



TERRA

Volumen 8

Julio-Diciembre 1990

Número 2

TRABAJO INVITADO

DIVISION I

DIVISION II

Conservación, utilización y restauración de los recursos naturales de las zonas áridas y semiáridas de México: Enfoque del sistema de investigación-SARH.

R.A. MARTINEZ PARRA,
L.F. FLORES LUI y
L.J. MALDONADO

127

Formación de tepetates en suelos provenientes de las alteraciones de materiales volcánicos.

A. CAMPOS y D. DUBROEUCQ

137

Los tepetates del área de Xalapa Veracruz y su relación con una paleosuperficie. Una perspectiva cronológica.

D. GEISSERT y D. DUBROEUCQ

148

La relación entre desarrollo de suelo y exposición geográfica en los suelos de la sierra madre oriental central.

M. WOERNER PETRAN

156

Estimación de los efectos de clima y tecnología sobre los rendimientos de maíz de temporal en el área del Plan Puebla, período 1967-1988.

C. ESQUIVEL ALVAREZ

170

Contribución al conocimiento de las lombrices de tierra en la región de Chapingo, México.

R.E. GARCIA-PEREZ y
F. RODRIGUEZ NEAVE

177

Efecto del nitrógeno mineral y el difícil hidrico sobre las dos vías de asimilación del nitrógeno en plantas de soya.

J.L. TIRADO TORRES, G. CONEJERO y
G. ALCANTAR GONZALEZ

182

INDICE
EDITORIAL
TRABAJO INVITADO

Conservación, utilización y restauración de los recursos naturales de las zonas áridas y semiáridas de México: Enfoque del sistema de investigación-SARH. RAMON A. MARTINEZ PARRA, LUIS F. FLORES LUI, LORENZO J. MALDONADO. 127

ARTICULOS CIENTIFICOS

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

Formación de tepetates en suelos provenientes de las alteraciones de materiales volcánicos. A. CAMPOS y D. DUBROEUCQ. 137

Los tepetates del área de Xalapa Veracruz y su relación con una paleosuperficie. Una perspectiva cronológica. DANIEL GEISSERT y DIDIER DUBROEUCQ. 148

La relación entre desarrollo de suelo y exposición geográfica en los suelos de la sierra madre oriental central. MARTIN WOERNER PETRAN. 156

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

Estimación de los efectos de clima y tecnología sobre los rendimientos de maíz de temporal en el área del Plan Puebla, período 1967-1988. CLAUDIO ESQUIVEL ALVAREZ 170

Contribución al conocimiento de las lombrices de tierra en la región de Chapingo, México. RAFAEL E. GARCIA-PEREZ y FRANCISCO RODRIGUEZ NEAVE. 177

Efecto del nitrógeno mineral y el difícil hídrico sobre las dos vías de asimilación del nitrógeno en plantas de soya. JUAN LUIS TIRADO TORRES, GENEVIEVE CONEJERO y GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ. 182

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

Estimación de riesgo en el uso de recomendaciones para maíz de temporal en cuatro agrosistemas del área del Plan Puebla. CLAUDIO ESQUIVEL ALVAREZ. 193

Guía para la realización de estudios de erosión en caminos forestales. L.M. MARTINEZ R. 202

Fertilización foliar de maíz con macro y micronutrientes en un andosol de México. OVIDIO PEREZ IXCHOP, ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, JORGE D. ETCHEVERS BARRA, MARTIN L. GISKIN y ANGEL MARTINEZ GARZA. 213

NOTA DE INVESTIGACION

Comparación del método clásico y del método de Polemio y Rhoades para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos calcáreos. V. SORANI y S.L. GOMEZ VALDEZ 222

ENSAYO

Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperación de suelos con problemas de sales en México. RAMON FERNANDEZ GONZALEZ. 226

COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Editor
DR. ANDRÉS AGUILAR SANTELISES,
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR
Q.A. ADRIANA DELGADO ALVARADO

MESA DIRECTIVA 1988-1990

DR. ANDRÉS AGUILAR SANTELISES,
Presidente
DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI,
Vicepresidente

Secretario General
M.C. JOSEFINA PAREDES GONZALEZ,
Tesorero
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ,
Secretario Técnico
DR. RAMON FERNANDEZ GONZALEZ,
Secretario de Relaciones Públicas
M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS,
Secretario de Eventos Nacionales e Internacionales
DR. JAIME XAVIER UVALLE BUENO,
Vocal
M.C. OCTAVIO RODRIGUEZ CURIEL,
Vocal

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

Volumen 8-2, julio-diciembre 1990.

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.

INDEX

INVITATIONAL PAPER

SOIL SCIENCE SOCIETY OF MEXICO

Conservation, Utilization, and Rehabilitation of the Natural Resources in the Arid and Semi-arid Zones in Mexico: Research Approach by SARH. RAMON A. MARTINEZ PARRA, LUIS F. FLORES LUI, LORENZO J MALDONADO. 127

SCIENTIFIC ARTICLES

Division I: Diagnosis, Metodology and Evaluation of the Soil Resour

"Tepetates" formation in soils developed from weathered volcanic deposits. A. CAMPOS y D. DUBROEUCQ. 137
The "Tepetates" of the Xalapa, Veracruz area of Mexico and their correlation with a paleosurface. A chronological perspective. DANIEL GEISSERT y DIDIER DUBROEUCQ. 148
The relation between soil development and aspect on the soils of the central Sierra Madre Oriental, Nuevo León, México. MARTIN WOERNER PETRAN. 156

Division II: Soil-Climata-Biota Relationship

An assessment of weather and technology effects on the yields of rainfed corn in the Plan Puebla area for the 1967-1988 period. CLAUDIO ESQUIVEL ALVAREZ. 170
Contribution to the knowledge of earthworms in the Chapingo area in Mexico. RAFAEL E. GARCIA PEREZ and FRANCISCO RODRIGUEZ NEAVE. 177
Effect of mineral nitrogen and hydric stress upon the two pathways of nitrogen assimilation in soybean plants. JUAN LUIS TIRADO TORRES, GENEVIEVE CONEJERO and GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ. 182
Foliar fertilization of corn with macro and micronutrients and andosol of Mexico. OVIDIO PEREZ IXCHOP, ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, JORGE D. ETCHEVERS BARRA, MARTIN L. GISKIN y ANGEL MARTINEZ GARZA. 193

Division III: Use of the Soil Resource

A Risk Assessment of the Usage of Recommendations for Rainfed Corn in Four Agrosystems in the Plan Puebla Area. CLAUDIO ESQUIVEL ALVAREZ. 202
Guide to conduct erosion studies in forestry access roads. L.M. MARTINEZ R. 213

TECHNICAL NOTE

Comparison of the classical method and the method of Polemio-Rhoades for determining the cation exchange capacity of calcareous soils. V. SORANI and S.L. GOMEZ VALDEZ. 222

ASSAYS

Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperación de suelos con problemas de sales en México. RAMON FERNANDEZ GONZALEZ. 226

EDITORIAL BOARD

DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Editor
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES
MRS. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR
MISS. ADRIANA DELGADO ALVARADO

BOARD OF DIRECTORS 1988-1990

DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES, President
DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI, Vice-president

Secretary-general
M.C. JOSEFINA PAREDES GONZALEZ, Treasurer
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, Technical Secretary
DR. RAMON FERNANDEZ GONZALEZ, Secretary for Public Relations
M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS, Secretary for National and International Events
DR. JAIME XAVIER UVALLE BUENO, Member
M.C. OCTAVIO RODRIGUEZ CURIEL, Member

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

Volume 8-2, July-December 1990.

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.

EDITORIAL

La necesidad de preservar y mejorar la calidad del medio ambiente que habitamos no merece mayores discusiones. En este número presentamos un trabajo que destaca la forma en que los especialistas en suelos contribuimos con soluciones concretas a evitar que las condiciones ecológicas se sigan deteriorando y las propuestas que este sector tiene para recuperar algunos habitat degradados. Desgraciadamente las ideas que se han generado no han sido aplicadas para resolver con la claridad y eficiencia que la comunidad justamente reclama de los problemas concretos que son de todos conocidos. Los institutos de investigación en suelos en particular y los del agro en general, están repletos de tecnologías que aguardan ser rescatadas e implementadas a nivel de los sectores productivos, sin embargo, no se ha descubierto aún el mecanismo para transferirlas desde su lugar de origen hasta los usuarios. Esta es una tarea que corresponde a estructuras específicamente diseñados para tal objetivo, que con el debido profesionalismo, deben contribuir a cerrar la brecha señalado.

Nuestra Sociedad de la Ciencia del Suelo, puede mirar con tranquilidad el desafío que significará que los problemas sectoriales del medio ambiente sean colocado en el tapete de las discusiones por razones de interés superior de la nación. Tenemos respuestas adecuadas para un gran número de ellos. Sin embargo, hay situaciones que requieren atención urgente como son la contaminación de los reservorios de agua y los residuos de productos químicos tóxicos aplicados al suelo. Desgraciadamente estas áreas no han recibido la debida atención y menos el financiamiento por parte de los autoridades responsables. Urge formar los recursos humanos y laboratorios capaces de encarar estas últimas tareas.

El editor.

DIVISIONES Y DISCIPLINAS

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

- a) Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos.
- b) Física de Suelos.
- c) Química de Suelos.
- d) Contaminación.

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

- a) Nutrición Vegetal.
- b) Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera.
- c) Biología del Suelo.
- d) Tecnología y Uso de Fertilizantes.
- e) Uso y Manejo del Agua.

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

- a) Conservación del Suelo.
- b) Drenaje y Recuperación.
- c) Fertilidad.
- d) Productividad de Agrosistemas.

División IV: Educación y Asistencia Técnica

- a) Educación.
- b) Crédito y Asistencia Técnica.

**CONSERVACION, UTILIZACION Y RESTAURACION DE LOS RECURSOS NATURALES
DE LAS ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS DE MEXICO: ENFOQUE DEL SISTEMA
DE INVESTIGACION-SARH**

Conservation, Utilization, and Rehabilitation of the Natural
Resources in the Arid and Semi-arid Zones in Mexico: Research
Approach by SARH.

**Ramón A. Martínez Parra¹⁾, Luis F. Flores Lui²⁾,
Lorenzo J. Maldonado³⁾**

¹⁾CIFAP-Zacatecas. INIFAP-SARH, Apartado Postal 18,
98500 Calera de Victor Rosales, Zac.

²⁾CENID-RASPA. INIFAP-SARH, Apartado Postal 41,
35150 Cd. Lerdo, Dgo.

³⁾CIFAP-Nuevo León. INIFAP-SARH³⁾.

RESUMEN

El estado mexicano esta preocupado por la conservación y restauración del balance ecológico de ecosistemas degradados, como son las zonas áridas y semiáridas del país (21 y 25% de la superficie total, respectivamente). Los recursos motivos de estudio en este trabajo son el agua, el suelo y la biota (flora, fauna y hombre).

El consumo de agua para usos urbanos crecerá respecto del consumo actual, hacia el año 2000, en 6500 millones de metros cúbicos por año. Esta agua provendrá del volumen actualmente asignado a la agricultura. La investigación conducida por SARH permite, con la tecnología presente, aumentar en un 20% la actual eficiencia de uso del agua de riego (50%), lo cual significa un ahorro importante de los volúmenes empleados en agricultura. Simultáneamente se han generado prácticas de labranza del suelo que mediante la reducción de la superficie de escurrimiento y el arrastre de suelo aseguran un uso más eficiente del agua de lluvia en regiones de

temporal, así como también se han identificado especies tolerantes a la sequía, que presentan un mejor desempeño que los actualmente en uso.

Con el propósito de disminuir las pérdidas de suelo por erosión y mal manejo (2.8 toneladas por hectárea año o 536 millones para todo el país), diversas dependencias del agro han generado métodos de protección y recuperación de suelos y vegetación que no han sido aplicadas extensivamente.

La amenaza y desaparición de la vida silvestre en las áreas áridas y semiáridas, ha motivado la generación de técnicas de recolección y almacenamiento de las plantas, así como su producción en viveros.

Esta es una muestra de como el sistema de investigación SARH, responde a los desafíos del presente.

SUMMARY

Mexico has taken steps to rehabilitate and preserve the ecology in degraded ecosystems, such as the arid and semi-arid zones, which represent 21 and 25% of the country surface.

Resources subject to analysis in this presentation are water, soil and biota (flora, fauna, and man).

Urban consumption of fresh water will increase by 6500 million cubic meters per year at the dawn of the new milenium. This volume will be subtracted from the volume presently allocated to agricultural uses. In order to increase water use efficiency SARH research teams have adapted and developed irrigation methods which increase water use efficiency by 20% over the present 50%. Simultaneously, better tillage practices have been studied which reduce run off and soil losses, increasing the use of rain water in rainfed regions. Crops genotypes better adapted to water stress have been identified and some improved materials have been released for farmers use.

Average soil erosion in Mexico amounts to 2.8 tons per hectare per year or 536 million tons of soil. Research results obtained at SARH facilities provide the knowledge to protect areas from degradation as well as rehabilitate soils and vegetation. Unfortunately this information is not extensively used throughout the arid and semi-arid regions of the country.

SARH research facilities have developed the means to preserve and protect wild life especies which have not been considered so far in plans for reclamation of the arid and semi-arid habitats.

This paper is just an example of how the soil science scientific community is answering the cries for a better environment.

INTRODUCCION

El aumento continuo de la población de México requiere de un incremento permanente y sostenido de la producción de alimentos y otros bienes; por esta razón existe la preocupación del estado por desarrollar estrategias que permitan por una parte, la

conservación y restauración ecológica y por otra, activar los diferentes procesos de desarrollo económico y que, a su vez, conduzcan a un uso permanente y productivo de los ecosistemas.

Los recursos naturales se están destruyendo o alterando rápidamente, lo cual afecta seriamente a la población humana y a su entorno. Los frágiles ecosistemas en zonas áridas y semiáridas están bajo presión, lo que junto a fluctuaciones climáticas, significa desertificación y degradado ambiental sin precedente.

Al mismo tiempo, la domesticación, selección y mejora genética de especies de importancia económica, están homogeneizando sus poblaciones, sin que se preste la debida atención a la conservación de las valiosas variaciones que la naturaleza ha desarrollado a lo largo de milenios.

DIMENSION DE LOS RECURSOS

El recurso agua ha sido identificado como el factor más limitante en la producción agropecuaria y forestal. El rápido crecimiento de la población y la consecuente demanda de productos del agro ha originado un deterioro en su calidad y cantidad. La precipitación es la principal fuente de agua en el país. Sin embargo, es conveniente puntualizar que el 21% del territorio nacional está clasificado como árido, ya que recibe una precipitación media anual inferior a 350 mm y el 25% es semiárido, con menos de 500 mm como se muestra en el Cuadro 1.

Por otra parte, la estructura hidráulica de las zonas áridas y semiáridas tiene una capacidad de almacenamiento en presas de 46 mil millones de metros cúbicos (SARH, 1980). De este total el agua disponible para riego asciende a cerca de 32 mil millones de metros cúbicos por año. Además se extraen 6 mil millones provenientes del subsuelo y 2 mil

millones de aguas residuales (SARH, 1976). Con este volumen se riegan 5 millones de hectáreas con una eficiencia global de 55-60%. El Cuadro 2 muestra esta estadística.

Cuadro 1. Recurso agua en las zonas áridas y semiáridas México.

Precipitación (mm)	Superficie	
	Territorio Nacional %	Millones ha
< -350	21	41.58
351-450	25	49.50
Total	46	91.08

Cuadro 2. Capacidad de almacenamiento y volumen disponible de agua para riego¹⁾

Concepto	Volumen
	m ³
Capacidad de almacenamiento total	46.0 x 10 ⁹
Volumen disponible para riego	31.6 x 10 ⁹
Presas	22.5 x 10 ⁹
Acuíferos	6.1 x 10 ⁹
Aguas residuales	2.0 x 10 ⁹

¹⁾ SARH, 1980. Comisión del Plan Hidráulico.

En relación al recurso suelo, en términos generales los suelos predominantes en las zonas áridas y semiáridas son los aridisoles y los inceptisoles. Los primeros constituyen el 46% de estas zonas y los segundos el 30%; los cuales pueden tener alta productividad siempre que se beneficien con el riego. En cuanto al uso de este recurso el Cuadro 3 nos muestra su distribución.

En la región árida y semiárida existen dos grandes grupos de vegetación, los matorrales que ocupan el 80% de la superficie y un 10% corresponde a diferentes tipos de pastizales.

En estos grupos existen una flora muy variada que incluye más de 2200 especies pertenecientes a 600 géneros de 122 familias (Maldonado, 1985).

Cuadro 3. Uso del suelo en las zonas áridas y semiáridas de México.

Uso	Zonas áridas y semiáridas	Millones de hectáreas
	%	
Matorral y pastizal (pecuario y/o forestal)	90	82.0
Agrícola (riego y temporal)	10	9.0
Total	100	91.0

¹⁾ SARH, 1980. Comisión del Plan Hidráulico.

En relación a la fauna silvestre en las zonas áridas ésta es abundante y diversificada, se ha identificado 41 especies de mamíferos pertenecientes a 28 géneros sin incluir la orden Quiróptera; 37 especies de aves, 18 de reptiles y 2 de anfibios pertenecientes todos ellos a 47 géneros (Segura, 1986).

En lo que corresponde a demografía, la población que reside en estas zonas es superior a los 12 millones de habitantes con una densidad media por km² de 11 personas con fuertes oscilaciones en virtud de que en algunas regiones se presentan dos habitantes por km² y en otras hasta 90 (Maldonado, 1985).

PROBLEMÁTICA

Los principales problemas de los recursos agua, suelo y biota se resumen en el Cuadro 4; sin embargo, en forma específica se amplían a continuación.

Cuadro 4. Problemas asociados a la utilización y conservación de los recursos naturales en las zonas áridas y semiáridas.

Concepto	Problemas
<u>Agua</u>	
Riego	Abatimiento de acuíferos Alto costo de extracción Contaminación Intrusión salina Calidad
Temporal	Precipitación escasa e irregular Mala distribución geográfica Baja eficiencia de aprovechamiento
<u>Suelo</u>	
Físicos	Erosión Baja capacidad de almacenamiento
Químicos	Deficiencias nutricionales (N, P, K y elementos menores) Salinidad Alcalinidad Cambio de uso
<u>Biota</u>	
Silvestre	Desaparición de especies Especies amenazadas Desconocimiento del potencial
Hombre	Migración rural Alto índice de migración Pérdida de tecnología tradicional

Recurso Agua.

En el año 2000 el crecimiento urbano e industrial demandarán 80% más de agua, lo que representa 6,500 millones de metros cúbicos. Este volumen será desviado de la producción agropecuaria. Lo anterior se complica por la distribución de la población ya que cerca del 80% está asentada sobre 1500 msnm, donde sólo se dispone del 20% del recurso.

Como problema colateral se contempla que para el año 2000 un volumen de 18,000 millones de m^3 año⁻¹ de aguas residuales será descargados de las zonas urbanas e industriales para uso agrícola, por otra parte, las emanaciones industriales a la

atmósfera intensificarán la lluvia ácida, lo que acelerará el deterioro de los cuerpos de agua.

Los principales problemas asociados con agua de riego son sobreexplotación de los mantos acuíferos con efecto directo en la reducción de las reservas subterráneas y en el abatimiento del nivel del manto freático, lo que origina un incremento en los costos de bombeo, disminución en el rendimiento de los pozos, peligro de intrusión de agua marina en los acuíferos costeros y asentamiento del suelo y subsuelo.

La severidad de este problema ha dado origen a que casi la totalidad de las zonas áridas y semiáridas esté actualmente sujeta a veda para la perforación de pozos para uso agrícola debido al abatimiento del acuífero de hasta un metro por año en promedio (SARH, 1986b).

Aguas residuales urbanas e industriales. El volumen con altos niveles de contaminación ha ido en aumento, debido al crecimiento de los asentamientos humanos y la industrialización. La descarga de estas aguas en las corrientes superficiales y su uso directo en la producción agropecuaria contamina los almacenamientos superficiales y subterráneos con la consecuente incorporación de elementos tóxicos a la cadena alimenticia.

Alta concentración salina. Este problema en el agua de riego es común en las zonas áridas, principalmente en los Valles de Mexicali, Juárez, Santo Domingo, Guaymas y Hermosillo, en los cuales existen alrededor de 7000 pozos profundos, cerca del 20% de éstos extraen agua con alta concentración de sales (SARH, 1976). Existen diversos grados de salinidad en aproximadamente 400,000 hectáreas.

Los principales problemas asociados con agricultura de temporal son: (1) las características propias de la precipitación en las zonas áridas son causa por la cual un millón de hectáreas son siniestradas anualmente por efecto de sequía, principalmente en los estados de

Aguascalientes, Durango, Zacatecas, Oaxaca y Chihuahua; en años extremadamente secos como 1982, casi 4 millones de hectáreas fueron afectadas (Reyna 1983). Aun cuando el impacto ecológico de la sequía no ha sido bien cuantificado, se ha observado que repercute directamente en la erosión del suelo, la migración campesina y la desertificación. (2) Se estima que el 50% del agua de lluvia no se aprovecha debido a la falta de cubierta vegetal lo que propicia el escurrimiento superficial con el consiguiente acarreo de suelo que además azolva lechos de ríos, lagunas y presas; el problema de pérdida de agua por mal manejo de la vegetación se presenta particularmente en las regiones sobrepastoreadas, deforestadas y bajo cultivo (SARH, 1986a).

Recurso Suelo.

En cuanto al uso del suelo, se estima que para el año 2000 una superficie de 500 mil ha será sustraída de los procesos agropecuarios y forestales para cubrir las necesidades de vivienda e industria. Esto significa una pérdida del 2% de la superficie actual cultivada en el país; lo anterior como una estadística más de las presiones a que está sujeto este recurso.

Los principales problemas edáficos son: (1) Erosión: la pérdida del suelo promedio de la República Mexicana se ha estimado en $2.8 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, lo que equivale a una pérdida anual de 536 millones de toneladas de suelo anuales cuyo destino final son presas y bordos de almacenamiento o bien son descargadas al mar (Vázquez 1986). Esta situación se da con más intensidad en las zonas áridas y semiáridas. A manera de ejemplo en los estados de Durango, Zacatecas y Aguascalientes se ha estimado que la pérdida de suelo por erosión hídrica es del orden de $27 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en suelos con pendientes menores al 5% (INIA, 1984). Este efecto es favorecido por la remoción de la cubierta vegetal, el sobrepastoreo y el inadecuado manejo del suelo, condiciones que se tornan drásticas en suelos con baja capacidad de infiltración y

pendientes pronunciadas. (2) Los suelos de las zonas áridas y semiáridas destinadas a la agricultura de temporal en general tienen menos de 60 cm de profundidad, por consiguiente tienen poca capacidad de retención de agua y los cultivos se encuentran sujetos a deficiencias de humedad. (3) La gran mayoría de los suelos de estas zonas se caracteriza por tener pH alcalino y ser pobre en materia orgánica, lo que limita la disponibilidad de micronutrientes. Además, son deficientes en nitrógeno y fósforo, en el caso del potasio la deficiencia depende del cultivo y de la calidad del producto. Estas deficiencias se acentúan por la remoción de los elementos del suelo debido a erosión y lixiviación. (4) Los cambios del uso de suelos es un factor importante que afecta estas zonas. La construcción de presas, actividad minera, asentamientos urbanos, construcción de vías de conducción y comunicación y apertura de nuevas áreas al cultivo son entre otras las causas que más seriamente afectan este recurso.

Recurso Flora, Fauna y Hombre (Biota).

El hombre, en su afán de obtener alimentos y otros satisfactores, ha contribuido a modificar los habitats naturales, rompiendo en muchas ocasiones el equilibrio ecológico del sistema al poner en peligro la comunidad biológica.

Entre los problemas que afectan la vida silvestre, el más relevante es la amenaza y desaparición de un gran número de especies entre las que destacan algunas coníferas y cactáceas, así como especies no maderables entre las que sobresalen candelilla y palma samandoca; en cuanto a fauna sobresalen el halcón peregrino, lobo mexicano, oso, berrendo, aves migratorias y perrito de la pradera. Este proceso ha aumentado en las últimas décadas y debido a una falta de inventario preciso se desconoce científicamente el valor que la vida silvestre representa dentro del ciclo natural de los ecosistemas y su uso potencial en beneficio del hombre. Sin embargo, se sabe que algunas

especies van a estar amenazadas en un plazo corto debido a su ritmo actual de explotación; sobresalen la lechuguilla, el guayule, orégano, pastos, rata de campo, canguros, venado y tortuga de tierra, entre otras.

El recurso hombre es el elemento más importante en la modulación de la biota en todos sentidos. En 1986 existían en el país aproximadamente 80 millones de habitantes con una tasa de crecimiento de 2.8%. Siendo la población rural cercana a 23 millones de personas (29%). Se estima que para 1990 será de 32 millones (Cámara Nacional de las Industrias Derivadas de la Silvicultura, 1986). Esta población está desfavorecida ya que uno de cada tres habitantes padece desnutrición grave, tres cuartas partes de la población mayor de 15 años no ha terminado su educación primaria y pequeñas comunidades del país en donde habitan alrededor de 7 millones de personas carecen de agua potable, drenaje y energía eléctrica, lo cual influye directamente en la calidad de vida de su población, básicamente dedicada a la producción agropecuaria y forestal (Fuentes, 1986).

La pérdida temporal o permanente del recurso humano rural que emigra continuamente del campo es un problema importante. En el período 1970-1980, se estimó una tasa de migración rural hacia el sector no agrícola cercana al 1.1% (Reyna, 1983). Para 1990 se espera una migración estimada de 30% de la población rural (Cámara Nacional de las Industrias y Derivadas de la Silvicultura, 1986). La migración campesina propicia la pérdida de experiencia y capacidad de trabajo, pérdida de tecnología tradicional desarrollada a través de muchos años y adecuada a las condiciones de su propio entorno.

La situación anterior se acentúa en las regiones áridas debido a las condiciones de marginación prevalecientes.

LOGROS DE INVESTIGACION

Dada la importancia que tienen el manejo y aprovechamiento racional de los recursos

naturales, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias como institución responsable de investigación se ha avocado a la búsqueda de opciones de solución que permitan elevar el nivel de bienestar de los productores y promover su participación en la conservación de los recursos a través de prácticas que estén acordes a sus condiciones sociales y económicas.

A continuación se presentan algunos logros mediante los cuales se pretende mostrar como la investigación forestal y agropecuaria ha participado en la conservación, utilización y restauración de estos recursos.

Recurso Agua.

Investigación para optimizar agua de riego.

La eficiencia global de 50% en el agua de riego presenta un amplio margen para mejorarla. El sistema de investigación de la SARH a través de sus programas de uso y manejo del agua ha demostrado que mediante el uso de sistemas de riego presurizado es posible aumentar hasta en 20% la eficiencia de aplicación. En este sentido se cuenta con información referente a metodología de diseño y programas de operación para los cultivos más importantes en las zonas de riego del norte del país (Sonora, Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua). En cuanto a riego superficial se ha validado tecnología relacionada con el cómo, cuándo y cuánto regar; en algunos distritos beneficiados con riego, se ha demostrado que es posible ahorrar hasta un 15% de agua sin detrimento de la producción.

Investigación para optimizar agua de lluvia.

En condiciones de temporal para evitar daños por sequía se ha generado tecnología sobre labranza mínima en el Valle del Yaqui, Sierra de Chihuahua, Altiplano, Durango, Zacatecas y otras localidades, a fin de reducir el escurrimiento superficial y el arrastre de suelo.

Esta técnica permite además la incorporación de materia orgánica que mejora las propiedades físicas del suelo favoreciendo la retención de humedad. Se dispone también de tecnología para captar y conservar agua en regiones con problemas de precipitación insuficiente e irregular, que permitirían aumentar el rendimiento hasta en 50%. Las dos tecnologías contribuyen a disminuir la erosión y aumentar la disponibilidad de agua dentro de los ecosistemas áridos y semiáridos.

La identificación de especies y genotipos tolerantes a sequía es una área de investigación importante, ya que en las regiones donde el riesgo de sequía es alto (zonas temporales de Aguascalientes, Zacatecas, Durango, Chihuahua) se han liberado variedades de maíz y frijol con rendimientos significativamente superiores que los genotipos criollos, además se ha generado tecnología sobre cultivos de alternativa que tienen alta posibilidad de producción en áreas con fuertes restricciones de precipitación. Estos cultivos incluyen: mijo grano, garbanzo blanco, frijol tepari, papita güera, nopal, forrajes, orégano y jobjoba, entre otros.

Recurso Suelo.

Investigación sobre erosión y recuperación de suelos. Diversas dependencias de la SARH y otras instituciones han desarrollado metodologías para atenuar los procesos erosivos en los suelos de las regiones áridas y semiáridas del país, utilizando métodos de protección y recuperación de suelos, como control de escorrentías, terrazas, surcos en contorno, etc., y prácticas de establecimiento y recuperación de la vegetación, aunque es conveniente mencionar que su aplicación a la fecha es muy limitada.

Se han realizado investigaciones sobre el efecto de la carga animal y la tasa de infiltración y arrastre de sedimentos, logrando aumentar tres veces la primera y disminuir cinco veces el arrastre del suelo, en comparación con un área que se mantuvo sin pastoreo. Esta opción puede ser aplicada en

áreas degradadas de las regiones semiáridas. También se dispone de tecnología para aumentar el potencial productivo hasta en un 29% cuando se aplican prácticas de conservación en tierras de pastoreo. Si a las prácticas antes mencionadas se les añade el establecimiento de vegetación, se puede incrementar la producción hasta en nueve veces, como en el caso de las regiones de matorral desértico del estado de Sonora, que con bajo potencial de producción se han convertido en praderas de Zacate Buffel altamente productivas, logrando además reducción en el escurrimiento del agua y en la erosión del suelo.

Investigación sobre fertilidad del suelo.

Esta área de investigación ha recibido especial atención en todas las regiones del país, en virtud de su influencia directa sobre la expresión de rendimiento. Actualmente se orienta a los productores y a los profesionales que dan asistencia técnica sobre procedimiento de fertilización y formulaciones adecuadas para los cultivos más importantes en el país. Diversas publicaciones muestran estas recomendaciones.

Investigación sobre salinidad. El problema de salinidad ha sido estudiado en los estados de Sonora, Baja California, Durango y Tamaulipas, donde se han utilizado prácticas de lavado y uso de mejoradores del suelo para la corrección de este problema. También se han establecido especies tolerantes a las sales, como cebada y especies halófilas; se tienen experiencias con especies arbóreas como Casuarina y Tamarix; arbustivas como Atriplex y Cockia; herbáceas como pasto salado y zacatón alcalino para rehabilitar áreas de suelos salino-sódicos.

Recurso Biota.

La SARH a través del INIFAP ha generado algunas técnicas y tecnologías para la recolección y el almacenamiento de semillas, producción de plantas en vivero y sistemas de plantaciones forestales que permiten la

recuperación de áreas degradadas en diferentes condiciones de suelo y clima; por ejemplo, en la parte central del estado de Coahuila se han desarrollado tecnologías para el establecimiento y aprovechamiento de cuatro especies industriales (lechuguilla, candelilla, guayule y palma samandoca), de cuatro alimentarias (orégano, damiana, nopal y maguey), 16 forrajera no convencionales (7 arbustivas y 9 gramíneas). El manejo tecnificado de la candelilla ha permitido cambiar el patrón de la producción de cera de 75 a 300 kg ha⁻¹. Los resultados de investigación indican que la utilización racional de pastizales permite aumentar nueve veces la producción de materia seca aprovechable.

La elaboración tradicional de carbón, particularmente de mezquite, realizada a través de chavetes, es un sistema que ocasiona grandes pérdidas. Al respecto se han validado sistemas de producción que permiten 30% más de eficiencia.

En cuanto a la fauna silvestre, se carece de estudios detallados acerca de la dinámica y estructura de comunidades animales, así como de autoecología y ecofisiología; sin embargo, se han desarrollado tecnologías para inventariar poblaciones de venado bura y cola blanca. Se ha detectado la distribución del castor y las características de su hábitat a lo largo del Río Bravo y sus principales afluentes. Se han estimado los daños y métodos de combate del topo, roedores, lagomorfos y las especies depredadoras.

RETOS Y ESTRATEGIAS DE INVESTIGACION

En su desarrollo histórico la investigación forestal y agropecuaria se ha enfocado en su mayor parte a resolver problemas de producción y productividad, que requieren solución a corto plazo. Esta situación ha postergado actividades de planeación e investigación a mediano y largo plazo que den más peso a la interacción entre la tecnología de producción y el aprovechamiento racional de los recursos,

lo cual es esencial para responder a las demandas que serán planteadas del año 2000 en adelante.

A la fecha es evidente que los esfuerzos de conservación de los recursos en las zonas áridas han sido ampliamente rebasados por la velocidad con que se están deteriorando. De continuar esta tendencia, para el año 2000 se corre el riesgo de no contar con recursos en calidad y cantidad suficientes para afrontar las necesidades de sus habitantes.

La comunidad científica del sector agropecuario y forestal a través de diversas instituciones de investigación y docencia ha puesto a disposición del país tecnología sobre utilización, conservación y restauración de los recursos agua, suelo y biota, que de aplicarse podría satisfacer las demandas de alimentación y materias primas de la sociedad hasta el año 2000. Sin embargo, se considera que la tecnología disponible está más encaminada a la utilización que a la conservación y restauración del recurso. El sector forestal y agropecuario tiene el reto de diseñar estrategias e implementar acciones para lograr una transferencia tecnológica eficaz a los productores de las regiones áridas.

Ante esta situación el sistema de investigación de la SARH tiene dos retos fundamentales en las zonas áridas y semiáridas del país.

- Coadyuvar, con la generación de conocimientos e innovaciones tecnológicas para satisfacer la demanda de alimentos y materias primas para una población de cerca de 100 millones de mexicanos en el año 2000.

- Desarrollar tecnologías que permitan mejorar la utilización de los recursos naturales, promuevan su conservación y reincorporación al proceso productivo de las áreas degradadas, de tal manera que las generaciones futuras cuenten con un acervo de recursos suficientes en calidad y cantidad que les permita satisfacer sus demandas e impulsar su desarrollo.

Para afrontar estos dos retos se contemplan las siguientes estrategias.

Agua. Por lo que respecta al agua de riego se debe desarrollar tecnologías que permitan hacer uso eficiente de este recurso y conservar su calidad, con enfoque a resolver la situación actual y mejorar la futura, sobre las bases de una creciente eficiencia en la productividad de este recurso.

Las estrategias del INIFAP para las regiones que dependen del agua de temporal en las zonas áridas y semiáridas son: (1) convivir con la sequía sin modificar la distribución actual de los cultivos; esto incluye la conservación de la humedad en el suelo y pequeñas obras de captación de agua; (2) regionalizar los cultivos de acuerdo a sus requerimientos climáticos y edáficos; (3) domesticar el germoplasma que tenga potencial para producir alimentos y otros satisfactores en estas regiones.

Suelo. Aumentar el conocimiento sobre la mecánica de la erosión, la erosividad de la lluvia por regiones y por tipos de suelo, y demás factores que intervienen en el proceso.

Promover una investigación enfocada a generar información práctica, que sea de aplicación inmediata para el combate de la erosión y el incremento de la productividad del suelo, acorde con los sistemas de producción que usa el campesino y la situación socioeconómica por la que atraviesa el país.

Biota. Desarrollar esquemas de conservación de germoplasma de especies vegetales y animales que permitan salvaguardar la diversidad genética contenida en los ecosistemas de las zonas áridas.

Utilizar la biotecnología como herramienta de investigación para solucionar problemas de plagas, enfermedades y reproducción de individuos altamente productivos, que sean utilizados para la producción de alimentos y otros satisfactores.

Desarrollar métodos de manejo de los animales domésticos que aumenten la producción de alimentos para el hombre sin el deterioro de los recursos naturales.

Cuencas hidrológicas. En la cuenca hidrológica se conjugan todos los factores que intervienen en forma dinámica en los procesos productivos, agropecuarios y forestales; por lo que es estratégica la investigación a este nivel ya que favorece el estudio integral de las interrelaciones del hombre con el sistema. El sistema de investigación, en estrecha vinculación con los Distritos de Desarrollo Rural Integral incluidos dentro de las cuencas bajo estudio, definirá los objetivos de investigación, buscando que los avances beneficien a los productores y al mismo tiempo que propicien la conservación de los recursos.

Los retos y estrategias planteados implican cambios de mentalidad y forma de trabajo, pero es importante reconocer la necesidad de explorar nuevos caminos, de conjuntar esfuerzos de instituciones, de aprovechar la infraestructura disponible, y de generar tecnología adecuada a las condiciones socioeconómicas del país y del productor. Todo lo anterior es posible, si existen la conciencia y la voluntad tanto de la comunidad científica y del estado, como de la sociedad en general, para realizar acciones a largo plazo, que permitan el mejor aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, que son patrimonio de esta y de las siguientes generaciones.

LITERATURA CITADA

CAMARA NACIONAL DE LAS INDUSTRIAS DERIVADAS DE LA SILVICULTURA. 1986. Memoria Económica 1985-1986. México. 81 p.

FUENTES, A.L. 1986. Que es la agricultura para México. *In:* Reyna Trujillo, Teresa. Panorama de la agricultura mexicana, reflexiones, preguntas, respuestas. México, UNAM. Instituto de Geografía. p. 38-51.

INIA. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS (MEXICO). 1984. Informe de Investigación del Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte-Centro. Calera, Zacatecas.

MALDONADO AGUIRRE, LORENZO J. 1985. Sistemas de producción forestal de zonas áridas (Experiencia en Latinoamérica) México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Divulgativo No. 72. 55 p.

REYNA CORONA, ENRIQUE. 1983. El problema de la sequía. Algunas de sus consecuencias económicas y sociales. México. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (Documento interno de trabajo).

SARH. SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS. 1976. Protección y Mejoramiento de la Calidad del Agua. Programa 1971-1976. Resultados y protección, planes y estrategias nacionales. SARH-México.

SARH. SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS. 1980. Comisión Nacional del Plan Hidráulico. Uso del agua en irrigación. México.

SARH. SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS. 1986a. El agua, fuente de la vida. México. Series papeles No. 16. s.p.

SARH. SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS. 1986b. La Reforestación en México. Subsecretaría de Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal. Dirección General de Normatividad Forestal. (Mecanografiado) 69 p.

SEGURA, L.A. 1986. Estudio de la fauna silvestre del noreste. Ciencia Forestal Vol. 11 No. 60. INIF-SARH.

VAZQUEZ AGUILAR, V. 1986. La erosión y conservación del suelo en México: realidades y perspectivas. Terra 4-2: 158-172.

FORMACION DE TEPETATES EN SUELOS PROVENIENTES DE LAS ALTERACIONES DE MATERIALES VOLCANICOS

"Tepetates" Formation in Soils Developed from Weathered Volcanic Deposits.

A. Campos y D. Dubroeuq

Instituto de Ecología A.C., Apartado Postal 63,
91000 Xalapa, Ver.

Palabras clave: Silicificación, Transformación pedológica, Análisis estructural, Haloisita, Silcrete.

Index words: Silicification, Soil transformation, Structural soil analysis, Halloysite, Silcrete.

RESUMEN

Las observaciones de una secuencia de pozos y de un corte de 100 m de largo revelaron la existencia de una transformación de suelos ferralíticos arcillosos con haloisita, desarrollados sobre un basalto andesítico, a suelos degradados con horizontes muy compactos llamados "tepetates".

La estructura de la cubierta pedológica traduce en el espacio bidimensional el proceso de degradación del suelo inicial, generando en la base del perfil nuevos horizontes que disminuyen en espesor y que luego se transforman en láminas onduladas endurecidas.

Los resultados analíticos referentes a textura y densidad aparente evidencian la

destrucción del plasma arcilloso del suelo y el aumento relativo del esqueleto silicoso. Tal destrucción se produce en las estructuras prismáticas hasta que el edificio estructural se colapsa y se compacta. Los resultados analíticos de las aguas del suelo, respecto a tres elementos mayores (Al, Fe, Si), evidencian durante la estación lluviosa concentraciones notables y permanentes de silicio, menores de hierro y muy irregulares de aluminio. Esto significa que el silicio puede acumularse en el suelo durante ciertos períodos mientras que el aluminio no se acumula, pero se exporta en las aguas excedentes. La etapa final de la transformación ocurre cuando se reduce el suelo a un duripan silicificado llamado silcrete.

SUMMARY

Observations in a sequence of pits and along a 100 m cut revealed the transformation of a ferralitic halloysite clay soil developed upon an andesitic basalt into a degraded soil with compact horizons called "tepetates".

The soil mantle structure represents, in a two dimensional space, the advance of the degradating process from the initial soil. It generates new horizons in the bottom of the

Recibido 2-90.

profile which evolve into wavy and hardened thin layers.

Analytical results related to particle size and bulk density evidence a clay plasma destruction and a relative increase of silica skeleton in the soil. This destruction occurs in the prisms of the structure and leads to the collapse and compacting of the soil. The analytical results regarding three major elements (Al, Fe, Si) in the soil solutions collected in the rainy season show an appreciable and constant content of silicon, a low content of iron, and highly variable contents of aluminum. This indicates that silica may accumulate in the soil during some periods while aluminium does not accumulate but is partly exported in the leaching solutions. The final stage of the transformation is completed when the soil is reduced to a silicified duripan called silcrete.

INTRODUCCION

Los suelos derivados de los materiales volcánicos presentan un gran interés tanto agronómico como edafológico. El interés agronómico se debe a la aparente fertilidad de estos suelos, que sustentan a las densas poblaciones rurales establecidas en las áreas volcánicas. El interés edafológico se debe a la meteorización rápida de los materiales volcánicos en un suelo constituido por sustancias minerales y órgano-minerales que tienden a mantenerse en estado amorfo antes de transformarse en arcillas. En algunos casos estos materiales (lavas, flujos, piroclásticos, cenizas) llegan a formar horizontes muy compactos llamados "tepetates", causando una notable disminución de la fertilidad y la erosión de los suelos.

Varios autores estudiaron más específicamente estas capas duras.

Werner (1978) realizó en la región de Tlaxcala un inventario cartográfico de los suelos derivados de diferentes formaciones volcánicas, dando énfasis en sus grados de compactación o de endurecimiento.

Miehlich (1978) estudió los fenómenos de compactación desde un punto de vista mineralógico y subrayó el efecto de los cementos constituidos por sílice amorfo y arcillas, acumulados mediante una migración vertical.

Nimlos (1987) estableció un cuadro general de los diferentes tipos de tepetates en cuanto a su dureza, sus propiedades físicas y su sensibilidad a la erosión.

Quantin *et al.* (1989) proponen una clasificación genética de los tepetates que se encuentran en la parte central del Eje Neovolcánico, siguiendo cuatro orígenes posibles para su formación en México. Entre los fenómenos involucrados, uno de ellos ha llamado más que los otros nuestra atención, debido a su mayor ocurrencia en la región central del estado de Veracruz (Rossignol y Campos, 1987): la formación de tepetates a partir de suelos arcillosos derivados de la alteración ferralítica de materiales volcánicos.

Las arcillas que se encuentran en estas alteraciones son de tipo halosita (Quantin y Geissert, 1988). Las observaciones de campo evidencian la degradación de estas arcillas originando suelos con aspecto de planosol y llamados localmente tepetates.

Brinckmann (1970) y Espiau y Pedro (1983) confirmaron que en un medio temporalmente reductor el fenómeno de ferrólisis (Fe^{3+} y Fe^{2+}) libera protones (H^+) y genera una acidificación localizada en los sitios donde se manifiesta el hidromorfismo, llegando a desestabilizar al aluminio en la estructura de las arcillas. Basándose en esto se ha postulado, para la región de Xalapa, que la ferrólisis tendría una participación importante en la degradación de las arcillas e interviene en el proceso de formación de los tepetates.

El propósito del artículo no es explicar el fenómeno de degradación de las arcillas, sino solamente mostrar como actúa el proceso en el

suelo y como conduce a transformar la cubierta pedológica.

Se presentarán sucesivamente la morfología del suelo ferralítico inicial, la morfología del suelo degradado en "tepetate", la estructura bidimensional de la cubierta pedológica en el sitio de la transformación y la propagación del fenómeno tanto en el espacio como en el tiempo.

MATERIALES Y METODOS

El lugar del estudio se ubica en el ejido del Sumidero, a 5 km al noreste de Xalapa (Ver.). Corresponde a una porción de meseta disectada en fajas estrechas por una red de fracturas profundas. El sustrato geológico se compone de varios derrames superpuestos de lava andesítica y basáltica en pujantes capas orientadas de noroeste a sureste. Prevalece un clima tropical semi-cálido con estación seca ocasional de 4 a 6 meses al año, con un promedio de 1400 mm de precipitaciones anuales y una temperatura media anual alrededor de 20°C.

En este lugar la porción de meseta se encuentra intensamente alterada dentro de 2 a 3 m de espesor y, excepto delgadas capas esporádicas de cenizas, no existen los depósitos volcánicos tardíos (Pleistoceno superior y Holoceno) de cenizas y lavas basálticas que cubren a todas las áreas al norte y al oeste de la zona de estudio.

Las observaciones se realizaron en una secuencia de siete pozos cavados transversalmente a la dirección general del derrame basáltico, y a lo largo de un corte de 100 m orientado en el sentido del derrame basáltico. El corte consta de 25 perfiles de 3 a 4 m de profundidad.

La geometría bidimensional de la cubierta pedológica se elaboró con el método del análisis estructural (Boulet, 1988).

Para explicar los cambios de textura y de compactación que aparecen en los horizontes y

apoyar a las observaciones morfológicas, se tomaron 45 muestras sistemáticas para la determinación de textura (método de la pipeta), densidad aparente (método de la parafina), y densidad real (con el picnómetro).

Para comprobar una probable destrucción de las arcillas, se colectaron a diferentes fechas 23 muestras de agua de percolación por medio de tubos de plástico (PVC) de 7 cm de diámetro y 23 cm de largo los cuales fueron colocados a diferentes profundidades. En estas muestras se determinaron el aluminio y el hierro por absorción atómica y el sílice por colorimetría.

RESULTADOS

La Morfología del Suelo

El suelo arcilloso ferralítico. Un suelo de 3 m de profundidad promedio hasta la roca meteorizada (Figura 1) muestra, desde la

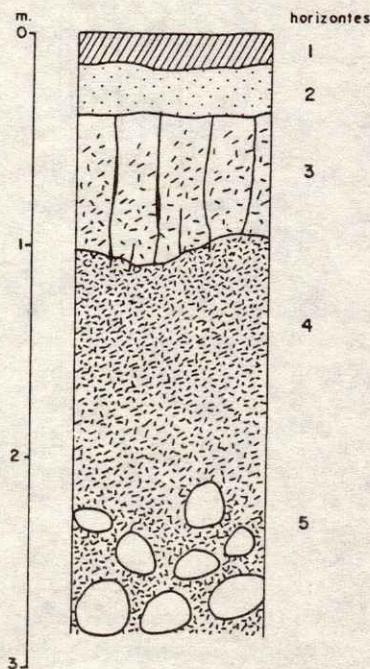


Figura 1. Perfil de suelo ferralítico arcilloso. 1 = horizonte humífero, 2 = horizonte grumoso, 3 = horizonte prismático, 4 = horizonte poliédrico, 5 = horizonte de alteración.

superficie hasta abajo, los horizontes siguientes:

- 000/015 cm Horizonte humífero: oscuro, migajoso, friable.
- 015/040 cm Horizonte grumoso: pardo claro, friable.
- 040/120 cm Horizonte prismático: pardo, arcilloso, prismático con sub-estructura en agregados poliédricos.
- 120/250 cm Horizonte poliédrico: pardo, arcilloso, friable frecuentes manchas de hidromorfia.
- 250/300 cm Horizonte de alteración: mismo material, con numerosas esferas de basalto andesítico meteorizado de color verdusco.

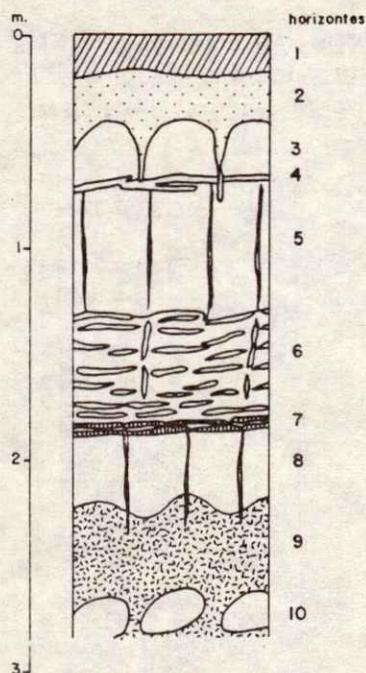


Figura 2. Perfil de suelo degradado. 1 = horizonte humífero, 2 = horizonte polvoso, 3 = horizonte columnar, 4 = horizonte laminar, 5 = horizonte prismático amarillo, 6 = horizonte plíntico laminar, 7 = horizonte plácico, 8 = horizonte prismático pardo, 9 = horizonte poliédrico pardo, 10 = roca meteorizada.

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 aun cuando seco, inclusive en el horizonte prismático.

El suelo degradado. Un suelo promedio de 3 m de profundidad hasta la roca meteorizada (Figura 2) muestra, desde la superficie hasta abajo, los horizontes siguientes:

- 000/020 cm Horizonte humífero: oscuro, grumoso, limo-arenoso.
- 020/050 cm Horizonte polvoso: beige, suelto, arenoso con arena muy fina.
- 050/080 cm Horizonte columnar: beige claro, muy compacto cuando seco, limo-arenoso.
- 080/085 cm Horizonte laminar: gris claro, polvoso, areno-limoso, con concreciones laminares muy duras.
- 085/140 cm Horizonte prismático amarillo: muy compacto cuando seco, limo-arcilloso, con frecuentes nódulos de óxidos.
- 140/190 cm Horizonte plíntico laminar: amarillo con manchas alargadas de color gris, dispuestas en bandas discontinuas, arcilloso, macizo, plástico cuando húmedo.
- 190/195 cm Horizonte plácico: marrón grisáceo, muy duro, compuesto de capas duras horizontales de 2 a 3 cm de espesor, separadas por capas de arcilla gris.
- 195/230 cm Horizonte prismático pardo: limo-arcilloso, compacto cuando seco.
- 230/270 cm Horizonte poliédrico pardo: arcilloso, estructura poliédrica mediana, agregados con caras lisas y pseudomicelios de sílice.
- 270/300 cm Horizonte de alteración: matriz arcillosa de color pardo, con esferas de roca meteorizada de color verdusco.

