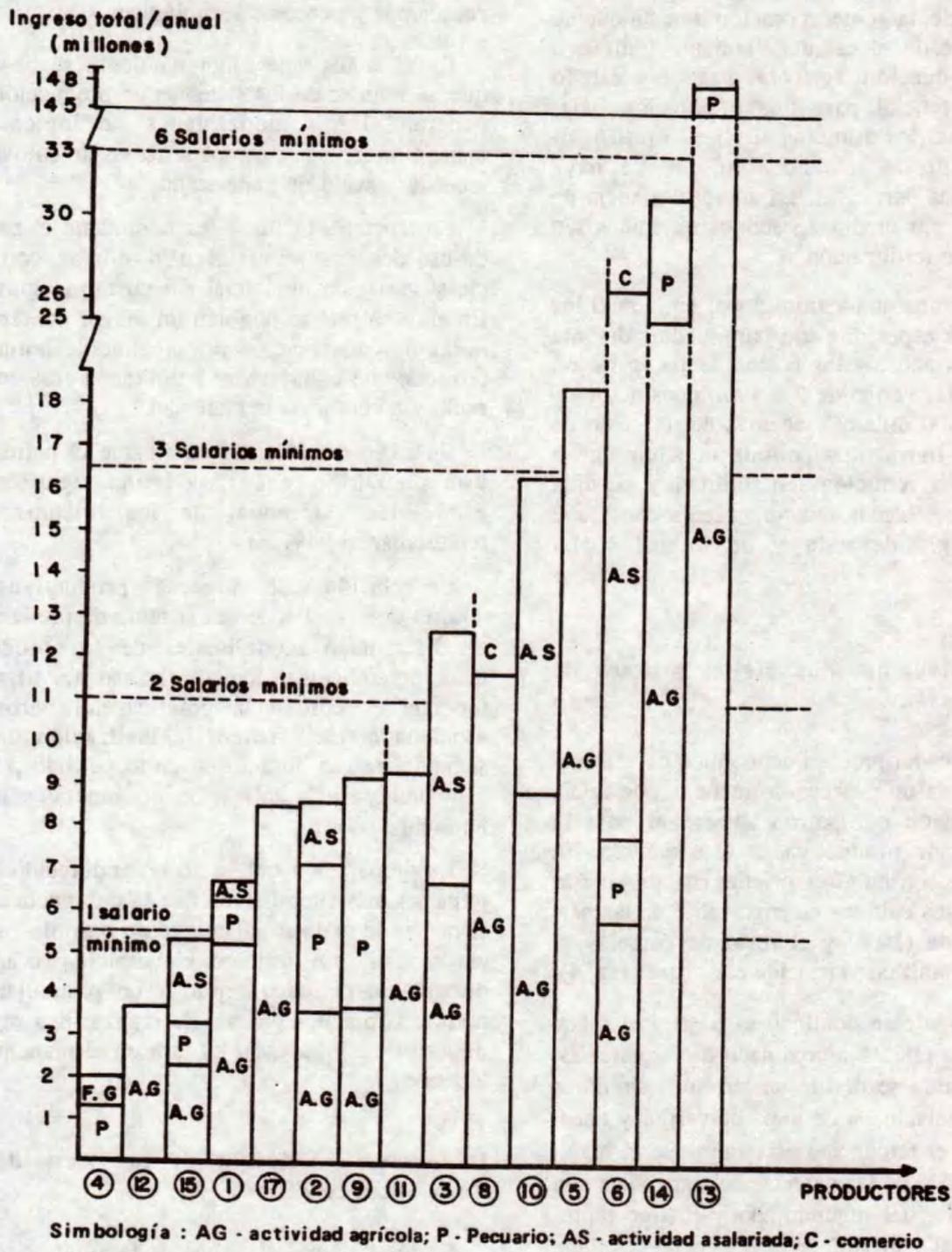


Fig. 7. Ingreso total y estructura del ingreso en sistemas de producción (Hueyotlipan, Tlax., 06 / 1990 al 06 / 1991).

Por varios motivos los resultados obtenidos de la práctica de la reincorporación son altamente variables, desde el estado altamente limitativo para la producción agrícola, hasta un estado mejor y potencial para una producción baja-media durante los primeros años, esto principalmente debido al tamaño fino que se haya logrado de las partículas; así como al manejo de la fertilidad por medio de abonos orgánicos y/o altas dosis de fertilización.

Si adoptamos una visión global en la cual los rendimientos esperados son bajo-medios durante los primeros años, y los costos de recuperación (durante 1991) varían de 3 a 5 millones de pesos (1,000 a 1,300 dólares), además de un costo de renta de la tierra; nos permite concluir que a pesar de una reducida rentabilidad y pérdida económica posible, la reincorporación constituye una estrategia definida y de interés social generalizado.

Manejo rotacional durante el proceso de reincorporación

Al interior del proceso económico de reincorporación se da un proceso de manejo, que inicia con la decisión del patrón rotacional para la reincorporación productiva de este recurso. En Tlaxcala, los agricultores privilegian, durante el primer año, los cultivos de trigo (60% de las parcelas), cebada (20%) y el resto de parcelas se siembra con maíz en asociación con frijol (Fig. 4).

El año siguiente dominan el trigo y el maíz, cada uno con el 35% aproximado de las parcelas, el 30% restante se divide en términos similares entre las asociaciones de maíz con frijol y haba. Finalmente, el tercer año es dominante el maíz-frijol en el 45% de las parcelas, le sigue maíz con el mismo 35% del segundo año y el trigo representa el 20% aproximado. En general se tiene que la estrategia se inicia con cereales de grano pequeño, para finalizar el tercer año con el maíz asociado o mono-específico como dominante.

Manejo diferenciado de tepetate y suelo: rotaciones y procesos tecnológicos

En el análisis de funcionamiento se observó que, al interior de los sistemas de producción, se generan ciertas modalidades de lógicas de manejo diferentes, para los sistemas de cultivo en tepetate y suelo no endurecido.

En tepetates tiende a ser dominante el patrón de uso del suelo: maíz/trigo/frijol-haba, con una cierta variación interanual del mismo (Figura 5). En ellos se realiza también un mayor número de obras de conservación principalmente bordos y terrazas, que contribuyen a limitar la erosión del suelo y a conservar la humedad.

En suelo tiende a ser dominante el patrón de uso: maíz/trigo/cebada, con una significativa estabilidad interanual de los mismos que representan el 94%.

En relación a los procesos productivos, es notorio que en el seno del sistema de producción se diferencian modalidades de los procesos tecnológicos (Fig. 6), para el caso del trigo en tepetate es común la práctica del barbecho asociada con el rastreo, la realización de un segundo rastreo durante un corto periodo previo a la siembra y la aplicación no generalizada de herbicida.

La preparación del suelo no-endurecido aparenta ser más simplificada que la del tepetate por el hecho de realizar solamente un paso de barbecho y rastra, no obstante, el herbicida se aplica durante un periodo amplio y en particular, es notoria la práctica general de realizar una segunda fertilización, lo cual es raro en el manejo del tepetate.

Importancia Relativa de las Actividades Económicas del SEF

En los sistemas económicos familiares, según la composición del ingreso, en el 73% de los casos es mayoritario el ingreso por concepto de actividades agrícolas, en el 20% es el ingreso

pecuario y en el resto las actividades asalariadas. En el 53% de los sistemas familiares se calculó, para 1990, un ingreso menor de dos salarios mínimos anuales; pero al interior de este conjunto se estimó que el 45% recibe ingresos menores a un salario mínimo (Figura 7).

Es sensiblemente notorio que el ingreso generado en los sistemas de cultivo en tepetate pueda tener una importancia económica al interior de los SEF en particular, en los sistemas con escasos recursos productivos, al interior de los cuales el tepetate tiene una importancia relativa.

CONCLUSIONES

El tepetate se maneja al interior de Sistemas Económicos Familiares, en combinación con un conjunto de recursos disponibles en la unidad de producción.

Los sistemas de producción combinan actividades agrícolas, pecuarias y asalariadas en forma

mayoritaria. La reincorporación se realiza independientemente del tipo de sistema de producción.

En el seno de la organización familiar se generan sensiblemente manejos tecnológicos diferentes para tepetates y suelos no-endurecidos.

La baja productividad inicial del tepetate recuperado permite suponer que es subvencionado por las otras actividades económicas del sistema económico familiar; sin embargo, por las limitaciones de capital de inversión y de información para la recuperación más eficiente y de calidad, ésta se realiza con ciertas limitaciones técnicas y alto riesgo de impacto sobre el deterioro o pérdida posterior del tepetate recuperado, así como en su aptitud productiva.

La utilización productiva de tepetate es fundamental en la estrategia de reproducción de numerosas familias, y en particular de aquellos sistemas económicos familiares que anualizan ingresos menores a dos salarios mínimos.

LITERATURA CITADA

GARCIA C., G. 1990. Análisis regional del funcionamiento y reproducción de sistemas familiares agropecuarios en el Distrito de Calpulalpan, Tlax. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.

INEGI. 1991. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. Tlaxcala. Perfil Socio-demográfico. SPP, Aguascalientes, Ags. 113 p.

NAVARRO G., H. y P. MUENCH N. 1988. Marginación regional, tipos de sistemas económicos familiares y desnutrición rural. Informe técnico del Sistema de Vigilancia Alimentaria y Nutricional. FAO-SECOFI, D.F., México. 105 p.

SEBILLOTTE, M. 1989. Fertilité et systèmes de production. INRA. Paris, Francia. 369 p.

SPEDDING, C.W.R. 1979. Ecología de los sistemas agrícolas. H. Blume Ed., Madrid, España. 320 p.

ASPECTOS SOCIOECONOMICOS Y AGROECOLOGICOS DE LA RECUPERACION DE TEPETATES EN SAN PABLO IXAYOC, EDO. DE MEXICO

Socioeconomical and Agroecological Aspects of the Tepetates Recuperation in San Pablo Ixayoc, State of Mexico

Felipe Olivares Rodríguez y Alfonso Márquez Ramos

Centro de Estudios del Desarrollo Rural, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Palabras clave: México, Tepetate, Agronomía, Ethnohistoria, Antropología, Terrazas, Erosión, Deforestación, Ejido, Comunidad, Grupo familiar, Grupo doméstico, Campesino.

Index words: Mexico, Erosion, Tepetate, Agronomy, Ethnohistory, Anthropology, Terraces, Deforestation, Ejido, Community, Familiar group, Domestic group, Peasant.

RESUMEN

La erosión de los suelos que se presenta actualmente en la mayor parte del territorio mexicano conlleva la aparición y afloramiento de horizontes volcánicos endurecidos llamados *tepetates* en grandes superficies del país.

Este problema ha sido estudiado principalmente por profesionales de las Ciencias Naturales y en menor proporción por los de las Ciencias Sociales. Este estudio busca abordar el problema desde las dos perspectivas.

El objetivo principal del estudio es conocer la problemática socioeconómica y agroecológica en la dinámica del afloramiento de los tepetates, así como su reincorporación a la producción agrícola.

El estudio se llevó a cabo en la comunidad de San Pablo Ixayoc, municipio de Texcoco, ubicado dentro y al oriente de la Cuenca del Valle de México.

Se hizo una revisión y análisis de la información documental y bibliográfica sobre la región y la comunidad, así como trabajo antropológico de campo. Se realizó también seguimiento agronómico en 21 parcelas con y sin tepetate, cultivadas con maíz.

Los resultados de la investigación nos indican que el proceso de erosión acelerada se dio con la destrucción del antiguo modo de producción prehispánico, el cual consistía en cultivos en terrazas asociado a un sistema de riego. Con la conquista española se dio la deforestación acelerada y la ganaderización de tal forma que a principios del siglo XVII el tepetate ya había aflorado en vastas superficies.

Desde la década de los sesenta a la fecha los campesinos de San Pablo Ixayoc han estado recuperando amplias zonas de tepetate mediante la construcción de terrazas. Sin embargo, esta recuperación es lenta debido a los bajos ingresos de las familias y a la disminución de la ayuda del Estado.

La estrategia de las actuales familias campesinas de San Pablo consiste en trabajar como asalariados, lo cual proporciona la mayor parte de su ingreso, complementándolo con la producción agrícola tanto para el autoconsumo como para el mercado.

SUMMARY

The soil erosion which is present in the greater part of Mexico is characterized by the presence of indurated volcanic horizons (*Tepetates*). This has been studied primarily by natural scientists, and to a lesser degree by social scientists. In this study, both perspectives are adopted.

The primary objective of this study is to understand the socioeconomic and agroecological contexts of the appearance of the tepetates, including their incorporation into agricultural activities. The study was undertaken in the community of San Pablo Ixayoc, Municipality of Texcoco, located within and to the east of the basin of the Valley of Mexico.

Library and other documentation was analyzed, and anthropological fieldwork was carried out, as well as an agronomical followup in 21 agricultural plots cultivated with corn, some with tepetate soils, some not.

The results of this research reveal that the accelerated erosion process came about with the destruction of the ancient prehispanic mode of production, which was characterized by hydraulic management and the cultivation of terraces. The Spanish conquest brought about deforestation and the introduction of the livestock, and by the beginning of the 17th century, tepetate was exposed in large areas.

The agriculturalists of San Pablo with State assistance have recuperated important areas of tepetates through the construction of terraces. Their social reproduction is assured through salaried work, which provides the bulk of their income. This is complemented by agricultural

production for consumption and sale. In this way the agriculturalists are recovering the tepetate areas with family labour and state intervention albeit at a slow pace due to the low income of these individuals and the reduction of State aid over the past decade.

INTRODUCCION

Uno de los grandes problemas nacionales es la erosión o pérdida de los suelos productivos en la mayor parte del territorio mexicano, lo que conlleva a la aparición o afloramiento de horizontes endurecidos tales como los tepetates.

Este fenómeno tiene graves repercusiones ecológicas, económicas y sociales que afectan no sólo a las poblaciones rurales sino al país en su conjunto.

La degradación de los recursos bióticos, así como la desaparición de especies vegetales y animales; el azolve de lagos, presas, ríos y canales; la generación de tolveneras; la disminución de la producción agrícola y la pobreza rural, así como la emigración de la población campesina a las áreas urbanas, sólo son algunas de las consecuencias de la pérdida de suelos debido a la erosión.

Este problema ha sido estudiado por profesionales de las ciencias naturales: biólogos, edafólogos y agrónomos fundamentalmente; menores han sido los estudios de carácter etnohistórico, antropológico, económico y sociológico.

En un intento de integración de las diferentes disciplinas tanto físico-naturales, como sociales, este trabajo de investigación busca el enfoque interdisciplinario.

El objetivo principal del estudio es: conocer la problemática socioeconómica y agroecológica en la dinámica de afloración de los tepetates y su reincorporación a la producción agrícola.

De esta manera la hipótesis planteada es que mediante el enfoque de sistemas y el estudio

etnohistórico y antropológico, se puede aclarar la lógica de la erosión de suelos y el afloramiento de los tepetates, así como encontrar técnicas agronómicas y estrategias socioeconómicas para recuperar áreas con tepetate.

Descripción del Area de Estudio

La comunidad en estudio, geográficamente se ubica entre los 2,500 y los 2,600 msnm; en el meridiano 98°47'30" de longitud oeste y los paralelos 19° 27'30" y 19° 30' de latitud norte.

El clima es C (wo'') (w) (b C'), es decir, templado subhúmedo, el más seco de la serie, con lluvias de verano el cual es largo y fresco. Con una temperatura media anual entre 12 y 18°C; la del mes más frío, entre -3 y 18°C; la del mes más caliente entre 6.5 y 22°C; presentándose oscilación térmica anual en las temperaturas mensuales entre 5 y 7°C. La vegetación original está constituida por bosque de pinoencino y pastizal de altura (Sánchez, 1991).

El pueblo de San Pablo Ixayoc está ubicado en la zona que se suele llamar Valle de Texcoco, el antiguo e histórico Acolhuacan. Palerm y Wolf (1972) la caracterizaron como una región, partiendo de que fue asiento de una de las tres grandes cabezas del gran estado pre-hispánico y constituyó el área clave del imperio texcocano. Según estos autores San Pablo Ixayoc queda ubicado como un pueblo de la sierra, mientras que para Sanders *et al.*, (1979) quedaría en el pie de monte alto. Ortiz y Cuanalo (1977) lo clasifican como un sistema (Ixayoc) de acuerdo al levantamiento fisiográfico del área.

Desde el punto de vista político administrativo, actualmente San Pablo forma parte del municipio más grande de esta región del Estado de México, el de Texcoco.

San Pablo Ixayoc se constituyó en ejido formalmente por medio de la resolución presidencial del 8 de enero de 1925, aunque desde 1916 los campesinos habían tomado la tierra; a partir de 1919 trataron de constituirse legalmente

en esta forma de tenencia. La dotación original fue de 400 ha y posteriormente se les otorgó una ampliación de 496 ha, por resolución presidencial del 18 de septiembre de 1986. Actualmente cuenta con 124 ejidatarios en las 896 ha.

La población total para 1986 era de 1,659 habitantes, según estimación de Aldana (1988).

Actualmente San Pablo Ixayoc es una comunidad campesina cuyos habitantes se han relacionado históricamente con los recursos naturales en cuanto campesinos, es decir, de acuerdo a sus peculiares formas de organización social y al lugar que ocupan dentro de la sociedad mayor de la cual forman parte. El tipo de familia campesina predominante en San Pablo es la *extensa*, es decir, la que agrupa en un mismo marco de organización a varias familias *nucleares* (Wolf, 1982).

La definición de campesino o de sociedad campesina presenta varios problemas y ha sido objeto de un largo debate en los últimos años; Kroeber (1953), Shanin (1980), Trouillot (1988), Warman (1978), Wolf (1982), entre otros, caracterizan a los campesinos como una sociedad que vive fundamentalmente de las actividades agrícolas, parcialmente integrados a la economía capitalista y sobre todo subordinados al Estado.

Lo anterior es muy importante porque es necesario estudiar el papel que el Estado ha asignado a las comunidades campesinas asentadas en el área de Texcoco, a fin de tratar de establecer cuales han sido las formas de relacionarse con los recursos naturales y de que manera esto incide en el incremento de la erosión o en la posibilidad de su control.

MATERIALES Y METODOS

Para cumplir con el objetivo planteado se hizo una revisión bibliográfica y documental sobre los estudios ya realizados en el área y se llevó a cabo un trabajo de campo antropológico y agronómico en la comunidad.

Este trabajo tiene como antecedente el diagnóstico de la comunidad efectuado durante 1989 por el mismo equipo de trabajo. Los resultados de dicha investigación fueron la base para la elaboración y ejecución de esta investigación, cuyos trabajos de campo se iniciaron en marzo de 1990, con visitas periódicas; a partir del mes de mayo, uno de los investigadores se estableció permanentemente en el seno de una familia campesina, hasta diciembre del mismo año.

En relación al aspecto antropológico se hizo una investigación para obtener los datos generales de la comunidad, enfocándose a las formas de organización de los grupos familiares en relación al uso y manejo de los sistemas agrícolas. En esta caracterización se siguió la guía de Murdock (1950) y se utilizaron las técnicas antropológicas fundamentales, es decir, la observación participante, viviendo en la comunidad por espacio de 8 meses; auxiliándose de encuestas y entrevistas, mediante las cuales se obtuvieron datos históricos del manejo de los tepetates en los últimos 30 años, de la estructura y actividades económicas de las familias campesinas, y del proceso de trabajo por parcela trabajada, entre otros elementos.

