



Organo oficial de
divulgación de la
Sociedad Mexicana de
la Ciencia del Suelo A.C.

ISSN 0187-5779

TERRA

Volumen 7

Julio-Diciembre de 1989

Número 2

DIVISION I

INDICE

- M**étodo de cartografía morfoedafológica: una revisión. 87
JEAN-PIERRE ROSSIGNOL.
La cartografía morfoedafológica. Un ejemplo: el mapa a la escala 1:50,000 de la región de Coatepec.
JEAN PIERRE ROSSIGNOL,
DANIEL GEISSERT y ADOLFO CAMPOS. 93
Evaluación de la eficiencia de la labranza a través de la dinámica de las propiedades físicas del suelo.
KLAUDIA OLESCHKO. 100
Evaluación de la adsorción de contaminantes radioactivos en suelos del oeste de Texas.
MELIDA GUTIERREZ y
HECTOR R. FUENTES. 109

DIVISION II

- L**evantamiento nutrimental del manzano (*Malus domestica*) en la Sierra de Chihuahua. 116
JESUS PILAR AMADO ALVAREZ.
Mecanismos de adaptación de las plantas a la deficiencia en hierro: modalidades adaptativas de *Dittrichia viscosa* W. Greuter a la clorosis férrica.
JORGE BAUS PICARD. 125
Dinámica del nitrógeno en plantas de soya.
J.L. TIRADO TORRES y
G. ALCANTAR GONZALEZ. 133
Aplicación de estiércol bovino, gallinaza y fertilizantes químicos en maíz de temporal en Nayarit.
J.D. GARCIA PAREDES 143

DIVISION III

ENSAYO

INDICE

EDITORIAL

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

COMISION EDITORA

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

MESA DIRECTIVA 1988-1990

DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,
Presidente
DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI,
Vicepresidente
M.C. MIGUEL ANGEL VERGARA SANCHEZ,
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 UVALIE BUENO,
Vocal
M.C. OCTAVIO RODRIGUEZ CUIEL,
Vocal

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

Volumen 7-2, julio-diciembre 1989.

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.

ARTICULOS CIENTIFICOS

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

Método de cartografía morfoedafológica: una revisión. JEAN-PIERRE ROSSIGNOL. 87

La cartografía morfoedafológica. Un ejemplo: el mapa a la escala 1:50,000 de la región de Coatepec. JEAN-PIERRE ROSSIGNOL, DANIEL GEISSERT y ADOLFO CAMPOS. 93

Evaluación de la eficiencia de la labranza a través de la dinámica de las propiedades físicas del suelo. KLAUDIA OLESCHKO. 100

Evaluación de la adsorción de contaminantes radioactivos en suelos del oeste de Texas. MELIDA GUTIERREZ y HECTOR R. FUENTES. 109

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

Levantamiento nutrimental del manzano (*Malus domestica*) en la Sierra de Chihuahua. JESUS PILAR AMADO ALVAREZ. 116

Mecanismos de adaptación de las plantas a la deficiencia en hierro: modalidades adaptativas de *Dittrichia viscosa* W. Greuter a la clorosis férrica. JORGE BAUS PICARD † 125

Dinámica del nitrógeno en plantas de soya. J.L. TIRADO TORRES y G. ALCANTAR GONZALEZ. 133

Aplicación de estiércol bovino, gallinaza y fertilizantes químicos en maíz de temporal en Nayarit. J.D. GARCIA PAREDES. 143

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

Estudio del problema de permeabilidad en los terrenos cultivados con alfalfa en La Laguna, Coahuila. JAVIER Z. CASTELLANOS, JAIME FRAGA P., SERGIO ENRIQUEZ R. y JOSE LUIS OLVERA. 150

Respuesta del maíz H-220 al Zn, Fe y Mn en la cienega de Chapala. J. VENEGAS G., C. PALOMINOS M. y R. MARTINEZ M. 158

Extracción de nitrógeno y fósforo por el cultivo de trigo en la región de Nuevo Casas Grandes, Chih. OMAR FELIX VERDUGO, JAVIER Z. CASTELLANOS y SERGIO A. ENRIQUEZ. 167

ENSAYO

Evolución de la ciencia del suelo en México y los desafíos para el futuro. REGGIE J. LAIRD. . . . 173

INDICE DE AUTORES 191
REVISORES 1989 192
NORMAS PARA PUBLICACION 193

SOIL SCIENCE SOCIETY OF MEXICO

INDEX
SCIENTIFIC ARTICLES

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
M.C. MIGUEL ANGEL VERGARA SANCHEZ,
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 7-2, July-December 1989.

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.

*Division I: Diagnosis, Methodology, and Evaluation of
the Soil Resource*

- Method of morphopedological cartography: a review.
JEAN-PIERRE ROSSIGNOL. 87
Morphopedological cartography. An example:
the map of the Coatepec region, scale 1:50,000. JEAN-
PIERRE ROSSIGNOL, DANIEL GEISSERT, and
ADOLFO CAMPOS. 93
Evaluation of tillage efficiency by means
of the dynamics of the physical properties of the
soil. KLAUDIA OLESCHKO. 100
Evaluation of the adsorption of radionuclides in
soils from west Texas. MELIDA GUTIERREZ, and
HECTOR R. FUENTES. 109

Division II: Soil-Climata-Biota Relationship

- Nutritional survey of apple trees (Malus
domestica) in the mountainous areas of Chihuahua,
Mexico. JESUS PILAR AMADO ALVAREZ. 116
Iron stress response of plants: adaptative
modalities of Dittrichia viscosa W. Greuter to lime
induced chlorosis. JORGE BAUS PICARD †. 125
Dynamic of nitrogen in soybean plants. J.L. TIRADO
TORRES, and G. ALCANTAR GONZALEZ. 133
Application of dairy and chicken manure with
mineral fertilizer on unirrigated corn in Nayarit.
J.D. GARCIA PAREDES. 143