El perfil del suelo degradado se caracteriza por la importancia de sus discontinuidades horizontales: dos o tres horizontes prismáticos muy compactos se sobreponen verticalmente, separados por horizontes laminares. En la parte inferior de los horizontes laminares se forman capas delgadas de un material muy duro (horizonte plácico) con cementantes de sílice.

La mayor parte del perfil presenta una fuerte compacidad en estado seco, sobre todo en las estructuras columnares y prismáticas (fragipán), dándole origen a la denominación de "tepetate".

Cuadro 1. Texturas de algunos horizontes del suelo degradado con "tepetate".

Horizonte No.	Arcilla %	Limo %	Arena %
3	21.95	46.10	30.90
5	26.50	54.50	14.40
8	32.20	51.00	16.60
9	50.75	41.23	06.82

Las texturas varían verticalmente de manera muy discontinua, siendo el horizonte poliédrico pardo el más arcilloso con 50% a 55% de arcilla y el horizonte columnar el más arenoso, con 30.9% de arena (Cuadro 1).

La cubierta pedológica. Un corte ubicado en una porción de meseta limitada por un valle, muestra la disposición de los diferentes horizontes del suelo. Los suelos arcillosos de tipo ferralítico aparecen en el borde del valle, en la parte noroeste del corte. Los suelos degradados con "tepetate" aparecen en la parte central y sureste del corte.

El esquema de la cubierta (Figura 3) se realizó por reducción de las distancias y conservación de los desniveles. La estructura de la cubierta pedológica se compone de horizontes sobrepuestos que presentan una forma de láminas onduladas subhorizontales que disminuyen en espesor a medida que se acercan a la superficie.

Textura y Densidad Aparente: dos Criterios que evidencian la Destrucción de las Arcillas

En el corte general se tomaron 45 muestras de los diferentes horizontes y se determinaron

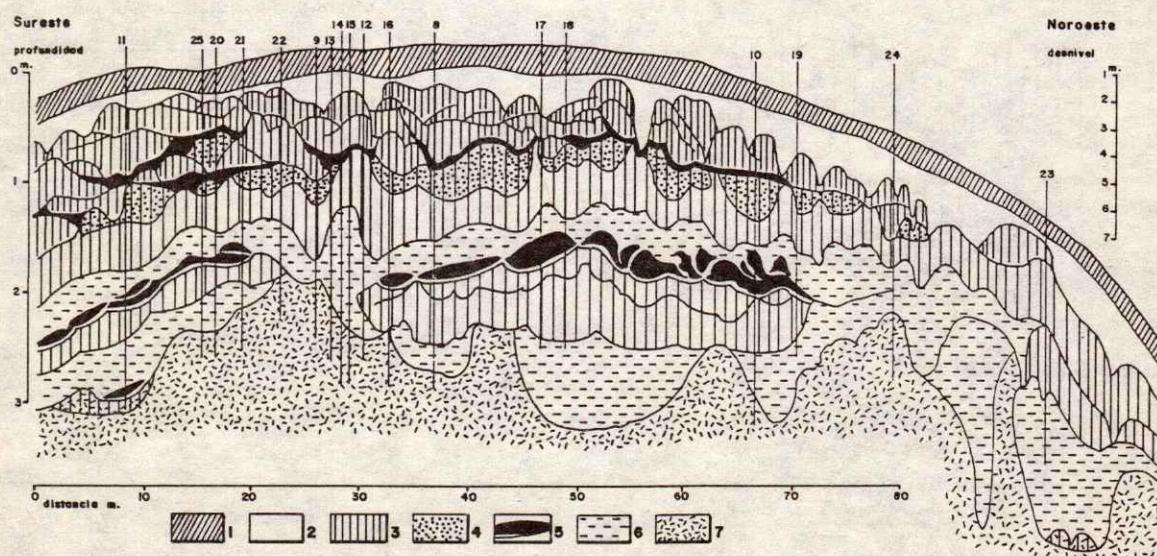


Figura 3. Corte de la cubierta pedológica. 1 = horizonte humífero, 2 = horizonte polvoso, 3 = horizontes columnares y prismáticos, 4 = horizonte concrecionado, 5 = horizonte plácico, 6 = horizonte plintico, 7 = horizonte poliédrico pardo.

la densidad aparente, la densidad real y la textura en cinco fracciones. A manera de ejemplo se presenta en la Figura 4 un segmento del corte general con algunos sitios de muestreo y en el Cuadro 2 sus respectivos datos analíticos.

En el horizonte columnar, parte superior del suelo, las columnas con mayor densidad aparente (1.53 g cm^{-3}) muestran una textura esencialmente limosa (arcilla = 21.9%, limo fino = 34.3%). Al contrario, las columnas con menor densidad (1.49 g cm^{-3}) son más arcillosas (arcilla = 47.35%). También se observa que las columnas con mayor densidad corresponden generalmente a estructuras cortas, mientras que las de menor densidad son largas.

En el horizonte prismático amarillo, parte media del suelo, se registra la densidad aparente más baja (1.31 g cm^{-3}) y la mayor porosidad. Los contenidos en arcilla son generalmente altos (arcilla = 34.95%) y superan a los de arena fina y limo fino. Los prismas cortos registran una densidad mayor

(1.56 g cm^{-3}) que los prismas largos (1.31 g cm^{-3}).

En el horizonte prismático pardo, parte inferior del suelo, se registran las densidades más elevadas (superior a 2 g cm^{-3}) que corresponden a materiales muy compactos y esencialmente limo-arenosos (arcilla inf. 20%). El alto contenido de arena fina y de limo se verifica por la presencia de revestimientos limosos blancos que cubren a las caras verticales de los prismas. Aquí también las densidades mayores se observan en las estructuras más cortas y corresponden a partes delgadas del horizonte.

De los ejemplos anteriores comprobamos que la densidad y la textura varían en relación inversa: a una densidad mayor corresponde un contenido menor de arcilla.

En cada horizonte se observan variaciones laterales discontinuas de la densidad aparente que se relacionan con el tamaño de las

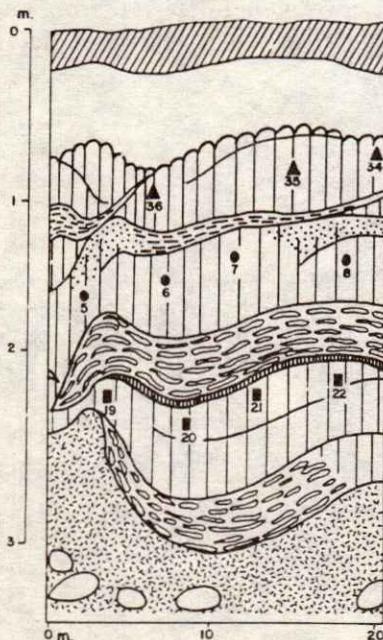


Figura 4. Sección del corte donde aparecen algunos sitios de muestreo para análisis de textura y de densidad aparente.

Cuadro 2. Relación entre textura y densidad aparente en los horizontes columnares y prismáticos de una sección del corte. En cada horizonte, los sitios de mayor densidad presentan los menores contenidos en arcilla y corresponden a materiales sin porosidad.

	Densidad aparente	Arcilla %	Arena fina %	Limo fino %
36	1.53	28.8	34.6	20.05
35	1.56	23.65	31.73	26.65
34	1.49	47.35	7.96	30.55
5	1.56	27.75	13.60	39.45
6	1.41	36.95	9.00	32.15
7	1.45	28.15	14.60	35.95
8	1.31	34.95	11.90	29.15
19	1.70	24.80	17.42	35.85
20	2.10	19.00	26.00	30.80
21	2.08	13.10	26.07	39.90
22	2.28	19.75	28.80	27.40

estructuras: los sitios compactados, de mayor densidad, corresponden a las estructuras cortas y los sitios de menor densidad a las estructuras largas.

Estos resultados evidencian que las ondulaciones de los horizontes prismáticos y columnares, observadas en el corte general, se deben a variaciones laterales de la densidad aparente del suelo. En los sitios con una densidad alta, la destrucción del plasma arcilloso ocasiona el colapso de las estructuras con desaparición de la macroporosidad y reducción del espesor del horizonte. El colapso de la estructura es un fenómeno discontinuo que explica la morfología ondulada de los horizontes.

Al, Si, Fe, en las Aguas de Percolación: una Primera Evaluación de la Dinámica de los Elementos Mayores.

En la Figura 5 se presenta una porción del corte general donde están localizados algunos de los sitios de colecta de agua. Se observa que las aguas surgen de los horizontes laminares en tres niveles diferentes: de 50 a 70 cm de profundidad, que corresponde a la

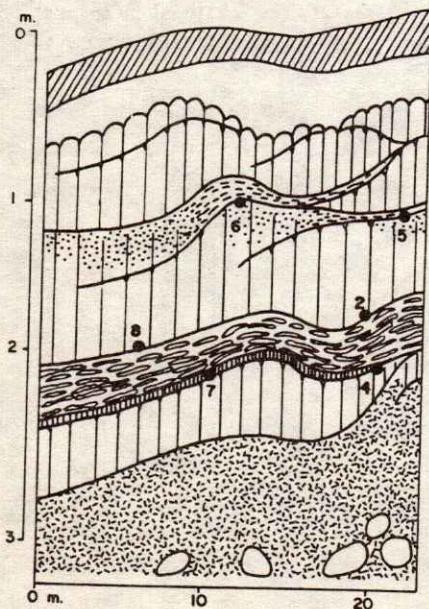


Figura 5. Sección del corte donde aparecen algunos sitios de muestreo de las aguas internas del suelo.

parte superior de las columnas; de 100 a 170 cm, que corresponde al horizonte laminar superior; y, de 200 a 270 cm, que corresponde al horizonte plántico laminar. Estos niveles laminares disminuyen la circulación vertical del agua y favorecen su circulación horizontal.

Respecto al silicio, los contenidos varían entre 1.6 y 37 ppm (Cuadro 3). Estos valores corresponden al rango de solubilidad del cuarzo y del ópalo-cristobalita. Siempre se detecta silicio en las aguas. Las concentraciones no varían con el volumen sino con el período de las precipitaciones (Figura 6); en el mes de julio, al inicio de las lluvias, se registran las concentraciones menores; en el mes de octubre, al final de las lluvias, se registran las concentraciones mayores (Cuadro 4).

Respecto al aluminio, se observan valores extremos muy amplios (Cuadro 3) desde trazas hasta 37 ppm. Estos valores varían muy irregularmente durante la estación húmeda pero se relacionan con las precipitaciones (Cuadro 4). Los días de lluvia con abundantes aguas de percolación registran los mayores contenidos de aluminio. Los días sin lluvia y con pocas aguas de percolación registran los contenidos en aluminio desde muy bajos a no significativos (Cuadro 4, Figura 6).

El hierro sigue el mismo comportamiento, en relación con el volumen de las aguas de percolación, pero con concentraciones

Cuadro 3. Valores máximos y mínimos obtenidos para los elementos Al, Fe, Si, en varias muestras de agua colectadas durante períodos sucesivos a diferentes profundidades.

Valores extremos en ppm de Al, Fe, Si en las aguas			
en el mes de julio de 1989		en el mes de octubre de 1989	
Si = 1.6	15	Si = 14.0	37
Al = T	37	Al = 0.1	37
Fe = 0.013	3	Fe = 0.3	24

inferiores y variaciones más atenuadas que aquellas observadas para el aluminio.

La presencia permanente de silicio en las aguas del suelo durante toda la estación lluviosa significa una constante movilidad de este elemento y su equilibrio entre el suelo y el agua. De manera diferente, el aluminio concentrado solamente en las aguas que percolan en exceso, significa que no está en

Cuadro 4. Contenidos en Al, Fe, Si, registrados en las aguas de percolación interna del suelo en diferentes fechas durante los meses de julio y octubre de 1989 y a diferentes profundidades.

No.	Sitio	Prof.	Llu- via	Fecha de muestreo	Al	Fe	Si
			cm	ppm			
3907	1S-1	70	0	8/07/89	T	0.007	2.7
3908	1S-1	50	-	12/07/89	T	0.007	1.6
3909	1S-1	150	-	13/07/89	T	0.027	1.7
3910	1S-1	50	-	13/07/89	T	0.013	2.8
3911	1S-1	50	-	13/07/89	T	0.007	2.8
3918	2S-10	270	-	13/07/89	T	0.067	3.3
3912	1S-1	64	+	15/07/89	T	0.047	1.8
3919	2S-8	170	+	15/07/89	14.33	2.00	1.8
3920	2S-9	220	+	15/07/89	32.66	2.13	3.0
3921	2S-10	270	+	15/07/89	1.20	0.37	2.6
3922	2S-22	127	+	15/07/89	37.3	3.13	2.0
3913	1S-1	118	0	16/07/89	0.200	1.16	15
3914	1S-1	150	0	16/07/89	0.030	0.21	9.8
3923	2S-25	80	0	16/07/89	4.07	0.63	4.3
3915	1S-1	150	0	17/07/89	0.200	1.17	9.0
3916	1S-1	50	0	17/07/89	T	0.08	2.1
3917	1S-1	64	0	17/07/89	T	0.013	3.1
4777	2S-9	220	0	2/10/89	10.8	3.2	37
4778	1S-2	100	+	5/10/89	37.3	24.5	23
4779	1S-2	100	0	6/10/89	9.9	17.0	26
4780	1S-1	55	0	6/10/89	3.9	5.0	14
4781	1S-1	125	0	6/10/89	4.9	1.8	25
4776	2S-17	230	0	8/10/89	0.1	0.3	16

0 = sin lluvia, pocas aguas de percolación
 - = inicio de lluvias, aguas de percolación irregulares
 + = final de lluvias, abundantes aguas de percolación
 1S-1 = secuencia 1, perfil 1
 2S-25 = secuencia 2, perfil 25

equilibrio y se exporta del suelo durante las fuertes precipitaciones.

Estos resultados evidencian que, en las aguas internas, se está transportando materia a través de sus componentes elementales mayores (Al, Si, Fe). Pero la intensidad y el ritmo de la exportación es muy diferente para cada elemento. Una acumulación relativa de silicio en el suelo ocurre cuando se reduce el volumen de las aguas internas al terminar las lluvias; una exportación notable de aluminio y en menor cantidad de hierro y de silicio ocurre cuando aparece un exceso de aguas internas durante las lluvias.

Cuadro 5. Contenidos en cationes de las aguas de percolación colectadas en octubre de 1989.

No.	Sitio	Prof.	Llu- via	Fecha de muestreo	Ca	Mg	Na	K
			cm	ppm				
4777	2S-9	220	0	2/10/89	1.0	0.2	4.0	0.7
4778	1S-2	100	+	5/10/89	3.1	1.0	8.0	1.0
4779	1S-2	100	0	6/10/89	4.2	1.0	5.0	4.0
4780	1S-1	55	0	6/10/89	2.3	2.6	12.0	1.0
4781	1S-1	125	0	6/10/89	8.3	6.4	7.0	8.0
4776	2S-17	230	0	8/10/89	0.6	0.1	5.0	0.6

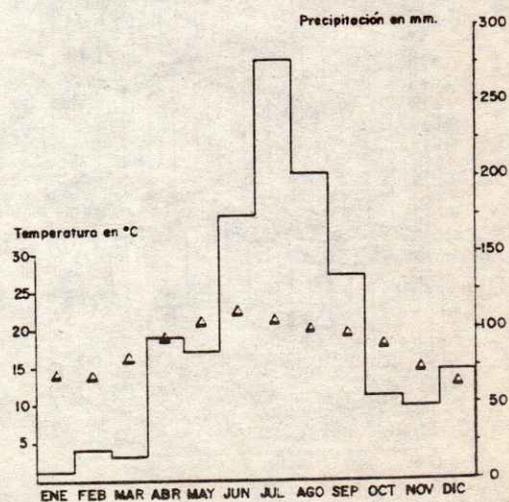


Figura 6. Distribución de las lluvias durante el año 1989 (estación Las Animas, Xalapa, Ver.).

Si se toma en cuenta que los tres iones que se cuantificaron son los constituyentes principales de las arcillas, se puede concluir que existe una destrucción de la arcilla (haloisita) del suelo. Tal destrucción se verifica morfológicamente en las estructuras prismáticas donde se observan numerosos poros y cavidades. En las estructuras laminares se observa el estancamiento del agua y la acumulación de sílice (horizonte plácico). Estas dos estructuras están vinculadas entre sí y forman un sistema complementario, uno de empobrecimiento, otro de acumulación.

La Evolución de la Transformación Pedológica en el Paisaje.

La Figura 7 esquematiza la estructura de la cubierta pedológica. A través del diseño de las estructuras verticales (columnares y prismáticas) y horizontales (laminares) aparece el sentido de propagación de la transformación. Los suelos más transformados se encuentran en el centro y a la izquierda, los suelos menos transformados a la derecha del corte. Como consecuencia de esas características, en relación con la orientación del corte de noroeste a sureste que corresponde a la dirección general del derrame lávico, se entiende que el avance de la transformación va de sureste a noroeste

remontando la estructura geológica dentro de la cubierta ferralítica inicial.

El proceso ocupa casi toda la cubierta pedológica, desde el material de alteración hasta la superficie de los horizontes columnares. Los horizontes superiores (humífero y polvoso) no son afectados por la transformación y no varían morfológicamente a lo largo del corte.

La transformación principia en la base del suelo, interfase con el material de alteración, y termina en la superficie en el horizonte columnar. Evoluciona generando nuevos horizontes desde la base del perfil.

En las estructuras prismáticas se desarrolla el proceso de degradación por destrucción de las arcillas. Debido a la heterogeneidad del medio existen sitios donde la degradación es más intensa, resultando una forma ondulada de los horizontes. A medida que la transformación avanza, las ondulaciones se hacen menos acentuadas y los horizontes se estrechan en láminas.

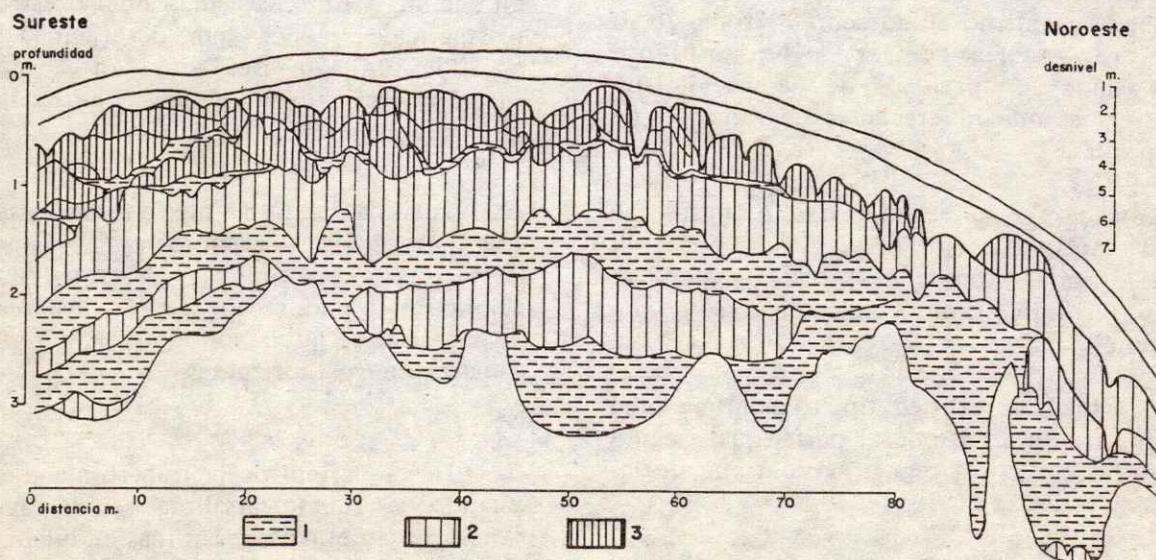


Figura 7. Esquema estructural de la cubierta pedológica. 1 = estructuras laminares subhorizontales, 2 = estructuras verticales prismáticas, 3 = estructuras verticales columnares.

DISCUSION E INTERPRETACION

Los resultados analíticos ponen en evidencia la destrucción de los cementos arcillosos en las estructuras prismáticas provocando el colapso y el adelgazamiento de estas estructuras. También evidencian la exportación de elementos químicos, principalmente el aluminio y la acumulación relativa de otros elementos, principalmente el silicio. Este último participa en sus varias formas (limo fino y arena fina cuarzoza) como cementante en las estructuras columnares y prismáticas.

La circulación interna del agua tiene un papel primordial en el proceso de silicificación. Los sitios de mayor destrucción de arcillas son los sitios de mayor circulación de las aguas. Al contrario se observa una acumulación de sílice en los horizontes plínticos laminares, que son los sitios de mayor permanencia del agua.

De acuerdo a los resultados de laboratorio y a las observaciones de campo, se confirma que la fuente de aluminosilicatos requerida para la silicificación es la haloisita proveniente de la alteración del basalto y en parte de la alteración de los depósitos volcánicos tardíos. En las condiciones actuales, un medio ácido semi-hidromorfo, o con hidromorfia capilar, y un ambiente contrastado con períodos de desecación son condiciones que favorecen la degradación de las arcillas.

Con base en las anteriores premisas, se puede presentar en forma de hipótesis el desarrollo del proceso de transformación del suelo ferralítico a un suelo degradado con tepetate.

1. El suelo ferralítico típico mantiene una microestructura en todo el perfil que asegura un drenaje vertical regular y continuo de las aguas internas.

2. Debido a modificaciones de las condiciones de temperatura y de desecación del suelo, cambia la estructura a poliédrica y luego a

prismática, lo que provoca una modificación importante en las condiciones hidrodinámicas. Un drenaje que antes era vertical y continuo, pasa a ser rápido en superficie y muy lento a media profundidad. Esas modificaciones en la velocidad del drenaje se asocian a condiciones crecientes de acidificación del medio y de desestabilización de las arcillas.

3. En los prismas aparecen sitios de empobrecimiento en arcilla debido a la intensificación de los flujos verticales. En la base de los prismas donde se estancan las soluciones, las plintitas laminares se forman y en ellas se acumula el sílice amorfo constituyendo el cemento de los horizontes plácicos.

4. Los horizontes plácicos interrumpen las circulaciones verticales de tal manera que cada estrato compuesto de un horizonte prismático con su horizonte laminar asociado evoluciona de manera lateral e independiente como si fuera un sistema cerrado.

5. La cubierta de suelo así modificada, aísla el material parental de los efectos atmosféricos y no permite el drenaje vertical de las soluciones hasta los horizontes de alteración. Entonces una nueva estructura prismática se genera por desecación de las arcillas debajo del horizonte laminar inferior, constituyendo nuevos horizontes en la base del perfil.

6. A medida que los frentes de transformación avanzan, las estructuras prismáticas disminuyen en espesor y las estructuras laminares se endurecen por el sílice residual. El material de alteración también se reduce al generar nuevos horizontes.

7. El estado final de la transformación llega cuando la fuente arcillosa se ha agotado. Aparecen en el paisaje láminas onduladas muy duras en contacto con las esferas de la roca basáltica meteorizada. Es un duripán silicificado o silcrete.

CONCLUSIONES

El corte revela la existencia de un proceso de transformación de los suelos provenientes de la alteración del basalto andesítico en un material parcialmente silicificado.

Se considera que la silicificación resulta de un proceso de acumulación diferencial del sílice a partir de la degradación de las arcillas de tipo haloisita, originadas de la alteración de una roca moderadamente rica en sílice (SiO_2 57% aprox.).

La transformación presenta un modo de propagación lateral y ligeramente oblicuo, desde la base hasta la superficie del suelo, en forma de láminas sobrepuestas que disminuyen de espesor.

El sentido de propagación de la transformación sigue la estructura geológica, remontando el derrame basáltico.

Se observa que la tendencia evolutiva es la pérdida geoquímica de materia de modo lateral, siguiendo el trayecto de los horizontes. Esta pérdida origina la destrucción progresiva del material de alteración, modificando la forma del lomerío ferralítico inicialmente desarrollado sobre el basalto.

Las aguas internas circulan lateralmente, guiadas por los horizontes laminares subhorizontales e impermeables. Aquéllos impiden la circulación vertical y mantienen bajo presión las capas freáticas almacenadas en los horizontes plínticos. En estas condiciones el techo del manto freático no puede alcanzar la superficie del suelo, al menos que se perforen los horizontes laminares; tampoco entra en contacto con la roca alterada, por la presencia de los horizontes plácicos. Esto explica por qué, cuando se cavaron los hoyos en secuencia, el de la cima se llenó de agua freática que surgió del horizonte plíntico.

LITERATURA CITADA

BOULET R. 1988. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. *In:* XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Resumos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 79-90.

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

DUBROEUCQ, D., P. QUANTIN, y C. ZEBROWSKI. 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. *Terra* 7-1: 3-12.

ESPIAU, P. y G. PEDRO. 1983. Etude du phénomène de ferrolise 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.

MIEHLICH, G. 1978. Eigenschaften und Genese von Verhartungslagen in Zentralmexiko (Tepetate). *München Forschgn. Geol. Paleont.* 44/45: 27-41.

NIMLOS, T.M. 1987. La nomenclatura de horizontes endurecidos en suelos de cenizas volcánicas. *In:* Uso y manejo de los Tepetates. J.F. Ruiz F. ed., Univ. Autón. Chapingo, Depto. Suelos, México, p. 10-16.

QUANTIN, P., y D. GEISSERT. 1988. Características químicas y mineralógicas de un andosol y de un suelo ferralítico de Xalapa, Veracruz, México. *INIREB*, 24 p. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver., México.

ROSSIGNOL, J.P., y A. CAMPOS. 1987. Los tepetates de la zona Centro de Veracruz. *In:* Uso y manejo de los tepetates. J.F. Ruiz F. ed., Univ. Autón. Chapingo, Depto. Suelos, México, p. 38-49.

WERNER G. 1978. Los suelos de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores (comentarios a un mapa de suelos, con 4 mapas). *Fund. Alem. Invest. Científica, ser. Comunicaciones VI/1978*, Puebla, México, 95 p.

LOSTEPETATES DEL AREA DE XALAPA VERACRUZ Y SU RELACION CON UNA PALEOSUPERFICIE. UNA PERSPECTIVA CRONOLOGICA

The "Tepetates" of the Xalapa, Veracruz Area of Mexico and their Correlation with a Paleosurface. A Chronological Perspective

Daniel Geissert y Didier Dubroeuq

Instituto de Ecología A.C., Apartado Postal 63,
91000 Xalapa, Ver.

Palabras clave: Andesita, Alteración haloisítica, Silcrete, Geomorfología, Geocronología del Pleistoceno, Xalapa, Ver., México.

Index words: Halloysite clay weathering, Silcrete, Geomorphology, Geochronology of Pleistocene, Xalapa, Veracruz, Mexico.

formation of "tepetate" (silcrete) in the Xalapa, Veracruz area of Mexico. The tepetate layers belong to a lower Pleistocene andesitic paleosurface, and were formed during an extended period of tectonic stability without volcanism, which promoted halloysite clay weathering, followed by silicification, since middle Pleistocene.

RESUMEN

Con base en un estudio morfométrico del relieve, complementado con dataciones de Negendank *et al.*, (1985), se propone una cronología relativa de los eventos que condujeron a la formación de tepetates en el área de Xalapa, Veracruz. Estos pertenecen a una paleosuperficie basalto-andesítica del Pleistoceno inferior y se desarrollaron durante un largo período de estabilidad volcanotectónica, propicio a la alteración haloisítica y posterior silicificación, a partir del Pleistoceno medio.

SUMMARY

A morphometrical analysis of landforms, completed by radiometric data of Negendank *et al.* (1985), provides the basis for a relative chronological scale of events leading to the

INTRODUCCION

Es un importante trabajo de inventario morfoedafológico realizado en el área de Xalapa-Coatepec, Ver. (Rossignol, 1987; Rossignol *et al.*, 1987) se establecieron las primeras relaciones entre modelado, sustrato geológico y suelo, a lo largo de la vertiente oriental del Cofre de Perote.

La vertiente se extiende de los 4260 m hasta los 400 m de altitud y abarca una zona de aproximadamente 35 km de ancho sobre 40 km de largo, con una gran variedad climática, desde el templado frío de alta montaña hasta el tropical semi-cálido húmedo en la parte media y el tropical cálido con una estación seca en la parte baja.

Las faldas bajas del Cofre de Perote, que corresponden a una zona situada entre 1500 m y 400 m de altitud, presentan dos formas de

relieve: lomas redondeadas y mesetas con superficie suavemente ondulada. Estos relieves se encuentran disectados por una red de valles y barrancas cuya profundidad y densidad varían en función del lugar. Las mesetas se edifican sobre espesos y antiguos derrames de basaltos andesíticos. Los lomeríos se ubican sobre materiales volcánicos poco consolidados, tales como flujos piroclásticos o cenizas, y alteraciones de derrames basalto-andesíticos recientes (Figura 1).

En los lomeríos (Figura 1, unidades 4, 5, 7, 8) se manifiestan simultáneamente dos tipos de pedogénesis y a veces se superponen, dando origen en los materiales de alteración a andosoles y suelos ferralíticos con arcillas del grupo haloisita (Quantin y Geissert, 1988). En las mesetas (Figura 1, unidades 1, 2, 3) las alteraciones muestran suelos desde los Luvisoles desaturados con pseudogley o plintita, hasta los Planosoles con duripanes llamados localmente "tepetates" (Rossignol *et al.*, 1987).

Estudios recientes mostraron que los tepetates localizados en la superficie de las mesetas resultan de una transformación de los suelos arcillosos provenientes de la meteorización de los basaltos andesíticos. En esta situación geológica existe una secuencia evolutiva continua entre los Luvisoles arcillosos pardos con haloisita (suelos arcillosos) y los Planosoles con duripanes silicificados (tepetates). La investigación realizada en una porción de meseta disectada en lomerío plano-convexo suave, entre 1100 y 1300 m de altitud, al noreste de Xalapa (Figura 2) muestra que esta transformación se debe a la acción de los procesos climáticos en donde ocurren silicificaciones y destrucción geoquímica de la haloisita (Campos y Dubroeuq 1990).

En el área, la edificación de los materiales volcánicos se realizó durante varios periodos desde el final del Plioceno hasta el Holoceno. Datos geológicos y radiométricos de Negendank *et al.* (1985), señalan dos periodos volcánicos importantes:

- en el Pleistoceno inferior (1.8 millones a 720,000 años Before Present (B.P.)) y tal vez desde el Plioceno superior (1.9 millones a 720,000 años), la erupción de productos calco-alcalinos en donde prevalecen en volumen las andesitas de estrato-volcán que formaron las laderas del Cofre de Perote.

- del Pleistoceno superior al actual (100,000 a 0 B.P.), las erupciones simultáneas calco-alcalinas y alcalinas a subalcalinas (andesita basáltica, basalto, hawaita) de estrato-volcanes y de conos monogenéticos.

Sin embargo y a pesar de la valiosa información proporcionada por las dataciones de Negendank *et al.* y los trabajos antes mencionados, el conocimiento del medio biofísico de la región de Xalapa-Cofre de Perote sigue siendo limitado, en particular en relación con la cronología de los eventos volcano-tectónicos y climáticos que han tenido una gran influencia sobre la evolución de los suelos durante el Cuaternario.

Este estudio pretende mostrar que el conjunto de los modelados plano-convexos que se encuentran sobre las mesetas tiene relación con una paleosuperficie en la cual se encuentran las alteraciones ferralíticas que desarrollan duripanes silicificados. Asimismo, se propone una cronología relativa de los eventos que favorecieron el desarrollo de la alteración del basalto andesítico y de su posterior transformación pedológica hacia la silicificación.

MATERIALES Y METODOS

1. Mediante una foto-interpretación preliminar y observaciones de campo se diferencian dos generaciones de valles en el modelado de las mesetas.

2. Mediante levantamientos topográficos se determinó el perfil transversal de los dos tipos distintos de valles representativos de las formas de incisión de la meseta.

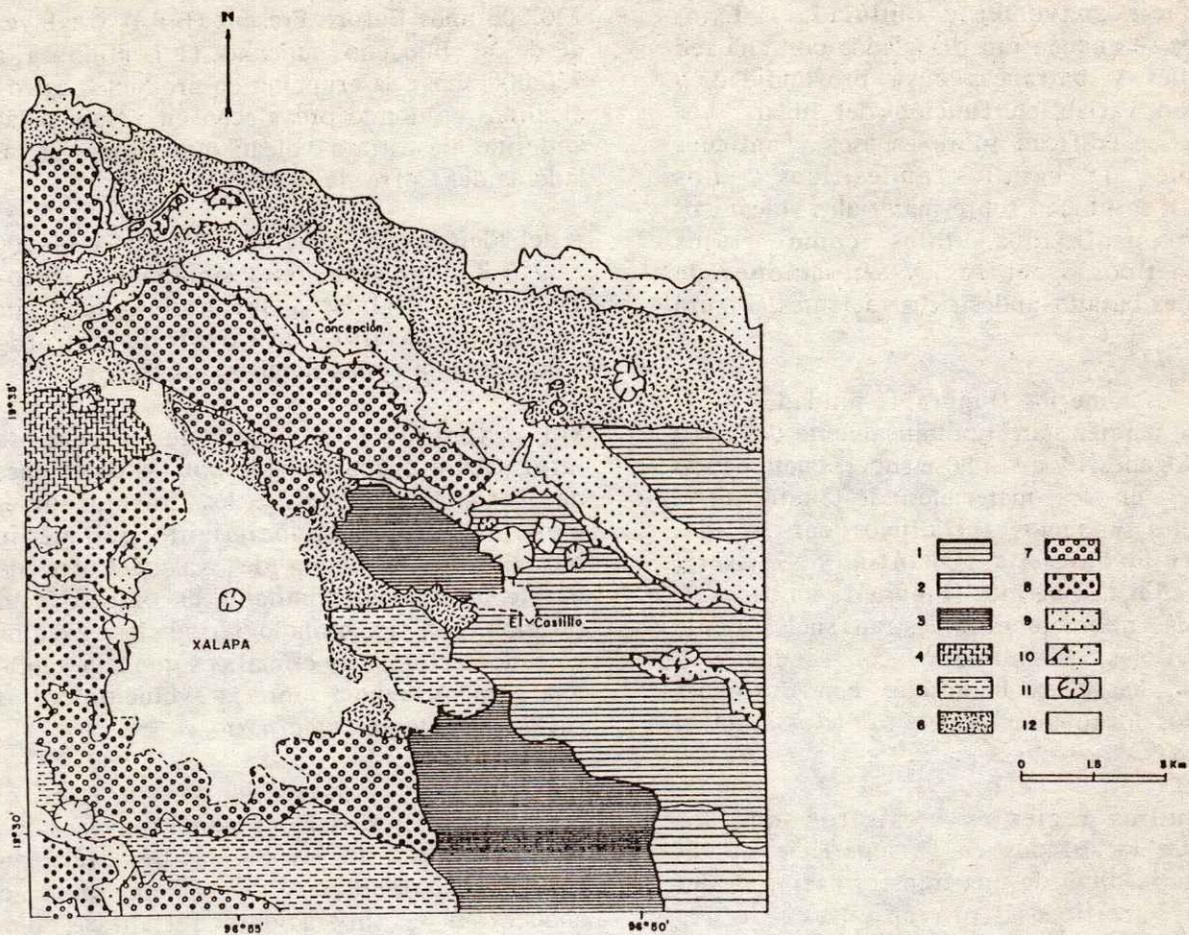


Figura 1. Materiales parentales y relieve, zona noreste de Xalapa (Según J.-P. Rossignol, 1937).

Mesetas de basalto andesítico:

- con modelado muy disectado en fajas estrechas y suelos (tepetates) muy endurecidos =1
- con modelado casi plano y suelos (tepetates) muy endurecidos =2
- con modelado en lomerío suave y suelos (tepetates) moderadamente duros =3

Derrames basalto-andesíticos recientes:

- con modelado en lomeríos alargados, material alterado y suelos arcillosos profundos =4
- con modelado en lomerío redondeado, material moderadamente alterado y suelos arcillosos poco profundos =5
- con modelado en caos de bloques, material no alterado =6

Flujos piroclásticos arenosos ácidos y cenizas:

- con modelado en lomerío redondeado, material alterado y suelos arcillosos profundos =7
- con modelado en lomerío redondeado, material poco alterado =8

Valles y escarpes:

- fondo de valles =9
- vertientes y escarpes =10

Edificios volcánicos =11

Centros urbanos =12

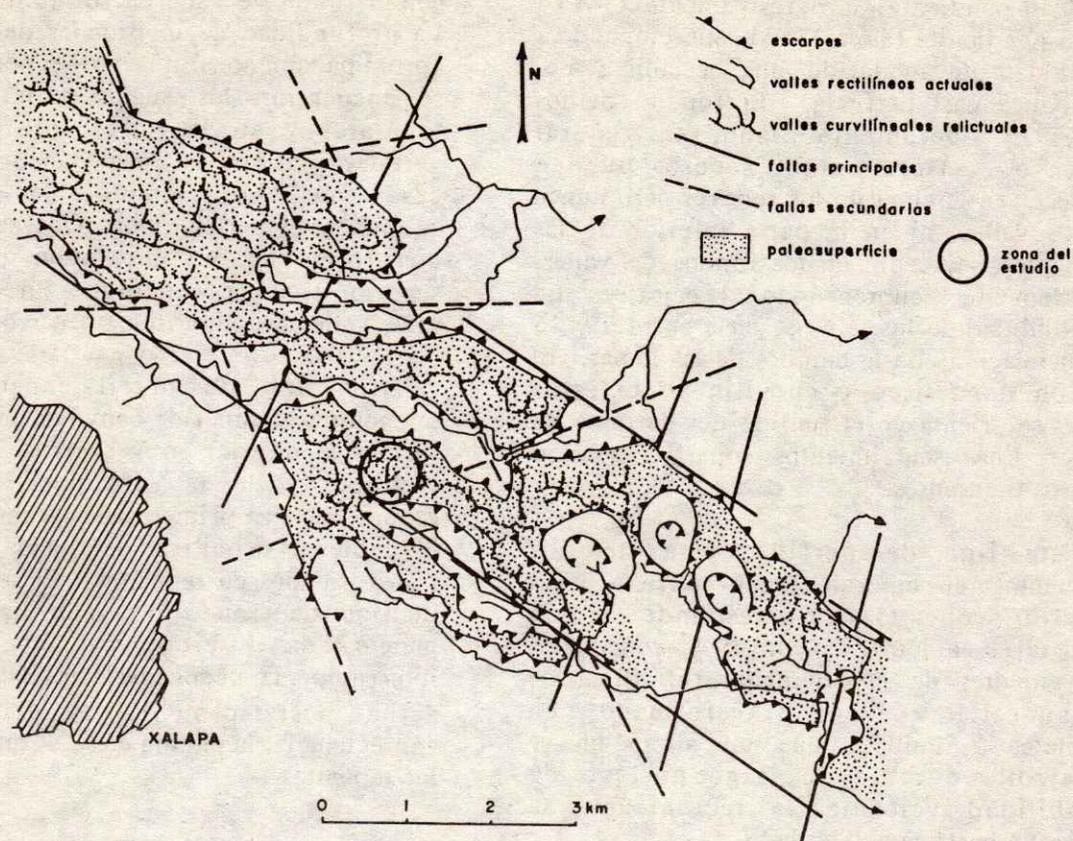


Figura 2. Límites de una paleosuperficie del Pleistoceno medio al noreste de Xalapa (Ver.).

3. Mediante la interpretación de fotografías aéreas, escala 1:50,000 y 1:20,000, complementada por observaciones de campo y descripciones de perfiles de suelo, se delimitó la superficie separada por los dos diferentes patrones de incisión de la meseta andesítica.

4. Se estableció una escala cronológica de las fases volcanotectónicas que ocurrieron en la región con base en los trabajos de Negendank *et al.* (1985).

5. Se incorporó a esta escala la sucesión de fases de inestabilidad con volcano-tectonismo y de fases de estabilidad con alteración, evidenciadas por el estudio geomorfológico, a fin de obtener un diagrama cronológico definitivo.

RESULTADOS Y DISCUSION

La observación geomorfológica del modelado y del patrón de drenaje existente en la superficie de las mesetas de basalto andesítico (Figura 1, unidades 1, 2, 3) permite distinguir dos formas de valles: en la parte central de las mesetas, valles curvilíneos con perfil cóncavo abierto y en los bordes de las mesetas, valles rectilíneos con perfil en V. A continuación, se describe un ejemplo de cada clase de valle.

Valles Curvilíneos con Perfil Cóncavo (Figura 3).

Esta clase de valle separa relieves en lomas que presentan un perfil plano en la cima

(0-5% de pendiente) y progresivamente convexo en las pendientes (5% a 35%) proporcionando a la unidad de modelado una sección semi-parabólica casi perfecta. El fondo de los valles es ligeramente plano, en general cóncavo. Afloramientos rocosos pueden aparecer en la cima de los relieves pero nunca en los valles, ni en la parte inferior de las vertientes. Excepto en los fondos de valles, los "tepetates" cubren todo el paisaje. La profundidad de los talwegs varía entre 9 y 15 m en relación con la cumbre de las lomas. El patrón dendrítico y curvilíneo de estos valles se orienta en el sentido del derrame de lava. Los escurrimientos superficiales son escasos o ausentes.

Este tipo de perfil consta de dos segmentos: el superior plano-convexo y el inferior cóncavo. Corresponde a una topografía en lomeríos convexos, con suelos provenientes de la alteración ferralítica de la andesita y luego transformados en tepetates. Significa que tal alteración se desarrolló durante un largo periodo de estabilidad volcánica y tectónica y se conservó hasta la actualidad.

Valles Rectilíneos con Perfil en V (Figura 4).

La sección presenta una forma superior convexa residual; luego, después de una leve ruptura de pendiente, una vertiente recta (30-40% de pendiente) hace la unión hacia abajo

con el fondo de valle en forma de V abierta. La profundidad de incisión es de 15 a 20 m aproximadamente. En la parte superior convexa se encuentran los suelos endurecidos con tepetates y en la parte inferior de las vertientes aflora la roca meteorizada. En casos más evolucionados, la incisión se agudiza y el perfil topográfico se asemeja a una forma en V típica, con una sección superior siempre convexa. En vista aérea, estos valles presentan un trazo rectilíneo.

Este tipo de perfil consta de tres segmentos: el superior convexo, el intermedio recto y el inferior en V abierta. Resulta del contacto y de la sobreposición de dos fenómenos. El primero es la conservación de la cubierta primitiva de suelos ferralíticos transformados en tepetates. El segundo es la incisión del fondo de valle hasta la roca meteorizada. Este último fenómeno recorta e interrumpe la pedogénesis inicial, y por eso actúa posteriormente al primero; por consecuencia, la entalla en V es más joven que los tepetates.

Geomorfología del Área de los Tepetates.

En la Figura 2 aparece el área delimitada por los dos sistemas de incisión. La superficie estudiada está conformada por lomeríos plano-convexos con vertientes cortas, extendiéndose entre 1360 y 1160 m de altitud.

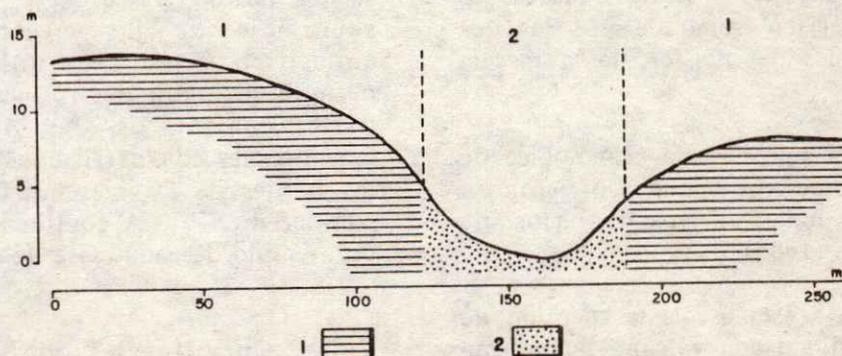


Figura 3. Perfil topográfico de un valle curvilíneo. 1=tepetates, 2=alteración ferralítica del basalto andesítico.

Presenta una forma alargada con el eje principal orientado del noroeste hasta el sureste. Los lados son bordeados por escarpes que corresponden al trazo de las fracturas que individualizaron esta unidad respecto a las áreas circundantes (Figura 2). El substrato se compone de importantes derrames superpuestos de lava andesítica básica con la siguiente composición química (Negendank *et al.*, 1985) $\text{SiO}_2 = 56.7 - 57.1\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 17\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2.2-4.7\%$; $\text{MgO} = 4.3-4.7\%$, entre otros. Estos derrames son del Pleistoceno inferior (1 millón a 720,000 de años B.P.), período con el cual se inicia nuestra escala cronológica.

En su contexto regional, la unidad está situada en el borde de una estructura de hundimiento (Valle de La Concepción) que tiene su origen en movimientos subverticales a lo largo de fallas de tensión de dirección NO-SE, de los cuales resultaron compartimientos escalonados en forma descendente hacia el NE. Más aún, toda el área situada en el borde del valle de La Concepción está recortado por dos familias de fallas casi ortogonales: las fallas principales de dirección NO-SE y NE-SO, y las fallas secundarias de dirección NNO-SSE y ENE-OSO. Los tres volcanes cerca de la población del Castillo se edificaron en la línea de dos fallas transversales.

Este sistema de fracturas juega un papel determinante en la configuración de las

unidades geomorfológicas, dando a la gran meseta inicial su forma actual en compartimientos desnivelados y al patrón de disección una nueva configuración. El trazo rectilíneo de los valles con perfil en V está generalmente conforme con la orientación de las fracturas, mismas que favorecieron su formación. De este modo, la existencia de un segmento adicional en el perfil topográfico de los valles se debe a la reactivación de la incisión, consecuente a un abatimiento del nivel de base local por causa de movimientos tectónicos. El tectonismo ocurrió posteriormente a la fase de alteración que originó a los suelos ferralíticos actualmente transformados en tepetates. El patrón dendrítico y curvilíneo de los valles cóncavos, independiente del sistema de fracturación, forma parte del modelado ferralítico anterior a la fase tectónica.

Escala Tentativa de los Eventos Tectónico-volcánicos.

Con base en estos resultados y a partir de los períodos de mayor actividad volcánica en la zona obtenidos de Negendank *et al.* (1985), se obtiene una escala cronológica de los eventos tectónico-volcánicos (Figura 5):

1. durante el Pleistoceno inferior (entre 1,8 millones y 720,000 años) y tal vez desde el final del Plioceno ocurrió la primera fase de

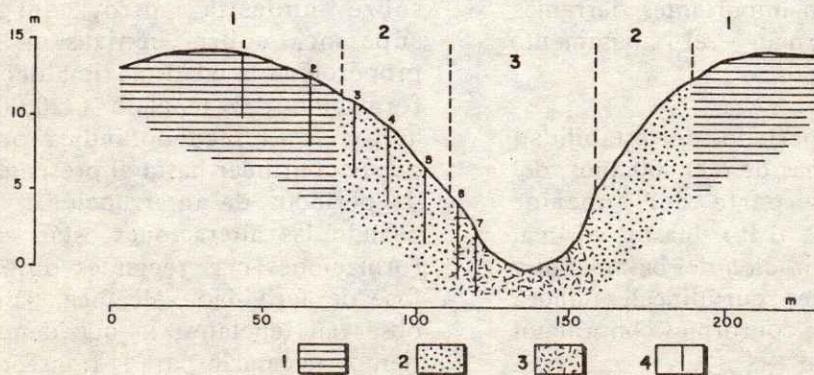
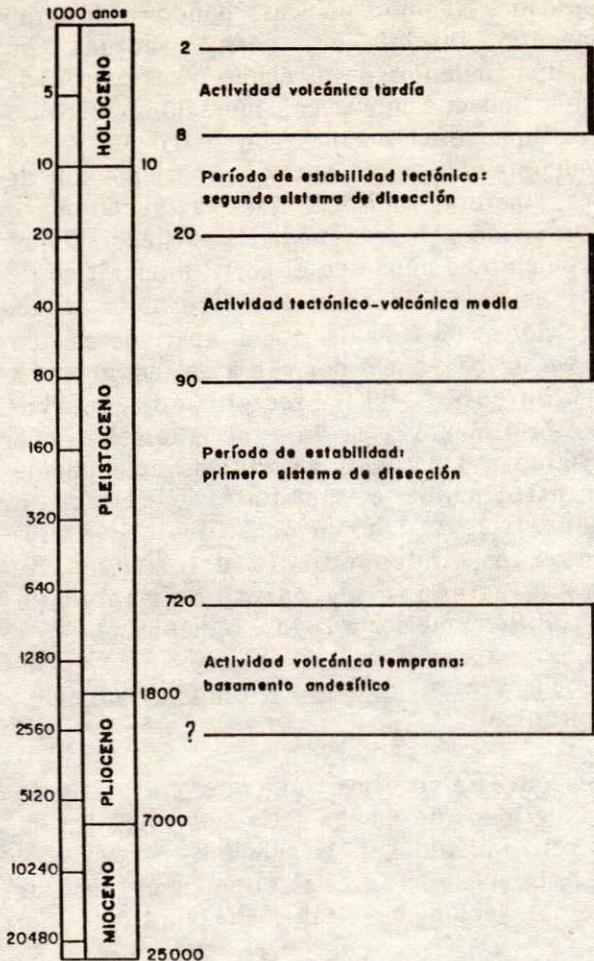


Figura 4. Perfil topográfico de un valle rectilíneo. 1=tepetates, 2=alteración ferralítica del basalto andesítico, 3= basalto andesítico meteorizado, 4=pozos pedológicos.