En cuanto al aspecto agronómico, se hizo una caracterización de los sistemas de cultivo familiares en 21 parcelas: 9 en suelo no endurecido y 12 en diferentes tepetates. En dichas parcelas se realizó el seguimiento agronómico en cuatro áreas de muestra o repeticiones (de 14 a 18 m² / repetición); obteniéndose datos de crecimiento, desarrollo y producción del cultivo predominante, es decir, el maíz.

En relación al cultivo, el estudio incluyó: densidad de plantas, análisis topológico, emisión de hojas, floración, componentes y el cálculo de rendimientos. En cuanto a los sustratos se realizó seguimiento hídrico durante la etapa crítica del cultivo, análisis de fertilidad, así como perfiles culturales a la floración femenina.

RESULTADOS Y DISCUSION

La Erosión de los Suelos como Proceso Histórico

Según Palerm y Wolf (1972), un siglo antes de la conquista, en el viejo señorío Acolhua, que se extendía desde las orillas del Lago de Texcoco hasta las sierras que separan al Valle de México de los valles situados al este, había un sistema de agricultura de riego en terrazas. Las evidencias arqueológicas nos indican que era una zona con una gran población y que hoy está erosionada y deshabitada.

El concepto de sociedad hidráulica, acuñado por Wittfogel (1966), que se caracteriza por un control predominante del Estado sobre los recursos naturales, fundamentalmente del agua y, por consecuencia de las actividades agrícolas, así como de la población; se aplica al sistema de regadío que existió en Texcoco en los tiempos prehispánicos (Martínez y Romero, 1991). Este tipo de sociedad que conlleva una determinada organización social y de cultura, se caracteriza a sí mismo por sus elevadas concentraciones de población. Hicks (1979), citado por Martínez y Romero (1991), confirma que en el Texcoco prehispánico había una gran cantidad de población.

Según Gerhard (1986), la región de Texcoco en tiempos de la conquista tenía probablemente 100,000 tributarios. Sin embargo, esta cifra bajó hasta 1,565 tributarios en el año de 1643, debido principalmente a las guerras y las enfermedades. De esta manera vemos que para la segunda mitad del siglo XVII la región estaba casi despoblada. Esta tendencia se revirtió, aunque lentamente, puesto que el mismo autor nos da la cifra de 7,546 tributarios para el año de 1802, es decir, a finales de la colonia (Figura 1).

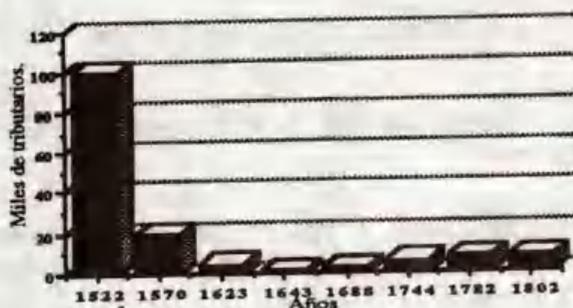


Figura 1. Comportamiento demográfico del área de Texcoco durante la Colonia (1522-1802).

Con la destrucción del viejo sistema de regadío y de terrazas se instauran nuevas formas de explotación de los recursos naturales del área y por lo tanto se da un cambio cultural que traería graves consecuencias en los aspectos ecológicos, demográficos y sociales.

Palerm y Wolf (1972) nos señalan que el cambio cultural que significó la ruptura de un sistema de producción a otro no ha recibido mucha atención desde el punto de vista teórico. Estos autores apuntan que a la región de Texcoco se asignó un papel de proveedor de productos forestales y pecuarios a la ciudad de México. De esta manera vemos que la población de San Pablo Ixayoc se integró como un área marginal a un sistema mayor, representado en este caso, por la capital del México colonial.

Independientemente de que el proceso de erosión se haya dado desde antes de la Conquista, los mismos autores nos dicen que bajo el dominio español tanto las ovejas como la deforestación practicada para aprovisionar las construcciones españolas y las nuevas ciudades, aumentaron considerablemente la erosión e hicieron irreversible la tendencia hacia la disminución de la agricultura intensiva.

Según Palerm, citado por Canahua (1986), "...en 1542 la aplastada población indígena intentó reconstruir su sistema hidráulico y los españoles, temerosos de una revitalización de la cultura del pueblo bajo su dominio, toman la drástica medida de acabar con lo que quedaba del sistema hidráulico indígena..."

Gibson (1978), al hacer una relación general sobre el proceso de la erosión y deterioro ecológico de la cuenca del Valle de México, nos dice que desde principios del siglo XVII extensas áreas de cultivo carecían ya de la capa superior del suelo, el tepetate quedando expuesto.

Pérez-Lizaur (1975) nos dice que en la franja erosionada, que se encuentra entre los 2,500 y 2,750 msnm, se encuentran las principales obras prehispánicas de riego, cerámica, restos de vivienda y terrazas abandonadas. Hoy la zona está deshabitada.

La inferencia que se obtiene de estos datos confirmados por las fuentes etnohistóricas y las evidencias arqueológicas, nos lleva a afirmar que con la destrucción del antiguo orden, es decir, con la desintegración de la sociedad del antiguo señorío del Acolhuacan y la destrucción del sistema hidráulico desde el primer momento de la Conquista, el proceso de erosión se acelera y alcanza grandes proporciones. La Conquista y las enfermedades traídas por los españoles provocan una grave caída demográfica que afecta determinante al sistema de terrazas que servía para controlar la erosión, es decir, con la desaparición de la fuerza de trabajo necesaria para manejar y mantener el sistema de terrazas, éste se desintegra.

En síntesis, la deforestación, nuevos implementos agrícolas como el arado, nuevas plantas, el pastoreo y también la baja demográfica dieron como resultado que grandes extensiones de tepetate quedaran expuestas antes de terminar el período colonial.

En relación a la historia económica y el manejo de los recursos en San Pablo Ixayoc, Aldana (1988) señala que de acuerdo a informantes ancianos, el paisaje de la localidad a principios de siglo era diferente al actual, es decir, había más áreas de tepetate y los montes habían sido sobre-explotados. Los habitantes de San Pablo eran leñadores que trabajaban para la hacienda de Chapingo y para la fábrica de vidrio de la hacienda de Tierra Blanca. El período 1916-1924 se caracterizó por una inestabilidad social debido a la Revolución, la gente de la comunidad

tomó parte de la tierra que pertenecía a la Hacienda de Chapingo y se dedicó a explotar el bosque y a desarrollar la agricultura de maíz, frijol y trigo, principalmente. Con la legalización del ejido la explotación forestal se intensificó y se diversificó, sin embargo, se comenzaron a construir terrazas para cultivar maíz y posteriormente flores y árboles frutales.

Esta estrategia seguida por los pobladores se vio truncada por la veda forestal que se decretó en el año de 1940, lo cual llevó a la gente de San Pablo a buscar trabajo como asalariado tanto en Texcoco como en la Ciudad de México.

De 1950 a la fecha se ha venido conformando una estrategia predominante de reproducción de las familias campesinas, la cual consiste en la venta de la fuerza de trabajo fuera de la localidad, con lo que aseguran la mayor parte de sus ingresos, complementando sus requerimientos con las actividades agrícola, pecuaria y forestal (Aldana, 1988).

En relación al crecimiento demográfico de San Pablo Ixayoc, el mismo autor nos dice que en 1900 había una población total de 160 habitantes, dándose un incremento considerable, sobre todo en las dos últimas décadas, llegando a 1,659 habitantes en el año de 1986 (Figura 2).

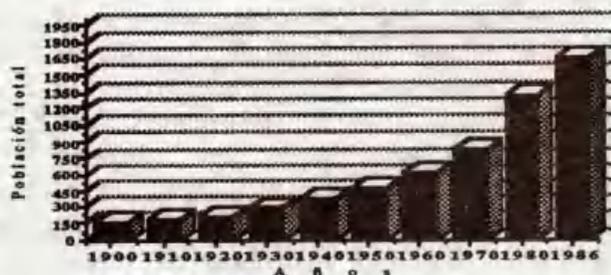


Figura 2. Crecimiento demográfico de San Pablo Ixayoc en el siglo XX.

Estudio Socioeconómico

Con datos obtenidos de una encuesta realizada a las nueve familias estudiadas complementados con registros y comprobación mediante la observación participante relativo a sus actividades productivas hace 30 años y actualmente, encontramos los resultados siguientes:

- Las actividades productivas más importantes hace 30 años eran la extracción y venta de leña complementada con la producción agrícola. Sólo el 10% de los grupos obtenía ingresos por concepto de trabajo asalariado. Actualmente la explotación del bosque ha disminuido tanto en cantidad como en tipo de aprovechamiento. El trabajo asalariado se ha incrementado considerablemente; las actividades agrícola y pecuaria no presentan cambios significativos (Figura 3).

En cuanto al destino de la producción agropecuaria se observa una disminución en relación a la venta, acompañado de un considerable aumento del autoconsumo (Fig. 4).

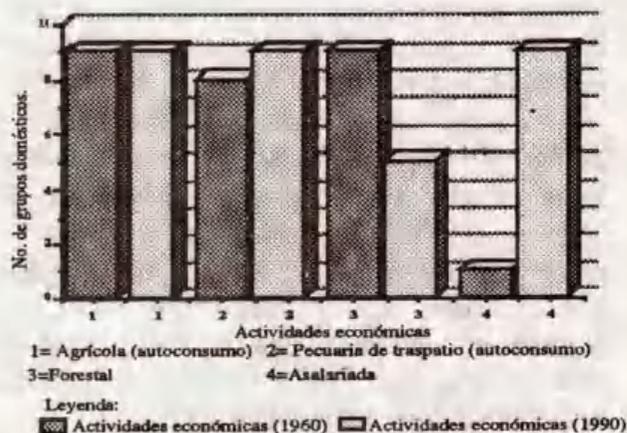


Figura 3. Cambio en el patrón de actividades económicas de los grupos domésticos.

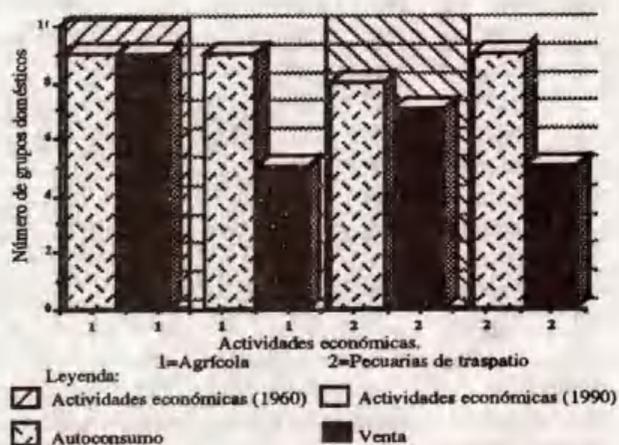


Figura 4. Cambio en las actividades económicas de los grupos domésticos.

- El 78% de las familias recibe actualmente ingresos por concepto de trabajo asalariado permanente y el 89% por trabajo asalariado temporal.

- El tipo de familia predominante es el extenso, el cual da la posibilidad de contar con mayor número de miembros y por lo tanto de asalariados (Cuadro 1).

- Al final de la década de los sesenta se comenzaron a roturar los tepetates con base a trabajo y uso de herramientas manuales. Desde 1972 se iniciaron los trabajos de recuperación con maquinaria proporcionada por el municipio y mano de obra de los grupos familiares. A partir de 1976 se establece un programa de roturación intensivo por parte del gobierno federal y la participación de la comunidad. Después del establecimiento de las terrazas, el trabajo familiar ha sido fundamental para su aprovechamiento. El 78% de las familias encuestadas hizo roturaciones posteriores, lo que significó una inversión adicional sobre todo en trabajo familiar. De esta manera encontramos una relación entre el número de miembros por familia y la cantidad respectiva de roturaciones (Figura 5).

Cuadro 1. Tipo y estructura familiar e importancia del trabajo asalariado de los 9 grupos domésticos.

Fam.	Tipo de grupo	Hom- bres	Muje- res	Total	Asala- riado	Asalariado Temporal
1	Extenso	11	5	16	5	2
2	Extenso	10	3	13	5	1
3	Nuclear	5	6	11	0	3
4	Extenso *	7	9	16	6	0
5	Extenso	8	6	14	2	2
6	Nuclear **	3	1	4	0	1
7	Extenso	4	4	8	2	1
8	Extenso	5	6	11	2	1
9	Nuclear	3	5	8	2	2

* No viven bajo el mismo techo pero tienen actividades comunes.

** Comparte actividades bajo el mismo techo pero siembra parcela diferente.

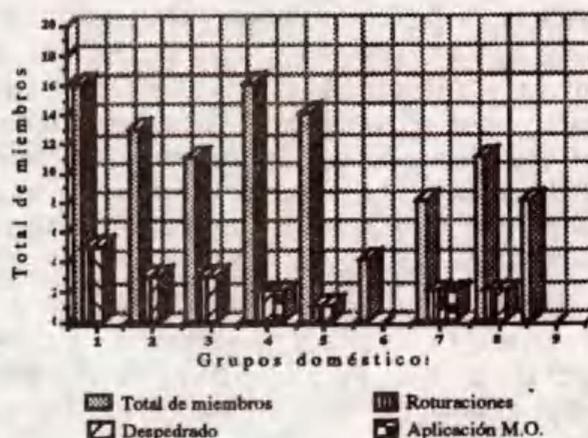


Figura 5. Tipo de familia-roturación-manejo inicial del tepetate.

Seguimiento Agronómico

Es evidente la variabilidad entre sustratos y al interior de cada tipo de sustrato o suelo. Considerando los promedios por sustrato, las brechas, tepetates de diferentes series estadigráficas con presencia de piedras mayores al 20% de la superficie, tuvieron los mayores rendimientos; en el otro extremo las parcelas 8-15 y 8-24 obtuvieron los más bajos rendimientos. La eficiencia y los componentes de rendimiento reflejan las diferencias de producción. Las demás variables tienen un comportamiento diferente: el grupo de los tepetates amarillos, de la serie estadigráfica T3, tuvo el mayor porcentaje de plantas perdidas, superando en poco a los otros sustratos. Es interesante ver que el porcentaje más pequeño se dio en el tepetate blanco t2. Si consideramos el porcentaje de plantas y mazorcas con problemas, así como el porcentaje de malezas, es evidente el comportamiento anterior (Cuadro 2).

Para explorar la respuesta de una de las limitantes productivas de los tepetates se aplicó fertilizante nitrogenado (120-0-0). La respuesta obtenida es diferente en cada sustrato, haciendo falta datos del manejo campesino al respecto, para comparar los resultados obtenidos (Fig. 6).

Cuadro 2. Comparación de aptitudes de crecimiento y rendimiento de maíz criollo de las parcelas con seguimiento agronómico.

Productor	Sustrato	Rend. kg/ha	Eficiencia mazorcas/planta	Granos/m ²	Peso seco 100 granos g	Plantas perdidas %	Plantas con problemas %	Promedio malezas %	Mazorcas con plaga %
Tepetate amarillo (Serie T3)									
1	11	769	0.53	589	16.89	19	9	52	68
2	13	742	0.39	459	18.82	14	17	73	95
7	14	2,468	0.75	1,338	21.89	4	71	3	49
8	15	309	0.33	209	16.71	2	23	43	72
	Promedio	1,072	0.50	649	18.58	10	30	42	71
Brechas									
3	21	813	0.58	466	21.94	7	12	45	67
4	22	3,044	0.73	1,496	23.88	7	50	24	35
7	23	3,257	0.87	1,384	27.31	6	58	38	24
	Promedio	2,371	0.73	1,115	24.38	7	40	35	42
Suelo no endurecido									
1	31	2,773	0.68	1,385	22.68	14	78	5	32
2	32	944	0.57	515	22.80	11	65	44	77
3	33	812	0.54	484	19.79	9	88	83	40
4	34	2,002	0.51	994	24.87	8	83	10	62
4	34'	915	0.39	585	19.04	9	55	68	61
6	35	1,538	0.58	793	22.94	4	59	58	62
9	36	1,165	0.66	787	18.75	5	59	55	52
	Promedio	1,346	0.56	788	21.54	9	70	46	55
Tepetate blanco									
8	24	250	0.3	171	16.86	4	29	29	57
	Promedio	250	0.3	171	16.86	4	29	29	57

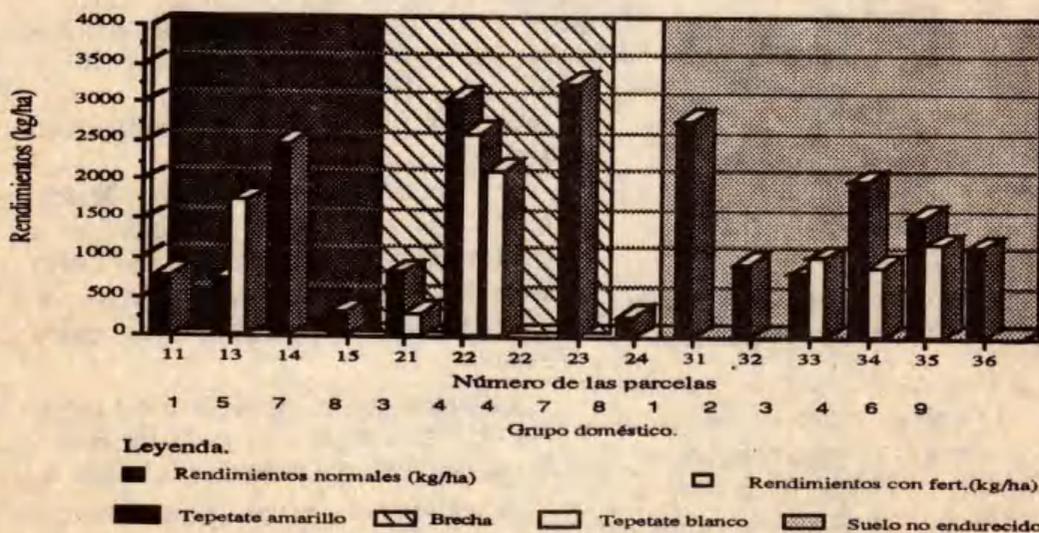


Figura 6. La respuesta de los sustratos a la variación en la aplicación del fertilizante nitrogenado.

La producción de las parcelas de cada grupo doméstico es muy variable, debido a las diferencias en el manejo y tipo de suelo (Cuadro 3).

Se da una relación directa entre el tipo de grupo familiar y los rendimientos obtenidos de maíz. Se consta que la agricultura sigue siendo importante dentro de las actividades productivas de los grupos domésticos, presentándose un manejo diferenciado de los tepetates en relación a la estructura familiar (Cuadro 4).

Cuadro 3. Comparación de rendimientos de maíz entre el tepetate café t3, y el suelo endurecido.

Grupo doméstico	Sup. tepetate	Rend. Prod. total	Sup. suelo no endurec.	Rend. Prod. total
	ha	t/ha t	ha	t/ha t
1	1.50	0.8 1.20	1.0	2.8 2.8
2	0.50	**	1.0	0.9 0.9
3	0.40*	0.8 0.30	1.0	0.8 0.8
4	0.01	3.0 0.03	3.0	1.0 2.9
5	0.24	0.7 0.20	0.0	0.0 0.0
6	0.00	0.0 0.00	0.8	1.5 1.2
7	0.60	2.5 1.50	0.9	** **
8	0.30	0.3 0.10	0.8	** **
9	0.00	0.0 0.00	0.8	1.2 0.9

* Brecha. **No se realizó seguimiento agronómico.