Division III: Use of the Soil Resource

- Study of permeability problems in the alfalfa
cultivated land in La Laguna, Coahuila. JAVIER Z.
CASTELLANOS, JAIME FRAGA P., SERGIO
ENRIQUEZ R., and JOSE LUIS OLVERA. 150
Corn H-220 response to Zn, Fe, and Mn in the
marshland of Chapala, Mexico. J. VENEGAS G., C.
PALOMINOS M., and R. MARTINEZ M. 158
Nitrogen and phosphorus extraction by wheat in
Nuevo Casas Grandes, Chihuahua. OMAR FELIX
VERDUGO, JAVIER Z. CASTELLANOS, and
SERGIO A. ENRIQUEZ. 167

ASSAY

- Evolution of Soil Science in Mexico and the
Challenge for the Future. REGGIE J. LAIRD. 173

- AUTHOR INDEX 191
INVITATION REVIEWERS 1989 192
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS 193

EDITORIAL

¡Mayo 1990! Con gran satisfacción presentamos a ustedes el Volumen 7 Número 2, correspondiente al segundo semestre de 1989. Con ocasión del próximo Congreso Nacional de 1990 en La Laguna, TERRA estará totalmente al día. El trabajo de editar y publicar la revista constituye el mayor esfuerzo que realiza la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

Por su pertinencia quisiera citar aquí las palabras de J.D. Luckett, en el artículo: Historia de la Sociedad Americana de Agronomía (*Agronomy Journal* 54: 57-69, 1962): "Se puede decir que las publicaciones de una sociedad científica son la *Sociedad* misma, por que son la evidencia más tangible de su existencia, de su vigor y de su vitalidad. Hay, por supuesto, otras evidencias, tales como los congresos, simposios y reuniones técnicas, y sin embargo, las publicaciones constituyen el medio por el cual ésta es evaluada por otros y son los factores determinantes en el establecimiento y mantención de su prestigio en el mundo científico". Los puntos del esfuerzo que ha significado establecer TERRA como un órgano de calidad y prestigio, sólo podrá ser medido en los años venideros.

Para continuar en esta senda de progreso requerimos que ustedes nos sigan enviando trabajos, con lo cual esperamos aumentar la frecuencia de aparición y, por ende, disminuir el tiempo transcurrido entre envío y publicación.

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.

METODO DE CARTOGRAFIA MORFOEDAFOLOGICA: UNA REVISION

Method of Morphopedological Cartography: a Review

Jean-Pierre Rossignol.

ORSTOM-ENITHP, Francia

Palabras clave: **Mapas morfoedafológicos, Paisaje, Desarrollo agrícola.**

Index words: **Morphopedological maps, Landscape, Agricultural development.**

RESUMEN

La cartografía morfoedafológica tiene como finalidad ayudar al desarrollo agrícola. Esta fue elaborada por el Servicio de Suelos de IRAT-FRANCE (Instituto de Investigaciones en Agronomía Tropical).

Los mapas morfoedafológicos presentan una visión global del paisaje mediante el análisis de los diferentes aspectos que lo componen.

Las unidades morfoedafológicas son "unidades de paisaje", donde se trata de definir la dinámica actual de evolución de las capas superficiales a través del balance morfogénesis-pedogénesis; cada unidad está descrita por los componentes siguientes: climatología, fisiografía, hidrología, geología y litología, geomorfología y morfogénesis, edafología y pedogénesis, vegetación y uso del suelo.

Se deducen los principales factores limitantes de la producción agrícola: limitantes edáficas, morfodinámicas, hídricas; los posibles métodos de mejoramiento están indicados tomando en consideración las técnicas existentes y el conocimiento técnico de los agricultores.

Existen tres niveles de estudios en función de la finalidad de los proyectos:

- "Nivel región" a pequeña escala: Ordenación rural.
- "Nivel paisaje" a mediana escala: Sistema de producción.
- "Nivel parcelario" a gran escala: Procesos elementales.

Al mapa base de las unidades morfoedafológicas se añaden, frecuentemente, mapas de los factores limitantes y mapas de propuestas para la asignación de las tierras.

SUMMARY

The principal purpose of morphopedological cartography is to aid agricultural development projects. The TRAT-FRANCE (Tropical Agronomy Research Institute) developed this method.

The morphopedological maps present a global view of the landscape through an analysis of its various aspects.

The morphopedological units are "landscape units". The present dynamics of the evolution of the superficial layers are defined through the morphogenesis-pedogenesis balance. The following components of each unit: climatology, physiography, hydrology, geology and lithology, geomorphology and morphogenesis, pedology and pedogenesis, vegetation and land use are described.

The principal limiting factors for agricultural production are defined: soils, hydric and morphodynamic limiting factors. Possible methods of improvement are indicated taking into account existing techniques and farmers' knowledge.

There are three levels of studies based on the purpose of the projects:

- Small scale "Regional level": Agricultural planning.
- Middle scale "Landscape level": Production systems.
- Large scale "Land parcel level": Elemental process.

Frequently limiting factor maps and suggested land division maps are added to base maps of morphological units.

INTRODUCCION

La cartografía morfoedafológica tiene como finalidad ayudar al desarrollo agrícola de las regiones y comunidades rurales. Esta fue elaborada por el Servicio de Suelos del IRAT, Francia (Instituto de Investigaciones en Agronomía Tropical) que la usó y aplicó sobre todo en Africa (Kilian, 1972, 1973, 1974). En estos últimos años se usó también en Asia y en América Latina: actualmente, en México, el INIREB desarrolla el método en tres regiones diferentes: la Zona de Xalapa, Ver., la Reserva de la Biósfera de Montes Azules, Chis. y el Totonacapan, Ver. y Pue.

EL METODO

Especificidad de los Mapas Morfoedafológicos

Es una cartografía sintética del medio natural y los mapas que resultan son documentos basados en los proyectos de desarrollo agrícola y rural. Presentan una visión global del paisaje, pero al mismo tiempo analizan los diferentes aspectos que lo componen.

Estos mapas se diferencian de los mapas de suelos por el enfoque pluridisciplinario y sintético; también se trata de definir la dinámica actual de evolución de las capas superficiales a través del balance morfogénesis-pedogénesis. El conocimiento de esta dinámica del paisaje es un factor importante a considerar en los planes de desarrollo y de ordenación rural, mismos que van a cambiar el uso y manejo de los suelos. Los estudios deben prever la reacción del medio a esos cambios y mejoramientos (Tricart y Kilian, 1979; 1982).