Fuente de información: Negendank y al. 1985

Figura 5. Cronología de los eventos tectónico-volcánicos durante el Cuaternario.

actividad volcánica con importantes derrames lávicos que conforman el basamento andesítico.

2. sigue un largo período de estabilidad volcano-tectónica de más de 600,000 años, del Pleistoceno medio y parte del superior (720,000 a 90,000 años B.P.) durante el cual se produjo la intemperización del basamento y la formación de valles curvilíneos ahora residuales, que no están conformes con ningún sistema de fracturación.

3. en el Pleistoceno superior, entre 90,000 y 20,000 años B.P. aproximadamente, se reintensificó la actividad volcano-tectónica

con una intensa fracturación y desplazamiento de bloques, mismos que favorecieron, entre otros, la formación de la depresión de La Concepción marcada por alineamientos de conos volcánicos.

4. estos movimientos provocaron el abatimiento del nivel de base local, el cambio de dirección del sistema de drenaje y la incisión de los valles actuales, los que, guiados por las fracturas, recortan los valles más antiguos. Este segundo sistema de disección se inició en la segunda fase de actividad tectónico-volcánica y se desarrolló durante un período de relativa estabilidad tectónica, situado en el Pleistoceno superior y principios del Holoceno de 20,000 a 8,000 años B.P. y que se termina con la última fase volcánica.

5. la actividad volcánica tardía es esencialmente del Holoceno y se manifiesta por la erupción de conos monogenéticos arrojando lavas basálticas y cenizas que cubren parcialmente los depósitos más antiguos y los tepetates en algunos sitios.

CONCLUSIONES

En ausencia de dataciones absolutas, la cronología propuesta es todavía preliminar. Sin embargo, este primer intento indica que existen dos posibles períodos de estabilidad propicios para la formación de alteraciones con halosita: uno, del Pleistoceno medio, sobre andesita; otro, del Pleistoceno superior, sobre cenizas. El primero proporciona la edad máxima del fenómeno de formación del tepetate (720,000 años B.P. aprox.). El segundo indica que el proceso puede continuar hasta el presente, aún después de períodos de interrupción. Pero termina cuando las alteraciones están sepultadas por formaciones más recientes durante la última fase de actividad volcánica. En éstas no se observan tepetates, lo que demuestra que el tiempo necesario para la transformación de las alteraciones rebasa la duración del Holoceno.

La formación de duripanes silicificados (silcretos) en la región de Xalapa, Veracruz

no es un fenómeno iniciado en el Holoceno sino en el Pleistoceno medio; su desarrollo está ligado a una paleosuperficie que pertenece a la secuencia basalto-andesítica de base del Cofre de Perote.

LITERATURA CITADA

CAMPOS, A. y D. DUBROEUQ. 1990. Formación de tepetates en suelos provenientes de las alteraciones de materiales volcánicos. Terra

NEGENDANK, J.F.W., R. EMMERMANN, R. KRAWCZYK, F. MOOSER, H. TOBSCHALL y D. WERLE. 1985. Geological and geochemical investigations on the eastern transmexican volcanic belt. Geof. Intern. Vol. 24-4, pp. 477-575.

QUANTIN, P. y D. GEISSERT. 1988. Características químicas y mineralógicas de un andosol y de un suelo ferralítico de Xalapa, Veracruz, México. INIREB, 24 p., Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver., México.

ROSSIGNOL, J.-P. 1987. Los estudios morfoedafológicos en el área de Xalapa-Coatepec, Ver. pp. 23-35. In: D. Geissert y J.-P. Rossignol. La morfología en la ordenación de los paisajes rurales. INIREB-ORSTOM, Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver., México.

ROSSIGNOL, J.-P., D. GEISSERT, A. CAMPOS, y J. KILIAN. 1987. Mapa de unidades morfoedafológicas. Area Xalapa-Coatepec, Ver. esc. 1:75000. ORSTOM-INIREB-CIRAD, Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver., México.

LA RELACION ENTRE DESARROLLO DE SUELO Y EXPOSICION GEOGRAFICA EN LOS SUELOS DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL CENTRAL

The Relation between Soil Development and Aspect on the Soils of
the Central Sierra Madre Oriental, Nuevo León, México.

Martin Woerner Petran

Area de Suelos, Departamento Agroforestal, Facultad de Ciencias
Forestales, Unidad Linares, Universidad Autónoma de Nuevo León,
Apartado Postal 41, 67700 Linares, N.L.

Palabras clave: **Calciustolls, Haplustalfs, Relación desarrollo de suelos y exposición geográfica, Suelos calizos, Suelos de sierra, Suelos forestales, Ustochrepts, Zonas semiáridas y subhúmedas.**

Index words: **Calcareous soils, Calciustolls, Haplustalfs, Forest soils, Mountain soils, Relation between soil development and aspect, Semiarid and subhumid zones, Ustochrepts.**

RESUMEN

La Sierra Madre Oriental en el noreste de la República Mexicana muestra un espectro amplio de suelos desarrollados sobre rocas calizas mesozóicas. Debido al relieve muy acentuado existe una relación muy intensa entre las características físicas y químicas del propio suelo y la exposición del sitio. En las laderas con vertiente hacia el sur y suroeste se formaron, bajo una vegetación escasa de matorrales y chaparrales bajos y abiertos, suelos erosionados del subgrupo de los Ustochrepts, caracterizados sobre todo por procesos de intemperización física, con un contenido bajo en materia orgánica, un pH

Recibido 12-89.

alcalino y una fuerte acumulación de carbonatos. En las laderas expuestas hacia el norte y noreste se desarrollaron, bajo una vegetación densa de bosques altos de encino, encino-fresno-cedro y de pino, suelos menos afectados por procesos erosivos, más profundos y diferenciados, con un contenido apreciable en materia orgánica, un pH neutro a alcalino y una acumulación de carbonatos restringida al subsuelo, de los subgrupos de los Calciustolls y Haplustalfs.

SUMMARY

The Sierra Madre Oriental in the northeast of the Republic of Mexico shows a wide spectrum of soils development on mesozoic limestone. Because of the very pronounced relief there exists a strong relation between the physical and chemical properties of the soil and the aspect of the site. On slopes with a south and southwest aspect under a limited vegetation of bush and chaparral the soils are eroded shallow Ustochrepts, characterized by mainly physical decomposition, low content of organic matter, alkaline soil reaction and very high carbonate accumulation. On north and northeast aspects under tall and closed vegetation of oak, oak-ash-juniperus the soils are less eroded and deeper Calciustolls and Haplustalfs, with

considerable content of organic matter, neutral to slightly alkaline soil reaction and accumulation of carbonates restricted to the subsoil.

INTRODUCCION

La Sierra Madre Oriental, ubicada en el Noreste semiárido/subhúmedo de la República Mexicana como margen oriental del Altiplano, se caracteriza en el sur del estado de Nuevo León por la formación de cordilleras paralelas de orientación NNO-SSE de un relieve muy acentuado, con angostos valles intermontanos, con una altura sobre nivel de mar entre 1,300 y más de 3,700 m. El área de estudio de este trabajo abarca unas 550 ha cercanas al poblado de Santa Rosa situado a 3 km al E y SE de la población de Iturbide, N.L., y 40 km al SO de Linares, N.L., a una altura de 1,300 a 1,800 msnm en los 24°42'N y 99°52'O.

En este terreno se muestrearon durante el año 1989 varios perfiles de suelo sobre los diferentes materiales parentales y en las diferentes exposiciones. Se observó que existe una relación muy obvia entre la exposición del sitio y el desarrollo edáfico. En este trabajo se presentarán cinco suelos característicos de diferentes sitios y exposiciones, con el fin de verificar la interacción observada.

Factores ambientales:

Clima:

Debido al relieve muy accidentado en el área de estudio ocurren fuertes variaciones microclimáticas, que se expresan más claramente en las pendientes de exposición S y O, y de exposición N y E, y entre zonas bajas y zonas altas. De acuerdo con la clasificación de Köppen (1931) y con la adaptación a las condiciones de la República Mexicana de García (1987) el microclima de las zonas de exposición S y O corresponde a los climas de los subtipo semiseco semicálido denominado BS₁ hw. Las zonas altas con pendientes hacia N y E representan sitios más

frescos y húmedos con un microclima comparable a los climas del tipo templado subhúmedo con lluvias en verano denominado C(W_o).

La precipitación promedio anual área es de aproximadamente 600 mm, rebasando la tasa de evapotranspiración, con las máximas en junio y septiembre. Un período menos lluvioso y muy cálido, llamado canícula o sequía de medio verano, se presenta con frecuencia en los meses de julio y agosto. La temperatura media anual oscila entre los 14 y 18°C dependiendo de la exposición y altura del sitio. El período más cálido se presenta en los meses de junio a julio con temperaturas medias de 21 a 22°C y máximas hasta encima de 35°C. El mes de enero es el más frío con temperaturas medias de 12 a 13°C y mínimas extremas de -10°C.

Según las definiciones establecidas para la sistemática estadounidense de suelos Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), el régimen de temperatura de los suelos corresponde al tipo "thermic" y el régimen de humedad al tipo "typic aridic" y "wet tempustic" (Van Wambeke, 1987).

Vegetación.

Las laderas de exposición N y O presentan en general un bosque natural de pino-encino o encino-fresno-cedro. En algunos lugares de alturas elevadas y con suelos profundos se encuentran poblaciones más densas de pino. Las pendientes de exposición S y E tienen un microclima más cálido y seco presentan una vegetación de matorrales submontanos hasta matorrales desérticos abiertos y chaparrales que denotan las condiciones más secas (Rojas-Mendoza, 1965; De Hoogh, 1986; Synnott & Marroquín, 1987).

Se debe tener en cuenta, que todos los tipos de vegetación presentes en esta zona de la Sierra Madre han sufrido una gran influencia destructiva, en lo que a la regeneración natural y a distribución y cantidad de especies vegetales se refiere, a partir del establecimiento de los pueblos

cercanos del Iturbide y Santa Rosa en los siglos 17 y 18. Desde entonces, numerosos hatos de ganado bovino y caprino, de caballos y asnos han tenido un impacto directo derivado del pastoreo y ramoneo. Aparte el ganado ha dejado una densa red de veredas, contribuyendo así a la erosión. Además los cortes de madera para la obtención de leña y estantes, ocotes y resina pura, han influenciado notablemente la diversidad y densidad de la vegetación (Synnott & Marroquín, 1987). Desde el año 1985 el área de estudio está cercada, evitando así el acceso al ganado.

Geología y geomorfología.

La Sierra Madre Oriental está compuesta geológicamente de rocas sedimentarias calizas de las épocas mesozóicas del Jurásico Superior, Cretácico Inferior hasta el Cretácico Superior (López, 1985). En el área de estudio se presentan rocas calizas macizas muchas veces dolomitizadas, y arenizas calizas duras muy resistentes a los procesos de intemperización, y sedimentos margosos calizos y lutitas areno-limosas a franco-arcillosas friables, en la mayor parte recalcificadas, material más susceptible a la descomposición y formación de suelos, pero también más afectado por procesos erosivos. Aparte de estos materiales mesozóicos aparecen depósitos sedimentarios de material fino hasta extremadamente gravoso, más recientes del Plioceno hasta el Holoceno, en las zonas bajas de acumulación, muchas veces como relleno de valles.

La morfología del área de estudio se caracteriza por un relieve muy acentuado con pendientes de 30-70%, expuestas al N, E y S, y poca superficies planas.

Metodología.

Durante los recorridos del área se detectaron y muestrearon los diferentes tipos de suelo y se describieron detalladamente por horizontes según los criterios establecidos por la Soil Survey Staff (1981) y por el grupo de trabajo de edafología de la República

Federal de Alemania (Arbeitsgruppe Bodenkunde, 1982). Para la denominación de los horizontes se adoptó la simbología usada en la leyenda revisada y ampliada del Mapa Mundial de Suelos de la FAO del año 1988 (FAO-UNESCO, 1988; Driessen y Dudal, 1989). Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León en Linares, N.L., basándose en la literatura correspondiente (Aguilar *et al.*, 1987; Hartge y Horn, 1989; Klute, 1986; López y López, 1985; Page *et al.*, 1982), para efectuar las siguientes determinaciones: a) textura de la tierra fina sin destrucción de materia orgánica, carbonatos y sesquióxidos con determinación combinada de tamices y areómetro según Casagrande/De Leenheer, b) pH y conductividad eléctrica con determinaciones potenciométricas, c) carbonatos totales con destrucción por ácidos y determinación gasvolumétrica según Schibler/Finkener, d) carbono orgánico a través de combustión húmeda y titulación según el Walkley/Black y nitrógeno total a través de digestión y titulación según el procedimiento semimicro-Kjeldahl para la caracterización de la materia orgánica, e) fósforo asimilable a través de captación con papel de filtro impregnado con hidróxido de hierro y determinación fotocolorimétrica según Menon (Menon *et al.*, 1989), f) potasio asimilable a través de intercambio con amonio y determinación por fotometría de llama según Schollenberger/Simon, g) hierro, manganeso, zinc y cobre disponible a través de extracción con DTPA-TEA y determinación por absorción atómica según Lindsay/Norvell. La clasificación 'Soil Taxonomy' de la Secretaría de Agricultura Estadounidense y el Servicio de Conservación de Suelos (USDA-SCS) del año 1975 (Soil Survey Staff, 1975), teniendo en cuenta que por limitaciones de equipo algunas determinaciones requeridas, como la determinación de la saturación de bases con el método NH_4OAc , la determinación del coeficiente de extensibilidad lineal (COLE), y el valor 'n', no fueron realizables o fueron reemplazadas por otras, como la determinación areométrica de textura de la tierra fina y la determinación de fósforo soluble.

RESULTADOS Y DISCUSION

El espectro de tipos de suelos en la Sierra Madre Oriental es muy variado. Como perteneciente a las zonas limítrofes del trópico, los procesos edafogenéticos perduraron durante un gran lapso de tiempo, que suele datar desde principios de la época del Terciario. Otra causa es el transcurso inconstante del clima a lo largo de las fases de formación de suelos (Schmidt-Lorenz, 1986). El clima en el Terciario estaba en general caracterizado por una temperatura media más elevada que la actual y, por consiguiente por procesos de intemperización más intensos y profundos. Por otro lado las épocas glaciales pleistocenas de las latitudes altas se manifestaron en las zonas subtropicales en una disminución continua de la temperatura media, un desequilibrio más pronunciado del clima (Schwarzbach, 1974) y de esta manera un cambio frecuente entre fases de estabilidad y fases de actividad morfogenética (Rohdenburg, 1970). Hace 20,000 a 10,000 años, durante la última época glacial se presentaron en México condiciones extremas de temperatura y precipitación altamente erosivas, que afectaron en gran escala a los suelos de ese entonces (Stearn *et al.* 1979; Watts & Bradbury, 1982; Hastenrath, 1985). El clima postpleistoceno en la Sierra Madre Oriental es predominantemente de carácter semiárido a árido y dominado por procesos de intemperización física, de acumulación de carbonatos y de erosión y no condujo a procesos edafogenéticos muy pronunciados.

La amplia variedad de tipos de suelos abarca desde suelos muy diferenciados, casi todos estratificados y frecuentemente profundos, muchas veces acumulados por procesos de erosión/acumulación, hasta suelos recientes, someros y decapitados por procesos erosivos. En las partes de pendiente acentuada, como en las zonas de cumbre y de laderas altas y medias muy escarpadas, se desarrollaron suelos poco profundos y erosionados. Aparte de su profundidad somera, estos suelos se caracterizan en las exposiciones N con pronunciada precipitación,

por un contenido alto de materia orgánica y valores de pH poco alcalinos a neutros por la lixiviación de bases. En las exposiciones S demuestran un contenido menor de materia orgánica y un valor de pH altamente alcalino debido a una fuerte concentración de carbonatos acumulados por falta de procesos continuos de lavado de bases. Contienen un alto porcentaje de material grueso y muchas veces de afloramientos rocosos. En pocos casos los subsuelos representan valores más altos en arcilla que los horizontes superficiales. Se trata aquí de subsuelos de paleosuelos erosionados y enterrados posteriormente por material húmico y menos arcilloso más reciente. Estos restos de paleosuelos son frecuentemente de un color más rojizo, que da una indicación a condiciones climáticas antiguas más cálidas y húmedas que hoy en día, que posibilitaron la rubefacción del material en estado descalcificado.

Los suelos de las zonas de pediente menos acentuada en las laderas bajas y zonas de valle, con mayor profundidad y efectos de erosión/acumulación, se caracterizan por un contenido variable de material grueso, muchas veces por una marcada estratificación. Como suelos muy diferenciados, son testigos de una edafogénesis antigua bajo un clima más húmedo y cálido con precipitaciones regulares, muchas veces policíclica y prolongada, que se conservaron como suelos fósiles en áreas protegidas de la erosión. Demuestran una fuerte intemperización hasta grandes profundidades y procesos de rubefacción, de lavado de arcillas, de descalcificación en periodos húmedos y cálidos y recalcificación secundaria en periodos climáticos más secos con estaciones de sequía y lluvia. La textura es fina y puede provocar problemas de drenaje en relieves cóncavos. El contenido de carbonatos es muchas veces alto debido a un aporte de carbonatos a través de un transporte lateral por el agua subterránea procedente de los suelos del área sobreyacente de la pendiente. Los contenidos de materia orgánica son medianos a altos. Suelos de pendiente N contienen un mayor porcentaje de materia orgánica que suelos de pendiente S y SE bajo condiciones más secas. Los suelos recientes

erosionados representan las condiciones bioclimáticas actuales de poca formación y diferenciación edáfica, con procesos de acumulación de carbonatos.

Características muy importantes con respecto al papel ecológico que desempeñan los suelos, son sus contenidos de carbonatos y de material grueso, como son piedras, gravas y concreciones calizas. En suelos calizos, sean suelos recientes o suelos diferenciados con acumulación de carbonatos, la cantidad total de carbonatos, provenientes de la roca madre y del agua subterránea, actúan como diluyente del volumen del suelo aprovechable por las plantas. Como material inerte los carbonatos no contribuyen a la retención de agua utilizable (Massoud, 1977) y disminuyen el contenido relativo de minerales arcillosos y partículas húmicas, responsables de intercambio de nutrientes disponibles y la liberación de compuestos nutritivos (Pagel *et al.*, 1982).

Una gran parte de los suelos del área de estudio muestran un contenido considerable de piedras, gravas, concreciones calizas y fragmentos de costras calizas, de tamaños finos hasta de bloques. Un contenido alto en material grueso condiciona, al igual que un contenido alto en carbonatos, una disminución adicional del volumen aprovechable. Un contenido en material grueso reduce por lo general el volumen total de raíces, la capacidad de retención de agua, el contenido de nutrientes aprovechables y los sitios de sorción, cohesión y adhesión (Wolff, 1990). Por otro lado un contenido alto en material grueso favorece la formación de espacios libres en el suelo aumentando por consiguiente la permeabilidad al aire y agua en el suelo superficial. La repartición del agua de las precipitaciones se mejora y por lo tanto puede efectuarse un almacenamiento mayor en el subsuelo a consecuencia de una permeabilidad acelerada y una capacidad de almacenamiento menor en el suelo superficial. Un contenido alto implica además una cierta protección contra procesos erosivos. En general la productividad de un suelo disminuye con el

aumento del contenido de material grueso (Munn, Harrington & McGirr, 1987).

Los cinco suelos aquí presentados en el transcurso fueron muestreados durante un estudio muy detallado para describir las condiciones edáficas en el terreno del Bosque Escuela de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Se trata de suelos característicos y muy representativos, que son mostrados aquí como tipos de suelo padrones, entre los cuales existe un gran número de diferentes tipos de suelo en transición, aumentando así notablemente el espectro de suelos. Primeramente se presentan dos suelos de exposición S, después tres de exposición N, avanzando de los suelos menos desarrollados y someros a los más diferenciados y profundos.

Perfiles de suelos de la sierra Madre Oriental sobre formaciones calizas mesozóicas en el Bosque Escuela de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en el municipio de Iturbide, N.L.:

Fecha de descripción y muestreo: 11.02-14.04 1989

Localidad: Municipio de Iturbide, N.L.

Elevación: 1.340-1.760 msnm

Coordenadas: Mapa "Detenal" G14C67 Iturbide X ⁴₁₂ y ²⁷₃₅

Perfiles con orientación hacia S:

Perfil No. 1 (Leptosol lítico (Lithosol)/Lithic Ustorthent):

Localidad específica: La Pinosa, Iturbide, N.L.

Elevación: 1,620 msnm

Coordenadas UTM: X ⁴₁₂⁸⁵ y ²⁷₃₂⁵⁵

Morfología: ladera media muy inclinada hacia SO, posición de erosión muy acentuada

Vegetación: bosque natural de pino alto y muy ralo (*Pinus pseudostrobus* dominante, *Juniperus flaccida* esporádico) en transición con matorral submontano subinermes mediano ralo (*Agave* spp. dominante)

Material original: desintegrado fuertemente alterado y trasladado, en parte enrojecido, de sedimento limoso carbonatado (lutita) del Cretácico Superior (formación Méndez)

Clasificación: FAO: Leptosol lítico, franco; USDA: Lithic Ustorthent, fine-loamy, calcareous, micro, thermic.

- 0- +1 cm 0 hojarasca poco descompuesta de acículas de pino y hojas de gramíneas, transición abrupta a
- 0- 10 cm Ahk pardo amarillento sin brillo (10YR 5/3-4 húmedo), coherente a poliédrico grueso, moderadamente firme, contenido mediano de raíces finas y medianas, húmico poco permeable, muy rico en carbonatos, franco-limoso, contenido mediano en material grueso (10% del vol. de fragmentos friables, finos de lutita muy descompuesta), transición clara a
- 10-100 cm 2Ck(R) fragmentos de lutita muy descompuesta, de color ocre a pardo amarillento, en parte enrojecido, friables a firmes, cubiertos en parte con CaCO_3 pulverulento, muy escasas raíces aisladas medianas y gruesas, muy poco permeable, con contenido muy bajo en tierra fina, transición gradual a
- >100 cm 2(C)Rk descompuesto de lutita firme, en parte friable, fragmentos parcialmente cubiertos con CaCO_3 pulverulento.

Características: perfil reducido y alterado por procesos erosivos, estratificado, en posición de erosión fuerte, con escasa profundidad enraizable; suelo superficial: franco-limoso, con contenido mediano en material grueso (en el subsuelo incipiente extremadamente pedregoso), húmico, con humus rico en bases y nitrógeno, con estructura medianamente desarrollada, moderadamente firme, moderadamente permeable al agua y aire (más permeable en el subsuelo), alcalino, extremadamente rico en carbonatos totales y activos; contenidos altos en K y Mn, adecuados en Fe y Cu y deficientes en P y Zn; capacidad de retención de agua baja, alto riesgo de desecación.

Perfil No. 2 (Calcisol háplico (Cambisol cálcico)/
Typic Ustochrept):

Localidad específica: Cañada Los Hormigueros, Iturbide, N.L.

Elevación: 1,340 msnm

Coordenadas UTM: X 4_{12}^{10} y 27_{34}^{70}

Morfología: ladera baja muy inclinada hacia S, posición de erosión acentuada

Vegetación: matorral submontano subinermes bajo y medianamente denso (*Quercus tuberculata* esporádicos)

Material original: desintegrado fuertemente alterado de sedimento limoso carbonatado (lutita) del Cretácico Superior (formación Méndez)

Clasificación: FAO: Calcisol háplico, franco; USDA: Typic Ustochrept, coarse-silty, calcareous, thermic

0- +1 cm 0 hojarasca no descompuesta de hojas de gramíneas transición abrupta a

0- 30 cm Ahk amarillo pardo grisáceo amarillo grisáceo oscuro (10 YR-2.5 y 4/2 húmedo), coherente a poliédrico fino, moderadamente firme, húmico), raíces finas abundantes (concentradas bajo gramíneas), moderadamente permeable, rico en carbonatos, franco-arenoso, bajo contenido en material grueso (10% del vol. de fragmentos friables, finos a medianos, muy descompuestos y redondeados de lutita), transición gradual a

30- 70 cm 2Bk amarillo pardo grisáceo a negro parduzco (10YR 3-4/2 húmedo), coherente a poliédrico fino, moderadamente firme, húmico, pocas raíces medianas a gruesas moderadamente permeable rico en carbonatos, franco, contenido medio en material grueso (20% del vol. de fragmentos friables, finos a medianos, muy descompuestos y

redondeados de lutita, aumentando en contenido hacia el 2Rk), transición abrupta a >100 cm 2Rk descompuesto friable y recalificado de lutita.

características: perfil muy intensamente alterado por procesos de erosión/acumulación, estratificado, en posición de erosión fuerte, de alta profundidad enraizable; suelo superficial: franco-arenoso (franco en el subsuelo profundo), con contenido mediano en material grueso, húmico, con humus rico en bases y nitrógeno, con estructura medianamente desarrollada, moderadamente firme, permeable al agua y aire, neutro, rico en carbonatos totales y activos; contenidos altos en K, Fe y Mn, adecuados en Cu, deficientes en P y Zn; capacidad de retención de agua mediana, con tendencia a la desecación en periodos secos prolongados.

Perfiles con orientación hacia N:

Perfil No.3 (Leptosol réndzico (Rendziña)/Petrocalcic Calciustoll):

Localidad específica: Cañada Las Pilas 2, Iturbide, N.L.

Elevación: 1,760 msnm

Coordenadas UTM: X 4₁₂⁰⁰ y 27₃₂⁵⁵

Morfología: ladera alta muy inclinada hacia NE, posición de erosión muy acentuada

Vegetación: bosque natural de pino-encino alto y alto cerrado (*Quercus cambyi*, *Q. cupreata*, *Pinus pseudostrobus* dominantes)

Material original: desintegrado fuertemente trasladado por deslizamientos, de caliza dura intemperizada, del Cretácico Superior (formación cúpido), cementadas y cubiertas intensamente con CaCO_3 , formando una brechia petrocálcica

0- +1 cm 0 hojarasca descompuesta de hojas de encino, entremezclada en 10% de área con piedras finas y medianas de caliza dura, en descomposición, transición abrupta a

0- 15(20) cm Ahk negro parduzco (10YR 2/2-3 húmedo), grumoso a poliédrico fino, muy mullido, muy húmico, raíces finas muy abundantes, muy permeable, muy rico en carbonatos, franco, contenido alto en material grueso (30% del vol. de piedras finas a medianas de caliza dura, cubierta con CaCO_3 duro, 20% del vol. de concreciones medianas y 5% del vol. de concreciones finas, duras de CaCO_3), transición neta a

30-50 cm Bk amarillo naranja sin brillo a pardo amarillento sin brillo a pardo (10 YR 6-4/3-4), poliédrico fino, moderadamente firme, húmico, abundantes raíces, poco permeable, rico en carbonatos, franco, alto contenido en material grueso (30% de vol. de piedras medianas a gruesas de arenisca caliza duras y 5% de vol. de concreciones medianas y friables a petrocálcicas de CaCO_3), transición gradual a

50-115 cm 2Ck amarillo claro a amarillo descolorido (2.5 y 7/3-8/4), coherente, moderadamente firme, húmico, muy escasas raíces, muy poco permeable, extremadamente rico en carbonatos, franco-arcillo-arenoso, muy alto contenido en material grueso (60% de vol. de piedras medianas a gruesas de arenisca caliza duras en estratos ligeramente inclinados de 5 a 10 cm de espesor), transición gradual a

>115 cm 2Rk arenisca caliza dura muy intemperizada.

Características: Perfil intensamente alterado por procesos erosivos, en posición de erosión fuerte, de alta profundidad enraizable; suelo superficial: franco, con contenido alto en material grueso (en el subsuelo franco-

arcillo-arenoso con muy alto contenido en material grueso), muy húmico, con humus rico en bases y nitrógeno, con estructura muy desarrollada, moderadamente firme, moderadamente permeable al agua y aire (muy permeable en el subsuelo), neutro y pobre en carbonatos (en el subsuelos cambiando a alcalino y rico en carbonatos); contenidos altos en K, Fe, Mn y Cu, marginales en Zn y deficientes en P, contenidos en K, Fe y Cu disminuyendo mucho con la profundidad; capacidad de retención de agua mediana, con tendencia a la desecación en períodos secos y prolongados.

Perfil No. 5 (Luvisol cálcico/Typic Haplustalf):

Localidad específica: Cañada Los Hormigueros, Iturbide, N.L.

Elevación: 1,380 msnm

Coordenadas UTM: X ⁴₁₁⁷⁵ y ²⁷₃₄⁷⁰

Morfología: ladera baja poco inclinada hacia NE, posición de acumulación/erosión

Vegetación: matorral submontano subinermes bajo (Quercus tuberculata, Pinus cembroides esporádicos)

Material original: desintegrado fuertemente alterado y trasladado, de sedimento de textura limoso carbonatado (lutita) del Cretácico Superior (formación Méndez)

Clasificación: FAO: Luvisol cálcico, franco sobre arcilloso; USDA: Typic Haplustalf, fine-silty over clayey, calcareous, thermic.

0- +1 cm 0 hojarasca no descompuesta de hojas de gramíneas, transición abrupta a

0- 20 cm Ahk pardo grisáceo a pardo (7.5 YR 4/2-3 húmedo), poliédrico, moderadamente firme, húmico, raíces finas abundantes, poco permeable, rico en carbonatos, franco-arcillo-arenoso, moderado contenido en material grueso (15% del vol. de fragmentos friables, finos a medianos de lutita), transición gradual a

20- 40 cm 2Btk1 pardo sin brillo a pardo brillante (7.5 YR 5-4/6 húmedo), poliédrico fino, con agregados de cantos pronunciados, mullido a moderadamente firme, muy poco húmico, pocas raíces medianas y gruesas, moderadamente permeable, rico en carbonatos, franco-arcilloso, contenido en material grueso moderado (15% del vol. de fragmentos friables, finos a medianos de lutita), transición neta a

40- 70 cm 2Btk2 pardo (7.5 YR 4/4-6 húmedo), poliédrico fino, con agregados cubiertos con CaCO₃ pulverulento, de cantos pronunciados, firme, muy poco húmico, muy escasas raíces gruesas, poco permeable, rico en carbonatos, arcilloso, contenido mediano en material grueso (25% del vol. de fragmentos friables, finos a medianos, redondeados de lutita), transición neta a

70-100 cm 3Cmk pardo pardo brillante, pardo sin brillo a naranja sin brillo (10 YR 4-6/3-6 húmedo), coherente, moderadamente firme, muy poco húmico, muy escasas raíces gruesas, poco permeable, muy rico en carbonatos, franco, bajo contenido en material grueso (10% del vol. de fragmentos friables, finos a medianos, redondeados de lutita), transición abrupta a

>100 cm 3(C)Rk descompuesto friable y recalcificado de lutita.

Características: Perfil muy intensamente desarrollado, alterado por procesos de erosión/acumulación, en posición de erosión/acumulación, de alta profundidad enraizable; suelo superficial: franco-limoso, con contenido mediano en material grueso (aumentando considerablemente en contenido de arcilla en el subsuelo), muy húmico, con humus

rico en bases y nitrógeno, con estructura muy desarrollada, moderadamente firme, moderadamente permeable al agua y aire (poco permeable en el subsuelo bajo), alcalino, muy rico en carbonatos; contenidos altos en K y Cu, adecuados en Fe y Cu, marginales en P y

deficientes en Zn, contenidos en Mn y Cu disminuyendo mucho con la profundidad; capacidad de retención de agua alta, con tendencia a la desecación en periodos secos y prolongados, pero también a la retención después de precipitaciones fuertes debido al subsuelo poco permeable.

DATOS Y CONCLUSIONES

Cuadro 1. Textura de los suelos analizados.

	Profundidad cm	Material grueso % de vol.	Textura	Análisis granulométrico (tierra fina < 2 mm)							
				Ag	Am	Af	Lg	Lm	Lf	Arc	
Perfil 1											
Ahk	-10	10.0 x2	fr	17.5	16.7	15.0	7.0	12.8	10.1	20.9	
Perfil 2											
Ahk	-30	10.0 x2	fr	15.9	11.3	8.8	20.1	14.4	11.4	18.1	
2Bk	-70	20.0 x3	fr-li	7.5	7.2	5.8	18.5	20.7	20.5	19.8	
2(B)Ck	-100	90.0 X	fr	16.3	9.7	5.6	11.6	13.8	17.3	25.7	
Perfil 3											
Ahk	-15	50.0 xc4	fr	13.7	20.9	6.6	18.6	12.6	10.2	17.4	
Perfil 4											
Ah	-30	35.0 xc4	fr-li	1.0	1.8	7.1	22.0	27.8	19.6	20.7	
2Bk	-50	35.0 xc4	fr-li	4.9	10.7	10.5	22.9	21.3	11.5	18.2	
3Ck	-115	60.0 x5	fr	6.3	14.5	24.3	10.6	10.3	12.4	21.6	
Perfil 5											
Ahk	-20	15.0 x3	fr-li	6.6	8.3	4.0	34.8	12.5	11.5	22.2	
2Btk1	-40	15.0 x3	fr-ac	6.5	6.1	10.7	13.2	15.2	15.2	35.0	
2Btk2	-70	25.0 x3	ac	6.6	5.9	4.5	11.1	10.9	10.9	48.1	
3Cmk	-100	10.0 x2	fr	18.9	20.2	9.3	2.4	9.2	9.2	19.4	

Fracciones texturas: Ag: arena gruesa (2-0.63 mm); Am: arena media (0.63-0.2 mm); Af: arena fina (0.2-0.063 mm); Lg: limo grueso (0.063-0.02 mm); Lm: limo medio (0.02-0.0063 mm); Lf: limo fino (0.0063-0.002 mm); Arc: arcilla (<0.002 mm) (Arbeitsgruppe Bodenkunde, 1982); material grueso: c: concreciones calizas, x: piedras y fragmentos de lutita, con combinaciones, l: <1 % de vol., 2: 1-10, 3: 10-30, 4: 30-50, 5: 50-75, letras en mayúscula: >75 texturas: ar: arenoso, fr: franco, li: limoso, ac: arcilloso, y combinaciones (según Arbeitsgruppe Bodenkunde, 1982).

Cuadro 2. Contenidos de carbonatos totales y activos, carbono orgánico, nitrógeno total, pH y conductividad eléctrica de los suelos analizados.

	Profundidad	CaCO ₃ total	Corg	Nt	C/N	pH	CE 1:5
	cm	%	%	%		CaCl ₂	mS/cm
Perfil 1							
Ahk	-10	35.2 F	1.7 D	0.22 D	7.7 E	7.8	0.08 A
Perfil 2							
Ahk	-30	23.0 E	2.3 D	0.20 D	11.5 D	7.8	0.11 A
2Bk	-70	18.2 E	1.5 D	0.21 D	7.1 E	7.9	0.11 A
2(B)Ck	-100	18.8 E	1.1 C	0.17 D	6.5 E	7.9	0.12 A
Perfil 3							
Ahk	-15	26.6 F	3.8 E	0.15 D	25.3 A	7.8	0.23 B
Perfil 4							
Ah	-30	1.1 C	1.5 D	0.15 D	10.0 D	7.3	0.15 A
2Bk	-50	19.1 E	1.3 D	0.14 D	9.3 E	7.7	0.11 A
3Ck	-115	66.1 H	0.6 C	0.08 C	7.5 E	7.8	0.10 A
Perfil 5							
Ahk	-20	13.3 E	1.6 D	0.25 E	6.4 E	7.8	0.11 A
2Bt11	-40	25.1 F	0.4 C	0.07 B	5.7 E	7.8	0.09 A
2Bt12	-70	24.9 E	0.3 C	0.06 B	5.0 E	7.8	0.10 A
3Cmk	-100	42.3 F	0.1 B	0.02 A	5.0 E	7.9	0.12 A

CaCO₃: caliza; Corg: carbono orgánico; Nt: nitrógeno total; C/N: relación carbono a nitrógeno como caracterización del humus; pH: potencial del hidrógeno; C.E.: conductividad eléctrica. Valoraciones: CaCO₃ total: A: 0%, B: <0.5%, C: 0.5-2%, D: 2-10%, E: 10-25%, F: 25-50%, G: 50-75%, H>75%; Corg: A: 0%, B: <0.2%, C: 0.2-1.2%, D: 1.2-2.9%, E: 2.9-5.8%, F: 5.8-8.7%, G: 8.7-17.4%, H: >17.4%; Nt: suelos arenosos: A: <0.025%, B: 0.025-0.05%, C: 0.05-0.075%, D: 0.075-0.15%, E: >0.15%, suelos francos: A: <0.05%, B: 0.05-0.075%, C: 0.075-0.15%, D: 0.15-0.25%, E: >0.25%, suelos arcillosos: A: <0.075%, B: 0.075-0.1%, C: 0.1-0.2%, D: 0.2-0.4, E: >0.4%; C/N: A: >25, B: 25-20, C: 20-15, D: 15-10, E: <10, (F: <5); C.E.: A: <0.2 mS/cm, B: 0.2-0.4 mS/cm, C: 0.4-0.8 mS/cm, D: 0.8-1.6 mS/cm, E: >1.6 mS/cm (según Pagel *et al.*, 1982, Arbeitsgruppe Bodenkunde, 1982, Kretschmar, 1986, Scheid-Lopes, 1989).

Cuadro 3. Nutrientes disponibles de los suelos analizados.

	Profundidad cm	Nutrientes disponibles (solubles en bicarbonato-Na, pH 8.5, acetato-NH ₄ , pH 7.0 y DTPA-TEA-CaCl ₂ , pH 7.3)					Cu ppm
		P ppm	K ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	
Perfil 1 Ahk	-10	0.5 A	192 D	4.8 C	9.2 E	0.6 A	0.6 C
Perfil 2 Ahk	-30	3.0 B	268 D	7.6 C	7.9 D	0.4 A	0.6 D
2Bk	-70	2.5 B	276 D	6.4 C	8.0 E	0.4 A	0.8 D
2(B)Ck	-100	2.5 B	258 D	5.7 C	8.5 E	0.4 A	0.8 D
Perfil 3 Ahk	-15	4.0 B	320 E	46.2 E	326 E	7.2 E	0.4 B
Perfil 4 Ah	-30	3.5 B	362 E	12.3 D	9.3 E	0.6 A	1.0 D
2Bk	-50	3.0 B	226 D	4.5 C	6.3 D	0.5 A	0.8 C
3Ck	-115	4.0 B	182 D	1.8 A	1.5 B	0.4 A	0.4 B
Perfil 5 Ahk	-20	3.0 B	704 E	7.7 C	9.9 E	0.6 A	0.6 C
2Btk1	-40	2.5 B	336 E	4.6 C	6.5 D	0.4 A	0.6 C
2Btk2	-70	2.0 B	334 E	4.3 C	6.7 D	0.4 A	0.6 C
3Cmk	-100	3.0 B	200 D	2.9 B	3.3 C	0.2 A	0.2 A

Fracciones de nutrientes disponibles: A: deficiente, B: marginal, C: adecuado, D: alto, E: muy alto. Valoraciones: P: A: <2 ppm, B: 2-5 ppm, C: 5-10 ppm, D: 10-20 ppm, E: >20 ppm; K: A: <90 ppm, B: 90-130 ppm, C: 130-175 ppm, D: 175-300 ppm, E: >16 ppm; Zn: A: <1 ppm, B: 1-1.5 ppm, C: 1.5-3 ppm, D: 3-5 ppm, E: >5 ppm; Cu: A: >0.3 ppm, B: 0.3-0.5 ppm, C: 0.5-1 ppm, D: 1-1.5 ppm, E: >1.5 ppm (según Pagel *et al.*, 1982, Texas Agriculture Extension Service, 1988).

Cuadro 4. Tipos de suelo.

	FAO (1988)/FAO-Legend	USDA (1975)/Soil-Taxonomy
Perfil 1	Leptosol lítico, franco	Lithic Ustorthent, fine-loamy, calcareous, micro, thermic
Perfil 2	Calcisol háplico, franco	Typic Ustochrept, coarse-silty, calcareous, thermic
Perfil 3	Leptosol réndzico, franco, fase rúdica	Petrocalcic Calciustoll, loamy-skeletal, micro, thermic
Perfil 4	Castañozem cálcico, franco	Typic Calciustoll, fine-silty, thermic
Perfil 5	Luvisol cálcico, franco sobre arcilloso	Typic Haplustalf, fine-silty over clayey, calcareous, thermic

Los suelos de la Sierra Madre Oriental muestran un espectro muy amplio de suelos calizos y alterados por procesos erosivos, con diferente intensidad de desarrollo según la exposición del sitio específico. En el área de estudio predominan en las exposiciones secas de S y SO suelos someros o poco diferenciados, de las unidades de suelo de los Leptosoles líticos, Cambisoles calcáricos y Calcisoles háplicos, en las exposiciones más húmedas de N y NE suelos muchas veces más profundos y diferenciados, de las unidades de suelo de los Leptosoles réndzicos y Castañozemes cálcicos (Woerner, 1990). Los tipos de vegetación están claramente definidos por el régimen de humedad, dependiendo de la exposición en barlovento o sotavento. Laderas expuestas hacia N y NE y más lluviosas, permiten el crecimiento de bosques naturales altos y densos, por mientras laderas secas de S y SO son cubiertas con vegetaciones más bajas y ralas de matorrales y chaparrales con pocos arbustos y árboles esporádicos, dejando crecer esporádicamente en algunos sitios modestos bosques naturales bajos y ralos (De Hoogh, 1986, Synnott & Marroquín, 1987).

Los dos suelos en exposición S presentados un Leptosol lítico y un Calcisol háplico, se desarrollaron sobre lutitas y se caracterizan por una transición típica muy desdibujada entre el propio material edáfico y la lutita ligeramente intemperizada pero ocupada por raíces medianas y gruesas de la vegetación arbustiva y arbórea. Poseen suelos superficiales de colores poco oscuros, con altos contenidos en materia orgánica y muy altos contenidos de carbonatos totales. En cambio los tres suelos en exposición N, un Leptosol réndzico, un Castañozem cálcico y un Luvisol cálcico sobre lutitas, material descompuesto de origen de caliza dura y marga caliza junto con areniza caliza, se diferencian de los suelos en las exposiciones S por un suelo superficial menos calizo y más oscuro, aunque no necesariamente con mayor contenido de materia orgánica, lo que puede atribuirse a la mayor intensidad y menor luminosidad a la hojarasca producida por la vegetación de bosque de pino-encino. Los perfiles son, excepto el Leptosol réndzico

somero, más diferenciados en varios subhorizontes del horizontè B y a más profundidad.

La vegetación ejerce una gran influencia sobre el desarrollo de los suelos. Las exposiciones N poseen coberturas vegetales muy densas y diversificadas y con un mejor cubrimiento del suelo. Por esta razón existe una mayor retención de humedad y finalmente una intemperización química más intensa y prolongada. Las exposiciones S se caracterizan por una vegetación incompleta y por lo tanto un régimen de humedad más brusco e irregular. Aparte de la erosión predomina la intemperización física como factor principal del desarrollo edáfico.

A través de la resistencia a los procesos de intemperización el material geológico influye sobre el desarrollo de los suelos. En comparación con las calizas duras las lutitas son menos consolidadas y por su frecuente estratificación y plegamiento más fácilmente penetrables por las raíces y más susceptibles al humedecimiento y por lo tanto a la desintegración química. Aparte contienen, como también las margas presentes en el área de estudio, menos carbonatos y requieren menos tiempo en transformarse en residuos edáficos empobrecidos en carbonatos. Un menor espesor del suelo superficial y una coloración más clara son además resultado también de los efectos de la erosión. Por ser erosionados frecuentemente, la capa superficial y rica en materia orgánica es continuamente removida, dejando un suelo decapitado. En las exposiciones S se establece rápidamente un sistema constante, que rebaja la productividad de los suelos partiendo en la pérdida de suelo y terminando en coberturas vegetales muy bajas y escasas, que no contribuyen nada como protectores del suelo superficial. Esto conduce a un empeoramiento de las condiciones del crecimiento vegetal ya en sí marginales por la escasez de humedad.

Un manejo adecuado de las vegetaciones de bosques naturales y matorrales debe considerar estos diferentes potenciales de crecimiento vegetal, si quiere ser exitoso. Por esta

razón los suelos de las exposiciones S deben ser excluidos, por mientras, del manejo, sobre todo del pastoreo por cabras. Solamente los suelos de las exposiciones N, por poseer una cobertura vegetal bastante densa y resistente al impacto humano, pueden ser aprovechados para la producción adecuada de recursos forestales, que implica siempre una cosecha localizada junto con la replantación directa de nuevos árboles para prevenir la formación de áreas despejadas y susceptibles a la erosión.

AGRADECIMIENTOS

Deseo mostrar mis agradecimientos a la TLQ María del Refugio Bravo Garza y al TLQ Victor Leal Gauña por su gran ayuda en los análisis presentados.

LITERATURA CITADA

- AGUILAR S., A., J.D. ETCHEVERS B. y J.Z. CASTELLANOS R.** (Eds). 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, Méx.
- ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE.** (Eds). 1982. Bodenkundliche Kartieranleitung. 3a. edición. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Estutgado, Alemania.
- DE HOOGH, R.J.** 1986. Bosque escuela Iturbide: Formación, investigación y desarrollo rural en la Sierra Madre del Noreste de México. Schriften an der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt 84: 147-159.
- DRIESSEN R.F. y R. DUDAL.** (Eds). 1989. Lecture notes on the geography, formation and use of the major soils of the world. Agricultural University Wageningen, Países Bajos, Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica.
- FAO-UNESCO** 1988. Soil map of the world. Revised legend. World sources Report 60. Roma, Italia.
- GARCIA, E.** 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 4a. edición. UNAM, México, D.F.
- HARTGE, K.H. y R. HORN.** 1989. Die physikalische Untersuchung von Böden. F. Enke, Estutgado, Alemania.
- HASTENRATH, S.** 1985. Climate and circulation of the tropics. Reidel, Boston, MA.
- KLUTE, A.** (Ed). 1986. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2a. edición. American Society of Agronomy, Inc, Soil Science of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- KÖPPEN, W.** 1931. Grundriß der Klimakunde. 2a. edición. De Gruyter, Berlin, Alemania.
- KRETSCHMAR, R.** 1986. Kulturtechnisch-bodenkundliches Praktikum. 5a. edición. Universidad de Kiel, Kiel, Alemania.
- LOPEZ R., E.** 1985. Geología de México, Tomo 2. 3a. edición. UNAM, México, D.F.
- LOPEZ R., J. y J. LOPEZ M.** 1985. El diagnóstico de suelos y plantas. 4a. edición. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- MASSOUD, F.I.** 1977. Some physical properties of highly calcareous soils and the related management practices. FAO Soils Bulletins 21: 73-93.
- MENON, R.G., L.L. HAMMOND y H.A. SISSINGH.** 1989. Determination of plant-available phosphorus by the iron hydroxide-impregnated filter paper (P_i) soil test. Soil Science Society of America Journal 53: 110-115.
- MUNN, L.N. HARRINGTON y D.R. McGIRR.** 1987. Rock fragments. In: Williams, R.D. y E. Schumann (Eds) 1987. Reclaiming mine soils and overburden in the Western United States. Soil Conservation Society of America, Ankeny, I.A.

MUNSELL COLOR COMPANY. 1975. Munsell Soil Color Charts. Munsell Color, Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Boston, MA.

PAGE, A.L., R.H. MILLER y D.R. KEENEY. (Eds). 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2a. edición. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science of America, Inc., Madison, Wisconsin.

PAGEL, H., J. ENZMANN y H. MUTSCHER. 1982. Pflanzennährstoffe in tropischen Böden-ihre Bestimmung und Bewertung. 1a. edición. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, Alemania.

ROHDENBURG H. 1970. Morphodynamische Aktivitäts- und Stabilitätszeiten statt Pluvial- und Interpluvialzeiten. Eiszeitalter und Gegenwart 21: 81-96.

ROJAS-MENDOZA, P. 1965. Generalidades sobre la vegetación del estado de Nuevo León y datos acerca de su flora. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F. (Tesis doctoral).

SCHEID-LOPES, A. 1989. Manual de fertilidade do solo. Associação nacional para difusão de adubos e corretivos agrícolas, São Paulo, Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, Piracicaba, Brasil.

SCHMIDT-LORENZ, R. 1986. Die Böden der Tropen und Subtropen. In: v. Blankenburg, P. y Cremer, H.D. (Eds). Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern. Vol. 3 Rehm, S. (Ed). Grundlagen des Pflanzenbaues in den Tropen und Subtropen. 2a. edición. Ulmer, Stuttgart, Alemania.

SCHWARZBACH, M. 1974. Das Klima der Vorzeit. F. Enke, Stuttgart, Alemania.

SOIL SURVEY STAFF. 1981. Soil survey manual Soil Conservation Service, US Department of Agriculture Handbook 18, US Government Printing Office, Washington, D.C.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil-Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpretation soil surveys. US Department of Agriculture Handbook 436, US Government Printing Office, Washington, D.C.

SYNNOTT, J.T. y J.S. MARROQUIN. 1987. Ecología forestal del terreno de Santa Rosa, Iturbide, Nuevo León. Reporte Científico 6, Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L.

TEXAS AGRICULTURAL EXTENSION SERVICE. 1988. Soil testing procedures. The Texas A&M University Systems, US Department of Agriculture, Country Commissioners' Courts of Texas Cooperating, College Station, TX.

VAN WAMBEKE, A. 1987. Soil moisture and temperature regimes of Central America, Caribbean and Mexico. Soil Conservation Service, US Department of Agriculture, SMSS Technical Monograph 16, Washington, D.C.

WATTS, W.A. y J.P. BRADBURY. 1982. Paleocological studies at Lake Patzcuaro on the West-Central Mexican Plateau at Chalco in the Basin of Mexico. Quaternary Research 16: 56-70.

WOERNER, M. 1990. Los suelos del Bosque Escuela de la UANL en la Sierra Madre Oriental, Iturbide, N.L. Reporte Científico 20, Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L.