Cuadro 4. Comparación de rendimientos de maíz entre el tepetate café t3, y el suelo endurecido.

Actividad	Meses												Número total de miembros por grupo y por actividad								
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	1/16	2/13	3/11	4/16	5/14	6/4	7/9	8/11	9/8
I				■	■								4	2	2**	1	0*	0*	2*	0*	1
II				■	■	■							8	5	3	3	5	4**	6	4	2
III				■	■	■	■						8	2	3	2	4	3**	2	3	2
IV				■	■	■	■	■					8	2	3	3	7	1**	2	3	2
V				■	■	■	■	■	■				4	2	2	0	1	1	2	3	1
VI				■	■	■	■	■	■				4	0	0	2	0	0	2	3	2
VII				■	■	■	■	■	■				8	2	0	8	2	0	2	1	0
VIII				■	■	■	■	■	■			■	11*	6	3	8	3	4**	5	3	2
IX	■	■	■									■	10	3	5	2	4	1	4	3	3

I Preparación del terreno
II Siembra
III 1era fertilización
IV 1ra labor
V Deshierbe
VI 2a Labor

VII 2a fertilización
VIII Cosecha
IX Desgrane

* Trabajo no familiar: maquila
** Trabajo no familiar: por cooperación

CONCLUSIONES

La erosión de los suelos y el afloramiento de los tepetates es un fenómeno histórico que se intensificó con la destrucción del sistema hidráulico y la desestructuración de la sociedad hidráulica prehispánica que se había desarrollado aquí.

Los actuales pobladores de San Pablo Ixayoc han participado en la recuperación de los tepetates, con trabajo familiar propio, complementando a los programas oficiales. Es notable el cambio en la estrategia productiva de los grupos domésticos pasando de ser fundamentalmente

leñadores para convertirse en agricultores y asalariados.

La fuerza de trabajo familiar de los grupos domésticos, así como su economía, no son suficientes para la recuperación significativa de las áreas de tepetate, por eso es importante la utilización de maquinaria pesada proporcionada por el Estado.

La cantidad y la oportunidad del trabajo familiar expresada en el manejo de las áreas cultivadas es decisivo para recuperar suelos de tepetate.

Actualmente la recuperación de tepetates para incorporarlos a la producción agrícola en el ejido de San Pablo Ixayoc, mediante la construcción

de terrazas, coincide con el crecimiento demográfico; hace falta investigar cuál es la relación que existe entre estas dos variables.

Se puede señalar la importancia que reviste la predominancia de la familia extensa, lo cual hace posible la disponibilidad de miembros de dichas familias que se dedican a la actividad agrícola, además de disponer de mayores ingresos vía trabajo asalariado, lo cual favorece la recuperación de los tepetates.

Hay diferencias de desarrollo y rendimientos entre los diferentes grupos de parcelas estudiadas, así como al interior de éstas, de lo cual se infiere que hay una diferencia de manejo, que esta

relacionado con la estructura y tamaño de los grupos domésticos.

AGRADECIMIENTOS

Participaron en esta investigación los Dr. H. Navarro G. y C. Zebrowski como coordinadores de las áreas agronómica y edafológica, respectivamente.

Durante el trabajo de diagnóstico (1989) y parte del trabajo en 1990, la participación de G. Cerda S. y su familia, así como las de M. Vivar e I. Sánchez, fue muy importante. Damos las gracias a estas familias y a todos los habitantes de San Pablo Ixayoc por su constante cooperación sin la cual la presente investigación no hubiera sido posible.

LITERATURA CITADA

- ALDANA MARTINEZ, G.** 1986. San Pablo Ixayoc: Cambio, integración y articulación a la dinámica regional texcocana. Tesis de Licenciatura. Universidad Iberoamericana. México. 387 p.
- CANAHUA MURILLO, A.** 1986. Conceptualización y toma de conciencia de las comunidades de la subcuenca del río Texcoco respecto a la conservación de sus recursos naturales. Tesis de Maestría. CEDERU, Colegio de Postgraduados. México. 204 p.
- GERHARD, P.** 1986. Geografía histórica de la Nueva España, 1519-1821. UNAM, México. 493 p.
- GIBSON, C.** 1978. Los Aztecas bajo el dominio español, 1519-1810. Ed. Siglo XXI. México. 307 p.
- KROEBER, A.L.** 1953. Cultural and natural areas of native north America. Univ. of Clifornia Press. Berkeley, USA.
- MARTINEZ SALDAÑA, T. y A. ROMERO CONTRERAS.** 1991. La consolidación del Estado en el Imperio Texcocano, pp. 263-289. In: Memorias. Segundo foro de investigación y servicio del Oriente del Estado de México. UACH. México.
- MURDOCK, W.** 1950. Guía para la clasificación de los datos culturales. Reimp. 1989. UAM, Méx.
- ORTIZ-SOLORIO, C. y H. CUANALO DE LA CERDA.** 1977. Levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo para la cartografía de tierras erosionadas. Ed. Colegio de Postgraduados y ENA. Chapingo, México. 83 p.
- PALERM VICH, A. Y E. WOLF.** 1972. Agricultura y civilización en Mesoamérica. Editorial SEP-Setentas. México. 212 p.
- PEREZ-LIZAU, M.** 1975. Población y sociedad en 4 comunidades del Acolhuacan. SEP-INAH. Méx. 120 p.
- SANDERS, W., PARSONS, J. y R. SANTLYE.** 1979. Ecological processes in the evolution of a civilization. Academic Press. New York, USA.
- SANCHEZ VELAZQUEZ E.** 1991. El problema del agua en San Pablo Ixayoc. Tesis de Técnico Profesional en Trabajo Social, Escuela Juana de Asbaje. Texcoco, México. 55 p.
- SHANIN, T.** 1980. Defining peasants: conceptualization and deconceptualizations: old and new in marxist debate, pp. 60-86. In: J. P. Mendier (ed). Social Anthropology of Peasantry. Somaiya publications PUT, LTD, New Delhi, India.
- TROUILLOT, M. R.** 1988. Peasants and capital. Dominica in the World Economy. The Johns Hopkins University Press, London, GB. 23 p.
- WARMAN, A.** 1978. Y venimos a contradecir. Los campesinos del Estado de Morelos y el Estado Nacional. Ed. de la Casa Chata, México. 351 p.
- WITTFOGEL, K.A.** 1966. Despotismo Oriental, estudio comparativo del poder totalitario. Ed. Guadarrama, Madrid, España. 584 p.
- WOLF, E.** 1982. Los campesinos. Ed. Labor. Barcelona, España. 151 p.

ASPECTOS SOCIALES Y ECONOMICOS RELACIONADOS CON TEPETATES RECUPERADOS

Social and Economic Aspects Related with Reclaimed Tepetates

María de la Luz Marcela Ortiz Solorio y Manuel Anaya Garduño

Centro de Edafología Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.

Palabras clave: México, Tepetates, Recuperación, Análisis Económico, Análisis social.

Index words: Mexico, Tepetate, Recovery, Economic analysis, Social analysis.

RESUMEN

El material duro que proviene de cenizas volcánicas denominados tepetate está relacionado con las actividades humanas, especialmente donde la erosión ha dejado una capa infértil; por eso es importante conocer los aspectos socioeconómicos involucrados con su recuperación para la producción de granos básicos como el maíz y el frijol.

Este trabajo tuvo los siguientes objetivos: comprender los sistemas de manejo de los tepetates y evaluar el impacto socioeconómico de las obras de terrazo, roturación y labranza de los tepetates.

Los resultados muestran que en la zona hay tres tipos de agricultores: 1) Aquellos que dependen completamente de la actividad agrícola, 2) Aquellos que ven a la actividad agrícola como un aspecto secundario y 3) Agricultores que prácticamente tienen abandonadas sus tierras.

En el aspecto económico una buena relación beneficio-costos depende de un buen manejo de la parcela con adiciones periódicas de materia orgánica; así se puede asegurar una producción de granos básicos como el maíz y el frijol.

SUMMARY

Hard pans originated from volcanic ashes (tepetates) are related with man's activities, specially where soil erosion has taken place and leaves unfertile soil; therefore it is important to know the socio-economical aspects involved in their restoration for production of basic crops like corn and bean.

This study had the following objectives: to understand tepetates management systems and to evaluate the socio-economical impact of practices like subsoiling, terracing, and tillage.

Results showed three types of farmers: 1) Those who depend entirely on agricultural production, 2) Farmers who see agriculture as a secondary activity and 3) Farmers who practically have abandoned the land.

A good cost/benefit ratio depends upon a good management and periodical additions of organic matter; in this way, production of basic grains like corn and beans is assured.

INTRODUCCION

En la zona oriente de la Cuenca de México se han llevado a cabo durante los últimos cuarenta años diversos trabajos de recuperación de suelos

que se desarrollan sobre tepetates, o bien, lugares donde sólo aflora el tepetate. Estos trabajos han consistido en terraceo y roturación entre otros con la finalidad de reducir las pérdidas de suelo del área y así evitar el continuo aporte de sedimentos al lago y canales artificiales de la parte baja de las subcuencas.

Esta investigación se desarrolló dividiendo la información en dos partes: el aspecto social y el aspecto económico. Los objetivos de esta investigación fueron: descripción de las prácticas de manejo, conocer la tipología de los agricultores y evaluar la rentabilidad de las obras de terraceo y de roturación de los tepetates.

Las mejores prácticas de manejo de los tepetates son aquéllas en las que el material se rotura finamente, se aplica materia orgánica y se cuenta con suficiente agua. Debido a que es una área de temporal escaso, lo que queda por hacer es roturar y aplicar materia orgánica suficiente; para aumentar la capacidad de retención de humedad, además, es necesario hacer prácticas de conservación de la humedad.

Se estudiaron tres tipos de agricultores, así como las obras de terraceo y de roturación en cuanto a su rentabilidad.

MATERIALES Y METODOS

Esta investigación se realizó en la zona oriente de la Cuenca de México considerando a las subcuencas Chapingo y Texcoco donde se encuentra el tepetate a unos cuantos centímetros del suelo, o bien, donde hay afloramientos de este material.

El trabajo se dividió en dos partes que fueron: 1) Comprender los sistemas de manejo de los tepetates y 2) Evaluar el impacto socio-económico de las obras de terraceo y roturación.

En la primera parte se hace referencia a los diferentes tipos de agricultores y su relación con suelos que se desarrollan sobre tepetate, y el manejo que efectúan. Para obtener esta información se aplicaron encuestas con la finalidad de

conocer la tipología de los agricultores y se obtuvo información de Ortiz (1986), Peña *et al.*, (1990) y Ortiz y Anaya (1991).

La segunda parte consistió en hacer un análisis económico a tres agricultores representativos de las situaciones que se presentan en la zona.

Se evaluó como beneficio de las obras de terraceo y roturación a la disminución de pérdida de suelo, este dato se estimó de información de campo generada anteriormente en lotes de escurrimiento instalados por 10 años (Figuroa, 1975) y evaluación de las obras de terraceo realizado por Trueba (1978). La información estimada fue la cantidad de pérdidas de suelo sin obra y con obra. El suelo que se dejó de perder con la obra fue tomado como beneficio considerando como valor del suelo el costo de desazolve en la parte baja de la cuenca (precio sombra). Otro beneficio fue el obtenido por la siembra en estas áreas, ya que anteriormente eran eriales.

Los indicadores económicos que se utilizaron para la evaluación fueron: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio Costo (RB/C). De estos indicadores económicos el que resulta ser el más adecuado es la TIR que es aquella en la cual la corriente de beneficios incrementales netos o flujo de caja trabaja con aquélla tasa de actualización que hace que el VAN sea igual a cero (Guttinger, 1983; 1973).

RESULTADOS Y DISCUSION

Para el estudio de la recuperación de tepetates es importante conocer el aspecto social y económico, esta información fue proporcionada por encuestas aplicadas por Ortiz (1986).

Aspecto Social

En el aspecto social se observó que los ejidatarios que se dedican a la actividad agrícola son personas de edad madura (mayores de cuarenta y cuatro años de edad), los cuales en la

mayoría de los casos cuentan con apoyo económico de familiares que trabajan fuera de la comunidad, su nivel escolar es de segundo a tercero de primaria y el número de miembros por familia promedio es de cinco a seis personas. Respecto a la vivienda, se encuentra que la mayoría de las casas son de adobe, se cuenta con agua potable dentro de las casas y el 98% de ellas no tienen drenaje, por lo que utilizan letrinas. Las comunidades cuentan con servicio médico de alguna institución gubernamental, pero sólo por unas horas al día.

Las limitaciones para la actividad agrícola en la zona bajo estudio se refieren a la falta de agua y a la presencia de áreas erosionadas.

Al analizar el aspecto social, se encontraron tres tipos de agricultores: 1) aquéllos que viven exclusivamente de la actividad agrícola, 2) aquéllos que ven a la actividad agrícola como un aspecto secundario, pero todavía le dan importancia y 3) los que ven a la agricultura como un aspecto secundario de poca importancia.

En el primer caso se trata de las personas que tienen la mayor edad, le dan un buen manejo a las parcelas recuperadas y además tienen animales. Se caracterizan porque año con año van mejorando la parcela recuperada con despidres y aplicación de materia orgánica de tal manera que obtienen buenos rendimientos, son personas optimistas que utilizan técnicas poco comunes en la zona como es el "contreo" que consiste en hacer bordos perpendiculares a los surcos, útiles para almacenar el agua de lluvia que es aprovechada por las plantas.

El segundo grupo de agricultores, los que se dedican a la agricultura como actividad secundaria, pero le dan importancia, son aquéllos que viven en una situación socioeconómica precaria, no tienen quien les ayude económicamente y son más jóvenes que los antes mencionados. Siembran la tierra pero no la cuidan porque tienen que trabajar como albañiles, jornaleros y/o explotar el bosque entre otras. Al descuidar la parcela, ésta le produce poco, entonces buscan más trabajo remunerado para sobrevivir. Esta situación origina que se forme un círculo vicioso.

La condición de estos agricultores es la más frágil de todas, porque con el paso del tiempo estas personas pasan a integrar parte de los cinturones de miseria de las grandes urbes, por lo que socialmente son las personas que requieren más ayuda. Este grupo prácticamente no mejora la parcela recuperada con el tiempo, simplemente siembra, esperando que haya un buen temporal para obtener algo.

Del último grupo de agricultores hay poco que decir, prácticamente no son agricultores sino asalariados o comerciantes, trabajan en alguna institución gubernamental o tienen un negocio propio. Se dedican entre semana a desempeñar trabajos no agrícolas y el fin de semana para la actividad agrícola. La siembra la realizan con el fin de no perder sus tierras pero no les importa el producto que obtienen de estos terrenos, ni mejorarlos; esto es más evidente en los comerciantes. La edad de estas personas es variable y la situación socioeconómica también, económicamente están mucho mejor que el grupo anterior.

Aspecto Económico

El análisis económico se realizó seleccionando a tres agricultores, dos de ellos fueron los que obtuvieron los mayores rendimientos de acuerdo a un estudio hecho con anterioridad y el otro que obtenía rendimientos medios o bajos, pero que tenía su parcela en una terraza de banco. Es pertinente mencionar que estas obras conservacionistas se realizaron sobre suelos de unos 20 cm promedio y abajo estaba el tepetate.

A cada agricultor se le preguntó por medio de una encuesta cuáles habían sido los costos y la fecha del terraceo, el subsoleo, el despiedre y la construcción de las terrazas. Al hablar de costos de las obras, el valor que dieron los agricultores es relativo y variable, ya que estas obras de conservación de suelos eran parte de programas de instituciones gubernamentales que pagaban todo o la mayor parte de ellas, por tal razón, se hace la aclaración que únicamente se considera como costo a la erogación hecha por los agricultores.

El beneficio del terraceo y de la roturación fue el costo del suelo que se dejó de perder con la obra, el precio que se le dio a ese suelo fue el costo de desazolve del suelo que llegaba a la parte baja de la cuenca, que correspondía al 60% del suelo total perdido en la parcela (Ortiza, 1991, Comunicación personal).

Una vez que se obtuvo información de costos y beneficios, se deflactaron los precios, o sea, se unifica el valor del dinero a un año de referencia, el año al que se deflactó el dinero fue a 1978, ya que únicamente para ese año se tenían todos los índices nacionales de precios al consumidor que se necesitaban para realizar el análisis.

Al obtener los indicadores económicos no es importante que el valor del dinero se refiera al año en el que se realiza el análisis, sino que el valor del dinero se remita a un solo año, sea cual sea ese año.

Los resultados resumidos de los análisis económicos se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Resumen de los indicadores económicos obtenidos.

Indicadores Económicos	Escenarios	Agricultor 1	Agricultor 2	Agricultor 3
Beneficio por suelo que se dejó de perder	VAN	\$950,607.65	\$-16,938.24	\$-43,023.8
	RB/C	15.80	0.95	0.88
	TIR	>50%	13.69%	10.56%
Beneficio por suelo que se dejó de perder más producción de las parcelas	VAN	\$159,031.48	\$-11,762.26	\$-34,386.7
	RB/C	12.75	0.975	0.91
	TIR	>50%	12.01%	11.32%

En el Cuadro 1 se presentan dos escenarios, el primero se refiere al beneficio obtenido por el suelo que se dejó de perder, y el segundo al beneficio por la producción de la parcela más el del primer caso.

La información reportada muestra que para el caso del agricultor 1 las obras de terraceo y de roturación fueron redituables por un margen bastante amplio en los indicadores económicos,

por ejemplo el beneficio neto del terraceo y subsuelo fue de \$159,031.48, que por cada peso que invierte se obtendrán \$12.75 y que la tasa de interés a la que paga este proyecto es mayor del 50%. Esta situación se debe a que la terraza que se evaluó fue de banco y como se sabe, esta es la obra más eficiente para evitar las pérdidas de suelo, por lo tanto, el costo del suelo que se deja de perder al hacer la obra es mayor y de esta manera los beneficios aumentan.

Por otra parte, se sabe que este tipo de terraza es más caro que las terrazas de base angosta (que son las de los otros 2 agricultores), sin embargo, como eran parte de un programa de conservación de suelos de la Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agrícola y Ganadero del Estado de México (CODAGEM) el aporte del agricultor fue mínimo, de esta manera el análisis resultó positivo para el agricultor. Para la institución que realizó estas obras son redituables a 51 años de llevarlas a cabo (Ortiz, 1986) para el agricultor son redituables en tres años, es por eso, que a pesar de los medios a bajos rendimientos que obtiene se paga la obra, porque el beneficio de pérdida de suelo (suelo que se deja de perder) es tan grande que amortiza las pérdidas por bajos rendimientos.

Las terrazas de banco son las más eficientes para conservar el suelo, aunque resultan también las más costosas dado el volumen de tierra que hay que mover.