Esta concepción morfoedafológica se desarrolló a partir de una crítica de la concepción fisiográfica aplicada en Estados Unidos y en particular en Australia por el CSIRO. La fisiografía busca a realizar inventarios de tierras destinados a estimar las posibilidades agrícolas en las zonas donde no existe conocimiento del medio ambiente.

Pero su utilización es facilitada por el uso de la fotointerpretación y la aplicación de un sistema de descripción de los paisajes jerárquico racional y coherente. En México, el sistema fue promovido por varias instituciones (Ortiz-Solorio y Cuanalo de la C., 1984).

Sin embargo, es un método descriptivo y estático.

El método morfoedafológico ofrece además una visión dinámica tomando en cuenta la morfodinámica que se manifiesta durante la pedogénesis, mientras que antes se consideraba que la pedogénesis se desarrollaba en un marco fisiográfico fijo (Geissert, 1987).

Los Estudios Morfoedafológicos.

Principios. El principio básico está basado en el balance morfogénesis-pedogénesis (Tricart, 1965; 1973), es decir en la noción de estabilidad y/o inestabilidad del medio. Los procesos de morfogénesis están al origen de los movimientos de materia en los interfluvios; producen la evolución de las formas del relieve. Los procesos de pedogénesis actúan sobre los materiales acarreados y transformados por la morfogénesis. Los dos tipos de fenómenos se manifiestan simultáneamente y de manera competitiva sobre un mismo medio. La evolución de los suelos y del modelado se produce con velocidades diferentes en una región dada, lo que permite evaluar el medio en términos de estabilidad y/o de inestabilidad.

Medios estables: el balance está orientado hacia la pedogénesis, los suelos se vuelven más profundos y se desarrollan con sus horizontes característicos.

Medios inestables: los procesos de morfogénesis son predominantes y prevalecen sobre la pedogénesis. Tienden a destruir los horizontes superficiales y hasta profundos de los suelos.

Medios penestables (casi estables, intergrados): existen interacciones entre los fenómenos de pedogénesis y de morfogénesis que actúan en el mismo tiempo. Los horizontes de superficie se adelgazan mientras que la alteración favorece la profundización del suelo.

Metodología. El objetivo de la cartografía morfoedafológica es subdividir una región en "unidades morfoedafológicas"; que son unidades de paisaje correspondiendo a porciones de territorios donde los componentes del medio y los procesos de transformación aparecen homogéneos.

Cada unidad se describe por los siguientes componentes.

Los datos morfológicos. Se describen, por una parte la red hidrográfica, su orientación y su jerarquización, y por otra el paisaje en su relieve y en sus formas simples o compuestas tomando en cuenta las pendientes y su inclinación (o gradiente).

Los datos geológicos. La litología de los materiales aflorantes, su naturaleza y su composición, así como su estado de alteración son factores fundamentales para la caracterización de los procesos de morfogénesis y de pedogénesis. Los fenómenos tectónicos actuales o pasados permiten un mejor conocimiento de la región porque provocan mayor inestabilidad morfodinámica.

Los datos morfogenéticos. Los procesos morfodinámicos son definidos por su naturaleza, su intensidad y frecuencia. Se determina el grado de estabilidad o de inestabilidad del medio.

Los datos pedogenéticos. En los medios donde la estabilidad permite el desarrollo de los suelos, se definen los grandes tipos de pedogénesis, así como los principales tipos de suelos y sus características primordiales.

Los datos hidrodinámicos. La circulación del agua en los suelos y en los materiales es un dato importante a considerar por su papel en los movimientos de materia a lo largo de las pendientes y dentro del perfil del suelo (infiltración y circulación hipodérmica) se indica la presencia de los mantos freáticos permanentes o temporales cerca de la superficie de los suelos y que tienen una influencia en la agricultura.

Los datos biológicos. Los tipos de vegetación natural y de cultivos se indican con su grado de cobertura del suelo y su composición (por estratos).

Los datos climáticos. Los grandes rasgos del clima son analizados cuando presentan, en una zona, variaciones importantes.

Aspectos agronómicos. La evaluación de los componentes del medio natural, de sus

interacciones, y del balance morfogénesis-pedogénesis permite determinar los factores limitantes a la producción agrícola, cuya determinación es una de las finalidades de los estudios morfoedafológicos.

Se distinguen los siguientes factores:

Edáficas. Se refieren a las características físicas y químicas de los suelos. Se toman solamente en cuenta las limitantes mayores que tienen una importancia en la producción agrícola; por ejemplo, la profundidad del suelo, permeabilidad, textura, acidez, etc.

Morfodinámicas. Corresponden a los riesgos de erosión y de degradación de las tierras. La naturaleza y la intensidad de los fenómenos permiten definir la gravedad de los procesos: éstos van de la arroyada difusa a la denudación y a los movimientos de masa.

Hídricas. Estas son de dos tipos: el exceso de agua y la falta de agua. Los fenómenos de exceso de agua están ligados a la presencia en los horizontes superficiales de capas impermeables impidiendo la infiltración rápida del agua. Se crea entonces un manto que puede ser permanente o temporal. Las faltas de agua se relacionan con los períodos de sequía.

Los estudios de las diferentes limitantes de la producción agrícola, conducen a fomentar métodos que sirven para suprimirlas o reducir su influencia. Los métodos de mejoramiento de las tierras son:

(a) de un lado, los métodos de conservación de los suelos y de la lucha contra la erosión. Dependen del tipo de agricultura practicada en la región estudiada; que sea intensiva o de auto-suficiencia, en donde los métodos de cultivo son muy diferentes; (b) del otro son los mejoramientos físicos y químicos de los suelos: saneamiento, drenaje, riego, subsoleo, abonos orgánicos, encalado, y fertilizantes.