WOLFF, P. 1990. Ödland- und Ackerbodenentsteinung-eine Möglichkeit zur Steigerung der Agrarproduktion in den Subtropen. Der Tropenland-wirt 91: 85-96.

**ESTIMACION DE LOS EFECTOS DE CLIMA Y TECNOLOGIA SOBRE
LOS RENDIMIENTOS DE MAIZ DE TEMPORAL EN EL AREA DEL
PLAN PUEBLA, PERIODO 1967-1988**

**An Assessment of Weather and Technology Effects on
the Yields of Rainfed Corn in the Plan Puebla
Area for the 1967-1988 Period**

Claudio Esquivel Alvarez

**CEICADAR, Colegio de Postgraduados, Apartado Postal I-12
La Libertad, 72130 Puebla, Pue.**

*Palabras clave: Variabilidad climática, Cambio
tecnológico, Agricultura de temporal.*

*Index words: Weather variability, Technology
change, Rainfed agriculture.*

RESUMEN

Como un medio para evaluar los logros del Plan Puebla como programa de desarrollo agrícola se estiman anualmente los rendimientos de maíz obtenidos por los agricultores de su área de influencia. En esta área la mayor parte del maíz se produce en condiciones de temporal por lo que los rendimientos presentan tanto el efecto de la variabilidad en los factores climáticos como el del posible cambio en los niveles tecnológicos empleados por los agricultores. En este trabajo se estimaron los efectos de clima a partir de los rendimientos de tratamientos mantenidos constantes en experimentos y en lotes que se establecieron desde 1974 con esta finalidad. Una vez calculados, los efectos de clima se aplicaron a los rendimientos estimados de maíz y por diferencia entre estos rendimientos ajustados

por clima respecto a los observados se estimaron los efectos atribuibles al cambio tecnológico. De acuerdo con los efectos de clima calculados se observó una frecuencia de 23.8% de años excelentes para la producción de maíz, 38.1% de benignos, 14.3% de limitativos y 23.8% de desastrosos. En relación a los efectos atribuibles al cambio tecnológico se observó que en el período 1969-1975 se obtuvo un incremento gradual y moderado con una media de 15.6%, en tanto que en el período 1976-1981 los incrementos fueron mayores y con una media del 38.9%. Para el periodo 1969-1988 el efecto medio de tecnología fue del 15.8%.

SUMMARY

Corn yields obtained by small-landholders are annually estimated as a means to assess the impact of Plan Puebla, an agricultural development program.

In the Plan Puebla area, corn is produced mostly under rainfed conditions, thus the estimated yields are affected by the weather variability as well as by the changes in the technology used by the farmers. In this study the weather effects were estimated from the yields of treatments which were held constant in on-farm experiments and plots conducted for

this purpose since 1974. Once obtained, the weather effects were applied to the estimated yields and the technology effects were calculated by subtracting the adjusted yields from the observed yields.

It was found that the corn cropping seasons can be considered excellent in 23.8% of the years, 38.1% favorable, 14.3% limited and 23.8% disastrous.

In respect to the effects attributed to the changes in the farmers' technology, the study showed that in the period 1969-1975 there was a gradual moderate change averaging 15.6%, whereas in the period 1976-1981 the increments due to technology averaged 38.9% and for the period 1969-1988 the average effect was 15.8%.

INTRODUCCION

El Plan Puebla se estableció en 1967 con el propósito de incrementar la producción de cultivos básicos y los niveles de ingreso a través del desarrollo y de la difusión de tecnologías de producción acordes a las condiciones ecológicas locales, así como a las características socioeconómicas de los agricultores minifundistas del área.

Con el propósito de estimar el impacto del Plan anualmente se estiman, mediante muestreo, los rendimientos de maíz obtenidos por los agricultores de su área de influencia. En esta forma, se asume que los incrementos en los rendimientos anuales resultan de un mayor uso de las tecnologías recomendadas. Sin embargo, siendo el maíz un cultivo de temporal, dichos rendimientos también son afectados por la variabilidad en los factores climáticos. Por lo tanto, para determinar el impacto del Plan Puebla sobre los rendimientos de maíz los efectos climáticos y los efectos de la tecnología deben ser determinados.

Una primera evaluación de dichos efectos fue realizada para el período 1967-1972 (CIMMYT, 1974) utilizando como base para la estimación de los efectos de clima datos de

experimentos de dosis de fertilizantes. La diferencia entre los rendimientos ajustados por clima y los rendimientos observados permitió determinar los efectos atribuibles a los cambios de tecnología. Este estudio sugirió que el cambio en la tecnología empleada por los agricultores permitió incrementar los rendimientos de maíz en aproximadamente un 30% en el período 1967-1972.

La conjugación de los eventos climáticos adversos confieren un considerable porcentaje de riesgo a la producción de maíz y otros cultivos en el área del Plan Puebla. Recientemente Turrent (1986) determinó que, en la parte centro noroeste del área, la variabilidad en la precipitación, la presencia de heladas en la primera quincena de septiembre y la ocurrencia de vientos huracanados en el mes de mayo son los principales eventos climáticos que afectan los rendimientos de maíz. Al calcular las probabilidades conjuntas de ocurrencia de dichos fenómenos y asociarlos con los rendimientos de maíz observados en una serie de experimentos, este autor encontró que 28% de los ciclos agrícolas puede clasificarse como benigno, 37% como limitativo y 6% como desastroso.

Por lo anterior se plantea como objetivo de este estudio el de determinar los efectos de tecnología y clima sobre los rendimientos en el área del Plan Puebla durante el período de 1967 a 1988 como un medio de evaluar el impacto de este programa en la producción de maíz.

MATERIALES Y METODOS

En el presente estudio se evaluaron los efectos de clima y tecnología sobre los rendimientos medios anuales de maíz estimados para la muestra de todos los agricultores del área. Para la estimación de los efectos de clima se utilizaron los datos de rendimiento de maíz obtenidos en experimentos de fertilización y ensayos simples denominados lotes climatológicos. A continuación se hará

referencia a la obtención de dichos datos y se describirán los métodos empleados.

Estimaciones Anuales de los Rendimientos de Maíz obtenidos por los Agricultores.

De 1967 a la fecha se han realizado estimaciones anuales de los rendimientos de maíz obtenidos por los agricultores como un medio de evaluar el impacto del Plan Puebla. Estas estimaciones se han realizado siguiendo un muestreo trietápico (Díaz, 1985) en el que en una primera etapa se muestrea el área con segmentos de 120 ha mediante el uso de fotografías aéreas, para en una segunda etapa muestrear parcelas dentro de los segmentos y, en la tercera, muestrear sitios dentro de la parcela.

Las estimaciones de rendimientos se han realizado considerando dos categorías de agricultores: a) los que aparecen en listas de crédito y b) todos los agricultores con y sin crédito. En el presente estudio únicamente se analizaron los efectos de clima y tecnología sobre los rendimientos medios de todos los agricultores del área (YGRAL). La serie de tiempo que indica los rendimientos anuales (Díaz, 1985; Programa Evaluación del Plan Puebla, comunicación personal) en el período 1967-1988 se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Rendimientos medios anuales en kg ha^{-1} correspondientes a todos los agricultores del área (YGRAL) y a un tratamiento incluido en experimentos de fertilización y en lotes climatológicos (YTTR).

Año	YGRAL	YTTR	Año	YGRAL	YTTR
1967	1300	2303	1978	3011	2396
1968	2091	2394	1979	2803	2255
1969	1662	1963	1980	3096	2863
1970	1917	2035	1981	3095	2341
1971	1883	1892	1982	1300	1794
1972	2442	2250	1983	1000	1582
1973	2552	2250	1984	2281	2558
1974	1714	1649	1985	2664	2985
1975	2099	2044	1986	2008	2233
1976	3356	2599	1987	2172	2648
1977	2953	2708	1988	1523	1695

Rendimientos de Maíz obtenidos en Experimentos de Fertilización y en Lotes Climatológicos

El programa de Investigación del Plan Puebla ha realizado desde 1967 investigación con el propósito de generar tecnologías sobre aspectos de fertilización y otras prácticas de producción de maíz. En la mayoría de los años, los experimentos de fertilización incluyeron el tratamiento 50-25-10-30000 (las cantidades corresponden a kg ha^{-1} de N, P_2O_5 y K_2O y plantas ha^{-1} , respectivamente), de manera que la variabilidad en sus rendimientos medios anuales será un indicador de la variabilidad en las condiciones climáticas.

La razón por la que se eligió este tratamiento fue porque es similar a la tecnología tradicional media empleada en 1967 por el 69.3% de los agricultores (CIMMYT, 1974), por lo que se utilizará para hacer referencia al nivel tecnológico tradicional. Debe indicarse que en algunos años los experimentos no incluyeron exactamente estos niveles de fertilización y densidad de población, por lo que en tales casos los rendimientos se extrapolaron de tratamientos con combinaciones similares.

Dado que los experimentos no mantenían tratamientos constantes de un año a otro y que no se distribuían uniformemente en el área de influencia, en 1974 se decidió iniciar el establecimiento de los denominados lotes climatológicos con el propósito específico de evaluar los efectos de clima y tecnología sobre los rendimientos de maíz. Para ello, en cada uno de los 16 agrosistemas definidos se establecieron uno o más lotes dependiendo de la superficie del agrosistema. Estos ensayos incluyen una serie de tratamientos que se mantienen constantes en todos los años, sin repetición a nivel de sitio pero repetidos a nivel de agrosistema y/o años, de manera que las diferencias entre sitios dentro de años proporcionan una estimación de efecto de la variabilidad de los factores de sitio y las diferencias entre años permiten evaluar el efecto de la variabilidad de los factores asociados con años, principalmente los efectos climáticos. Estos lotes se han establecido

con agricultores cooperantes y su manejo es similar al de los experimentos convencionales.

Entre los tratamientos incluidos en estos lotes se tienen al 50-25-10-30000, así como los correspondientes a las recomendaciones de capital limitado e ilimitado para el agrosistema respectivo. Para los fines del presente estudio sólo se emplearon los rendimientos medios anuales para toda el área del tratamiento 50-25-10-30000 (YTTR). Estos rendimientos y los obtenidos por el mismo tratamiento en los experimentos de fertilización fueron expresados como el 80% de los rendimientos experimentales a fin de aproximar a los rendimientos que se podrían obtener en condiciones comerciales de producción.

Con el propósito de cubrir el período 1967-1988, los rendimientos medios del tratamiento 50-25-10-30000 obtenidos en los experimentos de fertilización en el período 1967-1973 se complementaron con los rendimientos obtenidos por el mismo tratamiento en los lotes climatológicos en el período 1974-1988. Estos rendimientos se presentan en el Cuadro 1.

Estimación de los Efectos de Clima y Tecnología.

La variabilidad en los rendimientos medios anuales de maíz para la muestra de todos los agricultores del área (YGRAL) es una resultante de la variabilidad anual de los factores de clima así como de los posibles cambios en los niveles tecnológicos empleados.

Para determinar los efectos de clima y del cambio tecnológico, se siguió el procedimiento utilizado por el CIMMYT (1974) para estimar estos efectos para el período 1967-1973.

El procedimiento consiste en tomar como base los rendimientos medios de YTTR para el año 1968 y a partir de ellos estimar los cambios en los rendimientos en los años subsiguientes de manera que dichos cambios, expresados como porcentajes, indiquen cuánto

por concepto de clima un año fue similar, más benigno o más limitativo que 1968.

Al multiplicar estos porcentajes por el rendimiento YGRAL se obtuvo una estimación de los rendimientos ajustados por clima, bajo el supuesto de ausencia de efecto tecnológico. En esta forma, las diferencias entre los rendimientos YGRAL observados y los ajustados por clima se asume que representan el efecto atribuible al cambio en la tecnología utilizada por los agricultores.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los rendimientos medios anuales de todos los agricultores del área (YGRAL) y los rendimientos medios anuales para toda el área del tratamiento 50-25-10-30000 para el período 1967 a 1988.

Tomando como base los rendimientos YTTR correspondientes a 1968 se calcularon los cambios en los rendimientos para cada uno de los años para el período 1969-1988, dichos cambios expresados como porcentajes expresan el efecto de clima y se presentan en la columna c del Cuadro 2. Debe indicarse que 1968 fue un año con condiciones climáticas favorables para la producción de maíz, de manera que los porcentajes calculados indicaron años más benignos, iguales o más limitativos que 1968 dependiendo de si son positivos, cero o negativos, respectivamente.

Los efectos de clima variaron de -34% en 1983 hasta +25% en 1985, que son los porcentajes en los que los rendimientos fueron afectados por la variabilidad climática, tomando como base el tipo de ciclo agrícola observado en 1968.

Al dividir el rango observado en los efectos de clima en cuatro clases pueden definirse, de manera arbitraria, cuatro tipos de ciclos agrícolas. En esta forma los años con efectos de clima mayores a 9% corresponden a años con condiciones muy favorables o

excelentes para la producción de maíz. Los años con efectos de clima menores al 9% y mayores de -9%, se designaron como benignos por ser similares al año base 1968, por su parte, los años con efectos de clima con valores entre -9 y -18% se designaron como limitativos y los años con valores menores a -18% se consideraron como desastrosos para la producción de maíz desde el punto de vista de la variabilidad climática entre años.

Cuadro 2. Estimación de los efectos de la tecnología sobre los rendimientos para todos los agricultores (YGRAL) considerando los efectos de clima estimados con base al cambio con respecto al rendimiento del tratamiento tradicional (YTTR) para 1968.

Año	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
	YGRAL	YTTR	Efecto de clima (% de camb. resp.1968)	Rend, est. bajo tec. constante	Cambio debido a tecnología
	kg ha ⁻¹		%	kg ha ⁻¹	
1967	1300	2303			
1968	2091	2394	base	2091	
1969	1662	1963	- 18	1715	- 3.1
1970	1917	2035	- 15	1779	+ 7.9
1971	1883	1892	- 21	1652	+14.0
1972	2442	2250	- 6	1966	+24.0
1973	2552	2250	- 6	1966	+29.8
1974	1714	1649	- 31	1443	+18.8
1975	2099	2044	- 15	1777	+18.1
1976	3356	2599	+ 9	2279	+47.3
1977	2953	2708	+ 13	2363	+25.0
1978	3011	2396	0	2091	+44.0
1979	2803	2255	- 6	1966	+42.6
1980	3096	2863	+ 20	2509	+23.4
1981	3095	2341	- 2	2049	+51.0
1982	1300	1794	- 25	1568	-17.1
1983	1000	1582	- 34	1380	-27.5
1984	2281	2558	+ 7	2237	+ 2
1985	2664	2985	+ 25	2614	+ 2
1986	2008	2233	- 7	1945	+ 3.2
1987	2172	2648	+ 10	2300	- 5.6
1988	1523	1695	- 29	1484	+ 2.6

En el Cuadro 3 se presentan los efectos medios de clima, las frecuencias relativas observadas y los rendimientos medios de maíz obtenidos por el tratamiento YTTR correspondientes a estas cuatro categorías de ciclos agrícolas.

Cuadro 3. Efectos medios de clima y frecuencias relativas observadas y rendimientos experimentales asociados con cuatro categorías de ciclos agrícolas.

Categoría agrícola	No.de años observados	Efecto medio de clima	Frecuen- cia re- lativa observada	Rendimien- to experi- mental asociado ¹⁾
		%	%	kg ha ⁻¹
Excelente	5	+ 15.4	23.8	2760
Benigno	8	- 2.5	38.1	2335
Limitativo	3	- 16	14.3	2014
Desastroso	5	- 28	23.8	1722

¹⁾Rendimientos medios con el tratamiento 50N, 25 P₂O₅, 10 K₂O y 30 mil plantas ha⁻¹ obtenidos en experimentos y lotes climatológicos.

Así puede observarse que en los años de 1976, 1977, 1980, 1985 y 1987 ocurrieron condiciones más favorables o excelentes para la producción de maíz, representando este tipo de ciclo agrícola una frecuencia relativa del 23.8%, un efecto medio de clima de +15.4% y se asoció con un rendimiento de 2760 kg ha⁻¹. Por otra parte se observaron ocho años en los que los efectos de clima variaron de -7% a +7%, que representaron una frecuencia relativa del 38.1% y se consideraron como benignos por su similitud con el ciclo agrícola observado en 1968. El rendimiento medio de maíz asociado a este tipo de año fue de 2335 kg ha⁻¹, con un efecto medio de clima de -2.5%.

Se observaron tres años que correspondieron a la categoría de limitativos, con efectos de clima que variaron de -15% a -18%, con un efecto medio de -16% y un rendimiento medio de 2014 kg ha⁻¹, y con una frecuencia relativa de 14.3%. Finalmente, en los años de 1971, 1974,

1982, 1983 y 1988 se observaron efectos de clima que variaron de -21% a -34%, con un efecto medio de -28%, representando una frecuencia relativa de 23.8% y con un rendimiento medio asociado de 1722 kg ha^{-1} .

En esta forma, los años limitativos y desastrosos representaron, en conjunto, una frecuencia relativa del 38%, indicándose así el considerable nivel de riesgo que enfrentan los agricultores para la producción de maíz de temporal en el área del Plan Puebla.

Los efectos de clima así obtenidos fueron aplicados al rendimiento de YGRAL correspondiente a 1968 con el propósito de estimar los rendimientos que se obtendrían en cada uno de los años de acuerdo al efecto de clima correspondiente y asumiendo una tecnología constante. En la columna d del Cuadro 2 se presentan los rendimientos ajustados por clima. En esta forma, la diferencia entre los rendimientos YGRAL observados (columna a, Cuadro 2) y los ajustados por clima representa el efecto atribuible al cambio en los niveles tecnológicos empleados por los productores del área del Plan Puebla. Las diferencias expresadas como porcentajes se presentan en la columna e del Cuadro 2.

Estos porcentajes indican que los efectos atribuibles al cambio tecnológico aumentaron gradualmente a partir de 1969 y hasta 1981. Un primer incremento, gradual y moderado, se presenta en el período de 1969 a 1975 al obtenerse porcentajes que variaron de -3.1% al 29.8% y con una media de 15.6%. El rendimiento medio de maíz de la muestra de todos los agricultores (YGRAL) para este período fue de 2045 kg ha^{-1} . Fue evidente la reducción en este efecto a causa de las heladas tempranas ocurridas en 1974 y 1975.

A partir de 1976 y hasta 1981 inclusive, se registraron incrementos mayores a los observados en el período anterior, puesto que se obtuvieron porcentajes que variaron de 23.4% al 51%, con una media de 38.9%, lo cual se reflejó necesariamente en un mayor

rendimiento medio YGRAL para el período, que fue de 3052 kg ha^{-1} .

Las condiciones climáticas severas que se observaron en 1982 y 1983 (escasa y mal distribuida precipitación y presencia de vientos fuertes) no permitieron la expresión del cambio tecnológico, sin embargo, se observó una tendencia hacia la recuperación en los años de 1984, 1985 y 1986, aun cuando en porcentajes menores a los registrados en los años anteriores de manera que en el período 1982-1985 los efectos de tecnología variaron de -27.5% a 3.2%, con una media para el período de -5.8%. En consecuencia el rendimiento medio YGRAL fue de 1849 kg ha^{-1} .

En general, durante el período de 1969 a 1981 se determinó un incremento medio del 26.4% atribuible al cambio tecnológico y al considerar los siete años restantes, es decir de 1969 a 1988 el efecto medio fue de 15.8%.

Puede también apreciarse que después de las heladas de 1974 y 1975 hubo una rápida recuperación, sin embargo, esto no se observa después de las severas pérdidas registradas en 1982 y 1983. Esta lenta recuperación puede atribuirse por una parte a la descapitalización de los agricultores por las pérdidas sufridas en estos años así como a que las relaciones de precios de productos/costos de insumos son menos favorables para la producción de maíz. Díaz (1985) reporta que mientras en 1968 los agricultores que emplearon la tecnología recomendada podrían obtener una ganancia neta de 1094 kg ha^{-1} , en 1981 la ganancia sería de 1313 kg ha^{-1} y en 1984 dicha ganancia sería de apenas 637 kg ha^{-1} . De esta manera, ante los riesgos de factores climáticos adversos y condiciones económicas menos estimulantes para la producción de maíz, la actitud de los agricultores de invertir menos en insumos parece correcta.

CONCLUSIONES

1. Los efectos de clima estimados indicaron que la frecuencia de años excelentes para la producción de maíz fue del 23.8%, la de benignos del 38.1%, la de limitativos del 14.3% y la de desastrosos del 23.8%, evidenciándose el considerable porcentaje de riesgo involucrado en la producción de este cultivo básico.

2. Los efectos anuales de tecnología sobre los rendimientos de maíz mostraron un primer incremento gradual y moderado para el período 1969-1975, con una media de 15.6%, en tanto que en el período 1976-1981 los incrementos fueron mayores y con una media del 38.9%. La media general para el período 1969-1988 fue del 15.8%.

LITERATURA CITADA

CIMMYT. CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO. 1974. El Proyecto Puebla: Siete años de experiencia: 1967-1973 el Batán, México.

TURRENT F., A. 1986. Estimación del potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

DIAZ, C.H. 1985. El proceso de evaluación en el Plan Puebla. Métodos y técnicas utilizados en las diferentes fases y resultados y usos de la información generada. Doc. para la sesión ordinaria del Comité Directivo del CEICADAR, Agosto 23 de 1985, Puebla, Pue. México, (mimeografiado).

CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO DE LAS LOMBRICES DE TIERRA EN LA REGION DE CHAPINGO, MEXICO

Contribution to the knowledge of Earthworms
in the Chapingo area in Mexico

Rafael E. García-Pérez y Francisco Rodríguez Neave

Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo,
56230 Chapingo, Méx.

Palabras Clave: Lumbricidae, Megascolecidae.

Index words: Lumbricidae, Megascolecidae.

RESUMEN

Se describe por primera vez la presencia de *Lumbricus terrestris* (Linnaeus), *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister), presentes en poblaciones asociadas, y de *Pheretima hupiensis* (Michaelsen) encontrada en poblaciones aisladas en la región de Chapingo, Méx. Se describe además, su captura, anatomía externa y algunas posibilidades para su empleo en agricultura o lombricultivos.

SUMMARY

This study describes for first time the presence of *Lumbricus terrestris* (Linnaeus), and *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister) in associated populations and *Pheretima hupiensis* (Michaelsen) in isolated population in the Chapingo, area.

External anatomy, a collecting method and posible uses in agriculture or lumbriculture are outlined.

INTRODUCCION

Es aceptada, de manera general, la acción favorable que tienen las lombrices de tierra sobre las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. Su acción se refleja en un mejoramiento de la fertilidad de éstos y en un buen crecimiento y desarrollo de las plantas (Barley, 1959; Bouché, 1985; Davidson, 1989; Stockdill, 1959; Syers y Springett, 1984).

A pesar de que la Universidad Autónoma Chapingo está dedicada a estudiar las principales características agronómicas de los suelos del país, incluyendo los del área en que se encuentra ubicada, no existe ningún reporte sobre el tipo de lombrices de tierra en ninguna de sus zonas de trabajo.

Las lombrices de tierra pertenecen al *Phylum* de los anélidos, integrado por animales cuyo cuerpo cilíndrico se encuentra metamerizado con organización y anatomía que se repite regularmente a todo lo largo de su cuerpo (Graseé, 1959; Ville *et al.*, 1978).

Su hábito alimenticio influye fuertemente sobre el suelo, pudiendo consumir material inorgánico y restos orgánicos, como raíces y hojas en descomposición, por lo que ayudan a la incorporación de este material al medio. Su actividad influye en las características

físicas por la ingestión de materia orgánica mezclada íntimamente con material inorgánico y su posterior eyección al suelo. Su conducta exploratoria favorece el intercambio de gases y un buen drenado (Bouché, 1985; Edwards y Lofty, 1977; Lee, 1985; Satchell, 1983). Lo anterior es sólo una parte de la acción que se ha reportado desarrollan las lombrices de tierra sobre el suelo en que habitan.

Existe una amplia variedad de organismos conocidos como lombrices de tierra, cada una posee aptitudes y necesidades específicas, por lo que la acción que ejerzan sobre las propiedades de los suelos en que se presentan, dependerá de éstas, así como la recomendación de su empleo potencial en la agricultura.

El Departamento de Suelos de la UACH realizó un trabajo para identificar las especies que se encuentran en la región de Chapingo, como base preliminar para una posterior recomendación de su empleo en agricultura o establecimiento de cultivos de estos organismos en el país (lombricultura).

METODOLOGIA

Se trabajó en los terrenos ubicados dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, con una superficie aproximadamente de 40 hectáreas, de las cuales un máximo de 40% presenta construcciones, quedando el resto como jardines, campos experimentales o deportivos. El sitio experimental está ubicado a una altitud de 2250 msnm, con una precipitación media de 600 mm anuales, con régimen de lluvias en verano y temperatura media anual de 15°C. El suelo se originó de sedimentos lacustres aluviales profundos de textura fina a gruesa (Ortiz-Solorio y Cuanalo, 1977).

Los muestreos se realizaron durante el año de 1989 en todos los sitios en los que se presentaban superficies sin construcciones, en las que, al azar, con una pala recta se analizaron 50 cm³ de suelo y de forma manual a través de un tamiz de 4 mm se procedió a coleccionar principalmente individuos adultos.

Estos se identificaban por la presencia de clitelo, registrándose los estados juveniles y huevecillos. Posteriormente en el laboratorio los individuos adultos se fijaron en una solución de alcohol al 75% para su posterior identificación.

RESULTADOS

Las especies fueron identificadas con ayuda de las claves propuestas por Aval (1959) y Edwards y Lofty (1977). En el total de los muestreos se encontraron dos representantes de la familia Lumbricidae, que fueron *Lumbricus terrestris* (Linnaeus) y *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister) y una de la familia Megascolicidae, *Pheretima hupiensis* (Michaelsen).

Descripción de las especies

Lumbricus terrestris (Linnaeus)

Las características morfológicas externas que se utilizaron en la determinación de esta especie fueron la coloración dorsal rojiza o café pálida y amarillenta pálida en la parte ventral, un cuerpo redondo con la parte posterior ligeramente aplanada, de una longitud entre 90 y 250 mm, con un total de 100 a 140 segmentos. Presenta un prostomio taniloboso, un arreglo de quetas en pares con amplia separación entre cada par, un clitelo prominente que comienza después del segmento 30 extendiéndose hasta el 37 o 39, pudiéndose observar en los individuos más grandes, el tubérculo pubertatis en posición 34 al 36, los poros sexuales en los segmentos 14 y 15, y el primer poro dorsal entre los segmentos 7 y 9.

Estos individuos se encontraron en suelos profundos que presentaban un alto contenido de materia orgánica y buena humedad aparente, principalmente en zonas dedicadas a la jardinería, no se localizaban en poblaciones numerosas, presentando poca cantidad de huevecillos o estados juveniles. En casi todos los casos se encontraron asociados con *Lumbricus rubellus*.

Lumbricus rubellus (Hoffmeister).

La coloración dorsal de estos organismos es de un rojo más intenso que la de *L. terrestris* aunque también se encontraron de color violeta con tonalidades ligeramente iridiscentes, su coloración ventral en todos los casos fue amarillo pálido, la forma de su cuerpo es redonda con un tamaño de 30 a 100 mm, con un número promedio de 110 segmentos. El prostomio es taniloboso, el arreglo de las quetas está en pares. Los poros sexuales aparecen entre los segmentos 13, 14 y 15. En los ejemplares más grandes se nota el primer poro dorsal en el segmento 8. El clitelo, que es menos aparente que en *L. terrestris*, se inicia entre los segmentos 26 o 27 abarcando hasta el 32 o 33, encontrándose el tubérculo pubertatis del 28 al 32. Estas últimas son las características, aparte del tamaño, que la diferencian de *L. terrestris*.

Los individuos de esta especie se encontraron en suelos profundos y someros con variable contenido de humedad y materia orgánica, tanto en jardines como en cultivos o suelos abandonados, aunque se observó que eran más abundantes cuando había buenas condiciones de humedad y materia orgánica, presentándose en todas las condiciones un gran número de estados juveniles y huevecillos. En estos casos se encontraron asociados con *L. terrestris* aunque estos últimos en mayor cantidad.

Pheretima hupiensis (Michaelsen).

La coloración dorsal de estos individuos es verde muy iridiscente y con una línea dorsal de color más oscuro, mientras que en su parte ventral es verde púrpura. El clitelo es de un color café con gris pálido en su parte ventral. El clitelo es pequeño y aparece en el segmento 12 y 14, el poro femenino aparece en el segmento 13 o 14, presentan de 2 a 4 pares de poros masculinos entre los segmentos 14 y 18. La forma de su cuerpo es redonda, con un tamaño de 120 a 200 mm, con un total de 84 a 86 segmentos. El arreglo de sus quetas es periférico, característico de la familia Megascotocidae.

DISCUSION

Las lombrices de tierra tienen un potencial bastante amplio para justificar su integración como herramienta en el mejoramiento de la fertilidad de los suelos o su explotación en la lombricultura (Bouché, 1985; Compagnoni y Putzolu, 1985; Davidson, 1989; Ferruzzi, 1986; Haimi y Huhta, 1987; Mitchell *et al.*, 1980; Mitchell *et al.*, 1982; Satchell, 1983).

De acuerdo con Edwards y Lofty (1977), en las tres especies encontradas, el color, tamaño, número de segmentos, distribución setal, ubicación del clitelo, poros dorsales y sexuales y tubérculo pubertatis se manifestaron con características suficientes para su identificación taxonómica.

El hábitat y tipo de poblaciones en que se encontraron también coincide con lo reportado para esas especies, por lo que esto se consideró como apoyo a nuestro diagnóstico (Díaz-Cosin *et al.*, 1981; Edwards y Lofty, 1977; Lee, 1985; Martinucci y Omedeo, 1987; Satchell, 1983).

Lumbricus rubellus (Hoffmeister) parece ser la especie mejor adaptada a las condiciones de la zona de estudio, pues casi en todos los sitios en que se encontró se presentaba en poblaciones numerosas y con presencia de huevecillos y diferentes estadios de desarrollo. Esto coincide con lo reportado para esta especie como una de las más agresivas y con amplias posibilidades de éxito para su cultivo o introducción en suelos (Compagnoni y Putzolu, 1985; Ferruzzi, 1986; Satchell, 1983).

La actividad de *Lumbricus terrestris* (Linnaeus) también ha sido reportada como favorable sobre el suelo (Hartenstein y Amico, 1983). Sin embargo, es una especie que se ve sensiblemente afectada por las condiciones adversas del medio, lo cual concuerda con nuestros resultados, pues se encontró sólo en sitios donde la humedad y materia orgánica estaba en condiciones favorables, pero en poblaciones más reducidas que *L. rubellus*, por lo que es una especie con limitaciones tanto

para su cultivo como en agricultura. La presencia de la asociación de poblaciones de las dos especies también ha sido reportado por la bibliografía (Díaz-Cosin *et al.* 1981; Edwards y Lofty, 1977; Kuhnelt y Walker, 1976; Mato *et al.*, 1984; Springett, 1983).

El hecho de que *Pheretima hupiensis* (Michaelsen) se presente en sitios restringidos con condiciones favorables de humedad, materia orgánica y vegetación, ya que durante el año en el que se desarrolló este trabajo no se logró localizar ningún huevecillo o estadio juvenil, sugiere que esta especie es más exigente en sus requerimientos para el establecimiento de su población, lo que limita su empleo. No se ha encontrado bibliografía que recomiende su uso en agricultura o para el establecimiento de su cultivo.

A excepción de la zona del ex-Lago de Texcoco, con características de suelo muy especiales, la región estudiada podría ser considerada como parte de las áreas planas con características similares dentro del área de influencia Chapingo (Ortiz-Solorio, 1977), por lo que los individuos encontrados podrían ser representativos de toda esa zona. Sin embargo, es necesario realizar estudios, en otras partes de la región para una más completa caracterización de la población de lombrices de tierra, ya que el objetivo de este trabajo fue la identificación de las lombrices de tierra que se encuentran en la zona, para posteriores estudios de la dinámica de sus poblaciones.

CONCLUSIONES

Se consideran suficientes las características morfológicas y ecológicas manifestadas en los individuos colectados para identificar a *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister), *Lumbricus terrestris* (Linnaeus) y *Pheretima hupiensis* (Michaelsen) como las especies de lombrices de tierra que se presentan en la región de Chapingo.

Con base en la bibliografía (Compagnoni y Putzolu, 1985; Ferruzzi, 1986) de las tres

especies identificadas, *Lumbricus rubellus* es la que tiene mayores posibilidades para ser empleada en agricultura o establecimiento de su cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de Eva García de la Vega en la colecta e identificación de las especies utilizadas en este trabajo.

LITERATURA CITADA

- AVEL, M. CLASSE DES ANNELIDES OLIGOCHETES. In "Traité de Zoologie", (P.P. Grassé, ed), Vol. 5, pp. 224-270. Masson, Paris.
- BARLEY, K.P. y A.C. JENNINGS. 1959. Earthworms and soil fertility. Aust. J. Agric. Res. 10:171-178.
- BOUCHE, M. 1985. Los gusanos de tierra. Mundo Científico. 40: 954-963.
- COMPAGNONI, L. y G. PUTZOLU. 1985. Cria moderna de las lombrices y utilización rentable del humus. Ed. De vecchi, Barcelona, España
- DAVIDSON, S. 1989. Earthworms and agriculture: Seeking a symbiosis. Rural Research. 141: 15-21.
- DIAZ-COSIN, D.J., J.B. JESUS, A.G. MORENO. 1980. Contribución al conocimiento de los megascoleidos españoles. *Eukerria saltensis* (Beddard, 1985). Bol. Real Soc. Española Hist. Nat. (Biol.) 78: 371-376.
- DIAZ-COSIN, D.J., A.G. y J.B. JESUS. 1981. Contribución al conocimiento de las lombrices de tierra (*Lumbricidae* y *Megascolecidae*) de los alrededores de la albufera de Valencia. Biol. Real. Soc Española Hist. Nat. (Biol.) 79: 27-35.

García-Perez y Rodríguez Neave. CONTRIBUION AL CONOCIMIENTO DE LAS LOMBRICES

- EDWARDS, C.A. y J.R. LOFTY.** 1977. Biology of earthworms. 2a. ed. Chapman and Hall, New York, N.Y.
- FERRUZZI, C.** 1986. Manual de lombricultura. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- HAIMI, J. y V. HUHTA.** 1987. Comparison of compost produced from identical wastes by "vermistabilization" and conventional composting. *Pedobiología* (30): 137-149.
- HARTENSTEIN, R. y L. AMICO.** 1983. Production and carrying capacity for the earth worm *Lumbricus terrestris* in culture. *Soil. Biol. Biochem.* 15(1): 51-54.
- KUHNELT, W. y N. WALKER.** 1976. Soil Biology. Michigan State University Press, East Lanbuig, Michigan.
- LEE, K.E.** 1985. Earthworms. Their ecology and relationships with soil and Land use. Academic Press. Australia.
- MARTINUCCI, G.B. y P. OMEDEO.** 1987. Comparison of the earthworm fauna of some oak forest in Italy and Algeria. Earthworms. A.M. Boncuccini Pagliali y P. Omodeo (eds). In selected symposia and monographs. U.Z.I. 2, Mucchi, Modena.
- MATO, S., D.J. DIAZ-COSIN y E. CALVIN.** 1984. Lombrices de tierra del bosque de Cabaniños (*Lumbricidae Oligochaeta*) Sierra de los Ancares, Lugo, España. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 21: 65-76.
- MITCHELL, M.J.; S.G. HORNOR y B.I. ABRAMS.** 1980. Descomposition of sewage sludge in drying beds and the potential role of the earthworm *Eisenia foetida*. *J. Environ. Qual.* 9: 373.
- MITCHELL, M.J.; C.M. PARKINSON, W.E. HAMILTON y D.L. DINDAL.** 1982. Role of the earthworms *Eisenia foetida* in affecting organic matter descomposition in microcosms of sludge -amended soil. *J. of Appl. Ecol.* 19: 805-812.
- ORTIZ-SOLORIO, C.A. y H.E. CUANALO DE LA CERDA.** 1977. Levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- SATCHELL, J.E.** 1983. Earthworm. Ecology from Darwin to vermiculture. Chapman and Hall, London, England.
- SPRINGETT, J.A.** 1983. Effect of five species of earthworm on some soil properties. *J. Appl. Ecol.* 20: 865-872.
- STOCKDILL, S.M.J.** 1959. Earthworms improve pasture growth. *N.Z.J. Agric.* 98: 227-233.
- SYERS, J.K. y J.A. SPRINGETT.** 1984. Earthworms and soil fertility. *Plant and Soil.* 76: 93-104.
- VILLE, A.C., W. WAKER y R. BARNES.** 1978. General Zoology. 5a. ed. W.B. Saunder, Philadelphia, USA.

**EFFECTO DEL NITROGENO MINERAL Y EL DIFICIL HIDRICO
SOBRE LAS DOS VIAS DE ASIMILACION DEL NITROGENO
EN PLANTAS DE SOYA**

Effect of Mineral Nitrogen and Hydric Stress Upon the two
Pathways of Nitrogen Assimilation in Soybean Plants

Juan Luis Tirado Torres¹⁾, Genevieve Conejero²⁾ y
Gabriel Alcántar González¹⁾

¹⁾Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230 Montecillo, Edo. de México, México.

²⁾Laboratoire de Biochimie et Physiologie Végétales INRA-ENSAM,
9 Place Viala, 34060 Montpellier CEDEX, Francia

Palabras clave: Asimilación del nitrógeno,
Déficit hídrico, Nutrición de soya.

Index words: Nitrogen assimilation, Water
stress (Drought), Soybean nutrition.

RESUMEN

Plantas de soya (*Glycine max* L. Merr Hodgson) alimentadas exclusivamente con nitrógeno mineral (NIT) o noduladas sin aporte de N-mineral (NOD) o noduladas con adición de N-mineral (NITNOD), se desarrollaron bajo condiciones de campo e invernadero para evaluar el efecto del estrés hídrico y la forma de alimentación nitrogenada sobre las actividades enzimáticas, nitrato reductasa (EC 1.6.6.1.) y nitrogenasa (EC 1.18.2.1.) y sobre el desarrollo en términos de materia seca, nitrógeno total acumulado y producción de grano.

Se observó un efecto limitante recíproco entre las dos vías de asimilación del

nitrógeno. Si bien es cierto que el N-mineral limita la fijación simbiótica del N₂, también la simbiosis disminuye la asimilación del N-mineral, sin embargo, ambas formas de alimentación deberían ser complementarias, ya que el N-mineral favorece la producción y acumulación del N total en hojas y tallos, mientras que el N atmosférico es preferencialmente destinado a la producción de órganos generativos.

Finalmente, un déficit de humedad en el suelo afecta más intensamente la fijación simbiótica del N₂ que la asimilación del N-mineral, debido, probablemente, a una disminución más rápida en el potencial hídrico de los nódulos que a nivel foliar.

SUMMARY

Soybean plants (*Glycine max* L. cv. Hodgson) fed exclusively with mineral N (NIT) or plants nodulated without mineral N (NOD) or nodulated plus mineral-N (NITNOD), were developed under field or greenhouse conditions to measure the effect of water stress and the form of nitrogen nutrition on enzymatic

activities, nitrate reductase (EC 1.6.6.1.) and nitrogenase (EC 1.18.2.1) as well as on dry matter production, nitrogen accumulation and grain yield.

A reciprocal limiting effect was observed between the two ways nitrogen assimilates. Mineral nitrogen affects symbiotic N_2 fixation, but also symbiosis affects mineral-N assimilation. Nevertheless, the two forms of nitrogen nutrition must be complementary since mineral-N helps dry matter production and N-accumulation in vegetative organs (stems and leaves) while atmospheric N_2 is mainly used for grain production.

Finally, drought affects more symbiotic N_2 fixation than mineral nitrogen assimilation, probably due to a more rapid decrease in the water potential of nodules in comparison with aerial organs.

INTRODUCCION

La actividad fijadora del nitrógeno es fuertemente deprimida por el nitrógeno mineral, además, bajo condiciones de campo, la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa puede ser influenciada por numerosos factores pedoclimáticos, entre los cuales se encuentran el pH, la temperatura, la humedad y la materia orgánica del suelo, los cuales pueden ser benéficos o no, dependiendo de su intensidad. De estos factores, el efecto del nitrógeno mineral y la humedad del suelo revisten gran importancia práctica y son el punto central de nuestra discusión.

El nitrógeno mineral estimula el crecimiento de la parte vegetativa y éste puede deprimir el crecimiento de las raíces y los nódulos de leguminosas. Las modificaciones en el crecimiento de la parte aérea y las raíces traen como consecuencia una disminución importante de la relación raíz/parte aérea, originadas por la fuente y la dosis de nitrógeno en soya, garbanzo, chícharo y frijol (Conejero *et al.*, 1986; Chaillou *et al.*, 1986; Deschamps, 1985; Rawsthorne *et al.*, 1985). El nitrógeno

mineral tendría entonces como efecto, favorecer el crecimiento de la parte aérea e inversamente una deficiencia en nitrógeno (plantas noduladas que no reciben nitrógeno mineral), afectaría más el crecimiento de la parte aérea que el de las raíces (Tirado, 1987).

La inhibición de la nodulación y de la fijación del nitrógeno por el N mineral es un efecto bien conocido. En el caso de un aporte de nitrógeno mineral, NH_4^+ y/o NO_3^- , en concentraciones iguales, el amonio parece tener un efecto inhibitorio sobre la nitrogenasa menos drástico que el nitrato (Chen y Phillips, 1977; Gibson, 1976). La disminución de la fijación del nitrógeno atmosférico por acción del nitrato en leguminosas provistas de nódulos eficientes, es ampliamente conocida, sin embargo, ésta no parece general. A bajas dosis, es común observar un efecto benéfico sobre la fijación y sobre la nodulación, cuando la aplicación del nitrato tiene lugar antes que los nódulos se desarrollen (Weber, 1966; Wych y Rains, 1979).

Una gran atención ha sido dedicada al estudio del efecto del nitrógeno mineral sobre la fijación del nitrógeno molecular, por el contrario, no se dispone prácticamente de ninguna información acerca de la influencia de la nodulación sobre la aptitud del vegetal para asimilar el nitrato, si bien, en el transcurso del ciclo vegetativo las dos vías de nutrición nitrogenada juegan papeles complementarios (Salsac *et al.*, 1984; Tirado, 1987).

Además del nitrógeno mineral, el efecto de la humedad del suelo sobre la simbiosis reviste gran importancia, ya que, existe un estado hídrico del suelo óptimo para la fijación del nitrógeno atmosférico. Por arriba de este nivel, la difusión de gases es perturbada (O_2 , N_2) debido a que una película de agua alrededor de los nódulos limita la difusión del oxígeno y del nitrógeno, perturbando la actividad de éstos (Sprent, 1969). Un déficit hídrico, de igual manera, puede entonces influenciar la fijación del nitrógeno en grados importantes al inhibirse

la actividad nitrogenasa (Sprent, 1969). Además de la acción directa sobre la fijación a nivel de la actividad nitrogenasa, el déficit hídrico provoca una disminución general de los flujos en los tejidos de conducción del vegetal (Huang *et al.*, 1975). Más allá de cierto nivel de sequía se producen importantes cambios estructurales (ruptura de plasmodesmos en los nódulos) que vuelven irreversible la caída de la fijación simbiótica del nitrógeno.

Las dos vías de la nutrición nitrogenada, estimadas por las actividades enzimáticas, nitrogenasa (fijación de N atmosférico) y nitrato reductasa (reducción del nitrato) pueden ser complementarias o competitivas según los niveles de nitrato, presentes en el suelo o aportados por la fertilización, las fases de desarrollo y las condiciones climáticas, ya que el funcionamiento de estas dos enzimas depende de las relaciones que existen entre la planta, la bacteria y el medio ambiente. Por lo anterior, es importante conocer los efectos de los factores del medio ambiente, sobre las dos actividades enzimáticas y las relaciones que existen entre ellas, para determinar la importancia relativa de cada una de estas dos vías de la nutrición nitrogenada en leguminosas, bajo diferentes condiciones pedoclimáticas y, en nuestro caso, el déficit hídrico y la forma de alimentación nitrogenada.

MATERIALES Y METODOS

Los resultados presentados provienen de una serie de experiencias en invernadero y campo, donde las plantas noduladas que recibieron nitrógeno mineral (NITNOD) son consideradas como referencia al estar presente en todos los experimentos.

Las semillas de soya (*Glycine max* L. Merr cv. Hodgson) fueron desinfectadas antes de la siembra, con una solución de hipoclorito de calcio (30 g l^{-1}), durante 30 min y luego lavadas abundantemente con agua. Las semillas destinadas a los tratamientos nodulados (NOD) se inocularon con una suspensión de *Rhizobium*

japonicum G3 (31 lb 138 USDA, USA). Las suspensiones de *Rhizobium* fueron preparadas en el medio ELM (extracto de levadura y manitol) de acuerdo al protocolo propuesto por Vincent (1971).

En una serie de experimentos, conducidos en invernadero, a una temperatura media de 25°C y con un fotoperiodo de 14 h, las semillas se hicieron germinar en macetas de plástico de 25 cm de diámetro (10 granos por maceta) en arena estéril. La densidad final fue de cuatro plantas por maceta después de aclarar a la aparición del primer trifolio. Las plantas fueron regadas diariamente con solución nutritiva (Tirado y Alcántar, 1989) y con el fin de renovarla se efectuaron lavados (regando a saturación, drenando y regando nuevamente) cada dos días con la solución nutritiva, preparada recientemente.

En los tratamientos con nodulación (NOD y NITNOD) la inoculación se hizo en la siembra, dejando las semillas en contacto con la suspensión de *Rhizobium*.

En el trabajo de invernadero se formaron tres lotes de semillas. Uno sin inocular y dos inoculados. Desde el inicio de la germinación hasta la aparición del primer trifolio, las plantas fueron regadas diariamente con la solución nutritiva sin nitrógeno, complementada con KNO_3 1 mM. Sin este aporte inicial, las plantas difícilmente podrían haber tenido un crecimiento adecuado (Tirado y Alcántar, 1989).

A la aparición del primer trifolio (21 días después de la siembra) se aplicaron tres tratamientos; a) plantas noduladas que recibieron nitrógeno mineral (NITNOD) a razón de 4 meq l^{-1} de nitrato más 2 meq l^{-1} de amonio; b) plantas no noduladas que recibieron nitrógeno mineral (NIT); y c) plantas noduladas que no recibieron nitrógeno mineral (NOD) (Tirado y Alcántar, 1989).

En el trabajo de campo, la soya se sembró a una densidad de $340,000 \text{ semillas ha}^{-1}$. Los tratamientos hídricos consistieron en aplicación de riego por un sistema de goteo o

bien suspensión del riego generándose dos tratamientos: a) Irrigando a la evapotranspiración máxima, correspondiente a 91 mm de lluvia y 676 mm de agua de riego, (b) Déficit hídrico intenso durante 53 días desde la aparición de la primera flor hasta el estadio de llenado del grano; 91 mm de lluvia y 161 mm de agua de riego en el inicio y al final del ciclo.

Tanto en campo como en invernadero, se llevaron a cabo muestreos al medio día, una vez por semana a partir de la aparición del primer trifolio (21 y 25 días después de la siembra en el invernadero y en el campo, respectivamente). Fueron muestreadas plantas enteras, obteniéndose muestras separadas de tallos, hojas, vainas y raíces. Las muestras destinadas al análisis de nitrato y actividad nitrato reductasa fueron conservadas en nitrógeno líquido y aquellas destinadas a la determinación de nitrógeno total, se secaron en frascos de vidrio durante 48 h a 70°C. Para medir la actividad nitrogenasa, se usaron las raíces enteras inmediatamente después de ser separadas de la parte aérea.

Todos los reactivos utilizados fueron de la marca Merck o a su defecto Baker o Sigma.

El material vegetal seco se mineralizó en H_2SO_4 concentrado y el nitrógeno total se determinó por el método de fenol-hipoclorito, modificado por Martin *et al.* (1983). La curva de calibración se preparó a partir de $(NH_4)_2SO_4$ sometido a las mismas condiciones que las muestras.

El nitrato se extrajo del material vegetal fresco (1 g) con 10 ml de ácido clorhídrico (0.1N) durante una noche. Después de filtrar el material, se tomó una alícuota para la determinación, que se efectuó en un equipo automatizado con columna reductora de cadmio. El nitrato formado es determinado colorimétricamente por dinitrogenación (Treguer y Lecorre, 1975).

La actividad nitrato reductasa fue medida por el método *in vitro* descrito por Conejero *et al.* (1984) en el que la muestra de 0.5 g de

materia fresca es molida a 2°C en mortero en 4 ml de solución amortiguadora de fosfato de potasio (0.1M, pH 7.4) conteniendo: EDTA 1mM, Cisteína 7.5 mM y Caseína 1.5% (p/v). El extracto enzimático (0.1 ml) es incubado a 30°C con 0.5 ml de solución amortiguadora, fosfato de potasio (0.1M, pH 7.5); 0.1 ml de una solución de NADH (1.4 mM) y 0.1 ml de una solución de KNO_3 (1M). La actividad es expresada en micromoles de nitrito formado por hora y por gramo de materia fresca.

La actividad nitrogenasa de los nódulos fue estimada por el método de la reducción de acetileno (Hardy *et al.*, 1968). El sistema radical proveniente de una planta es incubado en un frasco de vidrio de 600 ml en presencia de 10% de acetileno. La inyección de acetileno y la incubación tienen lugar a temperatura ambiente. Son tomadas muestras de gas a diferentes intervalos. La producción de etileno es medida en cada muestra por cromatografía en fase gaseosa, en cromatógrafo Girdel 30, ionización de flama, columna de porapak T.: 1.5m de largo y 3.2 mm de diámetro; temperatura de horno: 80°C; gas vector: N_2 , gasto: 30 ml min^{-1} .