Los análisis económicos realizados para el terraceo y la roturación de tepetates relacionados con los agricultores 2 y 3 no resultaron redituables; esta situación se debe a que el gasto que hicieron los agricultores fue mayor, además de que el tipo de terraza que se está evaluando es de base angosta, entonces el suelo que se deja de perder al terracear es menor que en el primer caso, por lo tanto, las ganancias por terracear y roturar son inferiores; además, el agricultor 2 aportó dinero para el despiedre de su parcela.

En el Cuadro 1 se observa que el indicador económico TIR varía por un pequeño margen de la tasa de interés con la que se trabajó (15%), aproximadamente de 3 a 4 puntos porcentuales.

CONCLUSIONES

1. En la zona bajo estudio se encontraron tres tipos de agricultores: a) Aquéllos que viven exclusivamente de la actividad agrícola; b) Aquéllos que ven a la actividad agrícola como algo secundario y c) Los que ven a la agricultura como actividad secundaria de poca importancia, lo anterior va a condicionar a los sistemas permanentemente productivos.

2. Los agricultores que manejan mejor su parcela son aquéllos que se ubican en el grupo

(a), porque ellos dan un manejo conservacionista del agua (contreo) y aplican materia orgánica.

3. La roturación y el terraceo de los tepetates no es rentable para los agricultores a menos que el gasto inicial haya sido mínimo, sin embargo, les permite producir granos básicos como el maíz y el frijol.

4. La rentabilidad de las áreas recuperadas para los agricultores depende de un buen manejo y de una continuidad en relación a aplicaciones periódicas de materia orgánica.

LITERATURA CITADA

FIGUEROA S., B. 1975. Pérdida de suelo y nutrientes y su relación con el uso del suelo en la cuenca del Río Texcoco. Tesis de Maestría (Suelos). Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

ORTIZ S., Ma. de la Luz M. 1986. Evaluación de la velocidad de desertificación en la cuenca del Río Texcoco (efecto de la tecnología aplicada, inversiones y factor humano). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

ORTIZ S., Ma. de la Luz M. y M. ANAYA G. 1991. Rendimiento de maíz sobre tepetates roturados. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

PEÑA H, D., M. L. M. ORTIZ S., C. ZEBROWSKI y J. D. ETCHEVERS B. 1990. Incorporación de los tepetates a la producción agrícola: rendimiento y efectos de roturación sobre características físico-químicas de tepetates. *In:* Mem. XXIII Cong. Nac. de la Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera, México.

GUITTINGER, P. 1973. Compounding and discounting tables for project evaluation. Economic Development Institute International Bank. For Reconstruction and Development. Washington, D.C., USA.

GUITTINGER, P. 1983. Análisis económico de proyectos agrícolas. Instituto de Desarrollo Económico del Banco Mundial. Ed. Tecnos. Madrid, España.

TRUEBA C., A. 1978. Evaluación de la eficiencia de cuatro prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión hídrica en terrenos agrícolas de temporal. Tesis de Maestría (Suelos). Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

SISTEMAS AGRICOLAS DE TEMPORAL Y LA EROSION EN HUEYOTLIPAN, TLAXCALA, MEXICO

Seasonal Farming Systems and Erosion in Hueyotlipan, Tlaxcala, Mexico.

Alejandro Tonatiuh Romero Contreras

CEDERU, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Palabras clave: Erosión, Sistema agrícola, Población, Terrazas, Evolución agrícola y social.

Key words: Erosion, Farming system, Population, Terraces, Social and Farm evolution.

RESUMEN

El estudio de la erosión en México debe incluir diferentes aspectos naturales y sociales, como la historia de los factores ambientales, la historia de los manejos humanos y la evolución local de los sistemas agrícolas relacionados con la erosión.

Además, el análisis de la erosión debe considerar directamente el estudio de la organización demográfica y socioeconómica de las sociedades campesinas. Esta investigación incluye los efectos de la erosión sobre la producción agrícola y su relación con la economía de mercado.

En Tlaxcala, los principales sistemas agrícolas que están directamente relacionados con la erosión son: el cultivo del maíz de temporal, las terrazas de secano y los metlepantles (Metlepantle: este sistema agrícola es clasificado por Donkin como semi-terrazza. Es descrito por West como una combinación de plataforma con bordo, que cuenta con canales para el manejo del suelo y de la humedad. En el bordo de estos canales, se encuentran sembrados magueyes (*Agave sp.*) y

en las plataformas se siembran trigo y cebada. Estos dos cultivos son destinados a la economía de mercado.

El pueblo campesino de Hueyotlipan se localiza junto a la carretera Calpulalpan-Apizaco; está ubicado en una de las zonas más erosionadas de Tlaxcala. Hueyotlipan fue seleccionado para este estudio debido a que ha tenido un largo proceso de erosión y a que es posible estudiarlo desde sus inicios en el siglo XVI, hasta nuestros días.

SUMMARY

The study of erosion in Mexico has to include different natural and social aspects such as the history of environmental factors, the history of human managements and the local evolution of agricultural systems related to the erosion.

Furthermore, the analysis of erosion must be closely related to the study of demographic and socio-economical organization of peasant societies. This research includes the erosion effects on agricultural production and its relationship to market economy.

The main agricultural systems closely connected with erosion in the state of Tlaxcala are seasonal corn cultivation plots, seasonal terraces and

metlepantles (Metlepantle: agricultural system which is classified by Donkin like semi-terracing. It was described by West as a combination of platforms with borders and canals. On the borders are grown magueyes (*Agave sp.*) and on the platforms wheat or barley. Both crops are directed toward the market economy).

The town of Hueyotlipan is located next to the road Calpulalpan-Apizaco. The town is also located in one of the most eroded Tlaxcalan zones. Hueyotlipan was selected for this research because it has a long erosion process and it is possible to study this process from its beginning during the sixteenth century till today.

INTRODUCCION

En el presente trabajo se analiza someramente el desarrollo de los sistemas agrícolas de temporal: la terraza, el metlepantle y la erosión, en Hueyotlipan, Tlaxcala.

Hueyotlipan se encuentra en el camino de la antigua ruta comercial de los pueblos del altiplano que unía a éstos con los de la Costa del Golfo de México. En lengua náhuatl significa "en el camino grande". Geográficamente está localizado al noroeste de la Ciudad de Tlaxcala y es, en esta dirección, el último pueblo que pertenece culturalmente al área tlaxcalteca. Topográficamente se ubica en un terreno accidentado, rodeado de montañas, lomeríos, barrancas, y la planicie de Soltepec. Su localización y, por otra parte, el clima marcaron las condiciones de su desarrollo agrícola durante cerca de 2,000 años, fecha de sus primeros asentamientos agrícolas. Sin embargo, para poder entender los sistemas agrícolas del metlepantle y de las terrazas en Hueyotlipan, es necesario conocer primero su origen y desarrollo en el centro de la región tlaxcalteca, ya que desde allí se difundieron hacia la periferia tlaxcalteca.

LOS SISTEMAS AGRICOLAS TLAXCALTECAS

Los sistemas agrícolas tlaxcaltecas, como el metlepantle y la terraza, tardaron miles de años en constituirse como tales, ya que su proceso de formación dependió por completo de la práctica y conocimiento empírico que el agricultor adquiría pacientemente acerca del cuidado y del manejo de sus cultivos, es decir, de elementos tales como el suelo, la humedad, los vientos, los ciclos vegetales y de la biota en general, así como del control de malezas y manejo de insectos y de arvenses. Sin embargo, lo fundamental fue la interrelación de todos estos elementos en un calendario agrícola, los cuales aunados a las prácticas culturales del mundo rural, como la bendición de semillas, el culto a los muertos y las gracias por el agua, formaron una de las culturas agrícolas más importantes de Mesoamérica y del mundo.

Con base en lo anterior podemos definir como sistema agrícola a las estrategias que el agricultor utiliza para el aprovechamiento, adopción, control y modificación de los recursos naturales, humanos y técnicos, que poseen una secuencia definida y cíclica. Estas estrategias pueden identificarse por la dinámica de sus interrelaciones ambientales y culturales, cuyas características son su capacidad de sustentación, continuidad y permanencia.

Sin embargo, en la Tlaxcala contemporánea, no existen sistemas agrícolas que pudiéramos llamar "puros", es decir, que se hayan mantenido libres de cualquier influencia externa: todos han asimilado elementos, plantas y prácticas agrícolas de otras zonas. Por lo tanto, lo que presentamos a continuación, son modelos del desarrollo de los sistemas agrícolas de la terraza y el metlepantle en el centro de Tlaxcala y en la zona periférica de Hueyotlipan.

LOS COMIENZOS DE LA AGRICULTURA Y LAS TERRAZAS

Poseemos datos de que grupos de cazadores-recolectores se localizaban en el centro de Tlaxcala hacia el año 12,000 A.C., pero no es sino hasta 1,600 A.C. (fase Tzompantepec) que tenemos constancia de asentamientos de grupos sedentarios y agrícolas (García, 1986). En esta fase se presenta un incremento poblacional en el centro de Tlaxcala, zona con abundante agua y vegas de río. En esta época comenzó la ocupación de áreas para la agricultura que hasta ese momento eran marginales y estaban desiertas. Estos nuevos asentamientos se establecieron principalmente en las laderas y lomeríos y pie de monte, de manera que los nuevos pobladores, para poder nivelar el piso de sus chozas, comenzaron a trabajar el tepetate. Por consiguiente a partir de la experiencia de hacer terrazas para sus hogares surgieron las terrazas agrícolas.

En esta fase los agricultores establecieron las primeras terrazas agrícolas junto a sus hogares, dándose posteriormente cuenta de que trabajar el tepetate en época de lluvias lo hacía más blando y fácilmente podía trabajarse con sus implementos de madera y piedra. En estas terrazas se establecieron principalmente huertos familiares. (Hernández, 1987). En ellos se cultivaban especies que habían traído de la zona centro; como el aguacate (*Persea americana*) y el zapote de dos especies (*Diaspyros digynia* y *Casimiroa edulis*). Estas frutas combinadas con especies nativas de la zona, como el capulín (*Prunus capuli*) y el tejocote (*Crataegus mexicana*) dieron como resultado un sistema cada vez más variado y rico en especies vegetales. De esta forma dio comienzo un intercambio de plantas muy intenso entre la zona centro y la zona de montaña, favoreciendo a todos los sistemas agrícolas en formación, enriqueciéndose cada vez más con la llegada de nuevas especies.

Asimismo, dio comienzo la construcción de terrazas agrícolas en las que se podían cultivar más especies vegetales que en los huertos, tales

como el maíz en sus tres variedades (*tripscoide*, *naltel* y *chapalote*), la alegría (*Amaranthus sp.*), dos especies de calabaza (*Cucurbita moschata* y *mixta*) y dos especies de frijol (*Phaseolus vulgaris* y *P. acutifolios*) (García, 1985).

Hacia el año 1,000 A.C. (Fase Tlatempa), los arqueólogos vuelven a notar un incremento en la población y en la construcción de terrazas dentro del área. Sin embargo, estas incipientes terrazas con el tiempo y las lluvias llegaban a deshacerse. Los antiguos agricultores intentaron probablemente varias opciones para detener la erosión de sus terrazas, hasta que encontraron una estrategia para controlar el problema: el cultivo del maguey en los bordos de las terrazas.

El maguey (*Agave sp.*) es una planta que fue traída de las zonas áridas por los chichimecas, que eran grupos de cazadores-recolectores provenientes del norte. Los chichimecas penetraban a Tlaxcala por los llanos de Apan y mantenían contacto con los grupos de agricultores intercambiando productos (García, 1985; 1986). En esta misma etapa y debido a la fortaleza de los magueyes que "amarraron" las terrazas, se agregaron canales en los bordos con objeto de controlar el agua de lluvia. En caso de exceso de agua, los canales facilitaban el desagüe, conduciéndola a pequeñas barrancas. En el caso contrario, estos ductos podían taparse con piedra y lodo en sus extremos, reteniendo así la mayor cantidad de agua posible, y facilitando el manejo de la humedad requerida por el cultivo. Además, el canal era una fuente natural de fertilizantes, al atrapar arcillas, limo y materia orgánica provenientes de las partes altas (González, 1985).

De la utilización del maguey como medio para controlar la erosión se inició el sistema del metlepanile, que en náhuatl quiere decir "pared de magueyes" y consiste en construir en terrenos de poca pendiente bordos de tierra, encima de los cuales se siembran los magueyes. Los cultivos en este sistema fueron casi los mismos que en la terraza, pero menos variados en especies; se favoreció el cultivo del maíz, frijol, amaranto, chile y árboles como el capulín y el tejocote, principalmente. Es probable que este sistema

estuviera más relacionado con la agricultura de temporal que con la de riego.

Para la primera mitad de la siguiente etapa (Texoloc 800-400 A.C.) se ha descubierto la construcción de jagüeyes o depósitos de agua asociados a terrazas (García, 1985), pero no se ha podido comprobar la irrigación directa por canales. Sin embargo, no se descarta el riego a mano, aunque también estos depósitos funcionaron para el uso doméstico y el control de la erosión al captar las corrientes de agua y atrapar los sedimentos que éstas llevan en sus recorridos. Al final de esta fase, se incrementan el número y las dimensiones de las terrazas, esto como producto del incremento en la población; además algunas de las terrazas y muros de contención se recubren de piedras (García, 1985). También se construyen canales para el riego de terrazas y probablemente algunos metlepantles. Estos canales conducían el agua de ríos, arroyos y manantiales de agua permanente, a los cultivos.

En la siguiente fase (Tezoquipan 400 A.C. 100 D.C.), se conocen ya todas las técnicas utilizadas en los cultivos, encontrándose totalmente conformados los sistemas agrícolas de terraza y metlepantle, los cuales no varían hasta la Colonia. Sin embargo, aunque la tecnología agrícola no cambió desde el comienzo de la era cristiana hasta 1521, la complejidad social siguió en aumento. Es decir, prosiguió la evolución social al margen de la tecnología, llegando a constituirse el Estado. A este sistema político se le denominó despotismo oriental debido a sus características de dominación sobre el campesinado a través del control de la tierra y del agua. (Palerm, 1972; Krader, 1980).

El Estado controlaba la construcción de terrazas, metlepantles y sistemas de riego, por medio de los cuales dirigía la producción. La abundante mano de obra campesina pagaba sus impuestos en especie y en trabajo, dirigido principalmente a la construcción y conservación de las obras hidráulicas y de las terrazas.

LA COLONIZACION DE HUEYOTLIPAN

Los primeros asentamientos agrícolas en el área de Hueyotlipan, tuvieron lugar probablemente al principio de la era cristiana, cuando se dio la colonización de zonas cada vez más alejadas y cuando ya se dominaba la técnica de la terraza y el metlepantle. Casi al mismo tiempo llegaron al área de Hueyotlipan grupos calificados por los arqueólogos como proto-teotihuacanos. Hacia el año de 850 de nuestra era, la zona vivió la influencia de los habitantes del llamado complejo Acopinalco. Estos grupos étnicos conformaron el área objeto del presente estudio.

La fundación de Hueyotlipan, como sede de un centro de poder organizado, se dio hasta mediados del siglo XV, con pobladores de origen otomí fundamentalmente. Estos otomíes eran oriundos de la zona norte del Lago de México (Xaltocan), y llegaron a Hueyotlipan huyendo de la expansión y conquista del imperio mexica. Los otomíes penetraron por el norte y fueron acogidos por los tlaxcaltecas, quienes después de entablar pláticas con ellos, fundaron formalmente Hueyotlipan.

Esta fundación cumpliría con un doble propósito: 1) establecerse en la parte más alejada de Tlaxcala, quedando como límite fronterizo hacia el noroeste; 2) sería una barrera defensiva contra la expansión militar de los mexicas, es decir, la población jugaría un papel doble, el de campesinos y el de soldados de la frontera.

De esta forma, Hueyotlipan al ser elevada a centro importante tlaxcalteca-otomí llegó a ser considerado como "señorío" (García, 1986). Es probable que de esta época de mayor población y auge político daten la mayoría de las obras agrícolas de terrazas y metlepantles del área, ya que, como es sabido, la construcción y mantenimiento de este tipo de obras requiere de abundante mano de obra para su funcionamiento.

Las condiciones de relieve y topografía de Hueyotlipan hicieron que estos sistemas fueran los más preciados. En la actualidad es posible

observar gran cantidad de terrazas abandonadas en la zona de Hueyotlipan y asociarlas con siembras de temporal y con la erosión. Sin embargo, como hemos visto, es poco probable que se haya dado este fenómeno durante la época prehispánica.

LOS CAMBIOS EN LOS SISTEMAS DE TERRAZA Y METLEPANTLE

A la llegada de los españoles, Tlaxcala tenía aproximadamente 300,000 habitantes (Werner, 1986) y según este mismo autor, ya se apreciaba la erosión de los suelos en varias partes de esta región a causa de las prácticas culturales en las siembras por la constante presión sobre los sistemas agrícolas. Es probable que este haya sido el caso de las zonas agrícolas más antiguas de Tlaxcala debido a que la explotación de la tierra se llevó a cabo durante largo tiempo y este actuó sobre el suelo y los sistemas. Sin embargo, para la zona de Hueyotlipan no sucedió así. Como hemos visto, la mayor parte de las obras agrícolas del área se realizaron al final de la época prehispánica, unos 70 años antes de la conquista. Esto nos lleva a pensar que los cambios y la erosión de los sistemas agrícolas de terraza y metlephantle en Hueyotlipan provienen de la época colonial.

A la llegada de los españoles en 1519, los tlaxcaltecas se unen a ellos en la guerra contra sus enemigos mortales: los mexicas. Por los servicios prestados en la conquista de México, la corona española respetó la integridad territorial de Tlaxcala. Sin embargo, la llegada de los españoles trajo una serie de enfermedades que para los nativos se convirtieron en mortales epidemias, ya que ellos no contaban con los anticuerpos naturales que poseían los europeos.

Este efecto de mortandad fue impresionante no sólo para Tlaxcala, sino para todo el nuevo territorio. La población de Hueyotlipan descendió más del 90% para finales del siglo XVI, (Trautmann, 1981), lo que condujo al abandono

de gran parte del territorio agrícola, afectando principalmente a las terrazas.

A esto hay que añadir los efectos de la congregación de Hueyotlipan a finales del mismo siglo; es decir, los conquistadores reunieron en un sólo núcleo a los campesinos dispersos sobrevivientes de las epidemias, para poder controlar su trabajo y su evangelización, además redujeron su territorio a 600 varas castellanas a partir del centro del poblado, dejando así, grandes extensiones de territorio "libres".

Hueyotlipan por ser frontera de Tlaxcala, sintió desde muy temprano la presión por parte de los españoles en lo que se refería a sus tierras; debido a que éstas se encontraban entonces despobladas. Esto dio a los españoles ocasión de reclamarlas. Sin embargo, esas tierras agrícolas no podían ser cultivadas de nuevo en toda su extensión, principalmente por la falta de mano de obra, por lo que los españoles las utilizaron para la cría de ganado mayor y menor, a través del sistema de haciendas. De manera que hacia el año de 1712, existían ya en la región de Hueyotlipan: 9 haciendas y 4 ranchos, ocupando una extensión aproximada de 3,268 ha con un total de 6,072 cabezas de ganado, principalmente menor (Morner, 1973).

Este auge en la cría de ganado menor, principalmente ovejas, está relacionado con el establecimiento de obrajes o pequeños centros manufactureros de telas en el centro de Tlaxcala, los cuales demandaban gran cantidad de lana. A estas fábricas vinieron a parar un número considerable de campesinos despojados de sus tierras agrícolas, convertidas ahora en tierras de agostadero.