Evaluación de las posibilidades agropecuarias y silvícolas. La asignación de las tierras entre los diferentes sectores (agricultura,

ganadería, silvicultura) depende sobre todo de las condiciones sociológicas y económicas de la región estudiada. Las propuestas de uso dependen también de las posibilidades técnicas de mejoramiento del medio físico o de la modificación de los sistemas de cultivo, así como del conocimiento técnico de los agricultores. Este aspecto de los estudios tiene el riesgo de volverse obsoleto rápidamente. Debe establecerse por separado y exponer las condiciones de uso (Bertrand y Valenza, 1982.).

ASPECTOS CARTOGRAFICOS

Los estudios morfoedafológicos se realizan a diferentes escalas partiendo de lo general hacia lo particular: de las pequeñas escalas a las grandes. La percepción de los paisajes progresa por etapas sucesivas correspondiendo a un aumento de los conocimientos y a una precisión mayor en los estudios.

Tres niveles de percepción se utilizan normalmente en los proyectos de ordenación rural. A cada etapa varios documentos pueden ser establecidos. Cada nivel permite una separación en unidades morfoedafológicas, con un mayor acercamiento en los detalles, en la descripción, en la comprensión y la representación de los procesos de morfogénesis y de pedogénesis.

Los Diferentes Niveles de Percepción.

El nivel región. Corresponde a una porción del territorio donde las características dan cierta homogeneidad a la región. La escala varía del 1:500,000 al 1:100,000. Este nivel está utilizado generalmente para la elaboración de los esquemas generales de ordenación rural (Brouwers, 1976).

A ese nivel solo intervienen los componentes mayores: climas, geología, geomorfología estructural, cobertura vegetal, los grandes sistemas de procesos morfogénicos y pedogenéticos, la estabilidad y la inestabilidad del medio.

El nivel paisaje. Corresponde a la porción del territorio soportando uno o varios "tipos de medio" previamente definidos. La escala adoptada varía del 1:50,000 al 1:20,000, a veces al 1:10,000 (Bourgeon y Latrille, 1979; Brouwers y Raunet, 1981; Guillobez, 1976; Raunet, 1979).

Las unidades morfoedafológicas individualizadas son reconocidas en el campo: corresponden a un conjunto de formas simples (colinas, vertientes) o a una forma simple, si su superficie es suficientemente grande para la representación cartográfica (mesetas, terrazas, etc.).

Los componentes que intervienen son numerosos: materiales, modelado, morfogénesis, pedogénesis, aguas, cobertura vegetal, etc. El aprecio de las interacciones es esencial y éstas pueden ser evaluadas cualitativamente.

Este nivel de estudios propone soluciones para el mejoramiento y la conservación de los suelos en función de los sistemas de cultivo o de las modificaciones que pueden intervenir en estos últimos.

El nivel parcelario. Corresponde al nivel más fino de los estudios: el de los agricultores y del agrónomo. Es generalmente una parte representativa de una unidad más grande. Las escalas utilizadas varían del 1:5,000 al 1:1,000.

Los componentes se reducen. En general predominan el material y su alteración, las características de los suelos y sus reparticiones, los procesos morfodinámicos y su intensidad.

Es a este nivel que serán estudiados los procesos elementales con la posibilidad de hacer un gran número de observaciones así como mediciones, lo que permite cuantificar los fenómenos: balance hídrico, circulación del agua, pérdidas en tierras, dinámica del agua y de los nutrientes, desencadenamiento de los procesos de erosión.

Este nivel propone también soluciones concretas al desarrollo agrícola y al mejoramiento de los suelos y de los sistemas de cultivos.

Los Diferentes Tipos de Mapas.

Dos tipos de mapas se elaboran: mapas sintéticos y mapas de aplicación.

Los mapas sintéticos. Presentan las unidades morfoedafológicas caracterizadas por los diferentes componentes del medio físico.

Los mapas de aplicación. Mapas de propuestas para la asignación de la tierra. Los factores se jerarquizan para crear clases de valores agrícolas, pecuarios y silvícolas (Latrille, 1977).

CONCLUSIONES

Los mapas morfoedafológicos resultan de trabajos pluridisciplinarios donde cada disciplina aporta sus conocimientos propios. Las unidades morfoedafológicas representan la síntesis de varios puntos de vista sobre el paisaje. Este enfoque permite entender mejor la complejidad del medio físico lo cual mejora la comprensión de los problemas de ordenación rural y de mejoramiento de las tierras.

También este método facilita la implementación de las técnicas conocidas, permite establecer los principales problemas agronómicos a resolver, conocer los sistemas de producción agropecuarios y forestales, por medio del conocimiento de los factores limitantes a la producción agro-silvo-pastoral.

LITERATURA CITADA

- BERTRAND R., y J. VALENZA. 1982. Méthode de cartographie des milieux naturels du Sénégal oriental. Evaluation des possibilités agro-sylvo-pastorales. L'Agronomie Tropicale, XXXVII, 4, pp. 329-339.