RESULTADOS Y DISCUSION

El efecto de las diferentes formas de nutrición nitrogenada fue evaluado sobre el crecimiento de la parte aérea, acumulación de nitrato y actividad nitrato reductasa de las hojas, así como producción de nódulos y actividad nitrogenasa.

Efecto de la Fuente Nitrogenada.

Fijación del nitrógeno molecular. En plantas noduladas (NOD y NITNOD) el peso de nódulos y la actividad nitrogenasa tuvieron una evolución muy semejante en el transcurso del tiempo (Figura 1). Sin embargo, estos dos parámetros fueron mucho más bajos en plantas noduladas que recibieron nitrógeno mineral, particularmente a partir del 50° día después de la siembra (inicio de la floración). Tanto el peso de nódulos como la actividad

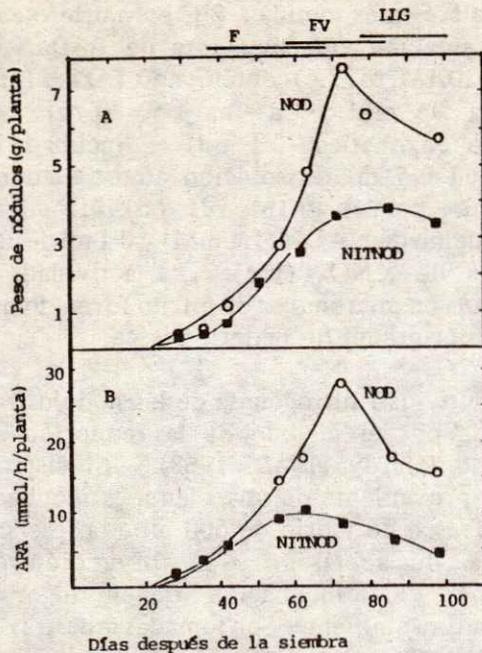


Figura 1. Peso de nódulos (A) y actividad nitrogenasa, ARA, (B) de plantas de soja inoculadas que reciben nitrógeno mineral (NITNOD) -m-) e inoculadas privadas de nitrógeno mineral (NOD-O). F = floración; FV formación de vainas; LLG = llenado del grano.

nitrogenasa presentan un máximo en el estadio de plena floración. La inhibición media de la actividad nitrogenasa por efecto del nitrógeno mineral sobre el conjunto de medidas hechas entre el inicio de la floración y el estadio de llenado de granos es de 64%, este efecto del nitrógeno mineral sobre la nitrogenasa parece ser más importante que el observado sobre el peso de los nódulos (42%). Además del efecto sobre la nodulación, el nitrógeno mineral ejerce una acción negativa sobre la actividad específica por gramo de nódulo, es decir sobre la fijación propiamente dicha. Estos resultados no hacen más que corroborar las numerosas observaciones citadas en la literatura sobre el fenómeno bien conocido de la inhibición de la nodulación y la fijación del nitrógeno atmosférico por el nitrógeno mineral (Bethlenfalvay *et al.*, 1978; Chen y Phillips, 1977; Dilworth, 1966; Gibson, 1976; Latimore *et al.*, 1977; Munns, 1968; Oghoghoiri y Pate, 1971; Tanner y Anderson, 1964; Trinchant y Rigaud, 1982).

Actividad nitrato reductasa.

La tendencia en la evolución de la actividad nitrato reductasa en los dos tratamientos que recibieron nitrato (NIT y NITNOD) es similar, sin embargo, la actividad media por gramo de materia fresca de hojas es netamente más baja en plantas noduladas (NITNOD) que en aquellas no noduladas (NIT), particularmente durante la primera fase, donde se sitúa el pico de actividad máxima. Este efecto se observa también sobre el pico máximo del contenido de nitratos en las hojas, entre 22 y 36 días después de la siembra (Figura 2).

La nitrato reductasa es la primera enzima en la cadena metabólica que permite a los vegetales asimilar el nitrógeno nítrico, para llegar a la formación de glutamato y glutamina, los cuales, a su vez, abastecen de nitrógeno a los precursores de los aminoácidos necesarios para la síntesis protéica (Lea y Mifflin, 1980). Esta enzima cataliza una etapa considerada como limitante del proceso de asimilación del nitrato (Tirado, 1987). Algunos investigadores han demostrado que el flujo del nitrato hacia la parte aérea controla la actividad nitrato reductasa (Shaner y Boyer, 1976; Talouizte *et al.*, 1984). Esto significa que la nodulación, acompañada de N-mineral (NITNOD),

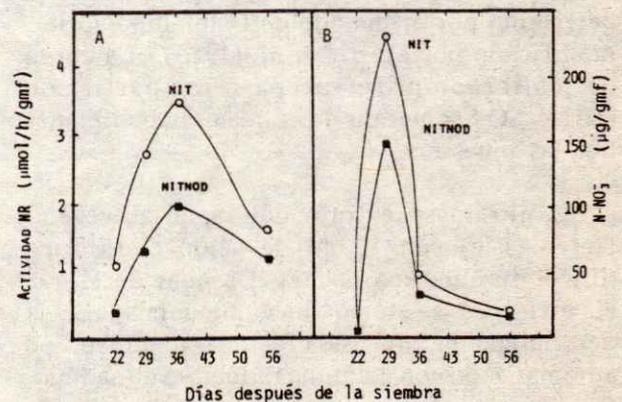


Figura 2. Evolución de la actividad nitrato reductasa, NR, (A) y contenido de nitrato (B) en hojas de plantas de soja inoculadas que reciben nitrógeno mineral (NITNOD -m-); no inoculadas que reciben exclusivamente nitrógeno mineral (NIT -O-).

disminuye la absorción y/o el transporte de nitrato, de tal forma que la nitrato reductasa (enzima inductible por su substrato) se ve fuertemente afectada. Por el contrario, se reporta que el crecimiento de raíces durante el mismo periodo es menos intenso en plantas no noduladas que en plantas noduladas (Conejero *et al.*, 1986). Esto puede indicar que durante el periodo de establecimiento de los nódulos, los fotosintatos son preferencialmente desviados hacia las raíces, teniendo un efecto positivo sobre el crecimiento de raíces y nódulos, pero limitando la capacidad de absorción del nitrato, como ha sido demostrado por Wych y Rains (1979), al modificar la estructura del sistema radicular (Conejero *et al.*, 1986) y por consecuencia el flujo de nitrato que controla la síntesis y el funcionamiento de la nitrato reductasa. Si bien es cierto que el nitrato limita la nodulación y la fijación del nitrógeno, la nodulación podría también limitar la asimilación del nitrato en la parte aérea.

Crecimiento y producción. El efecto benéfico del nitrógeno mineral se manifiesta principalmente sobre la parte vegetativa y más específicamente sobre los tallos. Las plantas de soya cultivadas exclusivamente con nitrógeno mineral (NIT), tienen un crecimiento superior en 56% para las hojas y en 127% más en los tallos que las plantas noduladas sin nitrógeno mineral (NOD). Sin embargo, el peso

de vainas no es diferente en los dos tratamientos. Las plantas NITNOD producen 5% más de materia seca en las hojas y 18% más en tallos, mientras que el peso de vainas es aumentado en 60% con respecto a las plantas NIT (Cuadro 1).

El nitrógeno mineral tiene entonces el efecto principal de estimular el crecimiento y desarrollo del aparato vegetativo (hojas + tallos) y el nitrógeno fijado el de estimular sobre todo la producción de vainas. El índice de cosecha en plantas no noduladas (NIT) es netamente inferior al de plantas noduladas NOD y NITNOD (Cuadro 1).

El efecto de la forma de nutrición nitrogenada sobre la acumulación de nitrógeno es diferente para cada órgano de la parte aérea (Cuadro 1). Cuando se compara la acumulación del nitrógeno total, en los diferentes órganos de la parte aérea de plantas noduladas que no reciben nitrógeno mineral (NOD) con aquella de plantas no noduladas (NIT), se confirma que las plantas cultivadas exclusivamente con nitrógeno mineral (NIT), acumulan 53% más nitrógeno en las hojas y tallos que las plantas exclusivamente noduladas (NOD), por el contrario, las plantas noduladas (NOD) acumulan 16% más nitrógeno en las vainas que las plantas no noduladas (NIT).

Cuadro 1. Repartición de la materia seca y nitrógeno total en los diferentes órganos de la planta de soya a los 98 días después de la siembra; llenado de grano.

Organo	Materia seca (g planta ⁻¹)			Nitrógeno total (mg planta ⁻¹)		
	NOD	NITNOD	NIT	NOD	NITNOD	NIT
Hojas	11.2	18.5	17.5	439	803	677
Tallos	10.4	27.8	23.6	219	473	333
Vainas	18.2	30.3	18.9	658	1013	566
V/PA	0.46	0.40	0.31	0.50	0.44	0.35

V/PA = vainas/parte aérea total

Las vainas contienen 50% del nitrógeno total de la parte aérea en las plantas exclusivamente noduladas (NOD), mientras que las plantas no noduladas solo 35% del nitrógeno total. En efecto, Warembourg y Fernández (1985), haciendo uso de $^{15}\text{N}_2$, durante diferentes periodos del ciclo vegetativo observaron que el nitrógeno atmosférico es sobre todo dirigido hacia la parte aérea y que el estado fenológico ejerce una fuerte influencia sobre la repartición inicial, pero al final del ciclo, en la madurez, sin importar el periodo de fijación, entre 80 y 90% del nitrógeno fijado se encuentra en los granos, constatando que el nitrógeno de origen atmosférico es movilizado para el abastecimiento de los granos preferencialmente, en contraste con el nitrógeno proveniente del suelo que tiende a permanecer en las hojas.

Efecto del Déficit Hídrico.

En la Figura 3 se presenta la evolución de la actividad nitrato reductasa foliar y de la actividad nitrogenasa en nódulos de soya, bajo dos tratamientos de irrigación. El análisis de resultados muestra que, cuando una leguminosa como la soya sufre por un déficit hídrico, la actividad fijadora de nitrógeno es más afectada que la asimilación del nitrógeno mineral del suelo. Sin embargo, la deficiencia de humedad en el suelo, al afectar el flujo de nitratos en el sistema, afectará también la inducción de la nitrato reductasa (Shaner y Boyer, 1976). Así, durante el periodo de sequía, la actividad nitrato reductasa de la parte aérea de leguminosas es menos afectada que aquella de la fijación, debido a que el potencial hídrico de los nódulos disminuye más rápidamente que el de las hojas, bajo el efecto de la sequía del suelo (Huang *et al.*, 1975).

Al restablecer las condiciones normales de humedad (lluvia o riego), la actividad nitrato reductasa aumenta considerablemente debido, probablemente, a una síntesis más activa de la enzima (Triboi-Blondel, 1978), pero también a la utilización del nitrato vacuolar acumulado

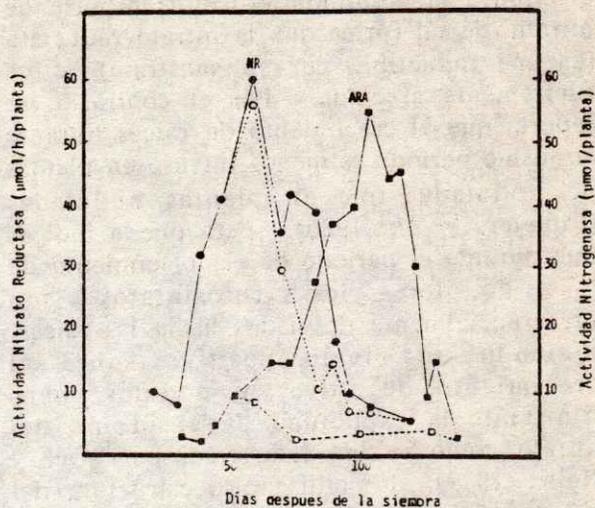


Figura 3. Efecto del déficit hídrico (-O- y -m-) sobre las actividades nitrato reductasa (NR -O- y -O-) y nitrogenasa (ARA -m- y -m-) en plantas de soya cultivadas en el campo.

durante el periodo de sequía, o al aumento del flujo de nitrato endógeno accesible para la enzima. Por el contrario, el restablecimiento de la actividad fijadora del N_2 requiere mucho más tiempo, quizás porque durante el déficit de humedad los nódulos han sufrido cambios estructurales importantes (Sprent, 1971). Entonces, la sequía estival, interrumpida por algunas lluvias o por riego, aumentaría la participación de la asimilación del nitrato en la nutrición nitrogenada.

Por otra parte, la eliminación del riego al momento de la floración, cuando la actividad nitrato reductasa es máxima, provocaría una disminución del peso y de las actividades metabólicas de la planta (Cuadro 2). El peso de las hojas y la actividad de la nitrato reductasa foliar disminuyen aproximadamente un 50%. Igual que en el caso anterior, los nódulos son más fuertemente afectados y la fijación al suspender el riego presenta una actividad de reducción de acetileno apenas detectable (6% de la actividad máxima).

En un experimento paralelo, utilizando la técnica de relación isotópica natural, se determinó el porcentaje del nitrógeno total de la cosecha proveniente de la fijación, bajo

las dos condiciones de humedad. Bajo riego, la producción fue de 3,400 kg de grano ha⁻¹ y del 40 al 60% del nitrógeno total acumulado provino de la fijación de N₂. Sin riego, el rendimiento fue de 1,700 kg de grano ha⁻¹, y solamente el 5% del nitrógeno acumulado provino de la fijación simbiótica, lo que significa que, bajo condiciones de sequía, la casi totalidad del nitrógeno provino del N-mineral del suelo, ya que la actividad nitrogenasa fue severamente afectada, lo que concuerda con los datos del Cuadro 2.

Bajo un estrés hídrico, la expansión foliar en plantas de soya fue parcialmente limitada, sobre todo por la talla media de las hojas, más que por el número de entrenudos formados, lo cual originó una disminución de la materia seca de los órganos vegetativos (Calmes *et al.*, 1985). Entre los componentes del rendimiento, el número de vainas m⁻² fue el más afectado por la falta de agua.

Cuadro 2. Influencia del déficit hídrico sobre el peso y las actividades nitrato reductasa y nitrogenasa de soya 87 días después de la siembra. A: Tratamiento irrigado a la evapotranspiración máxima; B: Tratamiento no irrigado durante 46 días.

Tratamiento	A		B/Ax100
	Con riego	Sin riego	
Peso seco de hojas (g)	9.6	5.2	54
Producción de grano (ton ha ⁻¹)	3.4	1.7	50
Actividad nitrato reductasa (m moles NO ₂ ⁻ h ⁻¹)	17.5	9.9	56
Peso seco de nódulos (g)	0.572	0.114	20
Actividad nitrogenasa (m moles C ₂ H ₄ h ⁻¹)	42.4	2.5	6

Para el caso de la vigna, de la soya y del cacahuate, la disminución causada por el déficit de agua puede ir de 50 a 60% respecto al tratamiento testigo. El número de granos por vaina y el peso del grano en leguminosas es generalmente menos afectado que el número de vainas m⁻² por una carencia de agua (Kadhem *et al.*, 1985; Pandey *et al.*, 1984).

Bajo condiciones limitantes de agua, los potenciales hídricos de hojas y nódulos disminuyen. La planta limita sus intercambios gaseosos y su transpiración, restringiéndose la producción de energía y de fotosintatos necesarios para las actividades enzimáticas nitrato reductasa y nitrogenasa. Si el déficit hídrico se intensifica, los nódulos se desecan rápidamente, mientras que las hojas aun permanecen turgentes por un lapso ligeramente mayor. Esto origina una inhibición casi completa de la actividad fijadora, mientras que la actividad nitrato reductasa mantiene un nivel de actividad apreciable. Una posible mejora en el rendimiento y la utilización del nitrógeno mineral al disminuir la fijación de N₂ por efecto de sequía, se daría posiblemente por la absorción del nitrógeno del suelo en un período seco. En términos generales, cuando un cultivo de leguminosas es sometido a un déficit hídrico, la fracción de su nitrógeno total proveniente del suelo aumentará debido a lo arriba citado, sin embargo, sería necesario un suelo suficientemente provisto en nitrógeno para que se diera ese efecto.

CONCLUSIONES

Por una parte, el nitrato tiene como principal efecto aumentar el contenido de nitrógeno total y de nitrato en las hojas, así como la actividad nitrato reductasa. Sin embargo, el nitrógeno mineral provoca una disminución de la masa de nódulos y la actividad nitrogenasa simultáneamente. De igual manera, la nodulación podría limitar la asimilación y el contenido de nitratos en las hojas.

Las dos vías de asimilación del nitrógeno, el mineral y el atmosférico, son necesarias para obtener un desarrollo máximo en términos de materia seca, nitrógeno total acumulado y producción de grano. Las plantas noduladas invierten proporcionalmente más productos de asimilación en la formación de vainas que las plantas no noduladas y por el contrario las plantas abastecidas exclusivamente con nitrógeno mineral destinan proporcionalmente más sustratos a la producción de material vegetativo.

Durante un período de sequía, la actividad de la nitrato reductasa foliar de las leguminosas, es menos afectada que la actividad nitrogenasa. La sequía estival, interrumpida por algunas lluvias o por riego, favorece entonces la participación del nitrato en la nutrición nitrogenada de las leguminosas.

La optimización de la asimilación del N mineral y de la fijación simbiótica, así como el buen equilibrio de las dos vías de asimilación bajo condiciones ambientales deficitarias, son condiciones necesarias para mejorar el rendimiento.

LITERATURA CITADA

- BETHLENFALVAY G.S., S.A. ABU-SHAKRA y D.A. PHILLIPS. 1978. Interdependance of nitrogen fixation and photosynthesis in *Pisum sativum* L. I. Effects of combined nitrogen on symbiotic nitrogen fixation and photosynthesis. *Plant Physiol.* 62: 127-130.
- CALMES J., G. VIALA, M. GELFI y R. BLANCHET. 1985. Influence du déficit hydrique sur 3 variétés de soja: Effet sur la proteogenèse des graines. *Agronomie* 5(2): 169-176.
- CONEJERO G., P. ROBIN y L. SALSAC. 1984. Les nitrato reductases de la feuille de soja. *Physiol. Veg.* 22(2): 135-145.
- CONEJERO G., J.L. TIRADO y P. ROBIN. 1986. Effect of nodulation on the nitrate assimilation in vegetative soybean plants. *Plant and Soil* 91: 385-389.
- CHAILLOU S., J.F. MOROT-GAUDRY, L. SALSAC, C. LESAIN y E. JOLIVET. 1986. Compared effects of NO_3^- and NH_3^+ on growth and metabolism of french bean. *Physiol. Veg.* 24: 679-687.
- CHEN P.C. y D.A. PHILLIPS. 1977. Induction of root senescence by combined nitrogen in *Pisum sativum* L. *Plant Physiol.* 59: 440-442.
- DESCHAMPS M. 1985. Influence de l'eau et de l'azote sur la croissance, la formation du rendement et la nutrition azotée de deux légumineuses à graines, le pois chiche et le pois. *Diplôme d'Etudes Approfondies. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, Francia.* 82 pag.
- DILWORTH M.J. 1966. Acetylene reduction by nitrogen-fixing preparations from *Clostridium pasteurianum*. *Biophys. Acta.* 127: 285-294.
- GIBSON A.H. 1976. Recovery and compensation by nodulated legumes to environmental stress. pp 385-403. *In: Symbiotic nitrogen fixation in plants.* Ed. by Nutman P.S. I.B.P.
- HARDY R.W.F., R.D. HOLSTEIN, E.K. JACKSON y R.C. BURNS. 1968. The acetylene-ethylene assay for N_2 fixation: Laboratory and field evaluation. *Plant Physiol.* 43: 1185-1207.
- HUANG C.H., J.J. BOYER y L.W. VANDERHOEF. 1975. Acetylene reduction and metabolic activities of soybean having various leaf and nodule water potentials. *Plant physiol.* 56: 222-232.
- KADHEM FA., J.E. SPECHT y J.H. WILHAMS. 1985. Soybean irrigation. Serrally timed during stages R_1 a M_6 yield component responses. *Agron. J.* 77(2): 299-304.

- LATIMORE M., J.R. GIDDENS y D.A. ASHLEY. 1977. Effect of ammonium and nitrate upon photosynthate supply and nitrogen fixation by soybean. *Crop. Sci.* 17: 399-404.
- LEA P.J. y B.J. MIFLIN. 1980. Transport and metabolism of asparagine and other nitrogen compounds within the plant. *In: The biochemistry of plants*. Vol. V., Stumpf P.L. y E.E. Conn, Eds, Academic Press, New York, 569-608.
- MARTIN F., W.J. WINSPEAR, J.D. MacFARLENE y A. OAKS. 1983. Effect of methionine sulfoximine on the accumulation of ammonia in C₃ and C₄ leaves. *Plant Physiol.* 71: 177-181.
- MUNNS D.N. 1968. Nodulation of *Medicago sativa* in solution culture. I. Acid sensitive step. *Plant and Soil* 28: 129-146.
- OGHOGHORI C.C.O. y J.J. PATE. 1971. The nitrate stress syndrome of the nodulated pea (*Pisum arvense* L.). Technic for measurements and evaluation in physiological terms. *Plant and Soil*, special volume, 185-202.
- PANDEY R.K., W.A.T. HERRERA y J.W. PENDELTON. 1984. Drought response of grain legume under irrigation gradient yield components. *Agron. J.* 76: 549-560.
- RAWSTHORNE S., P. HADLEY, R.J. SUMMERFIELD y E.H. ROBERTS. 1985. Effect of supplemental nitrate and thermal regime on the nitrogen nutrition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) I. Growth and Development. II Symbiote development and nitrogen assimilation. *Plant and Soil* 83: 265-293.
- SALSAC., J.J. DREVON, M. ZENGBE, J.C. CLEYENT-MAREL y M. OBATON. 1984. Energy requirement of symbiotic N₂ fixation. *Physiol. Veg.* 22(4): 509-521.
- SHANER D.L. y J.S. BOYER. 1976. Nitrate reductase activity in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Plant Physiol.* 58: 499-504.
- SPRENT J.I. 1969. Prolonged reduction of acetylene by detached soybean nodules. *Planta* 88: 372-375.
- SPRENT J.I. 1971. Effects of water stress on nitrogen fixation in root nodules. *Plant and Soil*, special Vol. 225-228.
- TALOUIZTE A., G. GUIRAUD, A. MOYSE, C. MORAL y M.L. CHAMPIGNY. 1984. Effect of previous nitrate deprivation on 15N-nitrate absorption and assimilation by wheat seedlings. *J. Plant Physiol.* 116: 113-122.
- TANNER J.W. y I.C. ANDERSON. 1964. External effect of combined nitrogen on nodulation. *Plant physiol.* 39: 1039-1043.
- TIRADO T., J.L. 1987. Contribution à l'étude des activités glutamine synthétase et glutamate déshydrogénase comme marqueurs du métabolisme azoté chez la feuille de soja. Thèse docteur d'Etat. USTL. Montpellier. Francia.
- TIRADO T., J.L. y G. ALCANTAR G. 1989. Dinámica del nitrógeno en plantas de soya. *Terra* 7-2: 133-142.
- TREGUER y LECORRE. 1975. Manuel d'analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer. Université de Bretagne Occidentale, Brest. Francia. 11-22.
- TRIBOI-BLONDEL A.M. 1978. Effets de différents régimes d'alimentation hydrique sur l'activité *in vivo* de la nitrate réductase dans les feuilles de Dactyle. *C.A. Acad. Sci.*, Paris, 286-D, 1795-1797.
- TRINCHANT J.C. y J. RIGAUD. 1982. Nitrate and nitric oxide as inhibitors of nitrogenase from soybean bacteroids. *Appl. Environ. Microbiol.* 44: 1385-1388.
- VINCENT J.M. 1971. A manual for the practical study of root nodule bacteria (IBP). Handbook no. 15, Blackwell Scientific Publication.

WAREMBOURG F.R. y M.P. FERNANDEZ. 1985. Distribution and remobilization of symbiotically fixed nitrogen in soybean (*Glicine max*). *Physiol. Plant.* 65: 281-286.

WEBER C.R. 1966. Nodulating and non-nodulating soybean isolines. II. Response to

apply nitrogen and modified soil condition. *Agron. J.* 58: 46-49.

WYCH D.R. y D.W. RAINS. 1979. Nitrate absorption and acetylene reduction by soybean during reproductive development. *Physiol. Plant* 47: 200-204.

**ESTIMACION DE RIESGO EN EL USO DE RECOMENDACIONES PARA
MAIZ DE TEMPORAL EN CUATRO AGROSISTEMAS DEL
AREA DEL PLAN PUEBLA**

**A Risk Assessment of the Usage of Recommendations for
Rainfed Corn in Four Agrosystems in
the Plan Puebla Area**

Claudio Esquivel Alvarez

CEICADAR, Colegio de Postgraduados, Apartado Postal I-12,
La Libertad, 72130 Puebla, Pue.

Palabras clave: Variabilidad climática,
Adopción de tecnología.

Index words: On-farm agronomic research,
Weather variability, Technology adoption.

RESUMEN

El Plan Puebla ha desarrollado investigación agronómica en maíz de temporal de la cual se han definido recomendaciones técnicas para 16 agrosistemas. Ante la variabilidad climática observada en la región se hace necesario estimar el riesgo asociado con el uso de estas recomendaciones.

En este estudio se estimó a partir de ensayos de campo conducidos de 1974 a 1987 en los agrosistemas más importantes, el riesgo asociado con sus respectivas recomendaciones a dos niveles de capital. El riesgo se estimó a partir de la variabilidad en los incrementos netos de cada recomendación respecto a un nivel tecnológico tradicional. Se observó que en dos agrosistemas el nivel de capital ilimitado permitió mayores incrementos netos medios y menor riesgo, en tanto que en los

otros dos el de capital limitado representó menores niveles de riesgo. En esta forma el riesgo asociado con las recomendaciones propuestas puede influir en su adopción, principalmente por los agricultores de escasos recursos del área del Plan Puebla.

SUMMARY

Plan Puebla has carried out on-farm agronomic research on rainfed corn from which recommended practices have been developed for sixteen different producing conditions or agrosystems. Because of weather variability in the area it was important to estimate the risk associated with the usage of these recommendations.

In order to assess this risk, data from on-farm trials conducted from 1974 to 1987 were used. Risk was estimated from the variability in the net increments obtained with the limited and unlimited capital recommendations with respect to the average traditional technology.

In two agrosystems observed, the unlimited capital level allowed higher average net increments and lower risk than the limited capital level, whereas in the other two agrosystems the limited capital level

represented a lower level of risk. Thus, the risk associated with the proposed recommendations might affect their adoption by the small farmers of the area.

INTRODUCCION

La producción de un cultivo es función de factores de clima, suelo, manejo y otros (Jenny, 1941). La variabilidad de estos factores y sus efectos individuales e interacciones determinarán el nivel de producción del cultivo en cuestión. Estos efectos son particularmente complejos en la agricultura de temporal, que es la más importante de México.

El investigador agrícola encargado de desarrollar tecnologías mejoradas de producción trata de definir los niveles óptimos de los factores controlables para ciertas condiciones de suelo y clima. Para ello el investigador estudia las relaciones entre estos factores a través de experimentos conducidos en terrenos de agricultores para muestrear directamente la variabilidad edáfica y climática y definiendo por simplicidad estratos (agrosistemas) en los que los factores incontrolables son razonablemente constantes dentro de cierto rango (Turrent, 1978).

Con esta base el Plan Puebla ha desarrollado investigación en maíz de temporal que ha permitido diseñar recomendaciones tecnológicas específicas para 16 agrosistemas (CIMMYT, 1974). Sin embargo, la experimentación de donde se derivaron estas recomendaciones no exploró suficientemente la variabilidad en los factores climáticos, por lo que es necesario evaluar el riesgo asociado con su uso.

Recientemente se estimó que desde el punto de vista de la calidad climática, en el período 1967-1987 se ha observado en el área una frecuencia de 25% de años excelentes para la producción de maíz, 40% de años benignos, 20% de limitativos y 15% de años desastrosos,

lo cual indica un considerable grado de riesgo para la producción de maíz (Esquivel, 1986).

Una estimación de los niveles de riesgo y producción asociados con las tecnologías recomendadas fue presentada en 1974 (CIMMYT 1974). Estas recomendaciones mostraron las ventajas de las recomendaciones tecnológicas respecto a la tecnología tradicional en términos de los incrementos y niveles de riesgo asociados, sin embargo, están sujetas a las limitaciones del número y distribución en espacio y tiempo de los experimentos.

Por ello se planteó el presente trabajo con el objetivo de determinar los niveles de riesgo asociados con las recomendaciones tecnológicas para los cuatro principales agrosistemas de maíz, así como determinar los incrementos medios en la producción de maíz a través del período 1974-1987 en relación a los obtenidos con la tecnología tradicional que en promedio empleaban en 1967 los productores del área del Plan Puebla.

MATERIALES Y METODOS

Algunas Características del Area del Plan Puebla.

El área de influencia del Plan Puebla se localiza en la parte oeste del estado de Puebla, ocupando un valle limitado por los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl al oeste, y la Malinche al noroeste. El área inicial del Plan comprende una superficie de 116,000 ha de tierras de cultivo de las cuales 80,000 ha se cultivan con maíz. La altitud varía de 2,100 a 2,700 msnm, sin considerar las mayores altitudes de las partes circundantes a los volcanes.

El clima es templado con inviernos moderados. La temperatura media para los meses de mayo a octubre, que cubren la mayor parte del ciclo vegetativo del maíz, es de 17.3°C.

Durante los meses de octubre a marzo ocurren heladas que generalmente no causan

Esquivel Alvarez. ESTIMACION DE RIESGO EN EL USO DE RECOMENDACIONES

daños a este cultivo, sin embargo, pueden ocurrir heladas antes o después de dicho periodo que pueden afectar de manera importante los rendimientos de maíz. Ocasionalmente pueden ocurrir daños por granizo durante los meses de julio a septiembre.

La precipitación media anual en el periodo 1967-1984 varió de 518 a 1094 mm con una media general de 815 mm. De esta cantidad unos 800 mm se registran en el periodo de abril a octubre. La distribución de la precipitación muestra un carácter bimodal puesto que durante los meses de julio y agosto se presenta una reducción en la precipitación o sequía intraestival.

La precipitación media anual es aparentemente suficiente para el desarrollo de los cultivos de temporal, sin embargo, pueden ocurrir daños por sequía cuando la precipitación total es menor que la media anual o cuando la sequía intraestival se hace más acentuada.

Características de los Agrosistemas.

Como resultado de la investigación realizada en maíz, en 1972 se definieron 16 agrosistemas para este cultivo derivándose recomendaciones de prácticas de producción para dos niveles de uso de capital para cada uno de ellos. Estos agrosistemas (CIMMYT, 1974) se diferenciaron con base en el tipo de suelo, altura sobre el nivel del mar y fecha de siembra. En este estudio se consideran únicamente los agrosistemas más importantes de acuerdo a la superficie de maíz que comprenden. Las características de estos agrosistemas y sus respectivas recomendaciones se muestran en el Cuadro I.

Características de los Ensayos de Campo.

Para evaluar los efectos de la variabilidad anual de los factores climáticos sobre los rendimientos de maíz, a partir de 1974 el programa de investigación agronómica del Plan

Puebla inició el establecimiento de una serie de ensayos, que por su propósito se denominaron lotes climatológicos. Estos ensayos se establecen anualmente en terrenos de agricultores cooperantes. En cada agrosistema se establecen uno o más lotes dependiendo de la superficie del agrosistema correspondiente.

Entre los tratamientos se incluye el tratamiento 50-25-10-30M (indican kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O y miles de plantas ha^{-1} , respectivamente) que representa el nivel de estos factores que en promedio utilizaban el 69.3% de los agricultores del área en 1967. Así mismo, se incluyen tratamientos que corresponden a las recomendaciones para el agrosistema respectivo. Estas recomendaciones incluyen dosis de los fertilizantes nitrogenado, fosfórico y densidad de población de maíz y se diferencian a dos niveles de inversión, para agricultores con recursos suficientes se define una recomendación denominada de capital ilimitado y para agricultores con menos recursos se define una recomendación denominada de capital limitado. Adicionalmente se incluyen otros tratamientos para evaluar otros tipos de respuestas. El tamaño de parcela es de cuatro surcos de 8 m de largo y los tratamientos son distribuidos al azar dentro del lote.

En este trabajo se hará referencia únicamente a los rendimientos de la tecnología tradicional (YTR) y a los de las recomendaciones de capital ilimitado (YCI) y limitado (YCL).

Los rendimientos medios anuales obtenidos en los lotes climatológicos conducidos de 1974 a 1987 por los tratamientos que corresponden a la tecnología tradicional y las recomendaciones de capital limitado e ilimitado se expresaron al 80% del rendimiento experimental para aproximar a los rendimientos que un agricultor podría obtener en condiciones comerciales de producción.

Para cada nivel tecnológico se determinaron sus costos variables y estos se expresaron en

Cuadro 1. Características y recomendaciones técnicas para maíz para cuatro agrosistemas del área del Plan Puebla.

Agro- sis- tema	Descripción	Sup. sembrada con maíz	Recomendación técnica	
			Cap. limitado N-P ₂ O ₅ -DP	Cap. ilimitado N-P ₂ O ₅ -DP
		%		
1.1.1.	Suelos profundos del Popocatepetl, entre 2100 y 2350 msnm, siembras antes del 15 de mayo.	13.23	90-20-40,000	140-40-50,000
2.1.1.	Suelos profundos del Popocatepetl, entre 2100 y 2350 msnm, siembras de mayo 16 a junio 15.	11.09	90-30-40,000	140-60-50,000
3.1.	Suelos de la Malinche, entre 2100 y 2350 msnm, siembras antes del 30 de abril.	28.42	80-40-40,000	120-40-50,000
5.1.2.	Suelos con horizonte compactado, siembras hechas en mayo.	5.44	80-30-40,000	110-50-50,000
	Total	58.18		

kg ha⁻¹ de grano de maíz y se presentan en el Cuadro 2.

Estos costos se descontaron de los rendimientos medios obtenidos con cada tecnología para obtener rendimientos netos (YNTR, YNCI y YNCL). Los incrementos netos (ΔN) se calcularon como la diferencia entre los rendimientos netos de cada nivel de capital respecto al rendimiento neto obtenido con la tecnología tradicional.

Estimación del Riesgo Asociado a los Tratamientos.

En este estudio se asume como definición de riesgo a la probabilidad estandarizada de que

el incremento neto (ΔN) en el rendimiento de las tecnologías de capital limitado e ilimitado sea igual o menor al incremento en los costos variables (ΔCV) respecto a la tecnología tradicional, es decir $P(\Delta N \leq \Delta CV)$. En un estudio previo (CIMMYT, 1974) se demuestra que los ΔN se distribuyen normalmente, por lo que en este estudio se asume que los ΔN calculados siguen esta distribución. Además, se calculó la relación $\Delta N / \Delta CV$ que indica la tasa de retorno por peso invertido en estas tecnologías y en cada agrosistema.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los rendimientos medios obtenidos por las tecnologías tradicional, de capital limitado e

Esquivel Alvarez. ESTIMACION DE RIESGO EN EL USO DE RECOMENDACIONES

Cuadro 2. Niveles tecnológicos y sus costos variables para cuatro agrosistemas del área del Plan Puebla.

Agrosistema	Recomendación ¹⁾	Nivel de capital	Costos variables ²⁾
			kg ha ⁻¹
1.1.1.	90-20-0-40	Limitado	485
	140-40-0-50	Ilimitado	763
2.1.1.	90-30-0-40	Limitado	525
	140-60-0-50	Ilimitado	843
3.1.	80-40-0-40	Limitado	450
	120-40-0-50	Ilimitado	693
5.1.2.	80-30-0-40	Limitado	490
	110-50-0-50	Ilimitado	698
Todos	50-25-10-30	Tradicional	363

1) Indican kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y miles de plantas ha⁻¹, respectivamente.

2) Calculados con base en las relaciones de costos de insumos/precios de productos: $\frac{C_n}{P_y} = 3.5$; $\frac{C_p}{P_y} = 4.0$;

$$\frac{C_k}{P_y} = 2.00; \quad \frac{C_{dp}}{P_y} = 2.25.$$

ilimitado en cada agrosistema en el periodo 1974-1987 se presentan gráficamente en las Figuras 1 a 4. Los rendimientos netos y probabilidades estandarizadas se presentan en los Cuadros 3 a 6. A continuación se referirán los principales resultados por agrosistema.

Agrosistema 1.1.1

En la Figura 1 se presentan los rendimientos medios de maíz correspondiente a las tres tecnologías consideradas. En la gráfica se observa que en los años favorables la opción de capital ilimitado tiende a superar en rendimientos a la de capital limitado y ésta, a su vez, a la tecnología tradicional, sin embargo, estas diferencias no se observan en los años limitativos como 1982

y 1983. Evidentemente las diferencias varían en magnitud, por lo que una evaluación más clara de las diferencias entre estos niveles tecnológicos se obtiene al compararlos en términos de los incrementos netos y de las probabilidades de que estos incrementos sean menores o iguales al incremento en los costos variables.

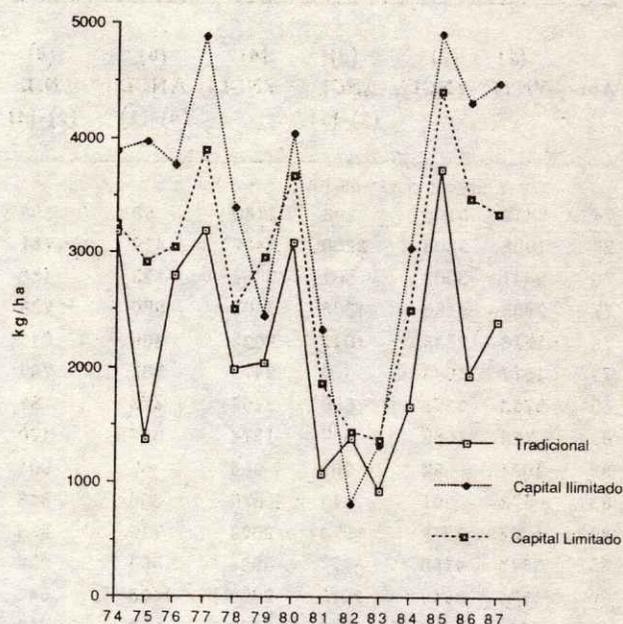


Figura 1. Respuesta promedio del maíz a tres niveles tecnológicos en el agrosistema 1.1.1. en el periodo 1974-1987.

En el Cuadro 3, se tienen los ΔN de la recomendación de capital ilimitado respecto a la tecnología tradicional. Se aprecia que el ΔN varía desde -969 kg ha^{-1} en 1982 a un máximo de $2,200 \text{ kg ha}^{-1}$ en 1975 y con un incremento medio de 800 kg ha^{-1} , aun cuando por efecto de la variabilidad entre años se tiene una desviación estándar de 843.9 kg ha^{-1} . La probabilidad calculada indica que un agricultor que empleara este nivel tecnológico asumiría un riesgo del 32%, es decir en seis de cada 20 años el incremento neto obtenido no le permitirá cubrir los costos variables adicionales. La relación $\Delta N / \Delta CV$ indica que esta tecnología le reportaría al agricultor

una ganancia de dos pesos por cada peso invertido.

Cuadro 3. Rendimientos netos, incrementos netos, riesgos¹⁾ y tasas de retorno entre tres niveles tecnológicos para la producción de maíz en el agrosistema 1.1.1.

Año	(1) YNTR	(2) YNCL	(3) Δ NCL (2)-(1)	(4) YNCL	(5) Δ NCL (4)-(1)	(6) Δ NIL (2)-(4)
----- kg ha ⁻¹ -----						
74	2812	3108	296	2760	- 52	398
75	1008	3208	2200	2427	1419	781
76	2441	3002	561	2564	123	438
77	2823	4126	1303	3403	580	238
78	1616	2635	1019	2022	406	613
79	1677	1686	9	2478	801	- 792
80	2722	3278	556	3195	473	83
81	722	1569	847	1374	657	190
82	1021	52	- 969	956	- 65	- 904
83	573	561	- 12	879	306	- 318
84	1304	2278	974	2023	719	255
85	3373	4150	777	3928	555	222
86	1575	3545	1970	2998	1423	547
87	2044	3720	1676	2862	818	858
Promedio Δ N		800		583.0		182.8
Desv. est. Δ N		843.9		455.6		528.1
P (Δ N \leq Δ CV)		0.32		0.15		0.43
Δ N/ Δ CV		2.00		4.78		0.66

¹⁾ Estimados como P (Δ N \leq Δ CV).

En contraste, la recomendación de capital limitado (Columna 5) se asoció con un incremento neto de 583 kg ha⁻¹ y la probabilidad estimada indica que sólo en tres de cada 20 años el incremento neto no cubriría el costo variable adicional. Además, esta opción tecnológica significa una tasa de retorno de 4.78 pesos por cada peso invertido. Obviamente, en este agrosistema la estrategia de maximizar la ganancia por unidad de superficie no sería la más adecuada para un agricultor de escasos recursos orientado hacia

minimizar el riesgo. Este agricultor optaría por la alternativa de capital limitado que le representaría un riesgo menor y un mayor retorno por peso invertido. Los datos en la columna 6 confirman esta situación al indicar que la tecnología de capital ilimitado supera a la de capital limitado en sólo 182.8 kg ha⁻¹ y que en nueve de cada 20 años este incremento no compensaría el costo variable adicional.

Agrosistema 2.1.1

Los rendimientos medios obtenidos por los tres niveles tecnológicos se presentan en la Figura 2. La gráfica muestra que, excepto en 1979, el nivel de capital ilimitado supera al capital limitado y al tradicional en los años favorables, en tanto que esta relación es a favor del capital limitado en años limitativos como 1981, 1982 y 1983.

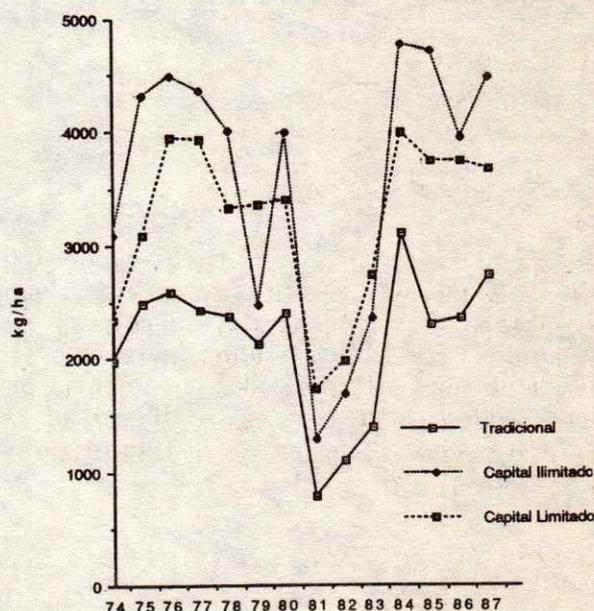


Figura 2. Respuesta promedio del maíz a tres niveles tecnológicos en el agrosistema 2.1.1. durante el periodo 1974-1987.

En términos de incrementos medios y riesgo en el agrosistema 2.1.1 (Cuadro 4) se observa

Esquivel Alvarez. ESTIMACION DE RIESGO EN EL USO DE RECOMENDACIONES

una situación semejante a la descrita para el agrosistema 1.1.1., es decir la estrategia de capital limitado representa un incremento neto medio similar al obtenido con la tecnología de capital ilimitado, un riesgo de sólo 1.5% que indica que en prácticamente todos los años el incremento neto cubriría el costo variable adicional, además de que representaría una tasa de retorno de 5.54 pesos por cada peso invertido. Los datos de la columna 6 de este cuadro confirman esta situación.

Cuadro 4. Rendimientos netos, incrementos netos, riesgos¹⁾ y tasas de retorno entre tres niveles tecnológicos para la producción de maíz en el agrosistema 2.1.1.

Año	(1) YNTR	(2) YNCI	(3) Δ NCI (2)-(1)	(4) YNCL	(5) Δ NCL (4)-(1)	(6) Δ NIL (2)-(4)
	kg ha ⁻¹					
74	1613	2244	631	1809	196	435
75	2129	3467	1338	2567	438	900
76	2220	3638	1418	3429	1209	209
77	2069	3515	1446	3410	1341	105
78	2010	3169	1159	2790	780	379
79	1750	1631	- 119	2828	1078	- 1197
80	2037	3147	1110	2871	834	276
81	414	442	28	1193	779	- 751
82	732	837	105	1444	712	- 607
83	1021	1517	496	2202	1181	- 685
84	2737	3925	1188	3466	729	459
85	1927	3869	1942	3212	1285	657
86	1992	3103	1111	3216	1224	- 113
87	2368	3630	1262	3141	773	489
Promedio Δ N			937		897	40
Desv. est. Δ N			611		337	619
P (Δ N \leq Δ CV)			0.23		0.015	0.33
Δ N/ Δ CV			1.95		5.54	0.12

¹⁾ Estimados como P (Δ N \leq Δ CV).

Agrosistema 3.1

A diferencia de los dos agrosistemas anteriores se observa que en este agrosistema

(Figura 3) la opción de capital ilimitado tiende a superar a los otros dos niveles tecnológicos en la mayoría de los años, excepto en 1986 año en que el efecto de la sequía intraestival fue mayor en la zona donde se ubica este agrosistema.

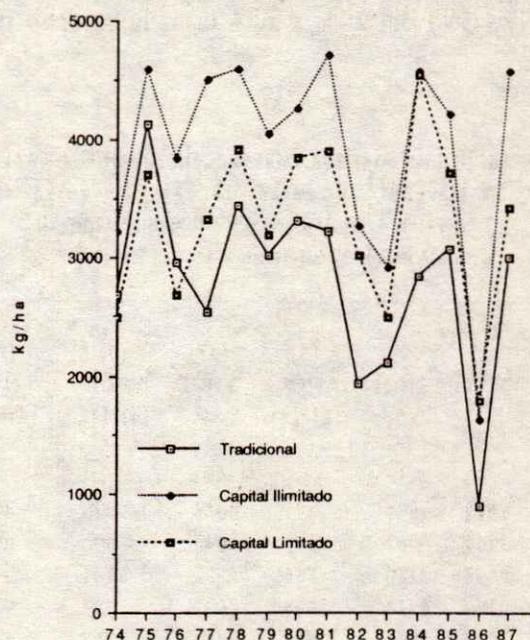


Figura 3. Respuesta promedio del maíz a tres niveles tecnológicos en el agrosistema 3.1. durante el periodo 1974-1987.

Los datos del Cuadro 5, columna 3, indican un Δ N medio de 797 kg ha⁻¹ a favor del nivel de capital ilimitado respecto al nivel tradicional, con una desviación estándar de 442.1 kg ha⁻¹. En consecuencia, en este agrosistema se estimó que en dos de cada 20 años el Δ N no cubre el costo variable adicional al utilizar la tecnología de capital ilimitado. El uso de esta alternativa de producción reportaría al agricultor una ganancia de 2.4 pesos por cada peso invertido.

Por otra parte, el uso de la recomendación de capital limitado permitiría obtener un incremento medio de sólo 400 kg ha⁻¹ (columna 5) y en seis de cada 20 años este incremento no pagaría el costo variable adicional, aun

cuando la tasa de retorno al capital es de 4.60. Evidentemente, en este agrosistema la mejor opción para el agricultor es aplicar la recomendación de capital ilimitado. Esto se confirma con los datos de la columna 6 que indican un incremento neto medio de 435 kg ha⁻¹ a favor de la opción de capital ilimitado respecto a la de capital limitado, una P ($\Delta N \leq \Delta CV$) del 29% y una tasa de retorno de 1.79.

Cuadro 5. Rendimientos netos, incrementos netos, riesgos¹⁾ y tasas de retorno entre tres niveles tecnológicos para la producción de maíz en el agrosistema 3.1.

Año	(1) YNTR	(2) YNCL	(3) ΔNCI (2)-(1)	(4) YNCL	(5) ΔNCL (4)-(1)	(6) ΔNIL (2)-(4)
----- kg ha ⁻¹ -----						
74	2314	2535	221	2044	- 270	491
75	3757	3903	146	3249	- 508	654
76	2592	3146	554	2231	- 361	915
77	2180	3814	1634	2867	687	947
78	3070	3901	831	3452	382	449
79	2651	3352	701	2742	91	610
80	2952	3561	609	3386	434	175
81	2856	4019	1163	3439	583	580
82	1577	2567	990	2572	995	- 5
83	1747	2226	479	2036	289	190
84	2485	3881	1396	4096	1611	- 215
85	2720	3520	800	3267	547	253
86	546	945	399	1344	798	147
87	2644	3878	1234	2976	332	902
Promedio ΔN			797		400	435
Desv. est. ΔN			442		560	359
P ($\Delta N \leq \Delta CV$)			0.10		0.29	0.29
$\Delta N / \Delta CV$			2.41		4.60	1.79

¹⁾ Estimados como P ($\Delta N \leq \Delta CV$).

Agrosistema 5.1.2

A diferencia de los agrosistemas anteriores que corresponden a siembras de maíz que se establecen en condiciones de humedad residual,

por lo que se realizan antes del inicio de las lluvias, el agrosistema 5.1.2 corresponde a suelos que no permiten conservar humedad en el perfil por lo que las siembras deben efectuarse al inicio de las lluvias, utilizando variedades de ciclo más corto.

Los rendimientos medios obtenidos en este agrosistema por los tres niveles tecnológicos se indican gráficamente en la Figura 4. Se observa que en este agrosistema la recomendación de capital ilimitado superó en rendimiento a los otros dos niveles en todos los años, en tanto que los rendimientos obtenidos con la opción de capital limitado fueron menores a los de la tecnología tradicional sólo en 1982 y 1986.