Otra causa más del abandono de estos sistemas en Hueyotlipan, fue el hecho de que esta población se encontraba en el camino real a Calpulalpan, Texcoco y Ciudad de México, lo que originaba que sus siembras y cultivos fueran continuamente dañadas por las manadas de animales que invadían los campos de cultivo, lo que ocasionó el abandono de un gran número de asentamientos en Hueyotlipan y Atlanjatepec, poblado vecino (Trautmann, 1981).

Durante el siglo XIX, los hacendados del área de Hueyotlipan utilizaron nuevamente el sistema de metlephantle para la producción de pulque y trigo, introduciendo nuevas prácticas agrícolas y de riego intensivo a este sistema, rescatando una gran cantidad de áreas agrícolas. Sin embargo, con la revolución mexicana se terminó el sistema hacendario, pero también se desarticularon los sistemas de riego hispanos. A partir de 1940, se desarrolla una tendencia a cultivar cebada en esta región.

CONCLUSIONES

1. Existe más interrelación entre el abandono de sistemas agrícolas de terraza y metlephantle y la erosión a partir de la conquista, que para la época prehispánica en la zona de Hueyotlipan.
2. El decremento demográfico causado por las enfermedades ocasionó el descuido de las terrazas agrícolas, acelerando la erosión.
3. La introducción de ganado mayor y menor contribuyó en gran medida al abandono de dicho sistema y a la erosión del área.

LITERATURA CITADA

GARCIA C., A. 1985. Control de la erosión en Tlaxcala: época prehispánica. INAH. México.

GARCIA C., A. 1986. Integración y consolidación de los señoríos en Tlaxcala; siglos IX a XVI, pp. 23-29. *In: Historias y Sociedad en Tlaxcala.* GET, ITC, UAT, UIA. Tlaxcala, México.

GONZALEZ J. A. 1985 Home Gardens in Central Mexico. Prehistoric Intensive Agriculture in the Tropics. Bar International Series 232. USA.

KRADER, L. 1980. El estado en la teoría y en la historia. *In: Críticas de la economía política.* México.

MORNER, M. 1973. Estado, razas y cambio social en la hispanoamérica colonial. Sep. 70s. México.

PALERM, A. 1972. Agricultura y Sociedad en Mesoamérica. Sep. 70s. México.

TRAUTMANN, W. 1981. Las transformaciones en el paisaje cultural de Tlaxcala durante la época colonial. Franz Steiner Verlag. GMBH. Wiesbaden, Alemania.

WERNER, G. 1986. Las consecuencias de la agricultura de los últimos tres mil años en los suelos de Tlaxcala, pp. 221-229. *In: Historia y Sociedad en Tlaxcala.* GET, ITC, UAT, UIA. Tlaxcala, México.

**PRACTICAS DE MANEJO REALIZADAS POR LOS CAMPESINOS
DE STA. CATARINA DEL MONTE (EDO. MEXICO, MEXICO)
PARA INCORPORAR EL TEPETATE A LA PRODUCCION**

**Peasant Management Practices to Incorporate the Tepetates to the Production,
from Santa Catarina del Monte (State of Mexico, Mexico)**

Ma. Eugenia Delgadillo Piñón¹, Ma. Eugenia Miranda Martínez² y Blanca Rosa Ruiz Hernández¹

¹ *Universidad Autónoma Chapingo, Depto. de Suelos, Chapingo, Edo. de México.*

² *Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.*

Palabras clave: Tepetate, Conservación, Manejo tradicional, Manejo integral, Rehabilitación, Roturación, México.

Key words: Tepetate, Conservation, Traditional management, Integrated management, Reclamation, Roturation, Mexico.

RESUMEN

En la comunidad de Santa Catarina del Monte, ubicada a 14 km al noreste de la ciudad de Texcoco, se pueden identificar tres zonas ecológicas: zona de monte, zona urbana y zona de tepetate. En la zona de tepetate se distinguen parcelas que han sido trabajadas desde hace más de 40 años, así como parcelas incorporadas en años recientes.

En un inicio, la incorporación de tepetate a las actividades agrícolas se realizó en forma manual; misma que consiste en la roturación del material utilizando un pico o pólvora. Hacia la década de los años setenta, con el apoyo de instituciones gubernamentales se roturaron y construyeron terrazas con maquinaria pesada (bulldozers). Además de la práctica de roturación, las terrazas

se abonan con pajas, estiércoles, lama, aserrín, abonos verdes y/o residuos orgánicos. Después se realiza una labranza convencional y durante los primeros años se siembran cultivos como cebada, trigo o avena; en las orillas se plantan magueyes, nopales y árboles frutales y/o se coloca un muro de piedra que sirve para retener azolves y evitar deslaves.

El tratamiento que los productores dan a sus terrenos evidencia la necesidad de hacer un manejo integral para la recuperación de áreas con tepetates. Es importante señalar que la práctica de roturación proporciona un sustrato adecuado para el desarrollo de las especies vegetales, pero por sí sola no asegura la recuperación y conservación del material. Por el contrario, esta práctica provoca su más rápido acarreo a las partes bajas agudizando los problemas de erosión.

SUMMARY

Santa Catarina del Monte town is to 14 km at northeast of Texcoco city, there are three areas: forest, urban and tepetate. Into tepetate area there are plots recently used.

During the beginning, times of the tepetate incorporation, the works were manual and the farmers used picks y shovels. On 1970's the Government institutions give machinery as Bulldozer an builded terraces. Additionally to the roturation, the ground is prepared with straws, manures and other organic residues. Then, the farmer made a conventional farming and establish crops as corn, barley or wheat. At present times, on the older plots, the farmers cultivate flowers, fruit trees and others kinds of plants.

It is necessary an integral management that include roturation, fertilization and plant rotation for recovering the tepetate area.

INTRODUCCION

La explotación irracional a la que han sido sometidos los terrenos de las comunidades del somontano al este de la Cuenca de México, ha ocasionado que los efectos de la erosión se manifiesten de manera muy severa sobre estas áreas, dejando al descubierto estratos endurecidos denominados localmente "tepetates", término derivado del náhuatl (tepetatl = lecho duro).

La palabra "tepetate" ha sido empleada en diferentes lugares del país por productores, técnicos e investigadores para definir un estrato endurecido dentro de un perfil de suelo, sin hacer consideraciones en las características físicas, químicas o mineralógicas, su génesis o el grado de dureza del material al que se refieren, ocasionando problemas para su caracterización.

El crecimiento demográfico y la amplia extensión del tepetate dentro de la Cuenca han creado la necesidad de implementar técnicas de manejo que permitan su utilización. En un principio éstas fueron generadas por los productores y en los últimos años las instituciones de educación e investigación se han interesado por el estudio del material y el mejoramiento de estas técnicas. Es importante señalar que si bien la investigación ha generado conocimientos en lo referente a su

génesis y caracterización; la explotación agrícola del tepetate se ha desarrollado según las experiencias de los campesinos, ya que son ellos los que directamente se enfrentan a las dificultades que representa su manejo.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo es la experiencia de la caracterización de una comunidad rural, Santa Catarina del Monte, realizada por un equipo interdisciplinario. Este poblado se localiza al Noreste de la ciudad de Texcoco, a 90°48' Longitud Este y 19°30' Latitud Norte, pertenece al municipio de Texcoco, Edo. de México y cuenta con una superficie de 2,438 ha (UACH, 1986).

El mencionado equipo se constituyó por alumnos y profesores de la Universidad Autónoma Chapingo, participando las especialidades de Fitotecnia, Industrias Agrícolas, Parasitología, Sociología y Suelos.

La investigación se realizó a través de dos estancias en la comunidad durante 15 días en los veranos de 1984 y 1985, así como visitas semanales durante los periodos semestrales de 1986. En estas estancias se hicieron entrevistas a los productores, participando en sus actividades cotidianas. Los alumnos realizaron reportes a través de diarios de campo que les permitieron tener una visión general de los aspectos que conforman el desarrollo de las actividades de los pobladores de la comunidad e identificar los factores que las determinan; como el ambiente (suelo, clima, vegetación), aspectos económicos (actividades productivas, ocupaciones) y aspectos sociales (organización comunal, política y religiosa). La caracterización concluyó con una publicación en 1986, a partir de la cual se identificaron algunos problemas que tienen relevancia tanto para entender a la comunidad como de interés para las especialidades participantes. Es así como el área de suelos, continuando con la misma metodología, profundizó en el estudio del manejo que los agricultores hacen del material

denominado tepetate, además se realizaron visitas a instituciones en donde se investigó sobre la importancia que representa este material en los trabajos de roturación, conservación y manejo de suelos que se desarrollan en el área.

RESULTADOS Y DISCUSION

La presencia de microambientes que permitan el crecimiento y la reproducción de especies comestibles ha obligado a la población a modificar el ecosistema que le rodea. En un principio, los cambios consistieron en la tala y quema de bosques y selvas; posteriormente, la labranza de zonas marginadas que surgieron como consecuencia del mal manejo durante la primera transformación. Un ejemplo de esta situación es Santa Catarina del Monte, en donde la búsqueda de tierras para cultivo ha obligado a los campesinos a labrar zonas con tepetate y realizar actividades agrícolas en ellos.

Santa Catarina del Monte se ubica en la ladera Oeste de la Sierra de Río Frío, por lo que su relieve es muy accidentado y su ecología diversa. En forma descendente se presentan; bosques de oyamel, pino y encino (altitudes mayores de 2,900 msnm), lomeríos modificados por la construcción de terrazas con fines agrícolas y por último áreas erosionadas (altitudes menores de 2,500 msnm) con afloramiento de tepetate, a donde se está extendiendo la agricultura. Esta variedad en las condiciones ecológicas, permite que los recursos naturales puedan ser aprovechados en un gran número de actividades productivas, propiciando que la familia se dedique a una de ellas y complemente su economía con otras ocupaciones.

La actividad agrícola se realiza bajo riego y temporal produciendo cultivos básicos para autoconsumo (maíz, haba, frijol, trigo, arvejo), flores en invernadero y a cielo abierto dirigidas al comercio (agapando, cempasúchil, bola de hilo, margarita, pompón). La explotación de maguey, nopal y árboles frutales (manzana, pera,

tejocote, durazno) se realiza en pequeña escala, principalmente para autoconsumo, cultivándose únicamente en los bordos de las parcelas.

La actividad pecuaria es de traspatio y pastoreo con cría de gallinas, guajolotes, borregos, chivos, cerdos, burros y mulas, generalmente para autoconsumo o para labores de carga y labranza. En las áreas de bosque se explota la madera, el carbón, las plantas medicinales y se recolectan ramas (oyamel, ahuejote y madroño), hongos, leña, tierra, musgo y heno, que se comercializan en poblaciones aledañas. Además los pobladores recurren a la venta de su fuerza de trabajo fuera de la comunidad.

La agricultura de riego se desarrolla en las parcelas próximas a los manantiales que existen en la comunidad, por lo que los terrenos de tepetate recién laboreados que se encuentran alejados de los manantiales, son de temporal. El desarrollo de la agricultura se enfrenta a dificultades en la comunidad, tales como la fragmentación de la tierra, los bajos rendimientos en los cultivos, la distancia de las parcelas a la casa habitación (3-5 km), la posibilidad de otras fuentes de trabajo, el desinterés de los jóvenes por esta actividad, la insuficiencia del agua de riego y la diversidad de actividades económicas en una sola familia. A pesar de esto, los habitantes están abriendo nuevas tierras al cultivo por medio de la roturación del tepetate.

El conocimiento que los productores tienen acerca del tepetate se ha transmitido de generación en generación desde hace años, identificándolo como terrenos sumamente endurecidos y poco fértiles que no pueden ser penetrados por un palo puntiagudo y presentan limitaciones para el uso agrícola. La coloración y consistencia del material son poco importantes para definirlo; sin embargo, estas características les permiten hacer una clasificación. Consideran que el tepetate blanco es más fácil de roturar que el rojo y amarillo y tiene menos problemas en cuanto a su fertilidad. El significado de la palabra aparenta sencillez, pero al emplearlo en forma técnica se presentan confusiones, utilizándose para designar

a diversos materiales, independientemente de sus características, génesis y localización. Resumiendo el trabajo de varios autores, en general se considera que el tepetate en la zona Oriente de la Cuenca de México es un estrato endurecido originado por un depósito de material volcánico cementado principalmente por una matriz de arcilla, carbonato de calcio, materiales ferruginosos y silíceos que se intemperiza para formar suelo. Su fertilidad se ve limitada por el escaso contenido de nitrógeno, fósforo y materia orgánica; el resto de los nutrimentos K, Ca, Mg, Na, Fe y Zn se presentan en cantidades de suficientes a altas para el requerimiento de los cultivos (Delgadillo *et al.* 1989).

El manejo integral que los productores de Sta. Catarina del Monte hacen del tepetate para lograr su recuperación incluye las siguientes actividades: roturación, construcción de terrazas colocación de muros de contención, adición de materiales fertilizantes y acondicionadores y establecimiento de coberturas vegetales. Cada práctica tiene sus particularidades y se explican a continuación.

La roturación, consiste en el rompimiento del estrato superficial endurecido y propicia el mejoramiento de las propiedades físicas del tepetate. Esta práctica se conoce desde la época prehispánica, en un inicio se realizó manualmente rompiendo el tepetate, previamente mojado, utilizando azadones y picos. Posteriormente se facilitó el trabajo con la utilización de pólvora, la cual se utiliza en barrenados que se colocan en el terreno. A partir de la década de los años cincuenta con el apoyo de las instituciones de gobierno, como la Comisión del Lago de Texcoco y CODAGEM, se inició la roturación con maquinaria pesada.

La roturación manual se realiza preferentemente en la época de lluvias y sólo en los tiempos libres de los productores puesto que no es su principal actividad. Razón por la cual la roturación de una parcela de 300 m² puede efectuarse hasta en 3 años. En las familias donde hay mano de obra disponible esta práctica es muy común, ya que en estos casos no representa una inversión directa de capital. La profundidad

de roturación es en general muy homogénea con un promedio de 20 cm, el indicador de la distribución granulométrica D50 va de 5 a 15 mm.

La roturación con pólvora se realiza en aquellos materiales muy duros; para efectuarse se requiere la compra de pólvora, mecha y personas que tengan conocimiento sobre esta técnica. El terreno más que roturado queda agrietado, la profundidad promedio de material removido es de 10 cm, obteniéndose un D50 < 2 mm; aunque por este método de roturación se obtiene una mayor cantidad de material fino, la profundidad es una limitante para un buen desarrollo de las especies vegetales; además, los eventos de lluvia tienen un mayor efecto sobre el desprendimiento y acarreo de los materiales finos. Esta técnica es la menos utilizada por los productores.

La utilización de maquinaria agrícola representa una alternativa muy viable para roturar tepetate, no demanda una inversión muy fuerte de capital y el equipo es accesible. La limitación más importante es la presencia de un material demasiado duro, en cuyo caso un implemento agrícola no es capaz de romper el substrato; dependiendo del implemento empleado la profundidad promedio de roturación es de 18 a 19 cm y un D50 de 15 a 35 mm.

La roturación con maquinaria pesada, empleando un tractor bulldozer de orugas de 180 a 200 HP, es rápida y logra una buena disgregación del material. La profundidad promedio de roturación es de 30 cm y el D50 de 5 a 15 mm. Sin embargo, la utilización de esta maquinaria está sujeta a la participación que tengan las instituciones de gobierno en los trabajos, ya que sólo a través de estas dependencias se puede tener acceso a este tipo de maquinaria, que requiere fuertes cantidades de capital para su operación y mantenimiento.

Al momento de ir roturado el tepetate, se construyen terrazas o bancales. En el caso de la roturación manual, ésta se inicia con la construcción de un bordo que se sostiene con un muro de piedra a partir del cual se va formando la terraza y roturando al mismo tiempo; estas

terrazas son pequeñas (200-500 m²) y su talud es de poca altura. Al emplear maquinaria pesada en la roturación, las terrazas se realizan formando un canal en la parte superior y sus características las determina el productor (ancho y la pendiente). Sobre las orillas de las terrazas se construye un bordo en el que se plantan árboles frutales, nopales, magueyes y algunas especies de flores. A estas plantas no se les da un manejo especial, es suficiente con hacer una cepa para las plantas y un cajete alrededor que permita la captación de agua. En algunos casos se aplica materia orgánica, y se construye un muro de piedra sobre el talud de la terraza, esto se hace colocando rocas que se colectan de los alrededores y se forma una pared que permite proteger la terraza de posibles deslaves en la época de lluvias.

Los productores que tienen acceso a estiércol o alguna fuente de residuos orgánicos hacen aplicaciones de estos fertilizantes, aunque estas aplicaciones no obedecen a recomendaciones técnicas. La incorporación de los materiales fertilizantes continúa en los años subsecuentes. Durante los primeros años se siembra maíz, trigo o cebada, cultivos cuyas raíces permiten la disgregación del material y sirven de cobertura al terreno. El rastrojo de estos cultivos se incorpora al terreno, con el tiempo las aplicaciones de estos fertilizantes y coberturas vegetales mejoran las propiedades físicas y químicas del material hasta

lograr un estrato que permita la obtención de rendimientos aceptables, incorporando de esta manera el tepetate a la producción agrícola.

CONCLUSIONES

El manejo de las áreas degradadas de la porción oriental de la cuenca de México, donde aflora el material denominado tepetate se debe principalmente al conocimiento empírico que los pobladores de estas comunidades tienen acerca de este material; lo cual les ha permitido desarrollar técnicas eficientes de incorporación, manejo y conservación.

La roturación es una práctica indispensable para la incorporación del tepetate a la actividad agrícola, ya que permite el acondicionamiento físico del material lo que permite el desarrollo de las plantas.

Las prácticas que desarrollan los productores después de la roturación, evidencian la necesidad de realizar un manejo integral de las áreas con tepetates para lograr su incorporación a la agricultura, el cual incluye construcción de muros que retienen las terrazas, aplicación de abonos orgánicos, rotación de cultivos, aplicación de coberturas entre otras.

LITERATURA CITADA

DELGADILLO P.M.E., M.E. MIRANDA M. y B.R. RUIZ H. 1989. Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la Cuenca de México. Tesis de Licenciatura, UACH Chapingo, México.

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO. 1986. Caracterización de una comunidad del Somontano de la Sierra de Río Frío (Santa Catarina del Monte, Texcoco, México). Equipo interdisciplinario, UACH Chapingo, México.

ANÁLISIS DE COSTOS EN LA UTILIZACIÓN DE MAQUINARIA PARA LA RECUPERACION DE SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS

Cost-analysis in the Use of Machinery for the Reclamation of Hardened Volcanic Soils

Benjamín Sánchez Bernal

Proyecto Lago de Texcoco, Texcoco, Edo. de México, México.

Palabras clave: Tepetate, Horizontes volcánicos endurecidos, Rehabilitación, Maquinaria, Análisis de costos, Proyecto Lago de Texcoco, México.

Key words: Tepetate, Indurated volcanic soils, Reclamation, Machinery, Cost analysis, Proyecto Lago de Texcoco, Mexico.