- BOURGEON G. y E. LATRILLE.** 1979. Carte morphopédologique, propositions pour l'affectation des terres aux différents types de riziculture, plaine des MBO a 1:10 000, IRAT et Ministère de l'Agriculture du Cameroun.
- BROUWERS M.** 1976. Carte morphopédologique du plateau MANDINGUE (cercle de Kita et région de Falandie) a 1:200 000, IRAT et Ministère du Développement Rural, République du Mali.
- BROUWERS, M. y M. RAUNET.** 1981. Carte morphopédologique, propositions d'utilisation des terres a 1:25,000, aménagement agricole de hauts de l'Ile, IRAT et DDA, Département de la Réunion, France.
- GEISSERT, D. y J.P. ROSSIGNOL.** Coord. 1987. La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales. Conceptos y primeras aplicaciones en México. INIREB-ORSTOM, XALAPA, VER., 84 p.
- GUILLOBEZ, S.** 1976. Carte des unités du milieu naturel, possibilité de mise en valeur agricole, le moyen ouest de la province d'Antananarivo, 1:50,000, IRAT, SATEC et Ministère du Développement Rural, Republika Demokratika Malagasy.
- KILIAN, J.** 1972. Les inventaires morphopédologiques. Conceptions. Application au développement agricole. L'Agronomie tropicale vol. XXVII, n° 9, pp. 930-938.
- KILIAN, J.** 1973. Aménagement des vallées des Volta. Etudes pédologiques, conceptions de travail (applications au terroir de Mogtedo). IRAT et République de Haute-Volta, Ministère du plan.
- KILIAN, J.** 1974. Etude du milieu physique en vue de son aménagement. Conceptions de travail. Méthodes cartographiques. L'Agronomie tropicale vol XXIX, n° 2-3, pp. 141-153.
- LATRILLE, E.** 1977. Carte des propositions d'affectation des terres, MOHELI a 1:50,000, IRAT et Etat Comorien.
- ORTIZ-SOLORIO, C. y H. CUANALO DE LA CERDA.** 1984. Metodología del levantamiento fisiográfico. Un sistema de clasificación de tierras, 2a. edición. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- RAUNET, M.** 1979. Carte morphopédologique de la plaine cotière a 1:20,000. IRAT et Ministère de l'Agriculture, République de Djibouti.
- TRICART, J.** 1965. Morphogenèse et pédogenèse. I: Approche méthodologique, géomorphologie et pédologie. Science du Sol, No. 1, pp. 68-85.
- TRICART, J.** 1973. La géomorphologie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel. Annales de géographie, LXXXII, pp. 421-453.
- TRICART, J. y J. KILIAN.** 1979. L'écogéographie et l'aménagement du milieu naturel, ed. Maspero, Paris. 319 p.
- TRICART, J. y J. KILIAN.** 1982. La eco-geografía y la ordenación del medio natural. Ed. Anagrama, Barcelona. (Trad. Joaquim Jordá, Cristina Nieto, Nuria Pérez de Lara).

**LA CARTOGRAFIA MORFOEDAFOLOGICA
UN EJEMPLO: EL MAPA A LA ESCALA 1:50,000 DE LA REGION DE COATEPEC**

**Morphopedological Cartography
An Example: The Map of the Coatepec Region Scale 1:50,000**

Jean-Pierre Rossignol, Daniel Geissert y Adolfo Campos.

**ORSTOM-ENITHP, Francia
INIREB. Apartado Postal 63, 91000 Xalapa, Ver.**

Palabras clave: Unidades morfoedafológicas.

Index words: Morphopedological units.

RESUMEN

Al nivel de estudio (1:50,000) se pueden definir porciones de territorio soportando uno o varios "tipos de medio". Las unidades morfoedafológicas son reconocibles en el campo, y corresponden a un conjunto de formas simples (colinas, vertientes) o a una forma simple individual, si la superficie de ésta es suficientemente grande para su representación (mesetas, valles, terrazas, etc.).

Los componentes que intervienen a ese nivel son numerosos: materiales, modelado, morfogénesis, pedogénesis, aguas, cobertura vegetal. Las interacciones entre ellos y sus aprecios son esenciales.

Este nivel de estudio propone soluciones para el mejoramiento y la conservación de los suelos en función de los sistemas de cultivo y de sus modificaciones.

Se presentan el mapa morfoedafológico a la escala 1:50,000 y su leyenda compuesta de un cuadro de doble entrada: las líneas enumeran las unidades morfoedafológicas y las columnas especifican los componentes del medio físico, incluyendo los principales factores limitantes a la producción agrícola. El mapa presentado cubre 8,000 ha aproximadamente y describe unas quince unidades diferentes.

SUMMARY

With a study on this scale (1:50,000) it is possible to define portions of territory with one or more environment types. The morphopedological units are recognizable and correspond to a grouping of simple forms (hills, slopes) or a simple form if the surface is sufficiently large (table-land, valley, terrace).

The components at this level are numerous: rock type, relief, morphogenesis, pedogenesis, water, vegetation cover. Their interactions and estimation are essential.

A study on this scale offers solutions for soil improvement and conservation for agricultural systems and the modifications of those systems.

We present a morphopedological map on a scale of 1:50,000 with a double entry table legend: the lines define the morphopedological units and the columns describe the physical environment components, including the principal limiting factors of agricultural production. The map covers 8,000 ha and describes fifteen different units.

INTRODUCCION

Después de la presentación en un primer artículo (Rossignol, 1989) del método morfoedafológico en general, se muestra a continuación un ejemplo de cartografía morfoedafológica.

La cartografía morfoedafológica presenta un enfoque nuevo y sintético de estudio del medio físico, con la finalidad de proporcionar un documento de base funcional para la toma de decisión en materia de desarrollo rural.

Su aporte principal, en comparación con los mapas tradicionales de suelos, es el análisis de la dinámica y de la evolución de los paisajes mediante el estudio del balance morfogénesis-pedogénesis, conocimiento que resulta ser fundamental para el desarrollo, puesto que cualquier acción de ordenación del territorio produce un cambio en la dinámica de éste (Kilian, 1972). El enfoque morfopedológico, nacido de la necesidad del desarrollo rural, ha sido aplicado con éxito desde hace varios años en diversos países tropicales (de Africa sobre todo), y ha dado siempre entera satisfacción a las instancias de desarrollo.

MATERIALES Y METODOS

En México, dicho método ha sido aplicado en el marco del "Laboratorio de Investigación y Desarrollo Regional" (LIDER), proyecto multidisciplinario (Geografía, Economía, Edafología, Agronomía) y multiinstitucional (INIREB, Universidad Veracruzana, ORSTOM, CIRAD, INRA) con sede en el INIREB, y su propósito es estudiar las causas y los efectos

de la inestabilidad económica y/o agroecológica en los sistemas productivos, a fin de determinar las alternativas y las técnicas susceptibles de reducir esta vulnerabilidad (Roulleau y Rossignol, 1985).

En este contexto, el diagnóstico morfopedológico se adapta plenamente para el conocimiento y el mejoramiento de los sistemas de producción porque: (a) permite un mejor conocimiento de los mecanismos de formación del medio físico, en tanto como factores de producción, y facilita de esta manera el acceso a una tipología completa y coherente de los sistemas productivos; (b) hace posible la selección de paisajes agroecológicos, caracterizados por combinaciones únicas entre los factores del medio físico y los de las actividades humanas (uso y manejo de la tierra); (c) facilita la selección dentro de cada paisaje de sitios representativos para la experimentación, que estará adaptada a la organización del paisaje.