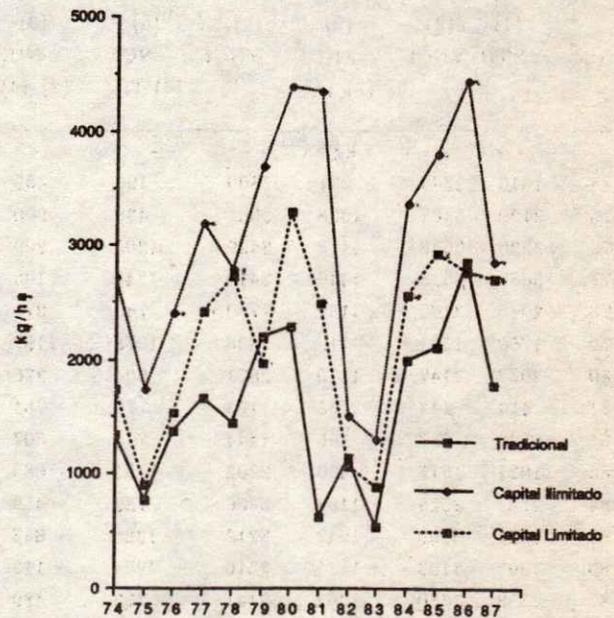


Figura 4. Respuesta promedio del maíz a tres niveles tecnológicos en el agrosistema 5.1.2. durante el período 1974-1987.

En relación a los incrementos netos, en el Cuadro 6 se aprecia que con el nivel de capital ilimitado el ΔN medio respecto al nivel tradicional fue de 1119 kg ha⁻¹ y con una probabilidad de 16% de que el ΔN no supere al ΔCV . La tasa de retorno indica que por

Esquivel Alvarez. ESTIMACION DE RIESGO EN EL USO DE RECOMENDACIONES

cada peso invertido se obtendrían 3.34 pesos. Por otra parte la alternativa de capital limitado (columna 5) superó al nivel tradicional en sólo 434 kg ha⁻¹ y la probabilidad de 30% indica que en seis de cada 20 años este incremento no pagaría la inversión adicional y que su tasa de retorno es similar a la obtenida con la opción de capital ilimitado. Es claro que en esta condición de producción de maíz la alternativa de capital ilimitado que maximiza la ganancia por unidad de superficie es también adecuada para los agricultores de escasos recursos desde el punto de vista de riesgo como de la tasa de retorno al capital invertido en los insumos considerados en este nivel tecnológico. Las cifras de la columna 6 confirman estas ventajas.

Cuadro 6. Rendimientos netos, incrementos netos, riesgos¹⁾ y tasas de retorno entre tres niveles tecnológicos para la producción de maíz en el agrosistema 5.1.2.

Año	(1) YNTR	(2) YNCI	(3) ΔNCI (2)-(1)	(4) YNCL	(5) ΔNCL (4)-(1)	(6) ΔNIL (2)-(4)
	----- kg ha ⁻¹ -----					
74	973	2015	1042	1245	272	770
75	416	1032	616	416	0	616
76	1002	1703	701	1043	41	660
77	1304	2494	1190	1937	633	557
78	1076	2087	1011	2235	1159	- 148
79	1844	2994	1159	1474	- 370	1520
80	1929	3697	1768	2800	871	897
81	269	3640	3371	1996	1727	1644
82	773	797	24	580	- 193	217
83	173	599	426	394	221	205
84	1639	2663	1024	2080	441	283
85	1754	3113	1359	2445	691	668
86	2501	3747	1246	2284	- 217	1463
87	1417	2153	736	2218	801	- 65
Promedio ΔN		1119		434		685
Desv. est. ΔN		777		589		556
P (ΔN ≤ ΔCV)		0.16		0.30		0.19
ΔN/ΔCV		3.34		3.42		3.29

¹⁾ Estimados como P (ΔN ≤ ΔCV).

CONCLUSIONES

1. En dos agrosistemas las recomendaciones de capital ilimitado obtuvieron en el período estudiado mayores incrementos netos medios y representaron menores niveles de riesgo que las recomendaciones de capital limitado, en tanto que en los otros dos agrosistemas las recomendaciones de capital limitado se asociaron con menores niveles de riesgo.

2. La variabilidad entre años en los factores climáticos es un factor que debe considerarse en la investigación y difusión de tecnologías de producción para cultivos de temporal, principalmente cuando se consideran agricultores de escasos recursos.

LITERATURA CITADA

CIMMYT. 1974. El Plan Puebla. Siete años de experiencia: 1967-1973. El Batán, México.

ESQUIVEL, A.C. 1986. Variabilidad de los rendimientos de maíz en el área del Plan Puebla: una estimación de efectos de clima y tecnología. CEICADAR, Colegio de Postgraduados. Puebla, Pue.

JENNY, H. 1941. Factors of soil formation. Mc Graw Hill Book Co. New York.

TURRENT, F.A. 1978. El agrosistema, un concepto útil dentro de la disciplina de productividad. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

GUIA PARA LA REALIZACION DE ESTUDIOS DE EROSION EN CAMINOS FORESTALES

Guide to Conduct Erosion Studies in Forestry Access Roads

L.M. Martínez R.

Laboratorio Natural Las Joyas-U de G., Niños Héroes 53,
48740 El Grullo, Jal.

Palabras clave: Caminos forestales, Erosión.

Index words: Forestry roads, Erosion.

RESUMEN

Los llamados caminos de acceso, en las zonas forestales, son utilizados principalmente para la extracción de madera, control de incendios, movimiento de ganado y recreación. Estos caminos tienden a seguir las formas naturales del terreno, poseen construcciones mínimas de obras de ingeniería y alcantarillado y su superficie raramente está cubierta con grava. El mantenimiento de este camino generalmente se hace cuando se están aprovechando los recursos madereros de la zona y sólo cuando la superficie se encuentra erodada y el acceso restringido, una vez agotados los recursos, los caminos son prácticamente abandonados.

Esta guía presenta tender algunas líneas a seguir para realizar estudios de erosión en los caminos de acceso a zonas forestales, basados en el conocimiento de los procesos de erosión que ocurren a lo largo del camino así como la susceptibilidad del suelo a estos

procesos. Para ello se describen las características del sitio que presenta problemas para el tráfico, tales como deslizamientos, hundimientos, derrumbes, flujos de tierra, canalillos, cárcavas, limitantes de topografía, lodo superficial, cruces de drenajes naturales o artificiales, etc.

El conocimiento del origen de los problemas anteriores permite proponer alternativas de control basadas en el manejo de los escurrimientos, lo cual permite prevenir y controlar la erosión en los caminos.

Las alternativas de control a las que se avoca esta guía son para ser generadas a corto plazo y a bajo costo por lo que no involucran el uso de equipo pesado sino de mano de obra de los campesinos organizados.

SUMMARY

Forestry access roads are used for logging, fire management, stock movement and recreation. These roads tend to follow the natural land contours and their construction usually consists of minimum earthworks and culverting. The road surface is rarely gravelled. Generally, road the maintenance is carried out when lumber resources are being extracted and the surface becomes severely

Martínez R. GUIA PARA LA REALIZACION DE ESTUDIOS DE EROSION EN CAMINOS

eroded. When the logging operation is finished or the forest resources are depleted, the roads are practically abandoned.

This article provides guidelines for conducting erosion studies in forestry access roads. They are based on the knowledge of the erosion process present along the road and on the soil susceptibility to these processes. This erosion study describes the characteristics at the site that cause traffic problems such as slides, cave-ins, earth flows, gully or rills, topographic restrictions, surface sloughing, drainage line crossings, etc.

The knowledge of the principal causes of these problems will permit the proposal of alternatives based mainly on runoff control to prevent and reduce road erosion.

The erosion control alternatives proposed by this guide can be implemented in a short time, at low cost with the use of manual labor and no investment in heavy machinery, and with the active and organized participation of the local peasants or laborers.

INTRODUCCION

Los caminos forestales son utilizados principalmente para la extracción de madera, control de incendios, movimiento de ganado y recreación. Estos caminos tienden a seguir las formas naturales del terreno tienen escasas construcciones de obras de ingeniería y alcantarillado y su superficie raramente está cubierta por grava. Las faltas de planeación en la construcción de caminos ocasiona graves perturbaciones a los ecosistemas naturales, facilitando la degradación paulatina de los suelos. El mantenimiento a estas obras se hace durante la explotación del bosque, después de un siniestro, cuando la superficie se incrementa severamente erodada y el acceso es restringido. Las deficiencias en la construcción y mantenimiento de los caminos forestales son responsables de la excesiva erosión y de la elevada contaminación por sedimentos que se depositan aguas abajo, en

partes bajas, reservorios y en las corrientes naturales.

Trabajos realizados en países desarrollados, por FAO (Megahan, 1986) muestran que los caminos son la mayor causa de erosión; los efectos varían considerablemente dependiendo de la geología, clima, fisiografía, suelo, y vegetación. En nuestro país, prácticamente son nulos los trabajos enfocados a evaluar el impacto que representa la erosión en caminos construidos sobre diversos ecosistemas.

Megahan (1986) indica las posibles causas que ocasionan la erosión acelerada en caminos: (a) remoción o reducción de la cubierta protectora; (b) destrucción o empeoramiento de la estructura natural del suelo y de la fertilidad; (c) incremento de las gradientes de pendiente creados por la construcción de taludes de corte y terraplén; (d) decremento de las tasas de infiltración en el área del camino, por la compactación que experimenta; (e) intercepción del flujo superficial por la pendiente de corte del camino; y (f) concentración del agua captada e interceptada.

Conocer el tipo de erosión y los factores que ocasionan este proceso, es un punto importante para el diseño de las medidas de control. La erosión puede ser clasificada de dos tipos: (1) erosión en masa y (2) erosión superficial. El primer tipo incluye todas las formas de erosión en que las partículas tienden a moverse primeramente en masa bajo la influencia de la fuerza de gravedad; esta erosión es controlada por el balance entre las fuerzas de retención y de desprendimiento. Cuando la fuerza de retención, es mayor, el suelo se mantiene estable. Por otra parte, la erosión superficial es definida como el movimiento individual de partículas por fuerzas diferentes a la de gravedad, tales como el impacto de las gotas de lluvia y el flujo superficial. Esta erosión es función de la magnitud de las fuerzas, la susceptibilidad a la erodabilidad del sitio y la cobertura protectora del suelo (Megahan, 1986).

El objetivo de este trabajo fue conocer los factores que inciden o aceleran la erosión a lo largo de los caminos y entender los procesos que ocurren durante este tipo de degradación.

METODOLOGIA

Las acciones para realizar este tipo de estudio son divididas en las etapas Gabinete-Campo-Gabinete.

Gabinete

Esta primera etapa de gabinete comprende:

Recopilación de información. Recabación de toda la información existente del área de estudio, tal como fotografías aéreas, cartas topográfica geológica, de vegetación de suelo y de clima, así como la información climatológica de la estación meteorológica más cercana al área.

Es conveniente además recabar otro tipo de información que puede ser útil para el desarrollo del estudio, tales como aspectos socioeconómicos de la comunidad, área de influencia, etc.

Integración de información. Esta fase se refiere a la organización y análisis de la información obtenida como apoyo para el trabajo de campo. Los pasos a seguir dentro de esta fase de integración son:

(1) Localización del camino en la fotografía aérea y graficación en un plano topográfico que cubra todas las áreas de escurrimiento que inciden en el camino. En caso de no contar con fotografías aéreas se utiliza únicamente el plano topográfico.

(2) Delimitar el área del camino y su área de influencia, y con apoyo de la fotointerpretación y la cartografía temática señalar los cambios (suelo, vegetación, geología, etc.) que se presentan a lo largo de éste.

(3) Ubicar sobre el mapa topográfico base los cruces de drenaje, delimitando para cada uno su área de escurrimiento; esto último con el fin de realizar el cálculo de escurrimiento máximo probable, que permite determinar las dimensiones de las obras de desagüe a realizar (alcantarillas, vados, cunetas, etc.).

Para estimar el escurrimiento máximo, el Colegio de Postgraduados (1977) recomienda el método racional modificado:

$$Q = 0.028 CLA \quad (1)$$

donde:

Q = escurrimiento máximo (m^3s^{-1}); 0.028 = constante numérica resultante de las unidades en que se expresan las variables; C = coeficiente de escurrimiento, (adimensional); L = lluvia máxima en 24 h para un período de retorno dado ($cm h^{-1}$); y A = área de la cuenca (ha).

Los pasos a seguir para el cálculo son los siguientes: (a) Determinar el área de la cuenca o de escurrimiento correspondiente a cualquier cruce de drenaje (cárcava, arroyo, río, etc.); (b) Determinar el coeficiente de escurrimiento de acuerdo a las características suelo, topografía, uso del suelo-vegetación. Los valores de C para el cálculo se obtienen del Cuadro 1; (c) Determinar la lluvia máxima en 24 h para un período de retorno dado (se recomienda utilizar periodos de retorno mayores a 10 años). Para este valor pueden utilizarse los mapas de la República Mexicana que muestran curvas con igual lluvia en 24 h en el Manual de Conservación del Suelo y del Agua (Colegio de Postgraduados, 1977).

Otro método a utilizar es el del coeficiente de escurrimiento anual (Campos, 1987), que se evalúa con las siguientes fórmulas:

$$a) \text{ cuando } K = 0.15 \quad C = \frac{K(P-250)}{2000} \quad (2)$$

$$b) \text{ cuando } K = 0.15 \quad C = \frac{K(P-250)}{2000} + \frac{(K-0.15)}{1.5} \quad (3)$$

Martínez R. GUIA PARA LA REALIZACION DE ESTUDIOS DE EROSION EN CAMINOS

Cuadro 1. Valores de C para el cálculo de escurrimiento.

Topografía Vegetación	Textura del suelo		
	Gruesa	Media	Fina
Bosque			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (11-30% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (11-30% pendiente)	0.22	0.42	0.60
Terrenos cultivados			
Plano (0-5% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (6-10% pendiente)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (11-30% pendiente)	0.52	0.72	0.82

Fuente: Colegio de Postgraduados, 1977.

donde:

C = coeficiente de escurrimiento anual (adimensional); P = precipitación media anual (mm); K = parámetro que depende del tipo y uso o cubierta del suelo, se determina con base en el Cuadro 2.

Los tipos de suelo utilizados para el Cuadro 2 son los siguientes:

Grupo A. (Bajo potencial de escurrimiento). Suelos que tienen altas velocidades de infiltración cuando están mojados y contienen principalmente arenas y gravas, son profundos, con buen a excesivo drenaje. Estos suelos tienen altas velocidades de transmisión del agua.

Grupo B. Suelos con moderadas velocidades de infiltración cuando están mojados, de texturas finas a gruesas.

Cuadro 2. Parámetro K de la fórmula del coeficiente de escurrimiento anual, función del tipo de suelo y cubierta vegetal.

Cubierta (o uso) del suelo	Tipo de suelo		
	A	B	C
Barbecho, Areas incultas y Desnudas	0.26	0.28	0.30
Cultivos:			
en hilera	0.24	0.27	0.30
legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.30
granos pequeños	0.24	0.27	0.30
Pastizal			
% del suelo cubierto y pastoreo			
más del 75% - poco	0.14	0.20	0.28
del 50 al 75% - regular	0.20	0.24	0.30
menos del 50% - excesivo	0.24	0.28	0.30
Bosque			
cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.30
cascos y zonas con edificaciones	0.26	0.29	0.32
camino, incluyendo derecho de vía	0.27	0.30	0.33
pradera permanente	0.18	0.24	0.30

Fuente: Campos, 1987.

Grupo C. Suelos que tienen bajas velocidades de infiltración cuando están mojados; tienen un estrato que impide el flujo del agua; poseen texturas finas. Estos suelos tienen bajas velocidades de transmisión.

Una vez determinado el coeficiente de escurrimiento se calcula el gasto mediante la forma racional modificada.

(4) Dadas las características del estudio se sugiere manejar la cartografía a nivel de detalle y semidetalle.

(5) Realizar la cartografía de riesgo de erosión de acuerdo a la metodología FAO (FAO, 1979; Ortiz, 1984), en las áreas por donde

cruza el camino. Esta cartografía no busca cuantificar pérdidas de suelo, sino tener conocimiento de la susceptibilidad a la erosión de las zonas adyacentes al camino.

La metodología considera tres grupos de factores: climatológicos, edáficos y topográficos.

Factores climáticos. Se utiliza el Índice de Fournier modificado:

$$R = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^{12} P_i^2 \quad (4)$$

donde: R = índice de erosividad de la lluvia; P_i = precipitación mensual; P = precipitación anual.

Factores edáficos. Esta información puede ser obtenida de la cartografía existente. Estos factores se dividen en dos aspectos, erodabilidad de las unidades de suelo y textura de las mismas. Las clases de erodabilidad de las unidades de suelo de FAO se indican en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Clases de erodabilidad de las unidades de suelo de FAO.

Clase de erodabilidad	Orden de suelo y clave			
I	Chernozems (C)	Rankers (U)	Rendzinas (E)	
	Ferralsoles (F)	Feozems (H)	Litosoles (I)	
	Nitsoles (N)	Histosoles (O)	Arenosoles (Q)	
II	Cambisoles (B)	Fluvisoles (J)	Castañosozems (K)	
	Luvissoles (L)	Andosoles (T)	Gleysoles (G)	
	Greysems (M)	Regosoles (R)	Solonchaks (Z)	
III	Solonetz (S)	Podzoluvi- (D)	Podzoles (P)	
		soles		
	Vertisoles (V)	Planosoles (W)	Xerosoles (X)	
	Yermosoles (Y)			

Las clases texturales se agrupan en tres tipos: a) textura gruesa (18% arcilla y 65% arena); b) textura media (35% arcilla y 65% arena o 18% arcilla y 82% arena); c) textura fina (35% arcilla).

Dentro de los factores topográficos, la pendiente se divide en cuatro clases:

aa. Pendiente muy suave, exclusiva para Fluvisoles, Gleysoles y fases gleicas (Ortiz, 1984).

a. de plana a ligeramente ondulada, de 0 a 8%

b. de ondulada a fuerte, de 8 a 30%

c. fuertemente quebrada, mayor de 30%

Con los tres factores anteriores se calcula el riesgo de erosión, obteniendo la calificación de cada uno de ellos del Cuadro 4 y utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = R \times C_{\text{unidad}} \times C_{\text{textura}} \times C_{\text{pendiente}} \quad (5)$$

y para evaluar los resultados obtenidos en ton ha⁻¹ año⁻¹ se tiene la siguiente clasificación:

Clase de degradación	Pérdida de suelo ton ha ⁻¹ año ⁻¹
R ₁ = ninguna o ligera	<10
R ₂ = moderada	10-50
R ₃ = alta	50-200
R ₄ = muy alta	>200

En la Figura 1 podemos observar un ejemplo de la cartografía de riesgo de erosión aplicada al camino de Las Joyas-Ahuacapán en la Sierra de Manantlán, Jal.

Trabajo de Campo

En la etapa de campo deben realizarse las siguientes actividades. (1) Como punto de partida es necesario seccionar el camino cada kilómetro por medio de estacas para que sirva como punto de referencia de nuestras

Cuadro 4. Calificaciones para clasificación por riesgo de erosión.

Factores	Calificación					
	I	II	III			
Erodabilidad	0.5	1.0	2.0			
Textura del suelo	1	2	3			fase gravosa o pedregosa
	0.2	0.3	0.1			0.5
Pendiente	aa	a	ab	b	bc	c
		0-8%	8-20%	8-30%	8-30%	30%
	0.15	0.35	2.0	3.5	8.0	11.0

Fuente: Ortiz, 1984.

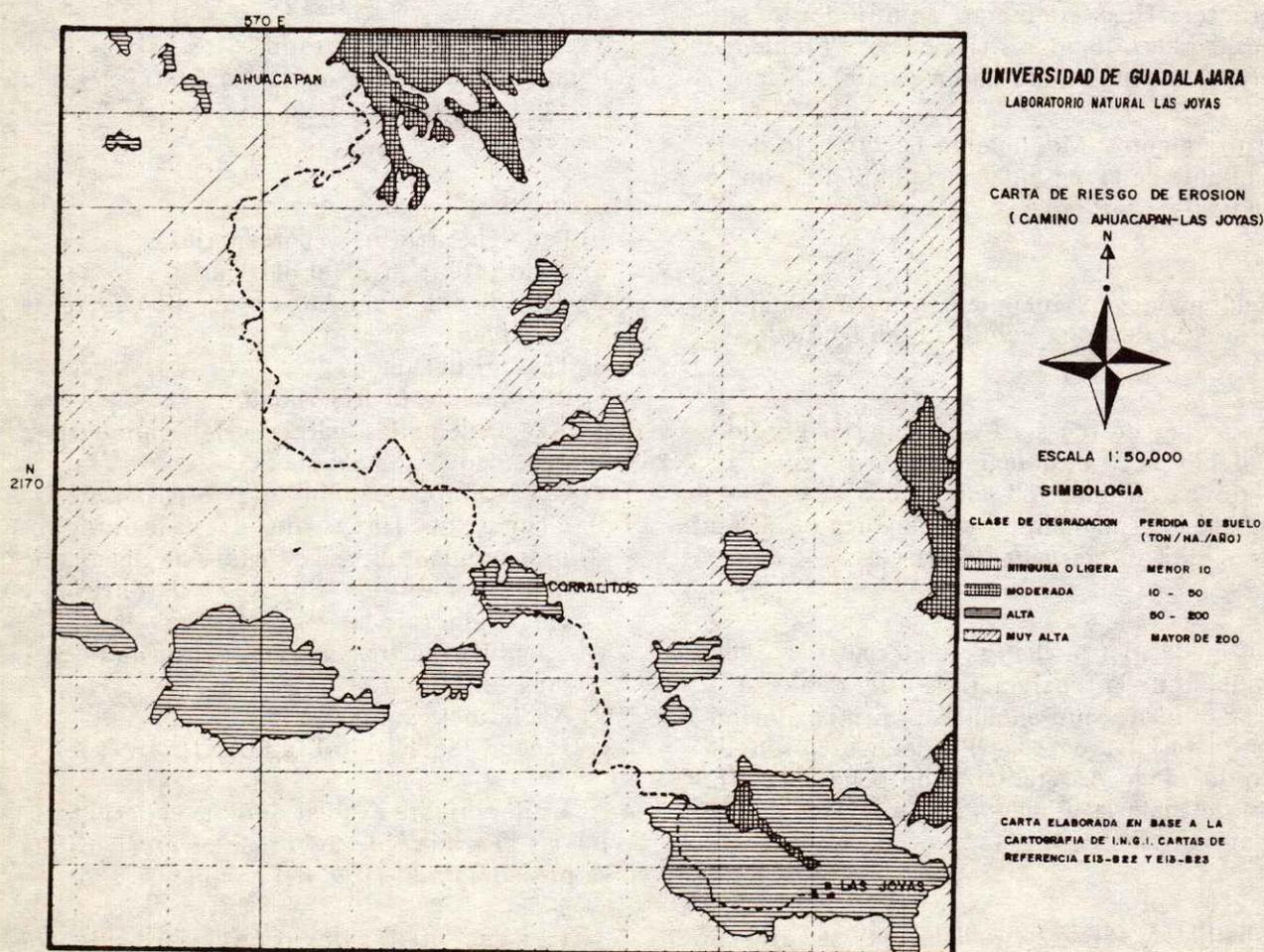


Figura 1. Cartografía de riesgo de erosión. Camino Ahuacapán-Las Joyas

observaciones a lo largo del camino. (2) Clasificar los caminos de acuerdo a su grado de accesibilidad, esto es importante ya que nos marcará la pauta del tipo de obras o manejo del camino a realizar. (3) Describir las características del camino, pudiéndose realizar esto de dos maneras: (a) en forma sistemática, tomando datos de las condiciones del camino a una distancia determinada previamente (1 km, 0.5 km, 0.25 km, etc.); (b) otra manera es la realizada por Mc Cashion y Rice, (1983) que consiste en ir describiendo las características de cada sitio que presente problemas de tráfico, independientemente de la distancia. Esta manera es más recomendable ya que se toma la información en el sitio que presenta las restricciones de tráfico. A continuación se definen algunas de las características que más comúnmente son consideradas como restricciones o problemas para la transitabilidad de los caminos.

Deslizamientos. Movimiento hacia abajo de la pendiente de la masa del suelo bajo humedad o condiciones saturadas.

Hundimientos. Asentamientos que se presentan por efecto de la inestabilidad del subsuelo.

Derrumbes de rocas. Es el material perdido, producto de la desintegración de rocas. Este se refiere al material en el cual del 20 al 80% de los fragmentos son mayores de 2 mm (Houghton y Charman, 1986).

Flujos de tierra. Es el material del suelo producto de la separación de éste, debido a su inestabilidad, presentándose principalmente por material arenoso. Puede ocurrir en un amplio rango de gradiente de pendiente. El 80% del material es menor de 2 mm (Houghton y Charman, 1986).

Canalillas y cárcavas. Canales que se originan por concentración de escurrimiento a través de los cuales el agua fluye durante e inmediatamente después de la lluvia.

Restricciones de topografía. Este punto está referido a pendientes abruptas, afloramientos rocosos, suelos pantanosos, etc.

Lodo superficial. Esto es referido a suelos muy resbalosos, constituido principalmente por material fino.

Cruces de líneas de drenajes. Se refiere a los puntos en donde el camino cruza algún tipo de desagüe (natural o artificial).

Las definiciones anteriores no son todas las características que pueden presentarse por lo que hay que incluir específicas para cada región o camino.

4) Una vez detectados los sitios, es importante ubicarlos en la fotografía aérea o plano topográfico y anotar los siguientes aspectos del sitio:

- a) No. de kilómetro
- b) Pendiente (forma y porcentaje)
- c) Altura sobre el nivel del mar
- d) Talud del camino (zona de corte y terraplén)
- e) Textura del suelo
- f) Rocosidad o pedregosidad
- g) Vegetación a los márgenes del camino (tipo, densidad, y tamaño).
- h) Cobertura del camino (grava, pasto, etc.)
- i) Cruces de líneas de drenaje (ancho, profundidad, altura de caída de agua, tipo de corriente, obras existentes y condiciones de las mismas).
- j) Canalillas o cárcavas (ancho, profundidad y longitud)
- k) Ancho del camino
- l) Cunetas (ancho y profundidad).

Es importante evaluar durante el periodo de lluvias el avance de los procesos erosivos que se presentan a lo largo del camino.

Es necesario llevar registro de la precipitación que cubre el camino. Si no se cuenta con estación climatológica cercana puede hacerse uso de pluviómetros de

Martínez R. GUIA PARA LA REALIZACION DE ESTUDIOS DE EROSION EN CAMINOS

fabricación casera. Si se desea además cuantificar escurrimientos y producción de sedimentos en el camino, pueden utilizarse colectores similares a los utilizados para los lotes de escurrimiento.

Gabinete

Interpretación. Es muy importante analizar a fondo la información de campo de cada sitio con problema de tráfico y sobre todo comprender como se están dando los procesos erosivos y las causas que contribuyen a que éstos se aceleren porque solamente entendiendo los mecanismos podremos proponer alternativas para contrarrestar y disminuir los efectos erosivos de la precipitación y los escurrimientos superficiales.

Alternativas. Entendiendo que la erosión es un proceso de separación y transporte, que la reducción de la capacidad de separación o de transporte puede delimitar la pérdida de suelo y que la lluvia y el escurrimiento participan en el proceso de separación y en el transporte del escurrimiento, entonces las medidas de prevención y control de la erosión en caminos van a estar enfocadas desde dos puntos de vista; uno con la finalidad de realizar la estabilización del suelo y el otro con objeto de realizar la remoción del agua del camino con el mínimo efecto de erosión.

Prácticas para la estabilización del suelo. Dentro de éstas tenemos las siguientes:

Empedrado. Consiste en colocar piedra acomodada de diámetro aproximado de 10 a 20 cm cubriendo completamente la superficie del camino. Dado el alto costo que puede ocasionar cubrir grandes longitudes, se recomienda realizarlo en partes del camino que presenten pendientes fuertes que dificulten el acceso durante la temporada de lluvia.

Cobertura con grava. La cobertura con grava (0.2 - 7.5 cm) ha demostrado gran eficiencia

para reducir la pérdida de suelo en caminos forestales, ya que reduce la cantidad de suelo expuesto en el camino y provee una resistencia firme a la formación de canales por efecto del rodado de vehículos, pero es más importante porque reduce el efecto de la fuerza erosiva de las corrientes superficiales que cubren el camino con la reducción de la velocidad de escurrimiento (Kochenderfer y Helvey, 1987).

Empastado. La siembra de pasto es una práctica recomendable en áreas de corte y terraplén de los caminos, principalmente nuevos, además para cubrir la superficie del camino de uso intermitente o en caminos cerrados. Swift (1984) indica que resultados de investigaciones muestran que la siembra de pasto en caminos con cobertura puede significativamente reducir pérdidas de suelo bajo condiciones de tráfico ligero.

Deben utilizarse pastos nativos ya que éstos están adaptados a las condiciones edafoclimáticas del área, de preferencia de corta altura y que su reproducción sea tanto vegetativa como por semilla.

Las prácticas anteriores son para realizarse como cobertura del camino, las siguientes son enfocadas a la protección de las zonas adyacentes al camino.

Afinación de taludes. Se recomiendan taludes de 0.75:1 en la zona de corte y de 1.5:1 en el área de terraplén. Esta práctica debe acompañarse con la estabilización del suelo de los taludes mediante prácticas vegetativas. En tramos largos esta práctica resulta bastante costosa.

Estabilización de taludes. A efecto de disminuir o evitar derrumbes y flujos de tierra y rocas, es conveniente estabilizar taludes, esto puede realizarse mediante empastado o colocando ramas trenzadas en sentido perpendicular de la pendiente.

Faja filtro. Esta faja filtro consiste en acomodar en una franja perpendicular al talud del terraplén del camino en troncos, ramas,

hojarasca, etc. para que actúen como filtro reteniendo los sedimentos. La faja filtro reduce la longitud de la pendiente. En lugares en donde la longitud de la pendiente es bastante grande se pueden colocar otras barreras aguas abajo y el espaciamiento puede calcularse mediante la ecuación propuesta por Swift (1986):

$$D = 13.10 + 0.42 (s) \quad (6)$$

donde:

D = distancia entre barreras (m)

s = pendiente (%)

Debe utilizarse los residuos producto del aprovechamiento forestal, madera muerta, etc. contribuyendo con esto a eliminar material que puede ser combustible durante un incendio.

Reforestación. Es una buena práctica para estabilización de taludes, así como control de escurrimientos, ya que su efecto protector aumenta con el desarrollo de las especies utilizadas. No es conveniente utilizar especies exóticas sino adaptadas a la región para tener mayor probabilidad de sobrevivencia.

Obras para Control de Escurrimiento.

Cunetas. Son zanjas que se localizan a la orilla del camino en los cortes destinadas a recoger el agua que escurre en la superficie del camino. La forma más recomendable es en V, con el talud adyacente al camino lo más tendido posible (Etcharren, 1986).

La pendiente de la cuneta se dará de acuerdo con la del camino o de acuerdo con el gasto a drenar y la sección de la misma. Su área hidráulica se determina en función de la superficie por drenar y el coeficiente de escurrimiento (Mayorga, 1977).

Alcantarillas y puentes. Se colocan para dar paso a corrientes de hondonadas, arroyos,

cañadas, etc. y para desalojar el agua de una cuneta muy larga. Pueden construirse con metal o madera (Figura 2). Se recomienda instalar las alcantarillas de metal en lugares en donde el acceso y el reemplazo sea difícil.

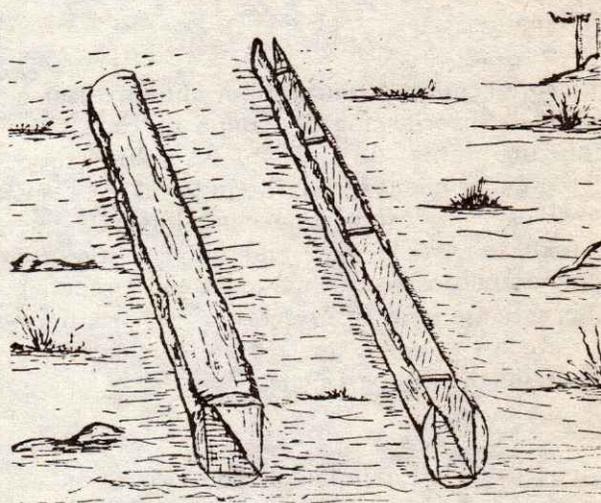
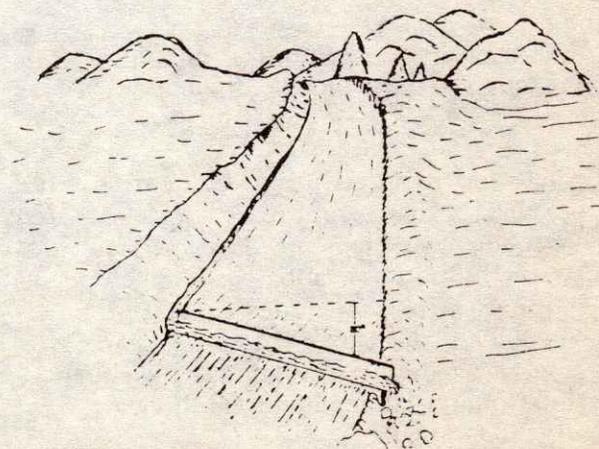


Figura 2. Alcantarillas de madera

Las alcantarillas deben colocarse con un ángulo de 30° con respecto a la perpendicular de la pendiente del camino para evitar los depósitos de sedimentos y hacer más fácil su cruce (Figura 3).

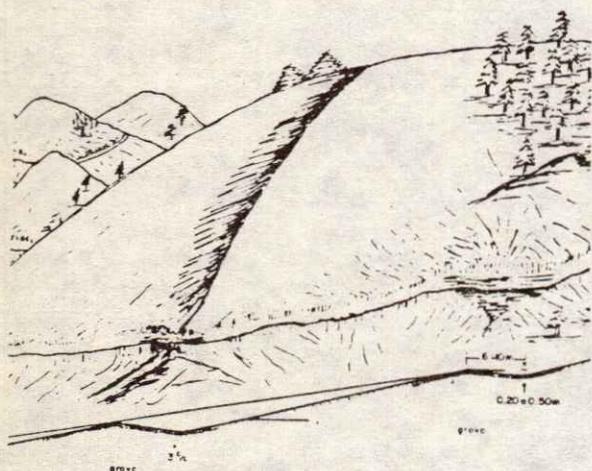


FUENTE: Megahan 1986

Figura 3. Ubicación de alcantarillas para cruce de caminos.

Vados. Son buena alternativa para cruces de pequeñas corrientes, particularmente en áreas en donde se produce arrastre de gran cantidad de roca, sedimento y material orgánico que causaría obstrucciones en alcantarillas o puentes; además los costos pueden ser menores.

Vados de base ancha. Son vados construidos sobre una base alargada (6-10 m) y una profundidad variable de 20-50 cm que permiten desalojar el escurrimiento superficial del camino. Estos pueden utilizarse en sustitución de alcantarillas o puentes tanto en corrientes permanentes así como para cortar el escurrimiento en pendientes largas (Figura 4). Bien localizadas dan fácil



FUENTE: Kochenderfer, 1970

Figura 4. Vados de base ancha.

traficabilidad, efectividad, bajo costo, larga duración y poco mantenimiento. Swift (1985) propone la siguiente ecuación (7) para el cálculo de espaciamiento:

$$E = 97.5 - 6 (s) \quad (7)$$

donde:

E = espaciamiento (m); (s) = pendiente (%).

Se recomienda proteger la superficie de los vados con una capa de grava de 10 cm o empedrado.

CONCLUSIONES

Con la información anterior recabada del estudio de erosión en caminos forestales nos permite proponer alternativas a corto plazo y de bajo costo para que puedan ser realizables con mano de obra por parte de las comunidades afectadas.

Es muy importante realizar este tipo de estudios aunado con la cuantificación de pérdida de suelo en caminos para tener una idea más objetiva del impacto que representa el camino en los ecosistemas adyacentes y proponer medidas inmediatas para el control de la erosión.

LITERATURA CITADA

CAMPOS A., D.F. 1987. Procesos del ciclo hidrológico. 1ra reimpresión. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Vol. 1, Tomo 2, Cap. 8: 1-76.

COLEGIO DE POSTGRADUADOS. 1977. Manual de conservación del suelo y del agua. SPP-SARH Chapingo, Méx. 584 p.

ETCHARREN G.R. 1986. Manual de caminos vecinales. 5ta reimpresión. Ed. Asociación Mexicana de Caminos A.C. y Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. 387 p.

HOUGHTON, P.D. y P.E.V. CHARMAN. 1986. Glossary of terms used in soil conservation. Soil Conservation Service of NSW. 147 p.

FAO 1979. A provisional methodology for soil degradation assessment. Roma.

KOCHENDERFER, J.N. 1970. Erosion control on logging roads in the Appalachians. USDA. Forest Service Research Paper NE-158. 28 p.

KOCHENDERFER, J.N. y J.D. HELVEY. 1987. Using gravel to reduce soil losses from minimum-standard forest roads. J. Soil Water Conservation. 42(1): 46-50.

MAYORGA D., R. 1977. Camino "Ebano, Chalan San Francisco". Facultad de Ingeniería. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. 102 p.

Mc CASHION, J.D. y R.M. RICE. 1983. Erosion on logging road in Northwestern California: How much is avoidable?. *Journal of Forestry*. January. pp. 23-26.

MEGAHAN, W.F. 1986. Reducing erosional impacts of roads. pp. 237-261. *In: Guide lines for watershed management*. FAO.

ORTIZ S., C.A. 1984. Elementos de agrometeorología cuantitativa. 2da edición. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Méx. 235 p.

SWIFT, L.W. Jr. 1984. Gravel and grass surfacing reduces soil loss from mountain roads. *Forest Sci.* 30(3): 657-670.

SWIFT, L.W. Jr. 1985. Forest road design to minimize erosion in the Southern Appalachians. pp. 141-151. *In: Proceedings of forestry and water quality*. (Ed.) B.G. Blackman. Little Rock, Ark. May 8-9.

SWIFT, L.W. Jr. 1986. Filter strip widths forest road in the Southern Appalachians. *Southern Journal of Applied Forestry* 10 (1): 27-34.

FOLIAR FERTILIZATION OF CORN WITH MACRO AND MICRONUTRIENTS IN AN ANDOSOL OF MEXICO

Fertilización Foliar de Maíz con Macro y Micronutrientos en un Andosol de México

Ovidio Pérez Ixchop, Roberto Núñez Escobar, Jorge D. Etchevers Barra, Martín L. Giskin y Angel Martínez Garza

Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Chapingo, México

Index words: Liquid fertilizer, Complementary fertilization, Corn.

Palabras clave: Fertilizantes líquidos, Fertilización complementaria, Maíz.

SUMMARY

The objective of this study was to determine if foliar application of NPK and of NPK + micronutrients, under four rates of soil fertilization (100, 50, 25 and 0% of present recommendation), improves the nutritional status and the yields of corn grown in an Andosol of the Sierra Tarasca, Michoacan, Mexico, characterized by its low fertility level and high phosphorus fixation.

N, P, K, Zn, Cu, Fe, and Mn contents in the leaf opposed and immediately under the ear were determined at silking stage. The values obtained were compared with the existing standards found in the literature for such nutrients. Grain and stover yields were measured and nutrient contents in such plant parts were assessed.

Deficient levels of all nutrient elements analyzed were detected, except K and Fe. Foliar fertilization in general improved nutritional status of the plant, but not adequate nutrient levels were reached, especially for N, P, and Zn. Grain yield was increased 13% with the foliar application of NPK and 22% with the foliar application of NPK + micronutrients.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar si la aplicación foliar de NPK y de NPK + micronutrientes como complemento de la fertilización al suelo (100, 50, 25 y 0% de la recomendación actual), mejoraba el rendimiento y el estado nutrimental del maíz cultivado en un Andosol de la Sierra Tarasca, México, que se caracteriza por su bajo nivel de fertilidad y alta capacidad de retención de fósforo.

Se determinaron las concentraciones de N, P, K, Zn, Cu, Fe y Mn en la hoja opuesta e inmediatamente inferior al jilote al momento de la inflorescencia femenina. Los valores obtenidos se compararon con estándares mencionados en la literatura, como críticos para dicho cultivo. A la cosecha se midió el

Recibido 3-90.

rendimiento de grano y paja, además del contenido de los mismos nutrientes señalados anteriormente en las plantas.

Se observaron niveles de deficiencia en maíz de todos los elementos analizados, con excepción de K y Fe. La aplicación foliar complementaria de fertilizante, en general, mejoró la situación nutrimental de las plantas; sin embargo, no fue suficiente para alcanzar las concentraciones consideradas como adecuadas, particularmente en el caso de N, P y Zn. El rendimiento de grano se incrementó en 13% con la fertilización foliar complementaria de NPK y 22% cuando se agregaron micronutrientes a los anteriores.

INTRODUCTION

Sierra Tarasca soils are derived from volcanic ashes and their clay fraction is predominantly amorphous material and allophane which provide special characteristics to these soils, making them different from others. These soils are classified as Andosols and some of their characteristics are (a) high anion fixation capacity, specially for phosphates, and (b) high capacity for accumulation of highly stabilized organic matter.

Mean corn yields in the Sierra Tarasca are low, under 2000 kg per hectare, in spite of having excellent physical properties and with an adequate rainfall regime during the period of plant growth.

Previous studies conducted in this area point out to low phosphorus availability in these soils, as well as insufficient N, S, Ca, Zn, Cu, and Mn contents in maize leaves.

Foliar fertilization in these Andosols was considered a promising alternative because of the soil characteristics which restrict the efficiency of mineral fertilization with N and P, and because the micronutrient deficiencies are difficult to correct under

The objective of this study was to find out if foliar fertilization with macro and micronutrients applied during early growth stages to maize in the Sierra Tarasca, is capable of improving the nutritional status of the crop and of increasing yields.

REVIEW OF LITERATURE

Usually foliar fertilization is carried out during the reproductive stage of crops, under the physiological basis that the solution is aimed to replace those nutrients mobilized from the vegetative parts during grain filling. Garcia and Hanway (1976), applying this principle with NPKS sprays, obtained up to 31% increment in soybean grain yield. However, later reports (Boote *et al.*, 1978; Parker and Boswell, 1980; Poole *et al.*, 1983) point out not have obtained response in grain yield with foliar sprays to soybeans at this stage.

Harder *et al.* (1982) did not get increments in maize grain yield with foliar applications of NPKS before and after anthesis; but they obtained significant increments in N content of grain with late applications. In a recent study with ^{15}N , however, Below *et al.* (1985) did not find response in grain or stover yield, N content in grain or leaf senescence due to dates of N application. These authors found that only about 30% of the N applied was absorbed by and incorporated into the plant.

Vasilas *et al.* (1980) found in soybeans that recovery of N applied as urea was 44% and 67% in two years, but approximately 94% of the recovered ^{15}N was found in the grain.

Sabbagh (1978) reports significant corn grain yield increments with N foliar application during flowering. He also points out that the efficiency of foliar fertilization is higher as the N supply through the soil becomes more difficult. On the other hand, Plancarte (1971), working in greenhouse with two Andosols from the Sierra Tarasca, evaluated the response of maize to phosphorus fertilization and he concluded that

20 kg of P_2O_5 ha^{-1} applied foliarly, satisfactorily substitute edaphic fertilization.

Foliar application of nutrients during the vegetative phase of corn seems to be a promising practice. Giskin and Efron (1986) obtained 16.6% grain yield increase with foliar applications of NPKS when the plants had 4 or 5 leaves. They also found significant increments in stover yields as well as in the N and P content of the plant. Ritchie and Hanway (1984) point out that although the amounts of nutrients taken up are relatively small, the final size of leaves, ear and other plant parts depend strongly on the nutrient availability at the beginning of the growing period of the maize plant. In this respect, Alexander (1986) mentions that the effectiveness of foliar fertilizations depends mainly on their date of application and he recommends that P and Zn applications to maize should be made when the plant has 5 to 7 leaves. Mn application is suggested to be made when the maize plant has 4 to 8 leaves (Mascagni and Cox, 1984).

El-Fouly and Rezk (1986) found 15% increments in corn grain yields with two sprays of Mn, Zn and Fe applied in the vegetative phase of the crop. Similar results with other crops have been found when micronutrient applications were made in their vegetative stage (Murray and Benson, 1976).

Most studies carried out in the Sierra Tarasca emphasize the nutritional problem of those soils, mainly because of their low P availability (Moncada, 1960; Navarro *et al.*, 1962); recently Etchevers *et al.* (1985) demonstrated, besides the P deficiencies, the existence of serious limitations in the supply of N, S, and Ca, as well as micronutrient deficiencies, mainly Zn, Cu, and Mn.

MATERIALS AND METHODS

A field experiment was established in a soil derived from volcanic ash (Andosol) in the Sierra Tarasca region of Mexico, namely

Camembaro, Villa Escalante, State of Michoacán, characterized by its N and P deficiency. Two factors were studied (a) soil fertilization, and (b) foliar fertilization. Four soil fertilization levels were studied, 100%, 50%, 25%, and 0% of the actual fertilizer recommendation for corn in that region, which consists of 110-100-0 kg N- P_2O_5 - K_2O per hectare applied to the soil (these treatments were designated with numbers 1, 2, 3, and 4, respectively).

Foliar fertilization was applied at three levels: A, with NPK; B, with NPK + micronutrients; and C, with no foliar fertilization.

The treatment design used was a 4 x 3 factorial with 12 treatments which were tested in a split plot design with six replications, where soil fertilization corresponded to the large plots and the levels of foliar fertilization to the subplots.

Seed sowing was made on April 2, 1987, using seed native of the area. Edaphic fertilization was totally applied at planting time. Ammonium sulphate (20.5% N) and simple superphosphate (20% P_2O_5) were used as N and P sources to the soil.

A total of four foliar sprays were applied. The first one corresponded to the V_4 - V_5 maize growth stage, according to Ritchie and Hanway (1984) scale. The following three sprays were applied at weekly intervals. All sprays were applied in early morning, between 6.00 and 8.00 a.m.

The nutrient sources used in the foliar fertilization were two commercial suspensions, one containing 21-3-3 percent NPK and the other with the same NPK plus 5500, 3500, 500, 500, 200, 5, and 5 ppm Fe, Zn, Cu, Mn, B, Co, and Mo, respectively. Density of both suspensions was 1.425 g cm^{-3} , and their concentration used in the sprayed solution was 3% by volume. The total amounts of nutrients applied foliarly were 18.8, 6.0, and 3.2 kg of N, P_2O_5 , and K_2O per hectare on treatments receiving NPK. Besides, treatments with

micronutrients received 492, 313, 45, 45, 18, 0.4, and 0.4 g ha⁻¹ of Fe, Zn, Cu, Mn, B, Co, and Mo, respectively.

When plants were at silking stage, a leaf sampling was carried out in treatments receiving 100% and 0% of the recommended fertilization to the soil, for nutrient analysis. The leaf opposed and immediately under the ear was taken from ten plants per subplot, separately for each foliar fertilization treatment and replication.

Six ears and four plants per subplot were sampled at harvest, for moisture and nutrient content determination. Nutrients analyzed were N, P, K, Zn, Cu, Fe, and Mn. The four micronutrients listed are those recognized as commonly deficient in maize crops in the Sierra Tarasca region (Etchevers *et al.*, 1985).

Nutrient concentrations found in leaves were plotted against grain yields, and compared with those values considered as critical levels according to Chapman (1966), and Walsh and Beaton (1973).

RESULTS AND DISCUSSION

Nutritional Status of Corn at Silking Stage, and its Relation with Yield.

Table 1 contains grain and stover mean yields for all treatments and nutrient contents in the leaves of treatments 1 and 4 of soil fertilization. The statistical analysis revealed no significance for the interaction between soil fertilization (SF) and foliar fertilization (FF); so, both effects are additive. Therefore, independent values of HSD (Tukey test, $p \leq 0.05$) are presented for each type of fertilization.

Figure 1 shows the response curves in grain yield to soil fertilization, under the three types of foliar fertilization. With these three types of foliar fertilization, there is a consistent yield increment with increments in N-P applied to the soil; however, it

reaches statistical significance only when moving from zero to 25% of the recommended N-P rate (from 0-0 to 28-25 kg ha⁻¹ of N-P₂O₅). Similar response is observed with stover yields, as shown in Table 1.

Foliar application of NPK increased mean grain yields by 13% (treatment A vs. treatment C), from 2486 to 2816 kg ha⁻¹, a statistically significant difference. Foliar application of NPK + micronutrients (treatment B) increased mean grain yields by 22% compared with no foliar fertilization (treatment C); this increment is statistically significant, but when compared with treatment A, it does not reach statistical significance.

Figure 2 graphically relates grain yield with concentration of five different plant nutrients. It is clear from Figures 2a and 2b that soil fertilization increased N and P concentrations in the plant; a similar tendency is noticed for foliar fertilization; however, N and P concentrations remain in the deficiency zone, suggesting plants were insufficiently supplied with these two important nutrients. On the other hand, from Figure 1 it is inferred that N-P rates higher than 110-100 kg ha⁻¹ will not result in higher grain yields, therefore, either critical levels of these nutrients for this maize genotype are different from those specified in the literature (Chapman, 1966; Walsh and Beaton, 1973), or other factors different from N and P are limiting grain yields but not impairing accumulation of these nutrients.

Potassium and iron concentrations were not statistically affected by soil or foliar fertilization. The mean K and Fe concentrations in leaves were 1.84% and 95.7 ppm, respectively, both values considered adequate for maize plants, according to adaptations from Chapman (1966), and Jones and Eck (1973).

Zinc and manganese concentrations were increased by foliar fertilization of micronutrients, but those increments were not statistically significant at 5% probability level; they were significant, however, at a 10% probability level, and they are statistically correlated with grain yields

Table 1. Grain and stover maize yields at harvest and nutrient content in leaves at silking stage. Sierra Tarasca, Mexico, 1987.