RESUMEN

Una de las mayores limitantes para la incorporación de tepetates en la producción agropecuaria y forestal es su dureza, por lo cual su roturación requiere maquinaria pesada; de aquí la importancia de la maquinaria pesada en la Meseta Central de México, ya que las áreas con tepetate son extensas en esta zona. Sin embargo, la mecanización es costosa y difícil de sufragar por los beneficiarios, que generalmente son productores de escasos recursos. Lo anterior ha obligado a que la rehabilitación de estas áreas degradadas se realice a través de programas federales y/o estatales, tal como el Proyecto Lago de Texcoco, limitándose el área de rehabilitación a los presupuestos gubernamentales. La necesidad de expandir estos programas requiere un análisis que incluya diferentes opciones de trabajo con maquinaria, así como diferentes modalidades de

ejecución, a través de combinaciones donde los costos se comparten entre el Gobierno Federal y los beneficiarios. Con estos antecedentes, el objetivo del trabajo fue encontrar las opciones más eficientes en el uso de maquinaria para que los programas federales permitan rehabilitar mayores áreas con afloramiento de tepetates.

La metodología de análisis se apoyó considerando los trabajos comunes en los programas de control de la erosión tales como terraceo, subsoleo y obras complementarias a los sistemas de terrazas, como caminos de acceso y zanjas de desagüe. La evaluación se hizo comparando precios unitarios de los diferentes tipos de mecanizaciones (tractores de diferentes potencias) con cinco modalidades de ejecución (contrato, maquinaria rentada, renta de maquinaria con convenios con productores, administración directa y administración directa con convenios con productores).

En el cálculo de los precios unitarios se tomaron en cuenta: (a) los costos hora-máquina, y (b) los rendimientos de los diferentes tipos de máquina. Se encontró que la mejor opción de trabajo es aquella donde los ejidatarios y/o comuneros comparten costos de mantenimiento, operación y reparaciones junto con el gobierno Federal, lo cual aumenta eficiencia, reduce costos e incorpora maquinaria subutilizada al proceso de recuperación y uso de "tepetates".

SUMMARY

One of the major problems of the reclamation of tepetate is its strength that requires the use of heavy machinery. Therefore, this type of equipment is very important in Central Mexico, due to large areas with tepetate. However, mechanization is expensive and hard to make for most of the land owners, who are low-income farmers. That is the reason why most of the area reclaimed have been done by federal or state agencies, such as Proyecto Lago de Texcoco. Also, the area reclaimed through such programs depends on the government budget. The need to expand these programs requires an analysis that include different type of available equipment, and the way to operate, through combinations that include the sharing of cost by the agencies and farmers. With this in mind, the objective of this paper was to find the most efficient option where federal programs allow the expansion of reclaimed tepetates.

The methodology was based on the most common reclamation works (terracing, ripping and supplementary works such as roads and drainage ways) were analyzed. The evaluation was made comparing the unit cost of different types of equipment (power) with five operating ways (contract, rented machinery, rented machinery plus contract with farmers, direct operation by the government, and direct operation by the governments plus contract with farmers). Hour-machine cost, and machinery yields were used to calculate unit costs. The best option was the sharing of cost between government agencies and farmers through contracts since they both share costs of maintenance, and operation.

INTRODUCCION

El acelerado crecimiento de áreas con presencia de capas endurecidas, conocidas en México como "tepetates", así como la necesidad de producir alimentos y otros satisfactores, ha obligado

a utilizar maquinaria pesada con la finalidad de rehabilitar y usar de manera eficiente las superficies con este problema.

En México, el uso de estos equipos para la construcción de diferentes prácticas mecánicas de conservación de suelo y agua, ha recuperado zonas con diferentes grados de erosión, donde prácticamente era imposible pensar en utilizarse con fines agrícolas, pecuarios y forestales. Ejemplos de zonas rehabilitadas se encuentran en Puebla, Tlaxcala, Estado de México y otros estados del país, donde existen las mayores áreas con suelos volcánicos endurecidos.

El programa de conservación de suelo y agua del Proyecto Lago de Texcoco, ha recuperado 6,535 ha en la parte oriente de la Cuenca de México con terraceo y subsoleo en este tipo de terrenos en 19 años (1973-1991) con el uso de maquinaria pesada (Llerena *et al.*, 1991).

Debido al costo tan alto de estos trabajos, este tipo de obras las realiza el gobierno. Por otro lado, el Gobierno Federal cuenta con maquinaria descompuesta, la cual puede ser reparada a bajo costo, para posteriormente utilizarla en trabajos de recuperación de tepetates, con la cooperación de las comunidades para mantenimiento menor y operación. En este sentido, el punto fundamental es la modalidad de ejecución, ya que combina diferentes participaciones para sufragar costos. Estas participaciones pueden ser de carácter privado (contrato o renta), público (por administración directa de instituciones de gobierno) o público comunitario (beneficiados), considerando que esta última opción ofrece mayor garantía de uso, ya que los trabajos de recuperación se realizan a través de convenios con los beneficiarios.

Bajo estas consideraciones, y debido al alto costo de este equipo, resulta importante seleccionar la opción más acertada al ejecutar trabajos de recuperación de suelos. Es por ello que este trabajo analiza los costos de obra y modalidades de ejecución diferentes para analizar las distintas posibilidades de uso.

MATERIALES Y METODOS

Localización del Area de Trabajo

El área donde se llevó a cabo este trabajo se localiza en la zona oriente de la Cuenca de México con una superficie aproximada de 144,180 ha. En esta cuenca, abierta artificialmente después de la Conquista Española, convergen once ríos (Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica, Coxacoaco, Xalapango, Papalotla, San Juan Teotihuacán, San Francisco, Coatepec, la Compañía y Texcoco), cuyos escurrimientos descargan en el lecho lacustre de lo que era el Lago de Texcoco.

La zona se ubica entre los paralelos 19°22'30" y 19°30'00" y los meridianos 98°47'30" y 98°51'15" (Fig. 1). La topografía va desde plana hasta muy accidentada con desniveles desde 2,240 hasta 4,120 msnm (Arias *et al.*, 1990).

Los principales suelos, identificados de acuerdo a la clasificación FAO-UNESCO, son Litosoles, Cambisoles y Andosoles, presentando en los primeros las capas endurecidas conocidas como "tepetates".

Análisis de Costos

El análisis de costos de recuperación de tepetates se basó en el cálculo de precios unitarios de obras de conservación de suelo y agua como el terrazo, subsoleo y obras complementarias, considerando cuatro tipos de equipo y cinco modalidades de ejecución. Se consideraron los rendimientos de cada maquinaria para los conceptos de trabajo para las obras antes mencionadas con base en las cinco modalidades, se calcularon los precios unitarios y se hicieron cálculos de los costos por superficie.

El cálculo de los costos de las obras se realizó con base en precios unitarios, de acuerdo al procedimiento siguiente:

- a) Definición del tipo de máquina.
- b) Definición de los conceptos de trabajo de las obras de recuperación de suelos.

- c) Determinación del costo hora-máquina.
- d) Rendimiento de las diferentes máquinas para ejecutar los conceptos de trabajo anteriormente señalados.
- e) Cálculo de precios unitarios para cada modalidad de ejecución.

Maquinaria

El equipo considerado en este trabajo es maquinaria que actualmente tiene el Proyecto Lago de Texcoco, cuyas características se describen a continuación:

- * Tractor John Deere, Modelo JD450Bd, equivalente a un D-4 Caterpillar.
- * Tractor Bulldozer Komatsu, Modelo D65A, equivalente a un D-6 Caterpillar (MAKIMEX, 1988).
- * Tractor Bulldozer Allis-Chalmers, Modelo HD16B, equivalente a un D-8 Caterpillar.

Modalidades de Ejecución

Las modalidades de ejecución de obras para la recuperación de tepetates son las siguientes:

1. Contrato
Estas obras las realizan contratistas con maquinaria propia. En esta modalidad se calculan los costos de la máquina y se aumenta el 32% por gastos indirectos, administración del contratista y utilidad.
2. Maquinaria rentada
Los gastos de consumos, operación y renta, los realiza la institución de Gobierno.
3. Maquinaria rentada y apoyo de las comunidades beneficiadas
Las comunidades sufragan costos por consumos y operación y la institución la renta a través de convenios de cooperación.
4. Administración directa
La institución cuenta con maquinaria propia y absorbe los costos de consumos, operación y supervisión (30%), administración, refacciones mayores y mantenimiento menor.

5. Administración directa y apoyo de las comunidades beneficiadas

La institución entrega maquinaria, operador con horario de ocho horas diarias de lunes-viernes, y las comunidades sufragan costos de consumo, mantenimiento menor y operación extraordinaria a través de un convenio de cooperación; por lo que el costo-horario es compartido por ambas partes.

Para los casos 3, 4 y 5, no se consideran gastos por costos fijos (depreciación, inversión, seguros y almacenaje), ya que es maquinaria que repara la institución; por lo cual no se consideran estos rubros, ya que no se cobra por la obra para comprar más maquinaria, aunque se toma un porcentaje mayor por mantenimiento que para los casos 1 y 2.

Costos Horarios

En el cálculo del costo-hora-maquinaria se consideró el método americano modificado, de acuerdo con los precios de mercado actuales en México.

El costo hora máquina (CHM) es igual a la suma de los costos fijos (D+I) + (S+A), de mantenimiento (M), de consumos (C+L) y de operación (O), como se indica en la fórmula siguiente:

$$CHM = D + I + S + A + M + C + L + O$$

donde CHM es el costo hora máquina, D es el costo por depreciación, I es el costo de inversión, S es el costo por seguros, A es el costo por almacenamiento, M es el costo de mantenimiento, C y L son consumos por combustible y lubricantes, y O es el costo de operación. Todos están en pesos viejos por hora.

Para el cálculo de cada componente se utilizaron las siguientes ecuaciones (Universidad Autónoma de Puebla, 1975; USDA, 1980; Caterpillar, 1982):

$$D = \frac{V_a - V_r}{V_e}$$

donde V_a es el valor actual, V_r es el valor de

rescate (10%), y V_e es la vida económica (10,000 horas = 1 año).

$$I = \frac{V_a + V_r}{2H_a} * i$$

donde i es la tasa de inversión (30%), y H_a es horas en un año (200 h).

$$S = \frac{V_a + V_r}{2H_a} * s$$

donde s es la tasa de seguro (20%), y las demás variables ya fueron definidas.

$$A = K * D$$

donde K es almacenaje (3%) y D ya fue definida.

$$M = Q * D$$

donde Q es mantenimiento (80%).

$$C = c * p$$

donde c es consumo de diesel (l/h), y p es el precio del diesel (\$/l).

$$L = \alpha * l$$

donde α es el consumo de aceite (l/h) y l es el precio de aceite (\$/l).

$$O = \frac{S}{H}$$

donde S es el salario del operador (\$/día) y H son las horas efectivas de trabajo.

Concepto de trabajo

Los conceptos de trabajo considerados fueron los que se señalan:

* Formación de terrazas de absorción en pendientes entre un 17 y 30%, con presencia de tepetate.

* Formación de terrazas de absorción en pendientes entre 31 y 40% con presencia de tepetate.

* Subsoleo a nivel en zona de corte de la terraza.

* Caminos de acceso y zanjas de desagüe, donde sólo se considera cortes y remoción de material en tipo "B" y "C".

Rendimiento de las máquinas

El rendimiento de las diferentes máquinas para ejecutar los conceptos de trabajo anteriormente señalados se calculó con base en observaciones de campo, tomando en cuenta una unidad de superficie recuperada (una hectárea), la cual contiene en promedio 10 terrazas de 100 m cada una y 100 líneas de subsoleo por 100 m; así como 150 m en obras complementarias (caminos de acceso, zanjas de desvío).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos se presentan considerando tipo de máquina, modalidad de ejecución y conceptos de obra, en base a los costos por unidad de superficie (hectárea) recuperada.

Rendimientos

Los rendimientos de los equipos se observan en el Cuadro 1.

Es importante observar que el tractor agrícola no funciona en pendientes mayores del 30%.

Costos hora-máquina

Para el cálculo de los costos hora-máquina se tomaron las restricciones siguientes:

Los equipos analizados tienen más de 5 años de uso, en condiciones regulares de operación (50%), y por lo tanto, los valores actuales de las máquinas son los precios de mercado en México, los cuales se consideraron en los cálculos de costos fijos (depreciación, inversión, seguros y almacenaje) y mantenimiento.

Estos datos son costos horarios directos sin considerar administración (empleados, papelería, oficinas,...) y utilidad; salvo en maquinaria rentada. Los resultados obtenidos se observan en el Cuadro 2, donde se tienen las siguientes observaciones:

* Los costos horarios por contrato son bajos, ya que en este trabajo se consideró que el equipo que utiliza un contratista es usado, por lo cual los precios de la maquinaria para el análisis de costo-horario deben ser los de mercado, y no los precios de maquinaria nueva, como se han venido utilizando en los contratos de obras, lo que eleva aún más los precios unitarios de los conceptos de trabajo para la recuperación de tepetates.

* El costo-horario en la modalidad de administración del gobierno con maquinaria propia y apoyo de convenios con las comunidades, es menor que el costo-horario con administración directa del gobierno, ya que la comunidad absorbe costos por consumos más un 20% por mantenimiento extra.

Cuadro 1. Rendimiento promedio de las diferentes máquinas para los conceptos de trabajo de obras de recuperación de tepetates.

Marca de máquina	Modelo	Capacidad o equivalencia en equipos Caterpillar	Rendimientos promedios*			
			Formación de terrazas en 17-30% de pendiente	Formación de terrazas en 31-40% de pendiente	Subsoleo a nivel	Caminos y zanjas
John Deere	JD 450 BD	D-4	15 m/hr		200 m/hr	50 m/hr
Komatsu	D 65A	D-6	25 m/hr	20 m/hr	300 m/hr	80 m/hr
Komatsu	H 85A-12	D-7	30 m/hr	25 m/hr	400 m/hr	100 m/hr
Allis-Chalmers	HD 16B	D-8	40 m/hr	30 m/hr	500 m/hr	130 m/hr

* Son rendimientos promedio, observados en diferentes suelos, en distintas épocas del año, en cuatro años, y con máquinas de cinco años de vida.

* Para la modalidad de maquinaria rentada y apoyo de la comunidad, el cálculo del costo-hora que paga el gobierno solamente es por renta y operación. Los consumos son por cuenta de los beneficiarios y el mantenimiento mayor lo realiza el arrendador.

* En cambio, con pago de maquinaria rentada, sin apoyo de las comunidades el costo-horario incluye consumos. Además se deben considerar dos turnos diarios, que al mes sumen 500 horas trabajadas con los equipos.

Precios unitarios

Los precios unitarios para las diferentes modalidades de ejecución se observan en el Cuadro 3, donde se desprende el análisis siguiente:

El equipo más barato para los trabajos de recuperación de tepetates en la Cuenca del Ex-Lago de Texcoco es el D-4; pero tiene la inconveniencia de falta de capacidad para realizar obras en pendientes mayores del 30% y con suelos duros.

Los mejores equipos para ejecutar obras de recuperación de tepetates son los D-6, D-7 y D-8, ya que se observan precios unitarios similares aventajando el D-8 por su mayor rendimiento.

La modalidad de ejecución más barata es por administración del gobierno con apoyo de convenios, siendo el mejor equipo el D-8.

A mayor capacidad de la máquina por su rendimiento y con ejecución de gobierno y apoyo de las comunidades, menor es el precio unitario por unidad de superficie recuperada con tepetates.

Cuadro 2. Costos hora-máquina de las máquinas por modalidad de ejecución de las obras.

Tipo de máquina	Precio unitario en pesos/ha				
	Por contrato	Con maquinaria pesada	Con renta de maquinaria y convenios comunitarios	Por administración directa del Gobierno	Por administración del Gobierno y apoyo de convenios comunitarios
D-4	23,060	40,560	33,750	14,160	6,450
D-6	46,035	63,165	47,750	26,335	9,150
D-7	58,655	80,750	63,750	31,550	11,850
D-8	69,260	97,775	77,750	36,735	13,740

* Se observó que el D-4, solamente realiza obras de recuperación en terrenos con pendientes entre un 17 y 30% con tepetates no tan duros.

Cuadro 3. Precios unitarios por hectárea de las máquinas por modalidad de ejecución de las obras.

Tipo de máquina	Precio unitario en pesos/ha				
	Por contrato	Con maquinaria pesada	Con renta de maquinaria y convenios comunitarios	Por administración directa del Gobierno	Por administración del Gobierno y apoyo de convenios comunitarios
D-4*	1'722,000	3'028,000	2'520,000	1'057,000	482,000
D-6	2'286,000	3'136,000	2'371,000	1'308,000	454,000.
D-7	2'368,000	3'259,000	2'573,000	1'273,000	478,000
D-8	2'197,000	3'102,000	2'467,000	1'165,000	427,000

* Se observó que el D-4, solamente realiza obras de recuperación en terrenos con pendientes entre un 17 y 30% con tepetates no tan duros.

CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo son las siguientes:

El mejor rendimiento de los equipos analizados para la recuperación de tepetates en la zona oriente de la Cuenca de México es el tractor Allis-Chalmers HD16B, equivalente a un D-8.

La modalidad de ejecución es determinante debido a las variaciones de costo hora-máquina y de precios unitarios en construcción de obras de recuperación de tepetates, ya que las participaciones para sufragar costos son diferentes para el gobierno.

La subutilización de maquinaria del gobierno, que actualmente no trabaja ni en un 40% de su capacidad, puede aumentarse si se utiliza en este

tipo de obras en cooperación con las comunidades, lo cual ofrece una opción barata en relación a otras modalidades de ejecución tales como contrato y renta.

La modalidad de ejecución cuando el gobierno administra y con apoyo de convenios comunitarios, aumenta en 5 veces la cantidad de obra con respecto a la modalidad de contrato y en 6 ó 7 veces en comparación a renta. Esto último es debido a precios de renta de los equipos considerados, ya que los arrendadores incluyen costos por cargos de administración y utilidad.

Es necesario incrementar la participación comunitaria en la recuperación de tepetates, cuando se usa maquinaria, ya que su cooperación es determinante para reducir los costos de rehabilitación de tepetates como se observó en los resultados para incrementar el área recuperada.

LITERATURA CITADA

- ARIAS R. H. M., A. GOMEZ G., S. ADAME M. y M. E. MIRANDA M. 1990. Evaluación del Programa de Reforestación del Proyecto Lago de Texcoco. Instituto de Estudios, Investigaciones y Servicios Agrípefor Chapingo, S.C., Montecillo, Méx.
- CATERPILLAR. 1982. Factores y especificaciones de los equipos Caterpillar. D. F., México.

- LLERENA V., F. A., R. MARTINEZ E. y B. SANCHEZ B. 1991. Manejo de la Cuenca del ex-lago de Texcoco: evolución y perspectivas. Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua D. F., México.
- MAKIMEX, S.A. de C.V. 1988. Manual de operación y mantenimiento de los tractores D65A y D85A-12 Komatsu. D. F., México.
- UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA. 1975. Maquinaria pesada y obras de ingeniería. Puebla, Méx.

RESCATE DE TIERRAS TEPETATOSAS EROSIONADAS EN TLAXCALA

Reclamation of Eroded Tepetate Soils in Tlaxcala

David Calva Orduño

MATET, Tlaxcala, Edo. Tlaxcala, México.

Palabras clave: Tepetate, Suelos volcánicos endurecidos, Rehabilitación, Costos.