El presente estudio se realizó en la región cafetalera del centro del estado de Veracruz, en un conjunto de diez municipios que cubren un área aproximada de 900 km². A continuación y tomando como ejemplo la zona de Coatepec (8,000 ha) de mayor producción de café en el área, se presenta un mapa morfoedafológico a la escala 1:50,000 y su leyenda correspondiente (Figura 1 y Cuadro 1).

La realización de los mapas morfoedafológicos se hace en tres fases distintas que se usan generalmente en los estudios del medio físico.

Las fases de gabinete alternan con las fases de campo. Se busca primeramente la literatura existente sobre la zona con el propósito de sintetizar los estudios realizados.

- Después de una gira preliminar adentro del perímetro, se hace el examen de los mapas topográficos y sobre todo una previa interpretación de las fotografías aéreas. Se incorpora también el examen de los mapas geológicos, edafológicos y de vegetación existentes.

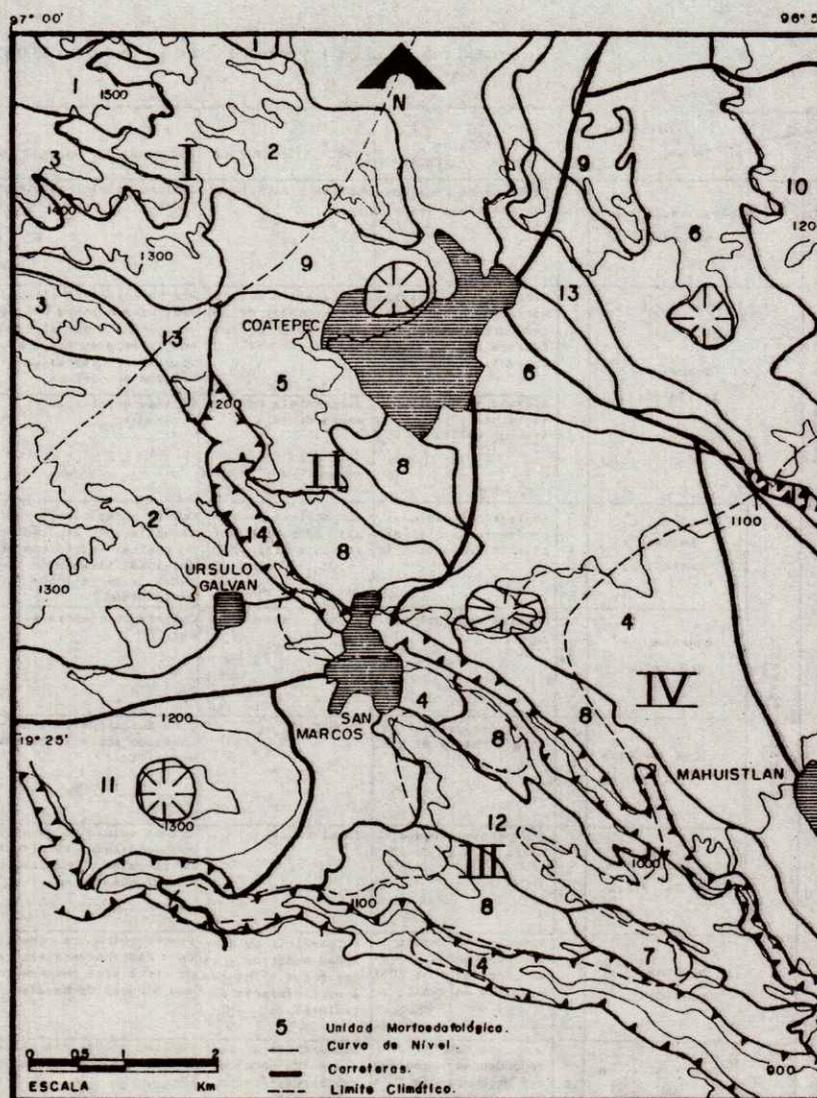


Figura 1. Mapa morfoedafológico de los alrededores de Coatepec, Ver.

Este primer acercamiento permite definir las grandes unidades fisiográficas y plantear las primeras hipótesis sobre la dinámica del paisaje.

- La fase siguiente es la fase de campo que es la más importante. Ella permite describir los diferentes componentes del medio biofísico como el relieve, su forma y sus pendientes, la red hidrográfica, el material geológico y su alteración, los procesos de morfogénesis con énfasis en la circulación del agua y en los movimientos de materiales, los tipos de suelos y sus características principales.

Se verifican también los límites de las unidades morfoedafológicas trazadas mediante la fotointerpretación. Se hacen las rectificaciones que fueron necesarias después de los estudios de campo.

En esta fase es necesario hacer unas "idas y vueltas" entre las observaciones de campo y la fotointerpretación, entre la realidad observada y las imágenes dadas por las fotografías aéreas.

- La última fase es de gabinete para hacer la síntesis y elaborar el mapa morfoedafológico y