Soil Fert. SF	Foliar Fert. FF	Maize yields		Nutrient content						
		grain (14% H ₂ O)	dry stover	N	P	K	Zn	Cu	Fe	Mn
		-- kg ha ⁻¹ --		----- % -----			----- ppm -----			
1	A	3560	5537	2.77	0.17	1.85	28.3	9.7	104.2	27.5
	B	3805	5857	2.82	0.13	1.86	32.5	13.3	101.7	30.8
	C	3358	4768	2.57	0.15	1.85	26.7	8.5	98.3	26.7
	\bar{X}	3574 a ¹⁾	5387 a	2.72 a	0.17 a	1.85 a	29.2 a	10.2 a	101.4 a	28.3 a
2	A	3105	4713							
	B	3415	5142							
	C	2990	4500							
	\bar{X}	3170 a	4785 a							
3	A	2792	3945							
	B	2990	4102							
	C	2305	3717							
	\bar{X}	2696 a	3921 ab							
4	A	1805	2645	2.26	0.13	1.84	25.0	7.2	86.7	18.5
	B	1932	2783	2.27	0.13	1.83	26.7	7.8	91.7	19.2
	C	1290	2245	2.14	0.11	1.79	23.3	6.8	91.7	18.7
	\bar{X}	1676 b	2558 b	2.22 b	0.12 a	1.82 a	25.0 a	7.3 b	90.0 a	18.8 b
HSD 0.05		945	740	0.36	0.18	0.04	7.9	1.7	12.9	2.5
X FF	A	2816 a	4210 ab	2.52ab	0.15 a	1.84 a	26.7 a	8.5 b	95.4 a	23.0 a
	B	3035 a	4371 a	2.55a	0.16 a	1.84 a	29.6 a	10.1 a	96.7 a	25.0 a
	C	2486 b	3807 b	2.35b	0.13 b	1.82 a	25.0 a	7.7 b	95.0 a	22.7 a
HSD 0.05 FF		330	447	0.19	0.02	0.04	5.2	1.6	14.1	2.9

1) Numbers followed by the same letter in the same column (separately for SF or FF) are statistically similar (Tukey $p < 0.05$).

(Figures 2c and 2e). Copper concentrations, although in general within the sufficiency range, were significantly increased with foliar applications of micronutrients. Figure 2d suggests that critical copper concentration is 8 ppm for maize native of Sierra Tarasca.

Total Plant Extraction and Percentage Recovery of Nutrients Applied.

Figure 3a shows nitrogen extracted by plants under the different treatments. When no nitrogen was applied, 22.3 kg N ha⁻¹ were

contained in the plants; however, when 110-100 kg of N-P₂O₅ ha⁻¹ were applied, plants contained 64.6 kg N ha⁻¹ (treatment C, with no foliar fertilization). The difference between these two values correspond to a 38% recovery of nitrogen applied to the soil. The low efficiency of the fertilizer nitrogen applied to the soil, may be due to heavy N losses by leaching and denitrification (Cruz and Etchevers, 1988). On the other hand, the mean extraction of N by treatment A (receiving foliar NPK) was 54 kg N ha⁻¹, whereas the same for treatment C (with no foliar fertilization)

was of only 45.8 kg N ha⁻¹. Considering that 17.6 kg N ha⁻¹ were applied foliarly to treatment A, it results in 48% recovery of this nitrogen.

Figure 3b shows the absorption of P by plants under the different treatments. When 110-100 kg ha⁻¹ of N-P₂O₅ were applied to the soil, only 10% of the phosphorus applied was

taken up by the plants. This low recovery is due to the high phosphorus fixing capacity of the Andosol. On the other hand, when 2.6 kg of P ha⁻¹ were applied as foliar sprays, the plant accumulated 1.1 additional kg of P ha⁻¹; hence, the recovery is 42% which is four times higher than the percentage recovery from soil.

In Figure 3c it is seen that K absorption increased 25.6 kg ha⁻¹ with the application of N and P to the soil. Although no K was applied to the soil, absorption of this nutrient was stimulated due to the higher absorptive capacity of the plant. Similarly, the foliar application of NPK or NPK plus micronutrients increased the K content of the plant, specially at the higher edaphic fertilizer rate.

Figure 4 presents the extraction of the four micronutrients analyzed. In general, absorption of Zn, Fe, and Mn was increased as the fertilizer rate to the soil was also increased. The mean extraction was increased by 20, 10, 50 and 15 g ha⁻¹ of Zn, Cu, Fe, and Mn, when 313, 45, 492, and 45 g ha⁻¹ of the

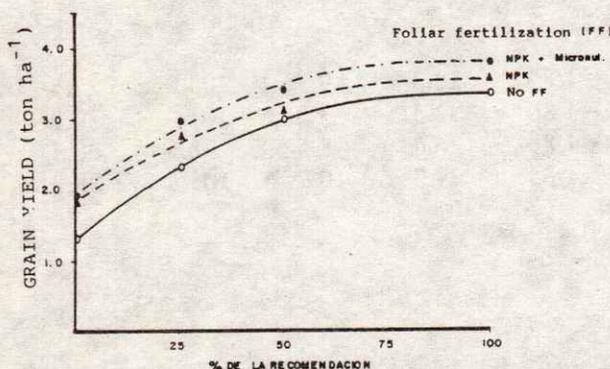


Figure 1. Grain yield response of maize to increasing levels of soil fertilization under three different types of foliar fertilization. Sierra Tarasca, Mexico, 1987.

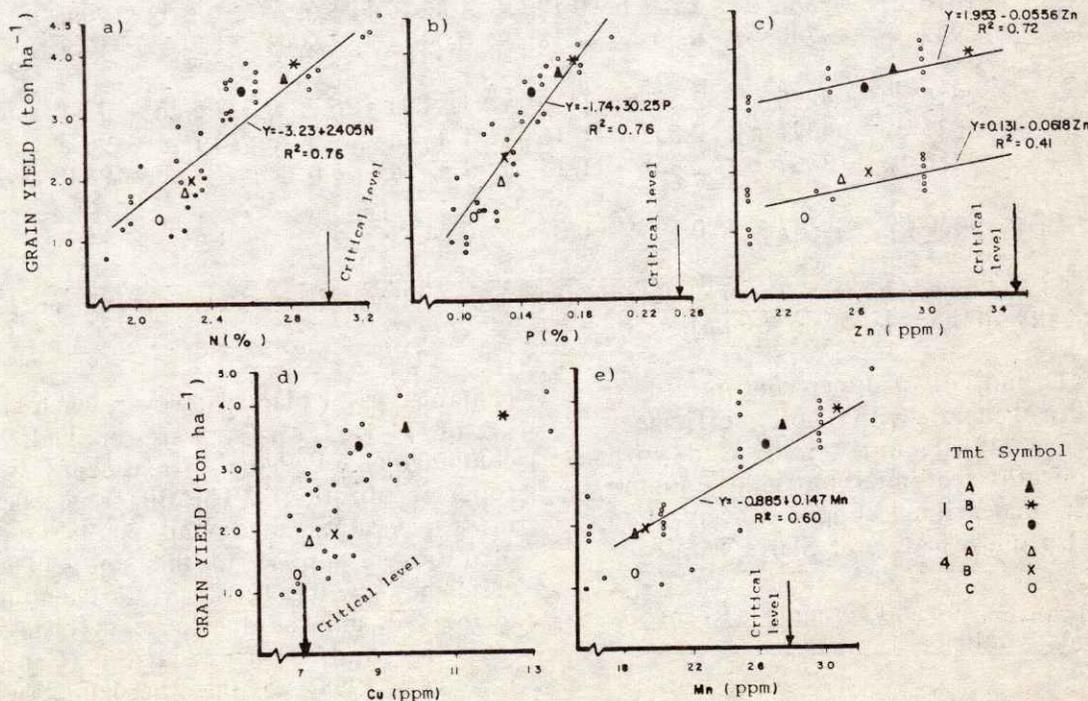


Figure 2. Relationship between grain yield and concentration of five nutrients in the maize leaf. Sierra Tarasca, Mexico, 1987.

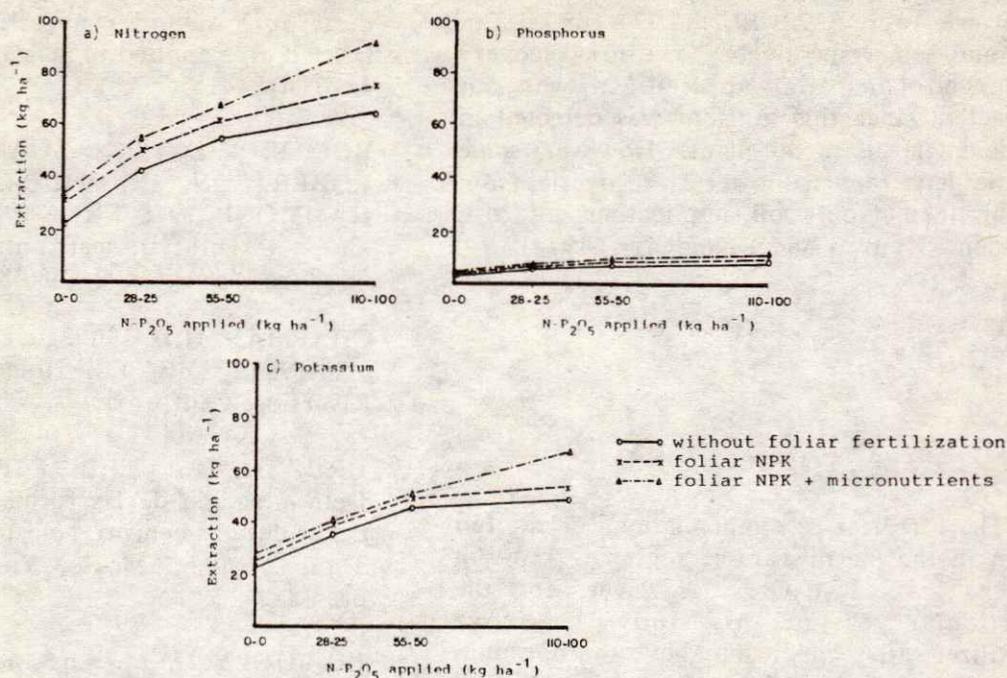


Figure 3. Extraction of NPK by maize plants under four rates of soil fertilization and 3 types of foliar fertilization. Sierra Tarasca, Mexico, 1987.

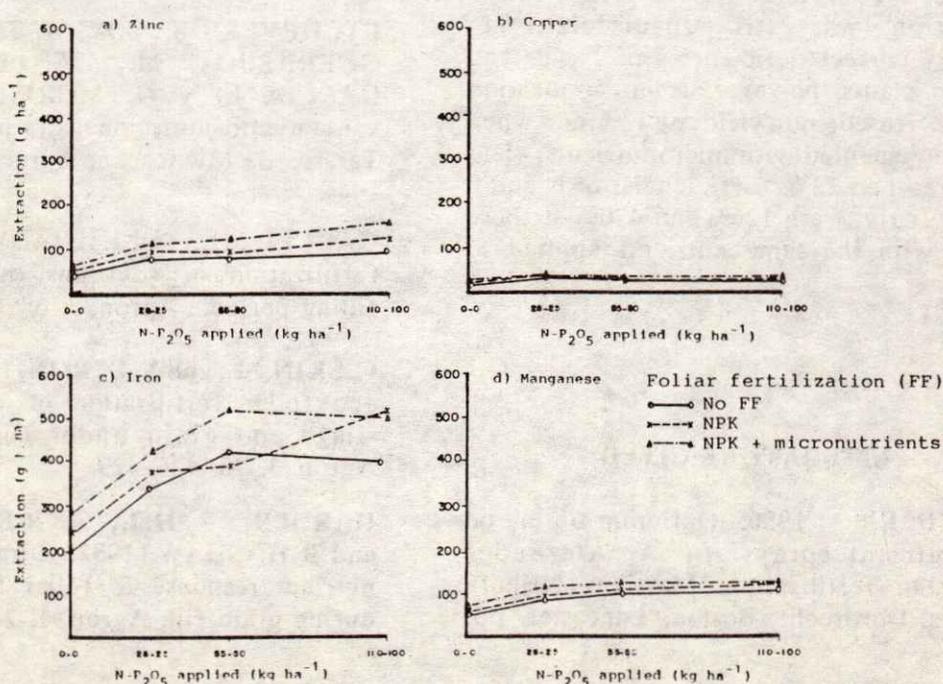


Figure 4. Extraction of micronutrients by the maize plants under four soil fertilization rates and three types of foliar fertilization. Sierra Tarasca, Mexico, 1987.

same micronutrients were applied, respectively. Therefore, the percentage recoveries were 6, 22, 10, and 33% for Zn, Cu, Fe, and Mn, respectively. The low recovery observed for foliar applied Zn was not expected, since this nutrient was detected in deficient levels in the plant. However, some studies have reported lower Zn recoveries from foliar than from soil applications of this nutrient (Kanwar and Rhandhawa, 1974).

CONCLUSIONS

The fertilizer recommendation for rainfed corn in the Sierra Tarasca region is 110-100 kg ha⁻¹ of N-P₂O₅. However, for the particular year of this study the above fertilizer rate seems to be above the optimum because grain yields obtained with rates higher than 28-25 kg ha⁻¹ of N-P₂O₅, were not statistically different. According to nutrient concentrations in the leaves at silking stage, the highest fertilization to the soil, complemented with foliar fertilization was still insufficient to completely correct deficiencies of N, P, and Zn in the plants; however, foliar application of NPK increased grain yields by 13%, and when it was supplemented with micronutrients, yield increase reached 22%. Efficiencies of N and P applied foliarly, were 126% and 420% of those obtained with the same nutrients applied to the soil.

LITERATURE CITED

- ALEXANDER, A. 1986. Optimum timing of foliar nutrient sprays. *In*: A. Alexander (Ed.). Foliar fertilization. Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht, Boston, Lancaster. pp. 44-60.
- BELOW, F.E., S.J. CRAFTS-BRANDNER, J.E. HARPER, and R.H. HAGEMAN. 1985. Uptake, distribution, and remobilization of ¹⁵N-labeled urea applied to maize canopies. *Agron. J.* 77: 412-415.
- BOOTE, K.J., R.N. GALLAHER, W.K. ROBERTSON, K. HINSON, and L.C. HAMMOND. 1978. Effect of foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybeans. *Agron. J.* 70: 787-791.
- CHAPMAN, H.D. 1966. Diagnostic criteria for plants and soils. Ed. Homer D. Chapman, Riverside, California.
- CRUZ H., L. y J.D. ETCHEVERS. 1988. Determinación de las formas de N en suelos derivados de cenizas volcánicas de la Sierra Tarasca, Mich., México Turrialba, 38(2), en prensa.
- EL-FOULY, M.M. and A.J. RESK. 1986. Increasing yields through micronutrient foliar application in Behira, Egypt. *In*: A. Alexander (Ed.). Foliar fertilization. Martinus Nijhoff Publ. Dordrecht, Boston, Lancaster. pp. 153-166.
- ETCHEVERS B., J.D., A. TRINIDAD S., S. GUERRERO M., A. PEREZ G., D. GARCIA L. y G. MORFIN R. 1985. Levantamiento nutricional del maíz en la Sierra Tarasca de Michoacán. *Agrociencia* 60: 143-144.
- GARCIA, R.L., and J.J. HANWAY. 1976. Foliar fertilization of soybeans during the seed-filling period. *Agron. J.* 68: 653-657.
- GISKIN, M., and Y. EFRON. 1986. Planting date and foliar fertilization of corn grown for silage and grain under limited moisture. *Agron. J.* 78: 426-429.
- HARDER, H.J., R.E. CARLSON, and R.H. SHAW. 1982. Corn grain yield and nutrient response to foliar fertilizer applied during grain fill. *Agron. J.* 74: 106-110.

- JONES, Jr. J.B., and H.V. ECK. 1973. Plant analysis as an aid grain sorghum. *In*: L.M. Walsh and J.D. Beaton (Eds). Soil testing and plant analysis, revised edition. Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison, Wisconsin.
- KANWAR, J.S. and N.S. RHANDHAWA. 1974. Micronutrients research in soil and plants in India (a review). Segunda Edición. ICAR, New Delhi, India.
- MASCAGNI, H.J., and F.R. COX. 1984. Diagnosis and correction of manganese deficiency in corn. *Comm. in Soil Sci. Plant Anal.* 15(11): 1323-1333.
- MONCADA DE LA F., J. 1960. Estudio físico-químico de algunos suelos de origen volcánico del estado de Michoacán. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría en Ciencias).
- MURRAY, G.A., and J.A. BENSON. 1976. Oat response to manganese and zinc. *Agron. J.* 68: 615-616.
- NAVARRO, G.I., A. TURRENT F., R.J. LAIRD y E. ORTEGA T. 1962. Problemas de fertilidad de algunos suelos de la Sierra Tarasca. *Agricultura Técnica en México.* 12: 28-33.
- PARKER, M.B., and F.C. BOSWELL. 1980. Foliar injury, nutrient intake, and yield of soybeans of aluminum and iron. *J. Electroanalytical Chemistry* 78: 325-330.
- PLANCARTE M., I. 1971. Fósforo aplicado al suelo y al follaje en el desarrollo del maíz, en los suelos de la Meseta Tarasca bajo condiciones de invernadero. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. (Tesis de Licenciatura).
- POOLE, W.D., G.W. RANDALL, and G.E. HAM. 1983. Foliar fertilization of soybeans. II. Effect of biuret and application time of day. *Agron. J.* 75: 201-203.
- RITCHIE, S.W., and J.J. HANWAY. 1984. How a corn plant develops. Special report No. 48. Iowa State of Science and Technology Cooperative Extension Service, Ames, Iowa.
- SABBAGH G., E. 1978. La fertilización foliar nitrogenada como práctica para incrementar el rendimiento de grano en el cultivo del maíz en zonas de temporal. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría en Ciencias).
- VASILAS, B.L., J.O. LEGG, and D.C. WOLF. 1980. Foliar fertilization of soybeans: absorption and translocation of ^{15}N -labeled urea. *Agron. J.* 72: 271-275.
- WALSH, L.M. and J.D. BEATON (Eds). 1973. Soil testing and plant analysis. Revised edition. Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison, Wisconsin.

**COMPARACION DEL METODO CLASICO Y DEL METODO DE POLEMIO Y
RHOADES PARA LA DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE
INTERCAMBIO CATIONICO EN SUELOS CALCAREOS**

Comparison of the Classical Method and the Method of Polemio-
Rhoades for Determining the Cation Exchange
Capacity of Calcareous Soils

V. Sorani¹⁾ y S.L. Gómez Valdez²⁾

¹⁾Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro",
Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Actualmente:
Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230 Montecillo, Edo. de México.

²⁾Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro",
Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Palabras clave: Análisis de suelos, Areas
semi-áridas, México.

Index words: Soil analysis, Semi-arid region,
Mexico.

RESUMEN

En esta nota se reportan los resultados de la capacidad de intercambio catiónico obtenidos con el método clásico del acetato de amonio, con uno o tres lavados, y con el método propuesto por Polemio y Rhoades (1977) que utiliza el sodio como catión índice, el magnesio como catión desplazante y que no requiere la etapa de lavado. Para evaluar los dos métodos se utiliza el concepto de la CIC máxima teórica, basada en los resultados del contenido de materia orgánica y de arcilla decarbonatada.

Recibido 11-89.

SUMMARY

Cation exchange capacity (CEC) data of calcareous soils proposed method, obtained by the conventional ammonium acetate method and by The of Polemio and Rhoades (1977), which employs sodium as the index cation, magnesium as the replacement cation extractor and requires no washing step, are reported. To evaluate the two methods, the concept of maximum theoretical CEC is used, based on data of organic matter and clay content.

INTRODUCCION

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una propiedad química fundamental de los suelos, pues permite evaluar su potencialidad para adsorber y fijar cationes aprovechables por las plantas. La CIC depende del contenido y tipo de arcilla y de la materia orgánica. Los valores de la CIC varían según el tipo de arcilla entre 3 y 150 meq 100 g⁻¹ de arcilla

Sorani y Gómez. COMPARACION DEL METODO CLASICO Y DEL METODO DE POLEMIO

(Cuadro 2). La materia orgánica tiene valores de CIC de 100 hasta 300 meq 100 g^{-1} . Por ejemplo, un suelo con un contenido de arcilla de 20% de tipo ilita y con 1% de materia orgánica, tiene una CIC máxima de 11 meq/100 g de suelo.

El método más utilizado para la determinación de la CIC es el del acetato de amonio (Kelley, 1948). Las etapas operatorias son las siguientes: (a) desplazamiento de los cationes intercambiables y saturación de la muestra con el catión índice (NH_4^+); (b) lavado de la solución de acetato de amonio en exceso con etanol; (c) desplazamiento del catión índice (amonio) con el catión potasio. Este método presenta fuentes de errores por defecto y por exceso. El error más importante se origina en la etapa de lavado, pues un número insuficiente de lavados aumenta sensiblemente la cantidad de amonio en el percolado en el cual se determina la cantidad de catión índice. Para evitar este tipo de problemas Polemio y Rhoades (1977) propusieron un método que elimina esta etapa. Además se evita una disolución excesiva de carbonato de calcio con consecuente fijación de amonio, pues la solución saturante (mezcla de acetato de sodio, cloruro de sodio y etanol) tiene un pH de 8.2. Otras posibles fuentes de error en la fase de lavado (remoción de Na por hidrólisis; sustitución en el complejo de intercambio del Na por el Ca que proviene de la disolución de CaCO_3 , yeso o silicatos; pérdida de partículas orgánicas y de arcilla durante el lavado) dan valores de CIC más bajos de la realidad. En la fase de sustitución de catión índices se pueden encontrar dos fuentes de errores que disminuyen el valor de CIC (el sodio adsorbido puede ser bloqueado en las láminas de los silicatos 2/1 como las vermiculitas y las micas y no puede ser extraído, Bower, 1950) o que lo aumentan (extracción de Na no intercambiable de los feldspatos y de las zeolitas, Rhoades y Krueger, 1968).

La presente nota tiene como objetivo comparar el método clásico con acetato de amonio y el método de Polemio y Rhoades (1977), tomando en consideración la

composición mineralógica y biológica de algunos suelos calcáreos.

MATERIALES Y METODOS

Se tomaron siete muestras de horizontes superficiales y subsuperficiales de suelos calcáreos del sur del municipio de Parras, Coahuila. En cada muestra se determinó la CIC con: (a) el método clásico con acetato de amonio (Kelley, 1948) con un lavado de 70 ml de etanol; (b) el método clásico con tres lavados (210 ml de etanol); y (c) el método de Polemio y Rhoades (1977) descrito enseguida.

Se saturan 4-5 g de suelo con cuatro equilibrios sucesivos de 33 ml cada uno de una solución de NaOAc (acetato de sodio) 0.4N NaCl 0.1N en 60% de etanol a pH 8.2 (32.81 g l^{-1} de NaOAc y 5.844 g l^{-1} de NaCl), se mezclan 5 min antes de cada equilibrio. La solución se centrifuga y se decanta. En el caso de que el suelo tenga un elevado contenido de sales (conductividad eléctrica $> 2 \text{ mmho cm}^{-1}$) se lava el suelo con 33 ml de agua antes de saturar, evitando un lavado excesivo para prevenir pérdidas de partículas. Se extraen los cationes índices de la muestra saturada con tres incrementos de 33 ml de una solución a pH 7 de MgNO_3 1N (256.41 g l^{-1}). En el extracto se mide la cantidad de sodio total (sodio índice+sodio de la solución saturante que permanece), utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica, en una dilución 1:400 del extracto. Para restar de la cantidad de sodio total el sodio de la solución saturante, se mide el contenido de Cl^- y se multiplica por la relación Na/Cl de la solución saturante (= 5:1). Debido a las bajas concentraciones de cloro en la solución, este elemento se determina por el método del nitrato de plata, utilizando una dilución de la solución para titular de 1:10 y observando el cambio de color de amarillo a ladrillo del indicador (cromato de potasio) con el auxilio de una lámpara amarilla.

La CIC se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{CIC} = \text{Na}_{\text{tot}} - \text{Na}_{\text{sol}} = \text{Na}_{\text{tot}} - [\text{Cl}_{\text{tot}} \times (\text{Na/Cl})_{\text{sol}}]$$

donde:

CIC: capacidad de intercambio catiónico (meq 100 g^{-1})

Na_{tot} : Na en el extracto (meq 100 g^{-1})

Na_{sol} : Na de la solución saturante que permanece en el extracto (meq 100 g^{-1}).

$(\text{Na}/\text{Cl})_{\text{sol}}$: relación Na/Cl en la solución saturante.

Además se hicieron análisis mineralógicos con rayos X de la fracción arcilla y se midió el contenido de carbonatos (en % de carbonato de calcio equivalente) de la fracción de arcilla después de separarla por sedimentación y destruir los carbonatos con HCl 0,1N.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de CIC obtenidos se presentan en el Cuadro 1.

Los análisis mineralógicos de la fracción arcilla de muestras descarboxatadas indican presencia de illita y cuarzo.

El contenido de carbonatos en la fracción arcilla varía entre 52 y 87%.

Si se consideran los valores máximos de CIC para la illita (40 meq/100g de arcilla, Cuadro 2) y para la materia orgánica (300 meq/100 g), no tomando en cuenta la presencia de cuarzo en la fracción arcilla, se obtienen los valores máximos teóricos de CIC calculados con la fórmula (1), (Cuadro 1).

$$\text{CIC}_{\text{max}} = [(\% \text{ arcilla}/100) * A] + [(\% \text{ materia orgánica}/100) * 300] \quad (1)$$

A = valor teórico de la CIC por 100 g de arcilla según el tipo de arcilla (Cuadro 2).

Como se puede notar, los valores de CIC obtenidos con el método clásico son mayores que los valores máximos. Al aumentar el número de lavados, los resultados se acercan al límite teórico, aunque todavía son mayores que esto. Esta disminución confirma las

observaciones de Bower *et al.* (1952) quienes encontraron una disminución del valor de la CIC hasta el tercer lavado (Okasaky *et al.*, 1964, indican que dos lavados son suficientes).

Al contrario, con el método de Polemio y Rhoades (1977) se encuentran valores inferiores a los valores máximos. Sin embargo, la precisión de la medida, aunque sea mayor que la del método clásico, no es buena, pues es difícil medir bajas concentraciones de cloruros con el método argentométrico. Para evitar este problema se aconseja, en el caso de que se necesite una medida de CIC más precisa, utilizar el método de Gupta *et al.* (1985), en el cual se utiliza una solución 0.1 NaOAc/0.4N NaCl en lugar de la solución saturante del método Polemio y Rhoades (la relación Na/Cl en este procedimiento es 5:4 en lugar de 5:1, y por lo tanto los errores en la determinación de los cloruros se repercuten menos en el resultado de la CIC).

En fin, los valores bajos encontrados con el método de Polemio y Rhoades (1977) pueden ser debidos a una insuficiente dispersión de la muestra que no permite una completa saturación de la superficie de intercambio.

CONCLUSION

La determinación de la CIC con el método clásico necesita un mínimo de tres lavados (210 ml de etanol), para que los resultados se acerquen al límite teórico calculado con base en el tipo y cantidad de arcilla y en la cantidad de materia orgánica. La introducción del concepto de CIC máxima teórica basado en los resultados de los análisis químicos y mineralógicos nos permite pensar que el método de Polemio y Rhoades es más adecuado para medir la CIC en suelos calcáreos respecto al método clásico con el acetato de amonio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias de la Tierra de Linares, N.L. y, en

Sorani y Gómez. COMPARACION DEL METODO CLASICO Y DEL METODO DE POLEMIO

Cuadro 1. Resultados de los análisis de textura, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico.

Suelo	Arcilla sin CaCO ₃	Materia orgánica	CIC Máxima teórica	CIC ¹⁾	CIC ²⁾	CIC ³⁾
	%	%		%		
1	5	2.2	8.6	16.7	12.5	2.0
2	4	1.7	6.7	11.8	8.0	2.8
3	3	1.3	5.1	18.6	12.9	2.8
4	6	1.2	6.0	16.6	11.5	2.6
5	9	2.8	12.0	18.6	12.5	2.8
6	6	2.2	9.0	24.5	18.6	4.2
7	10	1.7	9.1	28.4	18.3	6.5

- 1) Con un lavado.
2) Con tres lavados.
3) Con el método de Polemio y Rhoades.

Cuadro 2. Capacidad de intercambio catiónico de algunas variables.

Minerales	CIC ¹⁾
Kaolinita	3-5
Haloisita 2 H ₂ O	5-10
Haloisita 4 H ₂ O	40-50
Montmorillonita	80-150
Illita	10-40
Vermiculita	100-150
Clorita	10-40
Sepiolita	20-30

- 1) En meq/100g de arcilla seca según Grimm, 1963.

particular, a la doctora Barbarin para los análisis mineralógicos.

LITERATURA CITADA

BOWER, C.A. 1950. Fixation of ammonium in difficultly exchangeable form under moist conditions in some soils of semi-arid regions. *Soil Science* 70: 375-383.

BOWER, C.A., R.F. REITEMEIER y M. FIREMAN. 1952. Exchangeable-cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science* 73: 251-261.

GRIMM, R.E. 1963. *Clay mineralogy*. Mc Graw Hill Ed., New York.

GUPTA R.K., C.P. SINGH y P. ABROL. 1985. Determining cation exchange capacity and exchangeable sodium in alkali soils. *Soil Science* 139: 326-332.

KELLEY, W.P. 1948. *Cation exchange in soils*. The Waverly Press, Inc., Baltimore.

OKASAKI, R., H.W. SMITH y C.D. MOODIE. 1964. Some problems in interpreting cation-exchange capacity data. *Soil Science* 97: 202-208.

POLEMIO, M. y J.D. RHOADES. 1977. Determining cation exchange capacity: A new procedure for calcareous and gypsiferous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 524-527.

RHOADES, J.D. y D.B. KRUEGER. 1968. Extraction of cations from silicate minerals during the determination of exchangeable cations in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 488-492.

ALGUNAS EXPERIENCIAS Y PROPOSICIONES SOBRE RECUPERACION DE SUELOS CON PROBLEMAS DE SALES EN MEXICO¹⁾

Ramón Fernández González

Centro Nacional de Investigaciones Agrarias, Cuernavaca, Morelos.

RESUMEN

En el presente trabajo se relatan las experiencias del autor y sus colaboradores en la caracterización de los suelos con problemas de sales, sus trabajos de recuperación en el Lago de Texcoco, en Guasave, Sin., en Mexicali, B.C. y Río Bravo, Tamps.

Se estima que en los litorales existen 800,000 ha ensalitradas, que en las zonas áridas y templadas, fundamentalmente en cuencas cerradas hay 1 millón de ha ensalitradas y que en las zonas de riego existen de 2 a 3 millones de ha con diversos grados de salinización.

El problema del ensalitramiento es importante tanto desde el punto de vista de la superficie ensalitrada por diversos procesos, como porque los terrenos agrícolas ensalitrados tienen una gran importancia económica. Por las razones anteriores es urgente reforzar los programas de estudio, las investigaciones y los trabajos de recuperación de estos suelos.

De acuerdo con la experiencia aquí mostrada, la recuperación requiere sólo de lavados y no se requieren mejoradores cálcicos

o materiales formadores de productos cálcicos. Esta afirmación se refiere tanto a suelos salinos, como a suelos sódicos.

La clasificación de suelos con problemas de sales debe considerar un factor adicional que es la especie cultivada ya que 4 mmho/cm y 15% de sodio intercambiable son límites para cultivos sensibles y no tienen significado práctico en cultivos como algodón, trigo o remolacha.

Por lo que respecta a el límite para suelos sódicos deberá ajustarse para suelos con alto contenido de arena o con materia orgánica.

Como se menciona en el texto, es urgente que se determinen en cada zona de riego, los requerimientos de lavado para mantener un límite máximo de sales solubles en el perfil del suelo.

En cualquier trabajo de recuperación de suelos, lo importante es tener un punto de descarga y la red interna de drenaje necesaria.

SUMMARY

In this paper are shown experimental results and observations of the author and his group about soil salinity characteristics, their reclamation on Texcoco lake, in the state of Mexico; Guasave, Sinaloa; Mexicali, Baja California and Río Bravo in Tamaulipas.

¹⁾ Conferencia presentada durante el XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo en Ciudad Juárez, Chih.

It has been estimated by the author that on the coastal plains, there are 800 000 ha of saline soils, and 1 more million ha in closed basins in arid and temperate regions. Furthermore there are on irrigated agriculture soils about 2 to 3 million ha.

Salinity problem is important not only from a point of view of the salinity areas contaminated by various origins but for the high economical value. For this reason, it is very important to include this topic in the programs of the agricultural colleges.

According to experiences in Mexico soils reclamation requires only leaching and there is no need to add calcium amendments or materials to form calcium compounds. This is true not only for saline soil but for sodic soils too.

Salinity soil classification must consider the crop species as additional factor since 4 mmhos/cm at 25°C and 15 percent of exchangeable sodium are the limits for sensitive crops and has not practical significance in sensitive crops and has not practical significance in crops like cotton, wheat and sugarbeet.

The limit for sodic soils must be adjusted for those that have high sand content or high organic matter content, since the effect of sodium on flocculation is reduced.

It is also important as mentioned in the text, that in every irrigated zone, it is necessary to obtain the values of leaching requirement in order to maintain the maximum limit of soluble soils within the soil profile.

In any soil reclamation practice is important to have a discharge point and the drainage system (The author).

INTRODUCCION

El problema de la salinidad en México se presenta fundamentalmente en las zonas áridas bajo riego y a lo largo de la costa en el

territorio nacional. Sin embargo, también ocurre en zonas húmedas con precipitaciones altas.

En las costas se estima una superficie total ensalitrada de 800,000 ha, considerando que en promedio se afecta una franja de aproximadamente 100 m a lo largo del litoral. Esta cifra es conservadora ya que en algunos casos el efecto de las mareas o la presencia de sedimentos marinos afecta varios kilómetros hacia el interior.

Los lugares en donde se observa el problema de la salinidad en forma más frecuente son las cuencas cerradas que, a través de miles de años, han ido acumulando paulatinamente sales en el perfil del suelo. Tal es el caso de la Laguna de Mairán, en el estado de Coahuila, el Lago de Texcoco o más propiamente en el llamado Valle de México, así también en los valles de Libres y Oriental, en el estado de Puebla, y otros. El control de las aguas de escurrimiento superficial o el aprovechamiento de los recursos subterráneos con fines de riego también ha dado origen a nuevas áreas ensalitradas.

En el primer caso, es decir en las cuencas cerradas en las que el proceso de salinización ha sido natural, se estima que la superficie afectada es del orden de 1 millón de hectáreas.

Por lo que respecta a la superficie de riego cultivada, que en su totalidad abarca 5.5 millones de ha físicas, se estima que aproximadamente 20 a 30% de ésta se halla afectada en diferentes grados por exceso de sales, considerando con exceso de sales aquellas que se encuentran sobre el límite de 4 milimho/cm a 25°C o 15% de sodio intercambiable. Lo anterior indica que el total de las zonas ensalitradas en México comprende una superficie aproximada muy similar a la superficie que actualmente se encuentra bajo riego. Si se considera esta superficie en relación con la superficie total de la República (200 millones de ha) los 4 millones de hectáreas representan el 2%. Como el total de la superficie plana de la

República es del orden de 30 millones de ha, esta cifra sube al 12% aproximadamente.

Lo anterior indica la importancia que tiene el problema de la salinidad en la República Mexicana y la urgente necesidad que existe de atenderlo sistemáticamente.

Si se analizan los trabajos que sobre este tema se han realizado en el país, se encuentra que en un principio se tradujeron reportes de las investigaciones realizadas en otras latitudes y que los agricultores que tenían sus tierras afectadas por problemas de sales, realizaban experiencias con base en las cuales se derivó información para aplicarse en otros casos. En materia de investigación propiamente dicha, se ha hecho relativamente poco: algunos intentos en el noroeste (Arana, 1970; Llerena, 1970; Marín, 1964), un programa de recuperación de suelos en la Universidad Autónoma Chapingo en los terrenos del Lago de Texcoco (Macías, 1972; Rodríguez, 1965; Serrano, 1969; Villegas, 1946), en la zona de riego de Tula, Hidalgo (Juárez, 1971); en el Ex-Lago de Chalco, en el Valle de México; y en la zona noreste de México, que se mencionarán específicamente en el presente texto.

Cuando se estudia el problema de la salinidad, es importante definir el origen de las sales en cada una de las áreas mencionadas.

Principiaremos por las zonas costeras. En esta región se presentan fundamentalmente tres orígenes de la salinidad: la presencia de sedimentos marinos como material de origen de los suelos, las sales cíclicas y la intrusión salina.

Los sedimentos marinos posiblemente son el problema más grave. Dentro de la zona costera, prácticamente en todas las planicies cultivadas, ya sea de temporal o de riego, se reporta un alto contenido de sales (Fernández, 1972) que en una u otra forma se va reduciendo con el manejo que se le da al terreno. Las sales presentes son sales solubles, no existe el problema de sodio intercambiable,

predominan los cloruros de sodio y los sulfatos, de sodio, de calcio y de magnesio; su eliminación ocurre cuando las aguas de lluvia o las de riego, según sea el caso, se acumulan sobre la superficie del suelo y para eliminarlas de los terrenos deben pasar a través del perfil.

Por lo que respecta a sales cíclicas, éstas tienen su origen en el agua de mar. El viento y el oleaje hacen posible que al soplar la brisa hacia el continente penetre una buena cantidad de sales en forma de solución que muchas veces llega hasta a 10 kilómetros de la costa (Fernández, 1971). Existen algunos datos que indican que esta distancia puede ser hasta del orden de 100 kilómetros. Se les denomina sales cíclicas porque una vez que caen sobre la superficie de la tierra, la lluvia posteriormente las pone en movimiento y escurren a través de arroyos y ríos nuevamente hacia el mar. Es lógico suponer que el lavado de sales por parte de las lluvias no es total en todos los casos y en muchos de ellos estas sales se van acumulando paulatinamente en el suelo. Un caso típico de esta situación es la zona noreste de México en los terrenos adyacentes a la Laguna Madre y en los que se encuentran alrededor de los Distritos de Riego Bajo Río Bravo y Bajo Río San Juan y las regiones de San Fernando y Soto la Marina, todos estos en el estado de Tamaulipas.

El problema de la intrusión salina se presenta en las planicies costeras en las cuales la explotación de los mantos subterráneos, ha roto el equilibrio existente entre la cuña de agua dulce y la cuña de agua salada. Este problema se presenta en la costa de Hermosillo, y en el Valle de Guaymas, y en menor escala, en algunas otras regiones costeras.

Por lo que respecta al problema de salinidad dentro del continente, se distinguen dos casos: el de cuencas cerradas y la presencia de materiales salinos de origen geológico.

El problema en cuencas cerradas se desarrolla por el fenómeno de evaporación. Al evaporarse sólo el agua de los terrenos o de superficies libres de agua, va quedando un residuo salino, que se acumula a través de muchos años, llegando a formar verdaderos depósitos de sales solubles. Tal es la situación del Lago de Texcoco y de algunas regiones anteriormente mencionadas como la Laguna del Carmen. Por lo que respecta a la presencia de materiales con un alto contenido de sales, el fenómeno es más frecuente y se presenta prácticamente en cualquier sitio de la República, con exceso de bicarbonato y sulfato de calcio en el sureste y bicarbonato de sodio en el Valle de México.

En el caso de zonas ensalitradas en terrenos bajos cultivados, que aparentemente cubren la mayor superficie, el origen de las sales se debe a un mal manejo del agua de riego. Se pueden mencionar tres casos principalmente: el mal drenaje, el exceso de agua aplicada y la mala calidad de las aguas.

Con respecto al primer caso, es indispensable que en una zona que se pone bajo riego se analice a donde irán a descargarse las aguas de drenaje, ya sean aguas de lluvia o el exceso de agua que se aplica como sobrerriego. Prácticamente en todas las zonas de riego se ha planteado este problema. Como solución se han construido drenes, pero después de algunos años se han dejado de conservar, lo que ha ocasionado una elevación de los niveles freáticos que posteriormente, por el fenómeno de capilaridad, alimentan los estratos superiores del suelo, de los cuales mediante la evapotranspiración se va perdiendo el agua y se van acumulando las sales. En algunos casos en que el agua es muy escasa y prácticamente no hay precipitación, se han puesto bajo riego pequeñas superficies tratando de ahorrar al máximo el agua aplicada; en esta forma se ha cometido el error de no aplicar un exceso de agua o sobrerriego que elimine las sales solubles que se van acumulando y generando problemas de salinidad.

En otros casos la calidad del agua utilizada es originalmente mala, tal es el caso de las aguas negras que se usan en el Distrito de Riego de Tula, en el estado de Hidalgo; o las aguas subterráneas que se usan para regar algunas propiedades particulares en la región de Palmar de Bravo, en el estado de Puebla. En ambos casos, cualquier deficiencia en el drenaje o mal manejo en la aplicación del agua ocasiona la acumulación paulatina de sales y un grave problema de salinidad en las zonas de riego. Se podría mencionar que en los 10 principales Distritos de Riego de la República, de acuerdo con un estudio de la Secretaría de Recursos Hidráulicos que abarcó 1.6 millones de ha, alrededor del 20% de los terrenos está afectado por sales. No es exagerado mencionar que en algunos Distritos de Riego, la superficie afectada por sales llega a ser del orden del 50 al 75% como es el caso de Mexicali, el Bajo Bravo y algunos Distritos de Riego del noroeste. En estos últimos distritos, aunque el porcentaje no es tan elevado, sí llega a ser del orden del 40 al 60%.

ALGUNOS PROBLEMAS DE SALINIDAD EN MEXICO, SU DESCRIPCION Y LOS TRABAJOS REALIZADOS PARA LA RECUPERACION

El Lago de Texcoco

El Lago de Texcoco es uno de los cinco lagos que originalmente existieron en el Valle de México. Este Valle es una cuenca que se drena artificialmente a través del Tajo de Nochistongo y los Túneles de Tequisquiac a través del emisor central.

El ex-Lago de Texcoco cubre una superficie de 26,760 hectáreas. Durante el tiempo en que existió el lago, el desequilibrio entre la evaporación y el abastecimiento de agua al lago, provocó una acumulación paulatina de sales hasta convertirlo en un Lago de agua salada, que los primeros moradores del Valle de México tuvieron que aislar de las aguas dulces de Xochimilco mediante diques de gran magnitud.

Posteriormente, en la época moderna, el Lago de Texcoco fue drenado y en la actualidad sólo una pequeña superficie se encuentra cubierta de agua una parte del año y, otra parte, se mantiene cubierta de agua mediante el abastecimiento de aguas negras de la Ciudad de México. Las exploraciones que se han realizado en diversas ocasiones indican que la salinidad afecta varias decenas de metros de material aluvial y lacustre que se ha ido depositando a través del tiempo; se tienen datos de exploraciones hasta 67 m de profundidad en las que se han detectado sales solubles.

Por la cercanía con la Ciudad de México se han hecho varios intentos para aprovechar el Lago de Texcoco a través del tiempo. Los técnicos han auxiliado a los agricultores para eliminar las sales que se encuentran en el perfil. Algunos han tenido éxito, otros no, dependiendo fundamentalmente del sitio en donde se realice el trabajo y la posibilidad de drenar los terrenos.

Fernández y Rodríguez, en 1965, llevaron a cabo un estudio de clasificación de los suelos en el lado este del Lago de Texcoco, entre Chimalhuacán y el parque El Contador. Se hicieron barrenaciones en el límite de la zona salitrosa, se estableció aproximadamente una cuadrícula de 5 kilómetros de lado y se encontró que la mayor parte del Lago de Texcoco tiene el problema de exceso de sales solubles y exceso de sodio intercambiable, así mismo se encontró que en las partes altas cercanas, en que la precipitación pluvial ha ido eliminando las sales solubles, los suelos tienen más problema por el sodio intercambiable. Se observó que una buena parte de los terrenos que anteriormente formaron parte del Vaso del Lago de Texcoco, se encuentra totalmente libre de sales hasta una profundidad de 2 metros.

Los análisis realizados en las muestras de suelos obtenidas en un estudio realizado por Macías (1972) mostraron que el porcentaje de sodio intercambiable llega a ser en algunos casos entre 80 y 99%; la conductividad

eléctrica es del orden de 160 a 300 milimho/cm 25°C y el pH oscila entre 9 y 11.

De acuerdo con el estudio de Rodríguez y Fernández, se seleccionaron algunas parcelas en donde existiera agua dulce, para proceder a efectuar un lavado de suelos y posteriormente aprovechar estos terrenos con fines agrícolas. Con este motivo se localizó una parcela en la ampliación del ejido de Huexotla, aguas abajo del poblado de San Bernardino (propiedad del Sr. Fidel García). En este terreno se contaba con el agua proveniente del río San Bernardino que en tiempos de avenidas se podía extraer a través de una alcantarilla construida con tubos de concreto de 10 pulgadas de diámetro. En esta parcela cuya superficie es aproximadamente de 1 ha se procedió a construir una zanja perimetral, depositando el material de excavación dentro de la parcela. En esta forma se disponía de un bordo para acumular agua dentro de la parcela y la zanja perimetral permitía eliminar el agua, la cual al penetrar a través de la superficie del suelo debería drenarse hacia el fondo del Vaso del ex-Lago de Texcoco, por lo que a través de la zanja perimetral se conectó hasta la parte baja más cercana. La apariencia del terreno al iniciar los trabajos era de una zona típicamente ensalitrada con manchones de álcali negro, en los cuales no crecía ninguna vegetación. En los alrededores de estas manchas de álcali negro se encontraba algo de vegetación fundamentalmente romerito *Suaeda diffusa* con coloraciones rojas en lugar de su habitual color verde; en el resto de la zona se observaban montículos arenosos en los cuales crecía el pasto *Distichlis spicata*. Una vez que se hicieron los bordos y con las primeras avenidas del río se procedió a acumular una lámina de agua que al infiltrarse en el suelo comenzó a eliminar algunas sales, se sembró maíz y se obtuvo una buena emergencia en la parte más alta del terreno. Posteriormente se procedieron a hacer aplicaciones de yeso agrícola en cantidades equivalentes a 25, 50, 100 y 150 ton ha^{-1} , procediéndose inmediatamente a llenar con agua. El terreno se dejó secar, se preparó, se volvió a sembrar y no se observó ningún efecto de las aplicaciones de yeso.

En los lugares adyacentes a este terreno que presentaban características similares pero con problema de salinidad más acentuado, se recogieron muestras, las cuales se prepararon secándolas al sol, moliéndolas y tamizándolas a través de una malla de 2 mm de agujeros redondos. Estas muestras se colocaron, de acuerdo con la profundidad de que habían sido tomadas, en columnas de plástico de 10 cm de diámetro y a cada cuatro columna se le aplicó un tratamiento de ácido sulfúrico, otro de yeso agrícola, otro de cloruro de calcio, otro de estiércol y otro sin tratamiento.

A todas las columnas así tratadas se les lavó con agua de la llave durante un período de varias semanas, el trabajo se prolongó durante 50 días.

Todos los tratamientos utilizados, excepto el del estiércol en el cual se presentó una discontinuidad debido a la expansión de la materia orgánica, la cual quedó suspendida de las paredes del vaso, permitieron eliminar las sales del perfil. En el caso de los mejoradores aplicados, se observó una mayor velocidad de recuperación que se manifestó en los primeros 20 días, sin embargo, a los 30 días prácticamente todos los tratamientos habían tenido el mismo efecto. Debe mencionarse que en las columnas que solamente recibieron agua de la llave también se obtuvieron los mismos resultados. El trabajo anterior, que fue realizado por Murguía y Fernández (1965) y se encuentra publicado por Fernández y Rodríguez (1965), indicó la conveniencia de proceder a aplicar solamente lavados en la parcela de campo. Después del tercer lavado general de la parcela se volvió a sembrar maíz y se obtuvo aproximadamente un 80% de la superficie con plantas vigorosas, habiéndose tenido un rendimiento aproximado de 2 ton ha⁻¹; posteriormente se siguieron aplicando riegos pesados durante el tiempo de avenidas, posteriormente además de maíz se sembró alfalfa. Actualmente el terreno se encuentra con este cultivo en el 50% de la superficie, la alfalfa es muy vigorosa y en las partes en que está creciendo se estima que se tienen rendimientos entre 60 y 80 ton ha⁻¹ año⁻¹. En algunos manchones de álcali negro

el crecimiento sigue siendo raquítico, sin embargo, debe también mencionarse que fuera de los riegos pesados no se ha procedido a dar ningún otro tratamiento. También debe mencionarse que en estas áreas se encuentran creciendo actualmente yerbas de diferentes especies que no se caracterizan por su tolerancia a la salinidad.

Con motivo de la recuperación de esta parcela todos los ejidatarios que tienen sus terrenos adyacentes a ella han hecho sus zanjas perimetrales aunque no las han drenado hacia el ex-Lago de Texcoco y han sembrado maíz asociado con frijol y con calabaza. Los rendimientos que obtienen son bajos, pero obtienen una cosecha en terrenos que anteriormente se consideraban estériles.

Rendimientos medios en ton ha⁻¹, Ciclo 1967-68, Distritos de riego.

Cultivo	Tula	El Yaqui	Alto Lerma	El Fuerte	Bajo Bravo
Maíz	4.2	3.1	3.9	1.9	1.7
Alfalfa	128.0	93.0	43.0	59.0	72.0
Jitomate	14.0	13.4	15.3	20.0	5.0
Frijol	1.0	1.7	0.9	0.6	1.5

En otras parcelas del Lago de Texcoco, propiedad de ranchos ganaderos, se hicieron recomendaciones para la aplicación de lavado y eliminación del agua de drenaje mediante zanjas perimetrales conectadas a un drenaje general habiéndose obtenido magníficos resultados. En la actualidad se considera que en toda la orilla este del Lago de Texcoco, se han puesto bajo cultivo alrededor de 2,000 ha que estaban afectadas por sales.

Al considerar que en los terrenos ensalitrados de esta región existe la posibilidad de obtener agua subterránea para riego, pero que la aplicación de lavados con esta agua sería costosa, se procedió a realizar un experimento en tanques de 200 l, en los cuales se colocó un perfil de suelo

fuertemente afectado por exceso de sales solubles y sodio intercambiable, tratando de colocar las capas tal como se encuentran en condiciones naturales (Juárez, 1967).