Key words: Tepetate, Indurated volcanic soils, Reclamation, Costs.

The costs of machinery per hour were in 1991 of \$71,000 with a D5 and of \$165,000 with a D7 (1\$=\$3,000). The time necessary for reclaiming one hectare of tepetate is of 45 to 50 hours with a D5 while it is of 30 hours with a D7.

RESUMEN

Una gran parte de la superficie del Estado de Tlaxcala está erosionada con afloramientos de tepetates. En 1983 se creó MATET para la incorporación de estas formaciones a la agricultura. En estos últimos años 12,800 ha han sido rehabilitadas haciendo terrazas y roturación por medio de tractores de cadenas tipo D5 y D7.

Los costos por hora de máquina fueron en 1991, de \$71,000 con un D5 y de 165,000 con un D7 (1U\$=\$3,000). El tiempo para rehabilitar una hectárea de tepetate es de 45 a 50 horas con un D5 y de 30 horas con un D7.

SUMMARY

The state of Tlaxcala presents large area of barren tepetate soils due to erosion. The MATET was created in 1983 in order to incorporate this formations to agriculture. The last years 12,800 ha had been reclaimed by the way of deep subsoiling and terracing with bulldozer of D5 and D7 type.

INTRODUCCION

El Estado de Tlaxcala forma parte de la meseta central del país, conjuntamente con los estados de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y el Distrito Federal. La topografía de este territorio, se conforma por sierras, mesetas y lomeríos, que se alternan con pequeños valles en las zonas escarpadas; los suelos son de escaso desarrollo, muy susceptible a la erosión, situación que se agrava por el pastoreo excesivo, la tala clandestina y la producción de carbón.

El Estado de Tlaxcala tiene una superficie de 461,400 ha, de las cuales 251,280 están dedicadas al cultivo, 70,000 ha corresponden a la zona de La Malinche y el resto tiene diferentes usos.

Sin embargo, Tlaxcala presenta problemas de erosión irreversible o de muy difícil recuperación; hasta 1983, el área con problemas de erosión, ascendía a 366,794 ha, en diferentes grados, a saber:

- 79,645 ha con un deterioro incipiente.
- 209,207 ha con erosión moderada;

- 77,346 ha con un fuerte grado de erosión,
- 9,596 ha que sufren un deterioro severo por causas de la erosión.

A pesar de tan alarmantes cifras, aún es posible el rescate del suelo, mediante la reforestación y técnicas de conservación de suelo, específicas para cada zona.

Ante este panorama, en el año de 1983, se crea el organismo paraestatal Maquinaria para las Tierras del Estado de Tlaxcala (MATET), cuyo objeto es la utilización de maquinaria y equipo destinado a prestar servicios para el mejor uso y aprovechamiento del suelo y los cultivos.

La preservación del medio natural y el rescate ecológico es de preocupación del Estado; para ello ha instrumentado una estrategia integral que atienda la adecuada relación hombre-ambiente y se ha preocupado por diseñar y aplicar programas de recuperación y conservación de suelos, en las áreas de erosión severa, en torno a las parcelas, así como el uso de desechos orgánicos procesados, para la recuperación de suelos.

En una entidad como Tlaxcala, sin recursos naturales, montañosa y con pocos valles, de terrenos duros, tepetatosos, sobrepoblada y con clima y lluvias erráticas que dificulten el logro de buenas cosechas, el uso, manejo, aprovechamiento y conservación de los recursos agua y suelo, adquiere una importancia relevante.

Los municipios más severamente afectados son Tlaxco, Terrenate, Altayanca, Allangatepec, Españaita, Tetla y Xaltopan.

Al recuperar las tierras erosionadas, se incrementan la flora y la fauna, se protegen los terrenos de cultivo de cotas inferiores que operan a manera de pequeños polos de desarrollo, alrededor de los cuales se levantan rápidamente graneros, establos, casas y huertos.

Los esfuerzos conjugados de los gobiernos federal, estatal y de los campesinos, han cristalizado en nuevas zonas de cultivo, integrando en óptimas condiciones a los campesinos que carecen de un pedazo de suelo para cultivar,

beneficiando además a las nuevas generaciones de jóvenes, que muchas veces demandan la oportunidad de participar en la producción de granos y continuar con la tradición del cultivo y apego a la tierra.

RESULTADOS

En los últimos ocho años, se han rescatado 12,859 ha en beneficio de más de 8,000 campesinos jefes de familia, ejidatarios y pequeños propietarios. Se ha trabajado en 160 comunidades de los 44 municipios del estado.

En promedio, se han recuperado casi 300 ha por cada municipio del estado, en beneficio, de por lo menos cuatro comunidades por cada municipio.

Aunque no siempre es posible compactar áreas de trabajo, se logra con la compresión de los campesinos, que no estén demasiado separados los terrenos, para evitar desplazamientos inconvenientes de la maquinaria; aún así, muchas veces es necesario construir caminos de acceso para realizar los trabajos requeridos, lo que representa un apoyo adicional para el desarrollo socio-económico de las comunidades.

Las Etapas para la Rehabilitación del Tepetate

La rehabilitación de tierras para incorporar al cultivo zonas tepetatosas, considerada cinco etapas de trabajo.

1. Desbroce inicial

Consiste en la remoción, acumulación y acarreo de material vegetal, hasta una distancia no mayor a la longitud de parcela útil, incluyendo enraizamiento menor, para un mejor manejo del suelo y una distribución óptima de la precipitación pluvial.

2. Conformación de terrazas de base ancha modificada en zona no abierta al cultivo

Consiste en la formación de un bordo perpendicular a la pendiente natural del terreno, considerando un área de corte no mayor de 50 m con lo cual se consiguen especificaciones de base, con altura variable, según las mismas pendientes.

3. Roturación o ripeo

Consiste en la fracturación del estrato impermeable del suelo o de tepetate, a una profundidad mínima de 0.45 m y distancia de 40 a 50 cm.

Estas fases de trabajos significan la construcción de bordos perpendiculares a la pendiente natural del terreno tomando en cuenta los volúmenes de escurrimiento de agua, por terraplenes construidos a intervalos horizontales y verticales, según lo determine la pendiente del terreno.

Para ello, se realiza un trazado previo, siguiendo las curvas de nivel del terreno natural, haciendo cortes y rellenos de 0 a 1.00 m y se trabaja en un área de préstamo no mayor de 5.0 m.

4. Volúmenes

Los volúmenes de obra a ejecutar, se contemplan en hectáreas y metros cúbicos de cortes, rellenos, y formación de bordos.

5. Maquinaria.

Para la ejecución de estas obras, se utilizan tractores de cadenas, D7G o D5B, equipados con desgarrador y empujador.

Dependiendo de la dureza y pendiente natural del terreno, la cantidad de horas/máquina por hectárea puede variar en los siguientes términos:

Con un tractor D5B, en condiciones favorables, se requieren 45 horas de trabajo para rehabilitar una hectárea; en condiciones negativas o poco favorables, se llega a requerir hasta un 30% más de tiempo, es decir, hasta 60 horas.

De igual manera, con un tractor D7G, más grande y de mayor potencia, las horas/máquina necesarias por hectárea es de 30 horas en condiciones favorables, aumentándose únicamente en 5 horas/máquina, en caso de encontrar dureza excesiva en el suelo.

Los Costos de Rehabilitación de los Tepetates

Los volúmenes de tierras tepetatosas a recuperar, está en íntima relación con la capacidad económica, en función de los costos por hora/máquina.

Consciente de la escasa capacidad económica de los campesinos tlaxcaltecas, el gobierno del Estado, a través de MATET, les procura las tarifas más baratas, además de que la mayoría de las veces, incluye sus obras en los programas concertados con el gobierno federal, para que finalmente los beneficiarios no tengan que pagar ninguna cantidad o eroguen lo menos posible, de acuerdo a sus posibilidades.

Aun así, es importante conocer las siguientes cifras: en 1983, rehabilitar una hectárea de tierras tepetatosas, con un tractor D5B, en un lapso de 45 horas, a razón de \$1,919 hora/máquina, representaba una inversión de \$86,355.

Para 1984, se produjo un incremento del 40% y la hora/máquina alcanzó \$2,700 y la rehabilitación de una hectárea tiene un costo de \$121,500.

Para el año de 1985, el incremento es del 26% respecto a 1984. En 1986, se observó un impacto severo en los costos, motivado por un incremento del 165% respecto a 1985; para 1987, el incremento es del 80% respecto a 1986; para 1988 el costo hora/máquina sube un 96% respecto a 1987. En 1989 un incremento del 125%, eleva el costo de la hora/máquina a \$71,171 (1 US\$ = \$3,000) y el de la hectárea (45 horas de trabajo) a \$3,202.695. Esta tarifa se ha mantenido durante 1990 y 1991.

Lo mismo ocurre en el caso de las obras que se realizan con un tractor D7G. En 1983 el costo

hora/máquina y por hectárea (con 30 horas de trabajo) fue de \$2,764 y \$82,920, respectivamente, y en 1989, vigente hasta 1991, después de diversos incrementos, estos mismos costos fueron de \$164,976 y \$5'774,125, respectivamente.

Esto es, en forma sintética, el panorama que presentan los costos por hora/máquina y por hora/ha, en la recuperación de tierras tepetatasas.

La información en detalle, año por año, de este comportamiento se presenta en el Cuadro 1.

De 1983 a 1987, la maquinaria tuvo mayor rendimiento y del año 1988 a 1991, un menor rendimiento.

Las horas pueden variar de acuerdo con la pendiente natural del terreno. Se considera también la construcción de terraza con bordo.

Cuadro 1. Costos de rehabilitación de una hectárea de tierra para incorporar al cultivo en zonas erosionadas tepetatasas.

Año	Tipo de maquinaria	Nº de horas para preparar 1 ha	Costo/hora		Costo/ha	
			I	II	I	II
1983	D5B	45	1,919	2,924	86,355	131,580
	D7G	30	2,764	4,709	82,920	141,270
1984	D5B	45	2,700	5,600	121,500	252,000
	D7G	30	4,500	9,200	135,000	276,000
1985	D5B	45	3,400	6,400	153,000	288,000
	D7G	30	5,600	10,300	163,000	309,000
1986	D5B	45	9,000	12,600	405,000	567,000
	D7G	30	14,300	20,900	429,000	627,000
1987	D5B	45	16,163	24,244	727,335	1'090,980
	D7G	30	22,941	34,411	688,230	1'032,330
1988	D5B	60	31,614	72,732	1'896,840	4'363,920
	D7G	35	46,759	103,233	1'636,565	3'613,155
1989	D5B	60	71,171	94,895	4'270,260	5'693,700
	D7G	35	164,976	219,969	5'774,125	7'298,915
1990	D5B	60	71,171	94,895	4'270,260	5'774,125
	D7G	35	164,976	219,969	5'774,125	7'298,915
1991	D5B	60	71,171	94,895	4'270,260	5'774,125
	D7G	35	164,976	219,969	5'774,125	7'298,915

CONCLUSIONES

GENESIS, CARACTERIZACION Y LOCALIZACION

CONCLUSIONES

1. Los suelos volcánicos endurecidos se encuentran en casi todos los países volcánicos de América Latina, pero sobre todo en México y Ecuador en los cuales ocurren en regiones agrícolas.

2. La mayoría de los suelos volcánicos endurecidos se encuentran en zonas con pendientes suaves (piedemontes y mesas) al pie de los aparatos volcánicos. Están ubicados en zonas climáticas subhúmedas a subáridas con una estación seca bien marcada.

3. Se han descartado dos tipos de formaciones endurecidas:

- tipo 1: las que provienen de un material original consolidado de tipo toba o cinerita. Es el caso de la mayoría de los tepetates y de las cangahuas.

- tipo 2: las que resultan de una transformación de un suelo por un proceso de acumulación (de arcilla, carbonatos de calcio, hierro) o sea, de degradación de arcilla seguido por un proceso de silicificación.

4. En el caso del tipo 1, la hipótesis en cuanto a un material original de tipo loess no está confirmado. Los suelos volcánicos endurecidos provienen de piroclastos finos, poco o no retransportados por el viento o por coluviones.

5. En este mismo caso (tipo 1), la existencia de los horizontes endurecidos se debe a una alternancia de depósitos originales sueltos y de otros consolidados, que son el origen de las capas "endurecidas" (proceso geológico). Para que dichas capas se mantengan consolidadas se requiere un régimen climático caracterizado por una estación seca larga, la cual, además de disminuir la meteorización de las tobas, favorece la acumulación (proceso pedológico) de arcilla y hierro, así como, ocasionalmente, de sílice y/o de carbonatos de calcio.

6. Sin embargo, la cementación secundaria por sílice no está bien establecida. Es difícil identificar este compuesto, ya que no presenta, en esas formaciones, claras formas cristalinas.

LOS SUELOS VOLCANICOS ENDURECIDOS DE LAS REGIONES ANDINAS SECAS SITUACION ACTUAL Y PERSPECTIVAS

Aportes de Georges Pedro

ORSTOM, Paris, Francia

En s'appuyant sur l'ensemble des éléments présentés au cours du Symposium (communications, posters et données de terrain), il semble possible de dresser un premier bilan relatif à la genèse, la caractérisation et la localisation des tepetates.

Ce bilan sera centré autour des quatre points suivants:

- intérêt et limites des dénominations vernaculaires dans le domaine scientifique;
- état sur les différents aspects concernant les objets étudiés et les phénomènes mis en jeu;
- existence d'un dénominateur commun: une ambiance climatique bien déterminée;
- quelques éléments de réflexion en vue des recherches futures.

I. Intérêts et limites des dénominations vernaculaires. Définition générale du terme *Tepetate*

L'intérêt d'une référence à des termes vernaculaires en général est avant tout de faire prendre conscience d'un problème qui se pose réellement dans la nature, car on sait habituellement que "ce qui n'est pas nommé n'existe pas". C'est le cas pour le domaine qui nous intéresse, puisque les horizons indurés (*Tepetates*, *Talpetates* et *Cangahuas*) couvrent 20 à 25% des bassins intra-andins néovolcaniques et qu'ils font de la sorte partie du patrimoine culturel de ces régions avec, encore assez souvent, une connotation quasi mythique (cf. par exemple B. Williams).

En fait, de tels termes ne possèdent pratiquement jamais de définition précise et on s'aperçoit très vite, lorsqu'on approfondit les choses, que la même dénomination peut recouvrir des objets de nature diverse et/ou caractérisés éventuellement par des histoires ou encore des âges très différents.

D'ailleurs le titre même du Symposium présente quelque ambiguïté, puisqu'il a trait aux "Sols volcaniques indurés". En réalité, ce titre recouvre-t-il aussi les sols basaltiques à cuirasses ferrugineuses des régions tropicales, ou encore les horizons ferrifères de type *fierrillos* du Chili. Je ne le pense pas.

Les formations dont il est question dans ce Séminaire (Tepetate, Cangahua) correspondent en fait à "des niveaux indurés poreux, souvent de couleur claire et de texture fine (limons fins et grossiers), en relation avec le volcanisme pyroclastique andin récent et susceptibles d'apparaître en position subsuperficielle ou même en affleurement".

Ceci étant posé, il s'agit maintenant de définir plus en détail ces objets dont la caractéristique principale est de se trouver *entre sol et roche*, et qui sont d'ailleurs souvent désignés par les Anglo-saxons sous le nom général de *rock-like materials*.

II. Présentation des différents aspects concernant les objets étudiés et les phénomènes mis en jeu

Il est habituel, dès qu'il s'agit des problèmes d'origine, de considérer séparément et souvent d'opposer les arguments d'ordre géologiques ou d'ordre pédologiques. Mais un tel genre de présentation ne peut être très satisfaisant:

- la *géologie* met en effet surtout l'accent sur les problèmes de mise en place, de mode de dépôt, d'âge et éventuellement d'altération de matériaux;

- alors que la *pédologie* s'appuie essentiellement sur les questions d'altération et de pédoplasation, et surtout les liaisons géné-

tiques et souvent isochrones existant entre les horizons superposés au sein d'un même profil.

En réalité, avant toute chose, deux principaux phénomènes interviennent dans la caractérisation de ce genre d'objet naturel minéral:

- l'altération géochimique, qui aboutit à une modification de la composition chimique et minéralogique du matériau de départ;

- sa consolidation, qui se traduit par une modification de sa consistance dans le sens d'une induration.

Ce sont donc sur eux qu'il faut s'appuyer si l'on veut avancer.

1. Altération

Cet aspect peut être appréhendé à travers deux éléments:

- le degré de l'altération;

- la date relative de cette évolution secondaire en référence à l'âge du dépôt.

a) *Le degré de l'altération* est évalué par intermédiaire du taux de constituants primaires altérables (verres et minéraux) encore présents dans le matériau:

- L'altération est ainsi *nulle*, quand les constituants secondaires sont totalement absents du matériau ou encore existent à l'état de traces;

- Elle est *partielle* lorsque les constituants primaires dominant, mais que les minéraux secondaires commencent à apparaître;

- Enfin elle est *totale*, à partir du moment où tous les constituants primaires ont disparu et qu'on se trouve en présence exclusive de minéraux secondaires.

b) *Date relative de l'évolution enregistrée*

A ce propos, les cas suivants peuvent être envisagés:

- soit, en effet, l'altération est *contemporaine* du dépôt; c'est ce qui se passe lorsque'elle est de type phréatomagmatique (*Palagonitisation*);

- soit elle est *postérieure* au dépôt, et c'est le

cas lorsque l'altération est de type météorique, avec individualisation de minéraux argileux classiques, de silice, de carbonate de calcium.

2. Consolidation

Dans ce domaine deux aspects sont, là aussi, à considérer:

- la date de consolidation en référence au dépôt;
- l'intensité de la consolidation.

a) Date de la consolidation

La consolidation peut être en effet,

- soit *contemporaine* du dépôt, comme lors des phénomènes phréatomagmatiques. La consolidation résulte d'une accréation consécutive à une sorte de frittage au moment du dépôt;
- soit *postérieure* au dépôt: elle découle alors d'une évolution supergène qui se traduit par une cimentation pédologique (SiO_2 , CaCO_3 , etc.).

b) Intensité de l'induration

Le degré de consolidation est essentiellement

variable: le matériau peut être en effet cohérent tout en s'effritant à l'état humide (Fragipan) ou encore il peut rester consistant quel que soit le degré d'humectation (Duripan), avec naturellement tous les intermédiaires possibles entre les deux situations.

En se référant à ces éléments en partant des différents cas présentés au cours du symposium, on est amené finalement à admettre l'existence de trois grandes catégories de "tepetates", dont les principales caractéristiques sont reportées dans le Tableau 1.

A partir de là, on peut se demander où placer les limites qui permettraient de mieux définir les matériaux correspondant aux véritables *tepetates*?

Si par exemple, l'accent est mis sur le caractère de matériaux pyroclastiques, seules les catégories I et II doivent être rangées dans les *tepetates*.

Si en revanche, on insiste sur la présence d'une évolution supergène en relation avec des processus de silicification, ce sont uniquement les catégories II et III qui sont à mettre dans les *tepetates*.

Tableau 1. Les trois grandes catégories de "tepetate".