Cuadro 1. Leyenda del mapa morfoedafológico

UNIDADES		COMPONENTES	RELIEVE FORMA Y PENDIENTE	RED HIDROGRAFICA	MATERIAL Y ALTERACION	MORFO PROCESOS		
PENDIENTES GENERALES FUERTES (14 a 68°)	MESAS INCLINADAS	Meseta inclinada Residual	1	Ligeramente ondulada con pendiente general hacia el S. E. (4°).	Escasa y estacional	Cenizas volcánicas alteradas.	Estabilidad topográfica.	
		Lomeríos Inclinados	2	Alargados con crestas estrechas y pendientes cortas, rectas y fuertes (20 a 45°), con valles en V.	Subparalela mediana a 100 m. de profundidad, sinuosa.	Brecha volcánica alterada descansando sobre una lava volcánica muy alterada que aparece en los fondos de valles. Crestas recubiertas de cenizas.	Fitopenestabilidad, arroyada difusa localizada (en cafetal joven), terracillas (pastizales).	
			3	Alargados con crestas estrechas y pendientes con valles en V.	Subparalela medianamente densa.	Cenizas volcánicas Alteradas.	Fitopenestabilidad, terracillas.	
	PENDIENTES GENERALES SUAVES (1.5 a 15°)	MESAS PLANAS	Largas y Extendidas	4	Amplias ondulaciones, pendiente general de 2° a 3° hacia el S.E.	Subparalela poco encajonada, poco densa sin ramificación.	Colada andesítica, con recubrimiento esporádico de cenizas volcánicas muy delgadas. Alteración intensa de 1m a 1.50m de profundidad.	Estabilidad topográfica.
			Ligeramente Onduladas	5	Amplias ondulaciones.	Escasa y estacional	Cenizas volcánicas alteradas.	Estabilidad topográfica.
			Con amplias Ondulaciones	6	Pendiente general de 2° a 3° hacia el S.E.	Escasa.	Toba ácida pumítica descansando sobre la colada andesítica.	Estabilidad topográfica.
			Recortadas en Tiras	7	Con pendiente general hacia el S.E. de 2°.	Inexistentes.	Brecha volcánica consolidada medianamente alterada recubierta por numerosos bloques de basalto.	Estabilidad.
		LOMERIOS REDONDEADOS	Mesetas Onduladas	8	Lomeríos alargados con pendientes convexo-cóncavas (5 a 20°) y valles en cuna.	subparalela de densidad moderada y con muy pocos afluentes a escurrimiento estacional.	Brecha volcánica consolidada medianamente alterada recubierta por numerosos bloques de basalto.	Fitoestabilidad.
			Con Valles en Cuna	9	Lomeríos con crestas redondeadas, pendientes pronunciadas (2 a 22°), valles en cuna.	Subdendrítica, moderadamente encajonada. Ecurrimiento estacional.	Cenizas volcánicas alteradas, sobre Toba ácida pumítica.	Fitopenestabilidad a fitoestabilidad; terracillas en pastizales, arroyada difusa muy localizada en cafetal joven.
			Y Valles Con Fondos Planos	10	Con crestas redondeadas, pendientes pronunciadas (8 a 22°).	Dendrítica, honda, de densidad fuerte, escurrimiento estacional y/o ausente.	Cenizas volcánicas Alteradas.	Fitoestabilidad y ligera penestabilidad. (Arroyada difusa) en áreas de cobertura vegetal menos abundante.
			Faldas de Conos Volcánicos	11	Laderas largas, ligeramente onduladas, (7 a 8°).	Escasa y estacional	Material piroclástico con teniendo bloques de basalto, descansando sobre colada o brecha.	Fitoestabilidad.
		PENDIENTES GENERALES SUAVES (1.5 a 15°)	Valles Ámplies con Lomeríos	12	Vertientes onduladas (10 a 25°).	Subparalela a densidad moderada y escurrimiento permanente. Afluentes estacionales.	Brecha volcánica medianamente alterada.	Fitopenestabilidad; arroyada difusa y concentrada (cóncavas), localizada.
			Valles Aluviales Planos	13	Valle a fondo plano.	Río permanente.	Aluviones limosos conteniendo a veces numerosos bloques.	Acumulaciones.
			Barrancas	14	Acentilado y pendientes muy fuertes (20 a 45°).	Río permanente.	Variable: Andesita, brecha volcánica.	Fitopenestabilidad; arroyada difusa y concentrada localizada; potencialmente inestable.
			Conos Volcánicos	15	Con pendientes fuertes (22°).	Ausente.	Materiales escoriaños.	Fitopenestabilidad.

de la región de Coatepec.