Los tratamientos estudiados fueron lavados del suelo con una lámina de agua de 2 m que se aplicó en varias formas: en forma continua; lavado con lámina de 1 m y dejar secar antes de aplicar el siguiente; lavado con 50 cm de lámina, dejar secar, aplicar otros 50 cm, dejar secar y así sucesivamente hasta completar 2 m y finalmente, el mismo procedimiento anterior, pero aplicando lavados en incrementos de 25 cm. La idea fundamental de este trabajo es aprovechar la difusión de sales de los poros pequeños hacia los poros grandes a través de los cuales se realiza el movimiento de agua en condiciones cercanas a la saturación y lavar con mayor eficiencia las sales, es decir, utilizar menos agua para lavar la misma cantidad de sal. Los resultados obtenidos han sido reportados por Fernández y Juárez (1967), e indican que los tratamientos aplicados prácticamente tuvieron el mismo efecto sobre el desplazamiento de sales. Un análisis más detallado de la eliminación de iones fue realizado por Fernández y Serrano (1969), habiéndose encontrado una explicación al proceso que ocurre en la eliminación del sodio mediante la aplicación de agua exclusivamente.

Este fenómeno consiste en la hidrólisis de sodio que se produce al eliminar el sodio soluble de la solución del suelo y reemplazar el sodio mediante iones hidrógeno, resultantes de la ionización del agua. Posteriormente el sulfato de calcio y el carbonato de calcio presentes en el suelo en forma de precipitado se solubilizan en pequeñas cantidades, el calcio de esta solubilización sustituye al hidrógeno y finalmente el complejo intercambiable queda saturado con iones de calcio y magnesio principalmente.

La empresa ICATEC, S.A. hizo un muestreo en cuadrícula en todo el Vaso del ex-Lago de Texcoco estableciendo los tipos de problemas y su magnitud (Macías, 1972). En este mismo trabajo se tomaron muestras de especies que

crecen en zonas con diferentes concentraciones de sales y de sodio intercambiable, con objeto de proponer la propagación de dichas especies y evitar la erosión eólica que constituye un problema muy serio para la ciudad de México, fenómeno conocido como tolvaneras.

A partir de este trabajo la Secretaría de Recursos Hidráulicos llevó a cabo un estudio más detallado a este respecto y el informe agrológico ha sido preparado por la Dirección de Agrología. En este trabajo se da especial énfasis a la clasificación de especies que crecen dentro de los terrenos del Lago. Cabe mencionar que existe una serie de estudios básicos realizados en terrenos del Lago de Texcoco, por la Universidad Nacional Autónoma de México (Carrillo, 1970).

Recomendaciones para el aprovechamiento de estos terrenos.

Motivo de gran preocupación para el Gobierno ha sido resolver el problema del Lago de Texcoco. Como resultado de esa inquietud se creó una residencia para la construcción de obras en el Lago de Texcoco; el programa consiste esencialmente en la construcción dentro de la zona federal de varios lagos artificiales de aguas negras tratadas, las cuales se utilizarían con fines turísticos y otros para almacenar aguas que se emplearían en la zona cultivada en el Municipio de Texcoco, principalmente.

Se ha planteado que el agua subterránea que actualmente se utiliza para riego en la zona de Texcoco, se utilice como agua potable para abastecer a la Ciudad de México cuya necesidad crece en forma alarmante; a cambio de esas aguas se enviarían las aguas anteriormente mencionadas.

Debe aclararse a este respecto, que el uso de aguas negras en el Distrito de Riego de Tula, Hidalgo, es posible debido a las características de los suelos de dicha región que contienen una proporción elevada de carbonato de calcio y son de texturas ligeras, su permeabilidad es alta y la práctica de

riego que actualmente se utiliza, incluye la aplicación de una lámina de sobrerriego que mantiene un equilibrio con el exceso de sales aplicadas en el agua de riego.

En el caso de la zona del Lago de Texcoco, una mínima parte de los suelos tiene esas características, su textura es mayoritariamente franca o arcillosa por lo que será necesario antes de decidir la aplicación de aguas negras determinar:

1. ¿Cuál es el tratamiento mínimo que deberá darse a éstas para poder utilizarlas como aguas de riego?
2. ¿Qué terrenos pueden regarse permanentemente con estas aguas?
3. ¿Qué manejo deberá darse al agua tratada en estos terrenos?

Como conclusión de los estudios realizados en el Lago de Texcoco se propuso que la recuperación de los terrenos sea desde los márgenes hacia el centro, es decir desde las partes altas a las partes bajas, resolviendo paulatinamente el problema del drenaje. Se piensa que esta recuperación de terrenos debe hacerse a través de programas de desarrollo de la comunidad en los poblados situados en la periferia del Lago; para utilizar toda la mano de obra disponible o todo el recurso humano disponible regionalmente. Estos programas de la comunidad se iniciarían con una reforestación de los poblados y se continuaría aprovechando el potencial turístico, el agrícola y el pecuario que cada poblado disponga, con objeto de que las inversiones que se realicen sean redituables a corto plazo.

No se considera necesaria la aplicación de mejoradores químicos en la recuperación de los terrenos.

Para el lavado se recomienda estudiar posibles sitios de almacenamiento de las aguas superficiales para su control y el uso posterior.

Por otra parte, se recomienda estudiar la recarga del acuífero, con objeto de determinar su potencial y aprovechar de inmediato las sobrantes de agua que actualmente no se explotan, para que en una primera etapa se utilicen para el lavado de las tierras, posteriormente para el cultivo de esos terrenos bajo riego y más adelante se intercambien por aguas negras tratadas de la Ciudad de México.

Una vez que se obtengan estos programas de desarrollo de la comunidad se hará un planteamiento general para jerarquizar en el tiempo y en el espacio las inversiones que deban canalizarse en actividades de rápida recuperación.

Es importante señalar que no será posible aprovechar una buena parte de la superficie del Vaso del ex-Lago de Texcoco de inmediato, por lo cual, deberá cubrirse con agua o con alguna especie que no tenga utilidad económica para que en esta forma se evite tener una superficie descubierta que se erosione por el viento y siga causando el problema de las tolvaneras.

A este respecto se recomienda que se haga una colección de especies en zonas ensalitradas en diferentes partes de la República, incluyendo esteros en donde crece vegetación en contacto con agua de mar, traer esas especies al Lago de Texcoco y sembrarlas en las diferentes condiciones o diferentes grados de salinidad que se encuentran, con objeto de determinar cuales se adaptan ecológicamente a esas condiciones. Debe mencionarse que al hacer la colección de estas especies será indispensable obtener muestras de suelo, en el cual se encuentran creciendo, con el objeto de orientar su siembra en los terrenos del Lago de Texcoco.

Distrito de Riego del Río Colorado.

El denominado Valle de Mexicali, fisiográficamente hablando, es un delta de la desembocadura del Río Colorado en el estado de Baja California.

Desde fines del siglo pasado se comenzó a cultivar este valle utilizando las avenidas del Río Colorado para inundar grandes extensiones de terreno, como era la práctica usual en aquel entonces.

El Distrito de Riego propiamente dicho comprende cuando menos 300 mil ha, que se han puesto bajo riego en alguna ocasión, aunque el agua disponible en la actualidad sólo es suficiente para regar la mitad de esta superficie.

Siendo el llamado Valle de Mexicali una planicie costera formada por el Delta del Río Colorado, la pendiente es muy reducida y existen algunos lugares que se encuentran debajo del nivel del mar.

Al regularizarse o controlarse el riego por parte de la SARH, se construyó una red de distribución, la red de drenaje y una red de caminos. La red de distribución por necesidad se ha mantenido funcionando a través del tiempo, no así la red de drenaje que se ha venido deteriorando a través del tiempo, llegándose a una situación en la cual los drenes no han funcionado eficientemente y se han creado problemas de niveles freáticos. Esta situación es similar a la que ha ocurrido en prácticamente todos los Distritos de Riego del noroeste.

Siendo el Valle de Mexicali una zona árida, en que la precipitación sólo alcanza unos pocos milímetros o donde simplemente no llueve, el uso del agua de riego requiere de la aplicación de una lámina de sobrerriego y, en consecuencia, de un sistema de drenaje que elimine ese exceso de agua que acarrea las sales fuera del Distrito de Riego, lo cual no se hizo y se provocó la salinización de los suelos.

Posteriormente a principios de la década de los sesentas se pusieron bajo riego en el estado de Arizona los terrenos de Welton-Mohawk que, además de estar ensalitrados, utilizan un acuífero fósil salino drenando los excedentes en el Río Colorado lo cual agravó la situación. Es decir que para poder poner

bajo riego esta superficie fue necesario extraer del subsuelo el agua salina, la cual fue descargada a través del Río Colorado aguas arriba de la Presa Morelos que es la derivadora que permite el aprovechamiento de las aguas para riego en el Valle de Mexicali; esto dio como resultado que la concentración de sales en el agua de riego se incrementara en forma alarmante ocasionando una salinización más violenta del Distrito de Riego del Río Colorado.

El contenido de sales en el agua de riego desde un principio en que se comenzó a regar, promovió no sólo el incremento en la salinidad de los suelos, sino también el incremento en el contenido de sodio intercambiable dando lugar a suelos salinos y sódicos. Debido a que la superficie de tierras disponible es mucho mayor que la superficie que puede regarse, se fueron utilizando tierras diferentes y ensalitrándose paulatinamente prácticamente toda la zona que alguna vez fue cultivada.

En la actualidad puede decirse que 80 a 90% de la superficie se encuentra afectada por sales en diferentes grados, desde terrenos ligeramente afectados hasta terrenos estériles.

Pérez (1959) realizó un estudio agrológico en el cual estableció los límites de seis tipos de suelos, denominándolos de acuerdo con la nomenclatura que se había utilizado en el Valle Imperial en los Estados Unidos y que es la parte adyacente al Valle de Mexicali. En este trabajo se determinó también el problema de salinidad.

Posteriormente, la Oficina de Riego y Drenaje de la Dirección de Distritos de Riego de la SARH (Informes internos), elaboró planos de salinidad aparente y siguió determinando con más precisión los problemas de sales en el área.

Debido a la escasez de agua y la alta concentración de sales agravada por la introducción del agua de drenaje de Welton-Mohawk en el Río Colorado, poco se ha hecho en

la práctica para recuperar los suelos afectados.

Se ha intentado utilizar diversas sustancias introducidas comercialmente como posibles neutralizadores de las sales, sin embargo, es de sobra conocido que la única posibilidad de eliminar el exceso de sales solubles, es el lavado de los suelos y la neutralización del sodio con base en lavados o mediante la aplicación de alguna sustancia que contenga calcio o promueva la liberación de calcio en el suelo.

Considerando la presencia de agua altamente salina y la escasez de agua en general en esta zona, Arana (1970) trabajando con Fernández muestreó dos de las series más importantes y trabajaron en el laboratorio para determinar la factibilidad de recuperación de los suelos aplicando aguas de diversas concentraciones salinas que paulatinamente se iban diluyendo hasta utilizarse aguas que contenían concentraciones aceptables para el riego de los cultivos que ahí se practican y que son principalmente algodón, trigo y alfalfa.

Los resultados obtenidos en ese trabajo indican que aún siendo la concentración de sales tan elevada en el perfil, es posible la recuperación mediante lavado usando aguas con exceso de sales y paulatinamente diluirlas hasta utilizar agua para riego.

La idea fundamental consiste en aprovechar algunas aguas de drenaje y las aguas salinas que actualmente se tiran para recuperar zonas con altas concentraciones de sales; estas aguas se irían diluyendo con agua de riego hasta que finalmente sólo se aplicara ésta en los terrenos ya recuperados.

Recomendaciones para el manejo de los suelos ensalitrados en el Valle de Mexicali.

Desde luego el plan a seguir para la recuperación de los terrenos en el Valle de Mexicali, depende de una selección previa de los terrenos que deben regarse de acuerdo con su posición topográfica, la calidad de los

suelos y la tenencia de la tierra. Posteriormente deberá asegurarse que, tanto la red de distribución como la de drenaje, sean las más adecuadas para las condiciones del terreno.

Una vez seleccionada la zona se tratará de llevar a cabo el lavado de los suelos en un programa a largo plazo que comience por los terrenos más altos y avanzando paulatinamente hacia los terrenos más bajos.

Por lo que respecta al agua para riego deberá explorarse la posibilidad de obtener más agua del subsuelo y negociarse un nuevo tratado en el cual no se acepte la contabilización de aguas salinas de desperdicio de zonas de riego o de almacenamiento que se tienen en los Estados Unidos.

Previendo la grave situación que se ha presentado con el uso de aguas salinas, se ha trabajado en el Valle de Mexicali en relación con la tolerancia de algunos cultivos a aguas con altas concentraciones de sales. Este trabajo que ha sido ampliamente estudiado en el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos en Riverside y en algunas otras partes del mundo puede servir en el futuro para establecer las posibilidades de uso de terrenos salitrosos o de aguas de mala calidad; sin embargo, en el caso particular del Valle de Mexicali, deberá estudiarse un plan de rehabilitación de los suelos de acuerdo con los lineamientos señalados anteriormente.

Al hablar de este problema, no puede dejar de considerarse el problema de salinidad de las aguas. A este respecto, desde un punto de vista técnico y humano, no es posible aceptar que como parte del tratado se entreguen aguas salinas a México, sobre todo considerando que esta salinidad no es natural.

Distritos de Riego del Noroeste.

Como se mencionó anteriormente, en los distritos del noroeste se riegan aproximadamente medio millón de hectáreas y en

general el problema de salinidad es evidente. Este problema de hecho ya existía en los terrenos antes de ponerse bajo riego la superficie mencionada, sin embargo, al aplicarse el agua de riego se fue eliminando hasta convertir los terrenos en suelos de excelente calidad que han llegado a producir los más altos rendimientos en México.

Sin embargo, como ya se mencionó anteriormente, la red de drenaje ha sido insuficiente para la eliminación de los excesos de agua necesarios para mantener una baja concentración de sales en el perfil, lo que ha ocasionado que los niveles freáticos paulatinamente se incrementen y esto ha promovido la salinización de los suelos. La superficie afectada llega a cifras alarmantes. Sin embargo, considerando la posibilidad de recuperación de los terrenos se concluye que el problema se puede reducir y de hecho en algunas zonas se ha reducido.

En algunos Distritos de Riego se ha encontrado que construyendo drenajes en la parte baja o manteniendo libre la descarga de la red de drenaje se recuperan rápidamente los terrenos afectados.

Se ha especulado mucho sobre la necesidad de mejoradores para la total recuperación de suelos en esta zona, ya que el problema que se presenta en general es tanto de exceso de sales solubles, como de exceso de sodio intercambiable. Con el propósito de ver la necesidad de aplicar yeso o algún otro material que contenga calcio o que permita la liberación de calcio en el suelo, con el patrocinio del antiguo Banco Agropecuario del Noroeste se hizo un trabajo en columnas de suelo para lo cual se muestreó el Ejido del Cubilete, cerca de la población de Guasave en Sinaloa.

Llerena dirigido por Fernández (1970), utilizó en este trabajo los siguientes tratamientos: lavado con una carga constante de 10 cm sin aplicación de yeso, lavado con una carga constante de 10 cm con una aplicación de yeso correspondiente a 10 ton ha^{-1} . Estos tratamientos fueron aplicados a

tres suelos que previamente se caracterizaron y que variaban en su textura y en el contenido de sales solubles y de sodio intercambiable. Se encontraron algunos terrenos sódicos no salinos y la mayor parte salinos sódicos. Al determinar la conductividad hidráulica en el laboratorio se encontró que al utilizar agua con baja concentración de sales, la velocidad de infiltración bajaba notablemente con el tiempo, es decir que los suelos pasaban de salino-sódicos a no salino-sódicos.

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluyó que utilizando el agua de riego cuya conductividad eléctrica es de 700 micromho se pueden lavar los suelos con menos de 43% de sodio intercambiable sin aplicación de yeso. La aplicación de yeso sólo acelera el proceso de recuperación. Es importante señalar que para este caso particular la lámina necesaria para eliminar el exceso de sodio intercambiable y las sales solubles fue solamente de 22 cm.

Para el caso de los suelos que contenían más de 66% de sodio intercambiable fue necesario la aplicación de yeso. Sin embargo, se considera importante indicar que para estos terrenos debería estudiarse la posibilidad de recuperarlos con aguas salinas o utilizando reductores de tensión superficial.

Por otra parte debe señalarse que en los Distritos de Riego por bombeo de Guaymas y Hermosillo, se ha venido presentando el problema de intrusión salina, debido a la sobreexplotación del acuífero. El efecto se ha notado por un incremento en la salinidad de las aguas como una baja de rendimiento en las cosechas y el ensalitramiento de los suelos, aunque este último es relativamente poco notorio hasta la fecha.

Se ha planteado como solución a este problema la conducción de aguas del sur de Sinaloa o inclusive del estado de Nayarit, hacia el norte, mediante lo que se ha llamado el Plan Hidráulico del Noroeste, que además de considerar el auxilio del riego a las zonas mencionadas, incluye la construcción de presas

de almacenamiento y el riego de nuevas superficies.

Como alternativas se han estudiado también la posibilidad de cambiar las zonas de bombeo hacia aguas arriba, el revestimiento de canales, la reducción de áreas de riego y la sobreexplotación de los acuíferos durante un cierto periodo de tiempo que permita obtener suficientes ingresos para traer agua de regiones lejanas. Una estimación con base en datos de bombeo y eficiencia de riego, indica que es factible sólo incrementar la eficiencia para eliminar la sobreexplotación del acuífero.

Otros Distritos de Riego.

Este mismo problema se ha presentado en otros Distritos de Riego como en el Bajo Bravo y en el Bajo San Juan, en la Presa Don Martín, en el Distrito de Riego en Ciudad Delicias, Chih., en el Alto Río Lerma, en el Valle de Juárez y muchos otros Distritos localizados en las zonas áridas.

Como ya se mencionó anteriormente, existen Distritos con problemas de salinidad aún antes de ponerse bajo riego, como es el caso particular del Distrito de Riego de Tehuantepec.

Distrito de Riego 03 en Tula, Hgo.

El caso más evidente de salinización por uso de agua con exceso de sales es el del Río Salado, que se utiliza para regar el Distrito de Riego 03 de Tula en el estado de Hidalgo y que recibe en forma importante las aportaciones tanto en aguas de lluvia como aguas de drenaje de la Ciudad de México.

En este Distrito se riegan aproximadamente 50,000 ha con las aguas negras de la Ciudad de México, desde fines del siglo pasado.

Los rendimientos que se obtienen en este Distrito de Riego para los cultivos de trigo, alfalfa, maíz, jitomate y algunos otros son de los más altos en la República Mexicana (Fernández, 1970).

Existe un hecho notable que ha permitido el uso de estas aguas negras sin deterioro de los terrenos o de los cultivos. Este consiste en que la mayoría de los suelos que forman este Distrito son derivados de cenizas volcánicas, por lo que su textura es ligera y su espesor es muy escaso, lo cual proporciona condiciones de permeabilidad muy favorable. Por otra parte, los agricultores se han acostumbrado regar con láminas excesivas, que facilitan el lavado constante de los terrenos. Así mismo, la precipitación que alcanza valores de 700 milímetros por año concentrados en los meses de junio a septiembre permite un lavado en los suelos cuya profundidad varía de 10 a 20 centímetros.

Podría decirse que la producción de cultivos se realiza en esta zona como verdaderos cultivos en solución, ya que el suelo poco fértil sirve de sostén a las plantas y el agua negra contiene los elementos nutritivos necesarios para obtener buenas cosechas. Aparentemente la respuesta a la aplicación de fertilizantes es escasa cuando se utilizan las aguas negras.

Existen en este Distrito de Riego almacenamientos de agua de lluvia que permite regar con aguas blancas algunas zonas del Distrito, sin embargo, los agricultores generalmente no aceptan esta situación ya que consideran indispensable el uso de aguas negras mezcladas con las aguas almacenadas provenientes de las lluvias.

Recientemente se ha especulado sobre el problema de toxicidad de algunas sustancias contenidas en el agua de drenaje de la Ciudad de México, se ha hablado principalmente de los detergentes y se ha hecho referencia, en particular, a daños sufridos por el cultivo de frijol.

Se ha observado que después de un riego a un cultivo de frijol la planta muestra un amarillamiento que afecta su crecimiento y posteriormente la cosecha, produciendo muy bajos rendimientos.

Fernández, Cuadra y Murguía (1970), Juárez (1971), y Rivera (1970) estos dos últimos han trabajado en condiciones de invernadero para estudiar el efecto de ABS (sulfonato alquilo de benceno) que es el elemento activo de los detergentes y han encontrado que para las concentraciones que actualmente se tienen en el agua negra que son del orden de 14 partes por millón no se tienen efectos nocivos para diversos cultivos estudiados como alfalfa, trigo, jitomate, lechuga y frijol.

Al estudiar los suelos del Distrito de Riego de Tula, Fernández (1970) por una parte y Moreno (1972) por otra, encontraron que en algunos terrenos se presentaban concentraciones altas de boro, sin embargo, no se estableció una correlación con síntomas de la planta o los rendimientos de cultivos.

Juárez (1971), trabajando con Fernández, ensayaron en el invernadero el efecto combinado de boro y detergentes, habiendo concluido que las concentraciones de boro sí afectan decididamente el crecimiento de especies que actualmente se cultivan en el Distrito de Riego 03 de Tula, Hgo. en tanto que las concentraciones de ABS no.

Fernández (1970), con la ayuda de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, analizó muestras de terrenos que han estado bajo riego durante diversos periodos de tiempo, habiéndose encontrado que no había una acumulación de sales solubles a través del tiempo, no se presenta problema de sodio intercambiable, pero había una acumulación de boro. Debe mencionarse que el boro acumulado se encuentra en una forma soluble y por lo tanto, es fácilmente eliminado del suelo mediante la práctica de sobreriego. Los valores de boro reportado fueron los siguientes: temporal 1.0 ppm, 2 años de riego 2.4 ppm, 5 años 4.2 ppm, 10 años 4.6 ppm, 15 años 4.8 ppm, 20 años 5.2 ppm, de 30 a 40 años 5.2 ppm.

Se ha sospechado que algunos síntomas de toxicidad observados en plantas cultivadas en el Distrito de Riego 03 puedan ser ocasionados

por elementos pesados que son arrojados al drenaje de la Ciudad de México por algunas industrias de reciente funcionamiento. Datos preliminares indican la presencia de plomo.

Los primeros resultados indican la imperiosa necesidad de estudiar más a fondo este problema y especialmente ubicar aquellas industrias que puedan producir elementos tóxicos para las plantas y obligarlas a tratar sus desechos en tal forma de que no lleguen a contaminar las aguas de drenaje.

Se ha estudiado también la contaminación bacteriológica por el uso de las aguas negras en el riego, habiéndose encontrado que, en general, el problema es agudo. Sin embargo, la contaminación bacteriológica de acuerdo a muestreos en diversos mercados existe en productos provenientes de otras regiones que actualmente abastecen de verduras a la Ciudad de México, y que no se riegan con aguas negras, por lo cual es necesario un tratamiento previo para todas aquellas especies que se consuman en fresco.

Con respecto a la salinización de suelos en el Distrito de Riegos 03 debe pensarse en la posibilidad de captar las aguas de lluvia de la Ciudad de México y almacenarlas temporalmente para mezclarlas paulatinamente con las aguas negras durante la época de estiaje y no seguir agudizando el problema. Actualmente las aguas de lluvia de la Ciudad de México se desfogan al mar por el Río Pánuco.

Un aspecto muy importante en el problema de ensalitramiento en las zonas de riego para reducirlo es el referente al requerimiento de lavado. Conviene reconocer que aparte de las fórmulas empíricas obtenidas para condiciones específicas, en ninguna zona de riego se cuenta con información práctica de campo, por lo que sería conveniente promover la realización de trabajos que permitan obtener los datos necesarios para su determinación dando preferencia a las zonas áridas.

Otra opción relevante en la actualidad es el cultivo de plantas tolerantes a la

salinidad como es el caso del cultivo de Salicornia en Sonora, con agua de mar, el cual forma parte de un programa de la Universidad de Arizona, en el que se busca producir plantas de origen marino con importancia económica. El cultivo se hace en tierra y se riega con agua de mar.

CONCLUSIONES

El problema de la acumulación de sales en los suelos de México es importante desde el punto de vista de la superficie ensalitrada por diversos procesos y porque los terrenos agrícolas ensalitrados tienen una gran importancia económica. Por las razones anteriores es urgente reforzar programas de estudio, investigaciones y trabajo de recuperación.

De acuerdo con la experiencia aquí mostrada, la recuperación de estos suelos requiere sólo de lavado y no se requiere de mejoradores cálcicos o materiales formadores de productos cálcicos. Esta afirmación se refiere tanto a suelos salinos, como a suelos sódicos.

La clasificación de suelos con problemas de sales debe considerar un factor adicional que es la especie cultivada ya que 4 mmho/cm y 15% de sodio intercambiable son límites para cultivos sensibles y no tienen significado práctico en cultivos como algodón, trigo o remolacha.

Por lo que respecta a el límite para suelos sódicos deberá ajustarse para suelos con alto contenido de arena o de materia orgánica.

Como se menciona en el texto es urgente que se determine en cada zona de riego, los requerimientos de lavado para mantener un límite máximo de sales solubles en el perfil del suelo.

En cualquier trabajo de recuperación de suelos, lo importante es tener un punto de descarga y la red interna de drenaje necesaria.

Es conveniente que cuando se utilicen efluentes para riego, se ponga especial atención a elementos tóxicos, principalmente elementos pesados y patógenos:

LITERATURA CITADA

- ARANA M., O.** 1970. Recuperación de suelos salino-sódicos del valle de Mexicali con mejoradores y aguas salinas. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx.
- BRAMBILA R., A.** 1929. Informe sobre el álcali en el valle de México, Departamento de Agrología. SRH. México.
- CARRILLO F.N.** 1970. Plan Lago de Texcoco. Comisión de Lago de Texcoco.
- CUEVAS A., B** 1971. Trabajos de campo para corrección de suelos alcalinos en el rancho Sierra Hermosa, Ozumbilla, estado de México. Inédito.
- FERNANDEZ., R.** 1962. Calidad y manejo de aguas de riego en relación con suelos salinos y sódicos. Prácticas. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx.
- FERNANDEZ G.,R.** 1969. Manejo de suelos bajo riego. Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Méx.
- FERNANDEZ G., R.** 1970. Uso de Aguas Negras en terrenos tepetatosos del Valle del Mezquital. Reporte Técnico para el Banco Mundial. S.R.H.
- FERNANDEZ G., R.** 1971. Reseña histórica de las obras realizadas en la Cuenca de México. Inédito.
- FERNANDEZ G., R.** 1972. El problema de salinidad de suelos en México y trabajos de recuperación de tierras ensalitradas. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Boletín mensual.
- FERNANDEZ G.,R.** 1972. Estudio agrológico de la zona de riego del proyecto las adjuntas.

FERNANDEZ G., R. 1979. Riego y drenaje de sales para el cultivo de vid en Aguascalientes. Informe interno.

FERNANDEZ G., R. y R. RODRIGUEZ. L. 1965. Características de los suelos del lado este del Lago de Texcoco y posibilidades de rehabilitación. Memorias del II Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

FERNANDEZ G., R. y PERSONAL DEL DISTRITO DE RIEGO No. 03 DE LA SARH. 1970. Muestreo y análisis de suelos regados con aguas negras. Informe interno.

FERNANDEZ G., R., J. CUADRA M. y E. MURGUIA. V. 1970. Uso agrícola de las aguas negras. Informe. Boletín de la Comisión hidrológica de la Cuenca del Valle de México. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México.

JUAREZ C., M. 1967. Prácticas de lavado de un suelo sódico-salino del Lago de Texcoco. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.

JUAREZ C., M. 1971. Efectos de los componentes de las aguas negras (Boro y ABS) en el desarrollo de la lechuga y del frijol bajo condiciones de invernadero. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx.

LLERENA, U.F.A. 1970. Posibilidades de recuperación y necesidades de aplicar yeso en suelos salino-sódicos del ejido "El Cubilete" en Guasave, Sin., Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.

MACIAS R., J. 1972. Posibilidades de uso agropecuario de los terrenos del ex-Lago de Texcoco. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Méx.

MARIN R., E. 1964. Ensayo preliminar sobre recuperación de suelos salino-sódicos en el valle del Yaqui, Son. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx.

MORENOD., R. 1972. Informe interno sobre problemas de elementos tóxicos en suelos del distrito de riego 03 de Tula, Hgo. INIA. Secretaría de Agricultura y Ganadería.

MURGUIA A., F. y R. FERNANDEZ. G. 1965. Pruebas de la recuperación de un suelo sodico-salino en columnas de suelo. Trabajo sin publicar. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura.

PEREZ, E.M. 1959. Estudio Agrológico preliminar del Distrito de Riego, del Río Colorado B.C. Secretaría del Recursos Hidráulicos. México.

RIVERA G., F. 1970. Efecto del detergente presente en las aguas de riego, sobre el desarrollo de siete cultivos, bajo condiciones de invernadero. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.

RODRIGUEZ L., R. 1965. Estudio de suelos en el lado este del Lago de Texcoco. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx.

SERRANO C., R. 1969. Desplazamiento de iones de un suelo sódico-salino por efecto de lavado. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx.

VILLEGAS S., M. 1946. The alkali nature of the soil of Lake Texcoco and the possibility of reclamation. Thesis M.S.A. Cornell University. USA.

INDICE DE AUTORES
AUTHOR INDEX

Alcántar G., G. 3, 182
Anaya G., M. 102

Campos, A. 187
Castellanos, J.Z. 113
Conejero, G. 182

Champigny, M.L. 3

Dubroeuq, D. 137, 148

Esquivel A., C. 170, 193
Etchevers B., J.D. 45, 97, 213

Fernández G., R. 226
Flores L., L.F. 127

Galván Q., A. 45
García-P., R.E. 177
Geissert, D. 148
Giskin, M.L. 213
Goijberg R., G. 97
Gómez V., S.L. 222

Maldonado, L.J. 127
Martínez G., A. 213
Martínez P., R.A. 127
Martínez R., L.M. 202

Núñez E., R. 213

Peña-C., J.J. 113
Pérez I., O. 213
Pérez-Z., O. 11, 36, 55, 68, 84
Pulido S., J. 97

Ramírez-S., J.H. 11, 36
Rodríguez N., F. 177

Sorani, V. 222

Tijerina Ch., L. 21
Tirado T., J.L. 3, 182

Woerner P., M. 156

**REVISORES QUE HAN COLABORADO CON LA
REVISTA TERRA DURANTE 1990.**

DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES, Chapingo
DR. ANTONIO G. AGUILAR NOH, Chapingo
M.C. BALDEMAR ARTEAGA MARTINEZ, Chapingo
DRA. ISABELLE BAROIS, Xalapa
M.C. JAVIER Z. CASTELLANOS, Celaya
DR. LEWIS ARTHUR DANIELS MOSER, Jiutepec, Mor.
M.C. JOSE GONZALO DIAZ DE LEON TOBIAS, Celaya
M.C. SERGIO A. ENRIQUEZ REYES, Celaya
DR. JORGE D. ETCHEVERS BARRA, Montecillo
BIOL. CARLOS FRAGOSO, Xalapa
M.C. WILLIAM GANDROY BERNASCONI, Chapingo
DRA. MA. DE LOURDES ISLA DE BAUER, Montecillo
DR. REGGIE J. LAIRD, Montecillo
DR. MANUEL LIVERA MUÑOZ, Montecillo
DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, Montecillo
DR. VICTOR OLALDE PORTUGAL, Irapuato
DRA. KLAUDIA OLESCHKO, Montecillo
M.C. ENRIQUE S. ORTIZ ESPINOSA, Chapingo
M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, Montecillo
ING. ARNOLDO PADRON HERNANDEZ, Chapingo
DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES, Irapuato
DR. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA, Tecmán, Col.
M.C. LUIS PIMENTEL BIBRIESCA, Chapingo
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA, Montecillo
ING. FRANCISCO RODRIGUEZ NEAVE, Chapingo
M.C. IGNACIO SANCHEZ COHEN, Cd. Lerdo
DR. VALENTINO SORANI, Montecillo
ING. JUAN FRANCISCO TAH IUIT, Chapingo
DR. JUAN LUIS TIRADO TORRES, Montecillo
DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS, Montecillo
DR. XAVIER UVALLE BUENO, Cd. Obregón
DR. JUAN VELAZQUEZ MENDOZA, Montecillo
DR. VICTOR VOLKE HALLER, Montecillo
DR. CLAUDE ZEBROUSKI, Montecillo

REVISTA TERRA

NORMAS PARA PUBLICACION

TIPO DE MANUSCRITO PARA PUBLICACION

La Revista **TERRA** acepta trabajos, en lengua española, sobre temas relacionados con la Ciencia del Suelo y el Agua. Estos pueden ser Artículos Científicos, Notas de Investigación, Ensayos o Revisiones de Literatura, Cartas al Editor, y Reseña de Libros. Se entiende por Artículo Científico aquel basado en un trabajo de investigación en que se ha aplicado en forma rigurosa el método científico y se ha estudiado el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre la respuesta medible de un sistema, como metodología para comprobar o rechazar una hipótesis, claramente establecida como objetivo del trabajo.

Las Notas de Investigación son artículos basados en trabajos experimentales que presentan aspectos metodológicos novedosos, o resultados que el autor quisiera publicar antes que finalice la investigación.

Los Ensayos o Revisiones de Literatura son artículos basados en una recopilación de artículos científicos o de investigación existen-

tes, en que el autor aporta su opinión personal sobre el tema y establece conclusiones respecto del estado actual del conocimiento del tema.

TERRA publicará las Cartas al Editor con opiniones o comentarios debidamente argumentados, que reciba. Esta sección tiene por objeto fomentar la discusión sobre temas publicados en sus páginas o de interés para la comunidad científica nacional. La Reseña de Libros es una sección destinada a dar a conocer la obra, particularmente de autores mexicanos e iberoamericanos, que son de interés para los científicos del suelo.

La Revista **TERRA** acepta colaboraciones de todos los miembros de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, así como de individuos que deseen publicar sus trabajos en ella, pero no tengan esta calidad. Los trabajos que se envíen deberán ceñirse a estas Normas para Publicación y estarán sujetos a revisión por el Comité Editorial o por quien éste designe, antes de su publicación.

NOTA: Los manuscritos deberán enviarse con original y dos copias, escritos a doble espacio, a:
Editor de la Revista **TERRA**,
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C.
Apartado Postal 45,
56230 Chapingo, Edo. de México.
México.

Versión revisada 7-88.

CONTENIDO DEL MANUSCRITO

Los Artículos Científicos y las Notas Científicas que se presentan deberán contar de las siguientes partes: (a) Título; (b) Autor(es); (c) Institución(es) responsable(s) del trabajo y dirección de los autores; (d) Resumen; (e) Palabras claves; (f) Summary; (g) Index words; (h) Introducción, que aparte de la motivación, importancia de los objetivos, deberá incluir aquellos aspectos más importantes, relativos del tema central, de la revisión de literatura; (i) Materiales y Métodos, donde se indique claramente el o los método(s) experimental(es) empleado(s) para dar respuesta a las hipótesis del trabajo; (j) Resultados y Discusión; (k) Conclusiones; y (l) Literatura Citada. El Comité Editorial podrá aceptar algunas modificaciones de esta estructura, cuando el tenor del texto así lo aconseje.

Los Ensayos o Revisiones de Literatura deberán constar de las siguientes partes: (a) Título; (b) Autor(es); (c) Institución donde se desarrolló el trabajo; (d) Resumen; (e) Palabras claves; (f) Summary; (g) Index words; (h) Introducción; (i) Desarrollo del tema, con los subtítulos que se estimen convenientes; (j) Discusión, donde fuere procedente; (k) Conclusiones; y (l) Literatura Citada.

Las Cartas al Editor y las Reseñas de Libros no tienen un formato definido, pero no deberán ser de más de dos cuartillas a máquina, doble espacio.

FORMATO DEL MANUSCRITO

Los trabajos deben enviarse mecanografiados en papel tamaño carta a doble espacio dejando márgenes en los cuatro costados de 2.5 cm y con las líneas numeradas. Las páginas, incluyendo los Cuadros y las Figuras, se numerarán correlativamente. El texto no deberá exceder de 20 páginas, siendo 15 el largo ideal para un Artículo Científico y 8 para una Nota Científica. Cada Cuadro o Figura se incluirá en una hoja aparte con su correspondiente número con lápiz de grafito suave en el reverso. Las leyendas correspondientes se mecanografiarán en hojas apartes (una hoja para cada Cuadro o Figura). Los Cuadros y las Figuras contendrán sólo la información esencial y en ningún caso repetir los datos que se presenten en otra forma. Las unidades que se empleen serán los del Sistema Métrico Decimal.

ESPECIFICACIONES PARA EL FORMATO

Título. El título se escribirá con mayúsculas, al inicio y al centro de la página. Se colocará también traducido al inglés, inmediatamente abajo del título en español. El título en inglés se escribirá con minúsculas, excepto las primeras letras de cada palabra, dos espacios sencillos abajo del anterior. El título deberá ser breve e indicar en forma precisa la naturaleza y contenido del artículo. Un título largo no es necesariamente el mejor. Así por ejemplo "Fijación de Fósforo en un Andosol de Colima" es mejor que "Determinación

de la Cantidad de Fósforo Fijado en los Horizontes A y B de un Perfil Alterado en un Suelo Andosol del Estado de Colima".

Autores. Se incluirá el nombre del autor o autores en la forma en que se acostumbra a escribirlo en sus publicaciones. Se sugiere adoptar una forma para toda la vida, que sea breve. Ejemplo: Roberto Núñez E., J. H. Miranda P. o R. Ferrera-Cerrato. Esto ayuda a no crear confusión y a identificar fácilmente a los autores. No se usarán títulos ni grados. La primera letra del nombre y apellidos se escribirán con mayúsculas. Los nombres de los autores se separarán por comas y se centrarán en la página. Se escribirán cuatro espacios debajo del título en inglés y centrados respecto de los márgenes.

Institución(es) patrocinante(s) y dirección de los autores. El objetivo de esta parte del artículo es dar el crédito respectivo a la institución que patrocinó el trabajo y que los lectores puedan contactar a los autores en caso necesario; la dirección postal debe quedar claramente especificada. Ejemplo: Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. o Departamento de Suelos, UACH, Chapingo, México. Esta identificación se escribirá con minúsculas, excepto las siglas, dos espacios sencillos debajo de los autores.

Pie de páginas. Se podrán utilizar, cuando sea necesario, para identificar información adicional; se numerarán correlativamente a través de todo el texto. Deberán emplearse al mínimo y sólo cuando sea imprescindible.

De la forma de titular. Los títulos tienen diversos órdenes y ellos señalan automáticamente la posición de una parte del artículo dentro de éste.

Título de primer orden. Es el título principal del artículo y siempre se escribe con mayúsculas, al inicio del artículo, centrado respecto de los márgenes.

Títulos de segundo orden. A este tipo corresponden las diferentes partes del artículo: Resumen, Summary, Introducción, etc. Se escriben con minúsculas, excepto las primeras letras de cada palabra. Se ubican tres espacios simples abajo del último renglón escrito. El texto que le sigue se comenzará a escribir dos espacios simples después del título.

Títulos de tercer orden. Se escriben al margen izquierdo, con minúsculas, excepto la primera letra de las palabras. Se subrayan. Se ubican dos espacios sencillos bajo el último escrito. El texto comienza a escribirse dos espacios sencillos después del título.

Títulos de cuarto orden. Se escriben al margen izquierdo con minúsculas, excepto la primera letra. Van subrayados y con punto final sin dejar sangría como en el presente párrafo. Si hubiera necesidad de título de mayor orden, se seguirán las normas recién indicadas, pero éstos se colocarán con una sangría de cinco espacios contados a partir del margen izquierdo, para el de quinto orden, y mayor, para el de sexto orden.

Resumen. Esta sección debe sintetizar, en no más de 250-300 palabras, los aspectos más importantes del trabajo, esto es, su motivación, importancia, método experimental (cuando corresponda) y las conclusiones más importantes. Se titula con un título de segundo orden.

Palabras claves. Dos espacios sencillos abajo del texto anterior se colocan al margen izquierdo y con minúsculas: Palabras claves, seguido de dos puntos, y a continuación las palabras que el autor considere clave para su trabajo, las que deberán ser distintas a las empleadas en el título.

Summary. Se siguen las mismas normas que para el Resumen en español. Esta sección es básica para darle difusión internacional a la revista. Se titula también con segundo orden.

Index words. Se seguirán las instrucciones dadas para Palabras claves, pero estas últimas se colocarán en inglés.

Introducción. En esta sección se indica la motivación, la importancia y los objetivos del trabajo que llevan implícito las hipótesis del trabajo. Contienen, además, los aspectos más relevantes del tema, tratados por otros autores e identificados en la Revisión de Literatura. La Introducción no debe exceder de tres cuartillas a doble espacio. Se titula con segundo orden.

Materiales y Métodos. Esta sección debe describir las características relevantes de los materiales usados en el estudio y los métodos experimentales empleados. A la descripción del método experimental utilizado para lograr los objetivos planteados se le debe dar particular importancia. Debe mostrar concordancia plena con las hipótesis. Así por ejemplo, si el propósito de un trabajo es determinar el efecto de la adición de estiércol vacuno en la mineralización del nitrógeno del suelo, deberá describirse el experimento que permitió medir este efecto. Los revisores tendrán muy en cuenta la concordancia entre objetivos planteados y los métodos experimentales empleados. Se titula con segundo orden.

Resultados y Discusión. Bajo este título se incluyen los resultados obtenidos en la investigación. Estos se presentarán en forma de Cuadros, Figuras, Fotografías, etc., y no deberán duplicar la información que se da en el texto. La información presentada en Cuadros y Figuras tampoco deberá duplicarse, así como incluir resultados que puedan ser fácilmente calculables. Ejemplo: presentar en una columna el rendimiento en g/m² y en otra en kg/ha. En la Discusión se harán resaltar los principios más importantes y las relaciones causa-efecto derivados del análisis de los resultados. Además, deberá explicar, en función de las observaciones hechas, el por qué de lo observado. Los resultados obtenidos se compararán con los de otros investigadores, señalando las divergencias y las semejanzas. Los Resultados y la Discusión deben tener los mismos subtítulos, si es que los hay, de la sección de Materiales y Métodos. Se titula con segundo orden.

Conclusiones. Las primeras conclusiones que se presentan deben ser aquellas correspondientes a los objetivos planteados. Se pueden incluir, además, otras conclusiones relevantes y recomendaciones que emanen del trabajo. Se titula con segundo orden.

Citas en el texto. Las citas en el texto se harán de acuerdo con la forma en que participan éstas en la oración. Se seguirán las siguientes reglas: (a) se citará el apellido principal del autor(es) y el año, cuando se trate de uno o dos autores, y el apellido principal del primer autor seguido de et al. y el año, cuando se trate de tres o más autores; (b) las citas, cuando más de una, se colocarán en orden alfabético; (c) cuando el nombre del autor(es) participa en la oración se colocará el apellido principal seguido del año entre paréntesis; ejemplo: Martínez (1982) observó que ...; Carrasco (1983) y Merino (1984) encontraron gran diferencia ...; (d) cuando la cita se agrega al final de la oración los nombres de los autores y el año se colocarán entre paréntesis, separados por una coma; ejemplo: ... al final de la cosecha (Martínez, 1982) o (Carrasco, 1983; Merino, 1984) o (Bravo et al., 1979); (e) cuando el autor tiene más de una publicación en un año se adiciona a éste a, b, c; ejemplo: (Moreno, 1984a) o (Moreno, 1984b) según sea el caso; (f) las comunicaciones personales se citarán sólo en el texto; ejemplo: (R. Núñez E., 1984. Comunicación personal); (g) las citas que no aparezcan en la Literatura Citada, por ser documentos de circulación restringida y no sean comunicaciones personales, se colocarán con pie de página, siguiendo la numeración correlativa correspondiente.

Literatura Citada. Para confeccionar la lista de citas de la Literatura Citada se seguirán las normas que se detallan a continuación con ejemplos.

(1) Caso de artículos en revistas seriadas; ejemplo:

NÚÑEZ E., R., A. TRINIDAD S., J. J. MARTINEZ H. 1984. Efecto de estiércol de vacuno en la producción de maíz. *Agropecuaria Técnica* 54: 385-388.

Obsérvese que la inicial del nombre propio se ha trasladado al final de los apellidos sólo para el caso del primer autor, y que se ha mantenido la inicial del segundo apellido y del nombre propio en el lugar que corresponde en el resto de los casos. Es común que los nombres ingleses se escriban con dos nombres personales y un apellido; ejemplo: L. J. Brown, el cual se citará en caso de ser primer autor como Brown, L. J. y como L. J. Brown en todos los demás. Los portugueses y brasileños acostumbra colocar el apellido paterno en segundo lugar y éste es el que se debe citar; ejemplo: Antonio Amaro Filho, es Filho, A. A. o A. A. Filho según sea el primer autor o acompañante. Para el caso de los nombres árabes, orientales e hindúes se deberá consultar una guía para citas bibliográficas, como la del Council of Biological Editors o las normas del IICA para citas bibliográficas.

(2) Caso de artículos en una publicación colectiva no periódica con o sin editor; ejemplo:

(i) con editor

TURRENT F., A. 1984. Los agrosistemas del trópico, pp. 315-328. In: E. Hernández X. (ed). Los sistemas agrícolas de México. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

(ii) sin editor

CORTES F., J. I. 1984. El manejo de los frutales en zonas frías, pp. 181-192. In: La fruta y su perspectiva en México. CONAFRUT, SARH, México, D. F.

(3) Caso de los boletines técnicos u otras publicaciones seriadas no periódicas; ejemplo:

CLEMENT, H. F. 1952. Factors affecting the growth of sugarcane. Univ. Hawaii Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 18.

(4) Caso de los libros; ejemplo:

JACKSON, M. L. 1964. Análisis químico de los suelos. Traducción al español de J. Huerta. Editorial Omega, Barcelona, España.

ZAMUDIO H., B. 1970. Las especies latifoliadas del Cono Sur. 2a. Edición. Editorial Inca, Lima, Perú.

(5) Otras publicaciones; ejemplo:

CAVAZOS L., A. 1971. Efecto de la pendiente en la pérdida de suelo por erosión hídrica. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).

La lista de citas se confeccionará en orden alfabético. Sólo se incluirá en ella los trabajos citados en el texto.

OTROS ASPECTOS DEL MANUSCRITO

A continuación se dan algunas indicaciones acerca de los cuidados y consideraciones que hay que tener para la elaboración de las figuras, cuadros, mapas, etc. Los cuadros y las figuras se emplean para reemplazar al texto, cuando el contenido de éstos no puede expresarse claramente con palabras o su uso contribuya a un ahorro importante de espacio. Los cuadros y las figuras deben ser claros, simples y concisos. Para ello es necesario seleccionar los datos de modo que se presenten sólo aquellos que se emplearán para hacer énfasis en algún aspecto o que expliquen otros. Los datos deben ordenarse en una forma tal que sean fáciles de interpretar.

En el pie de cuadro se incluirán las llamadas que sean pertinentes. Los asteriscos se reservarán para indicar significación al 5% (*) y al 1% (**), respectivamente. Se recomienda el uso de numerales correlativos para las llamadas.

Los cuadros deben tener tres líneas horizontales sólidas: al inicio del cuadro, al inicio del campo del cuadro, y al final de éste. No se permitirá el uso de líneas verticales.

El encabezamiento del cuadro dará entrada a las columnas y a las líneas. Las unidades correspondientes a las columnas irán en el campo del cuadro, no en el encabezamiento. El campo y el encabezamiento de las columnas se pueden dividir a conveniencia del autor.

Los encabezamientos de columnas y líneas se describirán con minúsculas, excepto la primera letra de la primera palabra.

Se empleará sólo el número de cifras significativas necesarias para destacar el punto que se desea. No tiene sentido hablar de 4,314.3 kg de maíz, probablemente 4.3 ó 4.31 ton/ha es suficiente.

Los cuadros no podrán ser mayores de una página tamaño carta, considerando los márgenes antes dichos.

Los mapas y las figuras deben dibujarse en tinta china sobre papel albanene o papel dibujo de buena calidad. No deben exceder las dimensiones de una página tamaño carta. La leyenda debe ser con letras y números de tamaño lo suficiente grande, como para que puedan leerse al ser reducidos, al igual que el grosor de los ejes y líneas interiores. Para un gráfico del tamaño de una página carta se requieren letras y números de 0.8 a 1.0 cm de altura. Recuerde que en una figura lo que interesa destacar es el contenido y no los ejes. Consecuentemente, el grosor de estos últimos tiene que ser menor que el de las líneas interiores. Los puntos experimentales deben marcarse visiblemente. Para dimensionar los ejes se deben escoger módulos constantes para cada uno.

Los mosaicos fotográficos deben entregarse montados en hojas de papel, totalmente terminados, con leyenda y numeración. El aumento de las microfotografías debe indicarse en la leyenda.

Agradecimientos. Podrán incluirse cuando sea necesario al final del texto, esto es, después de las Conclusiones y antes de la Literatura Citada.

DIVISION III

NOTA DE
INVESTIGACION

ENSAYO

Estimación de riesgo en el uso de recomendaciones para maíz de temporal en cuatro agrosistemas del área del Plan Puebla.

C. ESQUIVEL ALVAREZ

193

Guía para la realización de estudios de erosión en caminos forestales.

L.M. MARTINEZ R.

202

Fertilización foliar de maíz con macro y micronutrientes en un andosol de México.

O. PEREZ IXCHOP, R. NUÑEZ ESCOBAR,
J.D. ETCHEVERS BARRA, M.L. GISKIN y
A. MARTINEZ GARZA.

214

Comparación del método clásico y del método de Polemio y Rhoades para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos calcáreos.

V. SORANI y S.L. GOMEZ VALDEZ

223

Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperación de suelos con problemas de sales en México.

R. FERNANDEZ GONZALEZ

227