Catégories	I	II	III
Localisation	Nicaragua (Massaya)	Cangahua (Equateur) Colombie-Pérou (Sillares) Nord du Chili Bassin de Tlaxcala Vallée de Mexico	Xalapa
Matériau d'origine	M. pyroclastiques (surge-déferlantes) andésitiques	M. pyroclastiques rhyodacitiques (cendres)	Horizon pédologique à halloysite (altération ferrallitique antérieure)
Type d'altération	Phréatomagmatique	Météorique (altération partielle)	Transformation pédologique totale
Consolidation	Accréation volcanique (frittage)	Pédocimentation (SiO_2)	Pédocimentation (SiO_2)
Présence de minéraux primaires altérables	oui	oui	non
Age	2 000 ans	10 à 20 000 ans	200 000 ans
Nature du "tepetate"	roche	altérite silicifiée	matériau pédologique silicifié

Mais faut-il nécessairement mettre des barrières ? Rien n'est moins sûr. En se référant d'une part au degré d'altération météorique et d'autre part à la nature primaire et secondaire des évolutions pédologiques, les 3 catégories correspondent aux cas suivants:

- Sans altération météorique:
 - Catégorie I
 - Origine phréatomagmatique
- Altération météorique *partielle*:
 - Catégorie II
 - Origine météorique et pédologique de 1ère génération
- Altération météorique *complète*:
 - Catégorie III,
 - Origine pédologique de 2ème génération (système de transformation).

Quoi qu'il en soit, une classification de ce genre permet incontestablement de mieux situer les problèmes de genèse. Mais elle n'est pas sans intérêt, non plus, quand on a à se préoccuper des questions liées à la mise en valeur:

Ainsi la richesse chimique de tels matériaux en éléments minéraux (K, P₂O₅..) dépend du degré d'altération et de l'abondance relative des constituants primaires.

De même l'aptitude à la recimentation consécutive au sous-solage est en relation directe avec l'origine de la consolidation; les possibilités de ressoudage étant réellement à prendre en compte, si la cimentation d'origine pédologique (SiO₂, CaCO₃...) est actuelle.

III. Existence d'un dénominateur commun: une ambiace climatique actuelle bien déterminée.

La première question à se poser dans ce domaine est la suivante: pourquoi des matériaux indurés de nature et d'origine différente sont-ils à même d'être rencontrés dans un certain nombre de régions andines ? La réponse doit se trouver dans le fait que les régions andines concernées -zones à tendance endoréique des

bassins intra-andins- ont toutes des conditions climatique analogues, dont les caractéristiques principales sont (Figure 1):

- un climat subhumide (P < 800-900 mm),
- un régime ustique,
- un déficit hydrique durant plus de 5 mois.

Ces caractéristiques vont de pair:

- soit, dans les zones de piedmont, avec une pédogénèse à polarité essentiellement verticale, correspondant à des milieux filtrants intrapercolatifs et généralement de première génération, en relation avec l'individualisation de Mollisols, Inceptisols, Aridisols,

- soit, dans les zones planes, avec une pédogénèse des milieux confinants à polarité latérale marquée, souvent de seconde génération, en rapport avec le développement de Vertisols dégradés, de Planosols et de sols à horizons colonnaires de type Solonetz.

Ceci ne veut pas dire que les phénomènes mis en jeu soient les mêmes dans tous les cas. Cela signifie simplement que de tels climats peu agressifs sont à même, soit de préserver des matériaux indurés préexistants (absence d'altération, soit encore de provoquer une induration par cimentation (cimentation assurée par des éléments tels SiO₂, CaCO₃, etc, dans les zones basses). On comprend ainsi que le matériau induré puisse être: ou bien une roche (maintien de la consistance), ou bien une *altérite* cimentée (SiO₂) ou bien encore un véritable *horizon pédologique silicifié*.

IV. Eléments de réflexion en vue des recherches futures

A la lumière des données présentées dans ce Symposium et compte tenu des régions concernées (Andes), il semble avant tout indispensable, lorsque l'on veut étudier les matériaux superficiels de la Planète se présentant sous la forme de niveaux plus ou moins parallèles à la surface une démarche *mixte et intégrée* de nature géopédologique

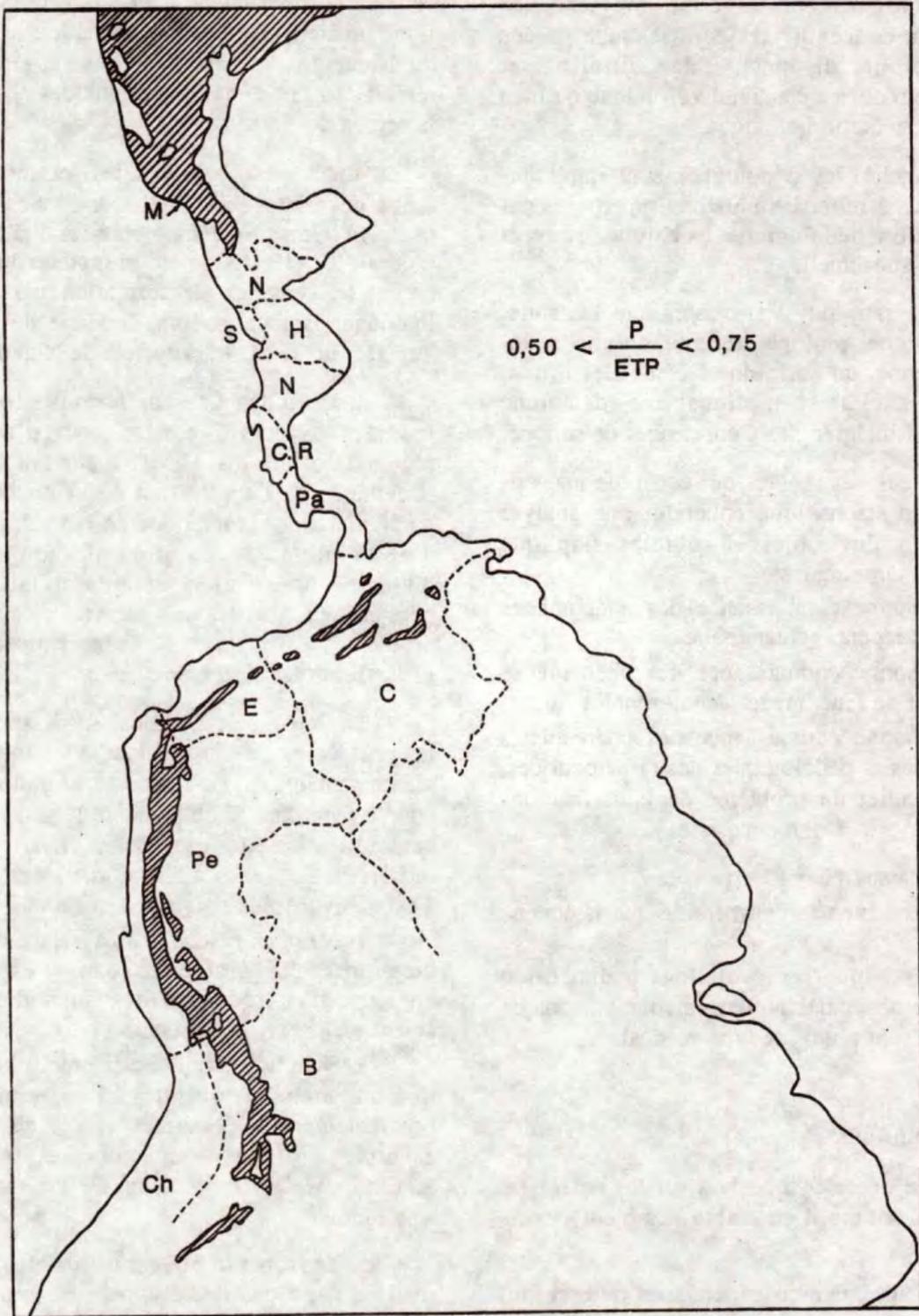


Figure 1. Regions andines subhumides (d'après la carte UNESCO).

Les géologues ont en effet une tendance naturelle à concevoir les strates superposées comme des lits distincts, d'âge différents et souvent vieux, liés à l'activité volcanique ou bien à l'activité géomorphologique.

En revanche, les pédologues sont implicitement enclins à relier les horizons superposés par une évolution pédologique isochrone, souvent actuelle ou subactuelle.

Au demeurant tout peut exister dans la nature: aussi bien une géologie récente qu'une pédologie ancienne, en sorte que l'étude des formations superficielles implique une démarche commune et intégrée des Géosciences de surface.

Dans le cas des Andes, qui constitue un véritable espace scientifique cohérent, une analyse approfondie des objets à étudier implique d'avoir en même temps:

- une bonne connaissance des phénomènes volcaniques récents (Quaternaire),
- une bonne connaissance des phénomènes glaciaires et de leur impact géomorphologique,
- une bonne connaissance des phénomènes géochimiques et pédologiques des milieux arides, et en particulier du problème des silicifications (cf. M. Thiry, D. Dubroeuq *et al.*).

Ceci, en ayant bien à l'esprit:

- aussi bien le court terme que la longue durée;
- aussi bien les évolutions à dimension latérale que celles habituelles en zone volcanique récente qui sont plutôt de type vertical.

V. Conclusions

Au terme de ce Symposium sur les *tepetates*, plusieurs éléments d'ensemble semblent devoir être dégagés:

1. D'une manière générale en Science, on conserve les termes locaux et vernaculaires si

ceux-ci correspondent à une définition scientifique précise. Ce n'est pas le cas ici: le *talpetate* du Nicaragua est différent des *tepetates* de la région de Mexico et encore plus des *tepetates* de la région de Xalapa.

En toute état de cause, les termes vernaculaires devraient donc être abandonnés scientifiquement. On sait combien cela est difficile; aussi faudrait-il obligatoirement compléter la dénomination de ce genre de formation par un terme indiquant la localisation: Tepetate de Tlaxcala, Tepetate de Tlaixpan, Tepetate de Xalapa..

2. L'étude des différentes formations indurées pyroclastiques au sein d'un espace régional comme les Andes, a conduit à montrer la richesse de l'application de la méthode comparée, qui reste la méthode de base des Sciences d'observation, à condition de toujours bien dissocier observation et interprétation. Cela permet dans tous les cas de mieux délimiter les problèmes particuliers et de ne procéder à des généralisations qu'à bon escient.

3. Grâce à ce Symposium, il apparaît que les problèmes des sols volcaniques indurés sont maintenant bien posés. Il reste néanmoins beaucoup à faire dans le domaine de la genèse et de la caractérisation des *tepetates*. Deux voies de recherche, distinctes mais coordonnées, semblent à promouvoir plus spécialement de nos jours:

- Travaux au niveau des paysages, de façon à bien poser les problèmes dans l'espace et à choisir en conséquence des sites d'étude qui soient réellement représentatifs;
- Recherches détaillées et précises (observation et analyses) sur des sites représentatifs préalablement sélectionnés (cf. à ce sujet par exemple dans ce Symposium les travaux de A. Campos, D. Dubroeuq, D. Geissert et JP. Rossignol).

C'est incontestablement sur les progrès réalisés dans ces deux voies que reposera, en définitive, le succès des travaux futurs.

**Aportes de K. Flach, G. Miehlich,
G. Werner, R. Hessmann and J.
Baumann**

Univ. de Giessen, Germany

We want to distinguish two soils: Soils that are able to form tepetate and Soils (fragipan and or duripans) that have been transformed to tepetate.

Soils, that are able to form tepetate

Provisional definition:

The tepetate are volcanic ash soils under an ustic isomesic or isothermic soil climate. The soils have at least 20% of clay and more than 5% of free silica. The bulk density is more than 1.0 g/cm³. The subsoils have more clay than the topsoils.

Suggestions for further investigations

- We need a simple indicator to identify soils, that will form tepetate upon exposure of subsoil. We recommend to characterize the hardening process under controlled humidity and temperature conditions.

- We recommend to relate the hardening process to basic soil properties.

- We should compare soils, that have the properties defined above, but which do not harden with those that do.

Soils, that have been transformed into tepetate

In soil science, the term tepetate should be restricted to hardened horizons of volcanic ash soils that are cemented by a mixture of clay and silica. Other cementing agents like calcium carbonates may be present, but are not the primary cement.

Suggestions for further investigations

- To improve the knowledge on hydric properties to understand why soils erodes down to the tepetate horizon and why tepetate is resistant to erosion.

- To improve the knowledge on the structure formation of tepetate forming soils.

- To improve the knowledge on the cementing process of hardening.

REHABILITACION, MANEJO Y CONSERVACION

CONCLUSIONES

1. La causa del afloramiento de la mayor parte de horizontes volcánicos endurecidos es la intervención del hombre, existiendo diferencias en la época y las actividades humanas responsables.

2. Los horizontes endurecidos son erosionables bajo condiciones naturales y la rehabilitación

con prácticas inadecuadas puede aumentar la tasa de erosión.

3. La rehabilitación de las zonas erosionadas con afloramiento de capas endurecidas se hace previo una roturación profunda y una fragmentación adecuada para obtener la infiltración y el almacenamiento del agua.

4. Los tepetates responden a la aplicación de fertilizantes, especialmente de nitrógeno y de

fósforo, una vez satisfechas sus demandas hídricas. Una alternativa es la aplicación de residuos orgánicos, pero depende de la disponibilidad de material y se recomienda la integración de actividades agropecuarias.

5. El uso de microorganismos es una forma eficiente y rápida para la rehabilitación de tepetates con fines agropecuarios y forestales.

6. Los trabajos y acciones de conservación, recuperación, rehabilitación y manejo de suelos y aguas en terrenos tepetatosos han tenido gran impacto en el mejoramiento del ambiente en las cuencas hidrográficas, debido a que han propi-

ciado la regeneración de especies vegetales nativas, las cuales han influido en la reducción de la erosión hídrica del suelo y control de los escurrimientos superficiales. Sin embargo, se requiere la tipología del material, la supervisión y asistencia técnica para la realización de estos programas.

7. Los tepetates son un recurso para la producción agrícola, forestal y pecuaria, pueden alcanzar aptitudes productivas considerables si los factores limitantes son modificados mediante el reacondicionamiento topográfico, aplicación de materia orgánica y/o fertilización y un manejo adecuado con cultivos pioneros capaces de mejorar las características estructurales del mismo.

IMPACTOS HUMANOS Y ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

CONCLUSIONES

1. Los suelos volcánicos endurecidos y erosionados eran ya conocidos en el tiempo de las civilizaciones prehispánicas. De ahí sus denominaciones en las lenguas indígenas, tales como tepetate o talpetate (lecho de piedra) en lengua azteca y cangahua o cangagua (tierra estéril) en quechua.

2. La erosión de los suelos superiores, con afloramientos de las formaciones endurecidas, tuvo cronológicamente, diferentes causas:

- en el período prehispánico dicha erosión pudo ser relacionada con períodos de mayores densidades de población.

- justo después de la conquista española, los desmontes intensivos en el momento de las construcciones de las ciudades, iniciaron un proceso de erosión.

- durante el período subactual, dicha erosión sería el resultado de una agricultura intensiva, debido al aumento de la población, en zonas marginales, después de la reforma agraria.

3. Afuera de los grandes proyectos de rehabilitación de las zonas erosionadas, los cultivos en suelos endurecidos se realizan mayormente por pequeños agricultores, los cuales recuperan áreas restringidas para cultivos de subsistencia con métodos a veces tradicionales, con el pico, haciendo pequeñas terrazas. En los primeros años de cultivo se siembran cereales de granos pequeños como trigo y cebada, a veces una asociación maíz-haba. Después se cultiva el maíz asociado ocasionalmente con frijol. Los procesos técnicos son diferentes en suelo de tepetate en relación a los ocurren en tierras no endurecidas. Los rendimientos son tanto más elevados cuanto que el campesino brinda más cuidados hacia los cultivos.

4. Los costos de subsoleo y terraceo son elevados (1,000 a 1,800 U\$/ha), pero aparentemente no prohibitivos para el campesino.

5. La rentabilidad de las obras de rehabilitación de los suelos endurecidos se determinan a través de estudios socio-económicos.

INDICE DE AUTORES

Alcayaga, S.	67	Geissert K., D.	221
Acuña E., E.	258	Gómez C., G.	415
Alfaro S., G.	241, 248, 253	González A., A.	120
Alvarez S., J. D.	419	González J., A.	494
Anaya G., M.	534	Grajales M., O.	398
Arias R., H. M.	164, 309, 370, 430	Guerra de la C., V.	437, 444
Barros G., C.	67	Guerrero E., E. G.	131
Baumann, J.	347	Gutiérrez C., M. C.	202
Besoain M., E.	74	Gutiérrez R., M. L.	437
Blandón S., E. A.	355	Hessmann, R.	145
Caballero O., E.	131, 248	Herrera M.	355
Cajuste, L.	398	Hidalgo, C.	178, 192, 385
Calva O., D.	557	Janeau, J. L.	374
Campos C., A.	210, 226	Jeronme, G.	374
Carrillo, R.	398	Leyte, A.R.	460
Cervantes B., J. F.	241	Llerena V., F. A.	302
Chadwick, O. A.	34	Llinás, C.	100
Cruz D., J.	398	López R., R. M.	171
Cruz H., L.	379	López, R.	113
Custode, E.	332	Luna M., J. L.	131
De Noni, G.	332, 503	Luzio L., W.	60, 67
Delaune, M.	178	Malagón C., D.	100
Delgadillo P, M. E.	545	Mares A., J.	379, 392
Dubroeuq, D.	233	Márquez R., A.	465, 524
Etchevers B., J. D.	171, 379, 385	Martínez O., J.M.	355
Faivre, P.	89	Matías C., S.	415, 425
Fedoroff, N.	183	Meza S., M.	241, 253
Ferrera C., R.	408, 415, 419, 425	Miehlich, G.	137
Flach, K. W.	34	Miranda M., M. E.	164, 370, 374, 545
Flores, G.	347	Muñoz, N.	347
Gabriels, D.	370	Nava R., V.	460
García T., G.	430	Navarro G., H.	451, 465, 515
Garzón C., C. E.	437, 444	Nettleton, D.	34
Gavi R., F.	392	Nimlos, T.	283
Gaviria, S.	89	Núñez E., R.	392

Oleschko, K.	183, 248, 253	Rufz H., B. R.	545
Olivarez R., F.	524	Saavedra N., M.	60
Olvera O., Y.	460	Sadzawka R., A.	74
Orozco ch., F.	248	Sánchez B., B.	302, 550
Ortiz S., M. L. M.	534	Sánchez R., J.	460
Ortíz S., C. A.	202	Santizo R., J. A.	415
Osores C., G. E.	398	Sepúlveda W., G.	74
Peña H., D.	151, 156, 164, 171	Thiry, M.	46
Pimentel B., L.	293	Torres C., L. S.	474
Prat, C.	267, 355	Trujillo, G.	332, 503
Pulido R., C. E.	100	Vera R., A.	347
Quantin, P.	24, 178, 183, 192, 210, 267, 385	Vera, R.	113
Quintero L., R.	415	Viennot, M.	332, 503
Ringleb, V. R.	120	Werner, G.	318, 347
Rodríguez I., I.	258	Williams, B. J.	483
Rodríguez M., P.	248	Winkell, A.	107
Romero C., A.T.	539	Zamora J., C.	283
Rossignol, J. P.	210	Zebrowsky, C.	15, 107, 151, 156, 164, 171, 178, 183, 192, 379, 385, 419, 425, 451, 465
Rufz F., J. F.	474		