GENESIS CIRCULACION DEL AGUA.	PEDOG TIPOS DE SUELOS (F.A.O.)	GENESIS CARACTERISTICAS PRINCIPALES	FACTORES LIMITANTES	PROPUESTAS DE MEJORA- MIENTO Y CORRECCIONES.	USO ACTUAL DEL SUELO VEGETACION
Percolación vertical rápida.	Andosoles húmicos. (Andosolización)	Suelos profundos, negros con baja densidad aparente, limosos, muy porosos	Fósforo aprovechable casi ausente. Propiedades mecánicas desfavorables.	Fertilización fosfórica a experimentar.	Pastizales.
Hipodérmica sobre los horizontes más arcillosos y la roca alterada.	Acrisoles ándicos. Litosoles. (Andosolización.) (Ferralsitización.)	Suelos profundos, pardos, limo-arcillosos a porosidad reducida en profundidad y suelos superficiales (40cm) sobre roca al- terada.	Pendientes fuertes. Suelos someros. pH ácido.	Encalamiento. Cultivo en curva de nivel (maíz), y en media luna (café).	Café con sombra, milpa, pastizales, bosque cadu- cifolio. Aguaques.
Percolación vertical rápida.	Andosoles ocrícos y húmicos. (Andosolización)	Suelos profundos pardos y negros, limosos, poro- sos.	Pendientes fuertes. Propie- dades mecánicas desfa- vorables, fósforo aprove- chable casi ausente.	Fertilización fosfórica a experimentar.	Pastizales.
Percolación vertical buena.	Feozems lúvicos y háplicos. (Maduración húmica)	Suelos profundos, negros a pardo-oscuro, arcillo- limosos, porosos.	Algunas áreas presentan una alta pedregosidad de bloques de andesita. Suelos ácidos.	Encalamiento. Fertiliza- ción del "suelo" a averi- guar.	Café con sombra. Caña de Azúcar.
Percolación vertical rápida.	Andosoles húmicos. (Andosolización)	Suelos profundos, negros limosos, con baja densi- dad aparente, muy poro- sos.	Fósforo aprovechable casi ausente. pH ácido.	Encalamiento.	Café con sombra.
Percolación vertical moderada.	Acrisoles ándicos. Feozems lúvicos y ándicos. (Andosolización.) (Ferralsitización.)	Suelos profundos pardos y pardo-oscuros, limoso- arcillosos sobre arcilla, porosos a poco porosos.	Horizonte profundo poco poroso. pH ácido.	Encalamiento.	Café con sombra. Caña de Azúcar.
Percolación vertical moderada.	Feozems lúvicos. (Maduración húmica)	Suelos profundos limosos arcillosos, negros a par- do-oscuros, con piedras y bloques de basalto, po- rosos.	Pedregosidad superficial y dentro del perfil.		Café con sombra.
Hipodérmica sobre los horizontes más arcillosos.	Acrisoles órticos. Feozems lúvicos. (Ferralsitización.)	Suelos profundos, limoso- arcillosos y disminución de la porosidad con la profundidad.	Pendientes fuertes. Pedre- gosidad superficial y den- tro del perfil.	Precauciones contra la erosión.	Café con sombra.
Percolación vertical rápida.	Andosoles ocrícos, húmicos y vítricos. (Andosolización)	Suelos profundos, negros y pardos, limosos, con baja densidad aparente, muy porosos.	Fósforo aprovechable casi ausente. Propiedades me- cánicas desfavorables. Pendientes fuertes.	Fertilización fosfórica a experimentar. Precau- ciones contra la erosión.	Café con sombra, pastizales, mil- pas, bosque cadu- cifolio.
Percolación vertical y circulación hipodé- rmica sobre los horizontes más arcil- losos y menos poro- sos.	Acrisoles ándicos. (Ferralsitización)	Suelos profundos, pardos, limosos sobre arcillo- limosos; disminuye la poro- sidad con la profundidad.	Pendientes fuertes (8 a 22°). Reducción de la porosidad con la profun- didad. pH ácido.	Cultivos en curva de ni- vel y en media luna para el café. Encalamiento.	Café con sombra. Caña de azúcar.
Percolación vertical moderada.	Feozems lúvicos. (Maduración húmica)	Suelos profundos, pardo- oscuros, limo-arcillosos, porosos.	Pedregosidad superficial y dentro del perfil.		Café con sombra.
Hipodérmica sobre la brecha alterada.	Acrisoles órticos. Litosoles. (Ferralsitización)	Suelos profundos, pardos limo-arcillosos a arcil- losos a porosidad redu- cida en profundidad. Suelos superficiales sobre roca alterada.	Pendientes fuertes. pH ácido. Suelos someros.	Cultivos de media luna. (Café). Encalamiento.	Café con sombra.
Anegamiento ocasion- al y manto freático superficial.	Fluvisoles éútricos (Suelos jóvenes.)	Suelos profundos, negros limosos, a pedregosidad importante.	Inundaciones ocasionales.		Pastizales.
Escurrimiento super- ficial.	Litosoles. Regosoles éútricos. (Suelos jóvenes.)	Suelos superficiales.	Pendientes muy fuertes. Suelos someros.	Precaución contra la ero- sión.	Bosque, milpa, café con sombra
Percolación vertical	Litosoles	Suelos superficiales.	Pendientes fuertes.		Café con sombra.

su leyenda que incluye los distintos componentes del paisaje.

RESULTADOS: LA ZONA DE ESTUDIO

El Medio Natural: Clima General y Uso del Suelo.

En dicha zona, los climas se ordenan a lo largo de la vertiente oriental del Cofre de Perote, cuyo gradiente influye directamente en las condiciones de temperatura y de humedad (Arriaga y Geissert, 1985).

Arriba de los 1,300 msnm existe un ambiente tropical fresco moderado (temperatura media anual: 11-17.5°C) con predominancia de humedad todo el año (P = 1,800 mm); cuenta, sin embargo, con 1-4 meses subhúmedos (Unidad I).

En toda su parte central, la zona se beneficia de temperaturas de carácter tropical templado fresco (temperatura media anual: 17.5-23°C), pero se diferencia por las condiciones de humedad (Geissert, 1984).

- Alrededor de Coatepec (altitud 1,200 m), el clima es todavía húmedo todo el año (P = 1,600 mm), con 1-4 meses subhúmedos (Unidad II).

- En la zona de barrancas (altitud 1,100 m), aparece una estación seca corta (1-2 meses) y una deficiencia hídrica de pequeña a moderada (de abril a mayo), a pesar de los 1,600 mm de precipitación anual (Unidad III).

- En el área de Mahuixtlán (altitud 900 m), la precipitación anual es de aproximadamente 1,400 mm, pero la estación seca más pronunciada (3-4 meses), con una deficiencia hídrica moderada de febrero a mayo (Unidad IV).

Estas tres últimas zonas son óptimas para los cultivos del café y de la caña de azúcar, que cubren toda la superficie. En la parte alta, más fresca y húmeda, la caña ya desapareció y el café cambia progresivamente al bosque caducifolio, siendo los pastizales

destinados a la ganadería extensiva, los que aseguran la transición (Arriaga, 1985).

El Mapa Morfoedafológico escala 1:50.000

El nivel de estudio correspondiente al 1:50,000 es llamado "nivel paisaje". Las unidades morfoedafológicas determinadas son porciones de territorio reconocibles en el campo y corresponden a un conjunto de formas simples (colinas, vertientes) o a una forma simple individual, si la superficie de ésta es suficientemente grande para su representación cartográfica (mesetas, valles, terrazas, etc.).

Los componentes que intervienen en este nivel son numerosos: materiales, modelado, morfogénesis y procesos, pedogénesis y características principales de los suelos, aguas y su modo de circulación, cobertura vegetal. Las interacciones entre ellos y sus aprecios son esenciales, sobre todo para definir el balance morfogénesis-pedogénesis y establecer el grado de estabilidad o inestabilidad de los medios (estables, penestables, inestables).

Asimismo, se determinan los factores limitantes a la producción agrícola. Este nivel de estudio propone soluciones para el mejoramiento y la conservación de los suelos en función de los sistemas de cultivo y de sus modificaciones.

Los resultados se presentan en un cuadro de doble entrada: las líneas enumeran las unidades morfoedafológicas y las columnas especifican los componentes del medio físico, incluyendo los principales factores limitantes de la producción agrícola. Se describen quince unidades por medio de la leyenda (Cuadro 1).

CONCLUSIONES

Este primer mapa caracteriza y delimita las unidades morfoedafológicas a partir de todos los componentes discernibles: clima, gradiente altimétrico, relieve, vegetación, hidrografía, materiales, pedogénesis y morfogénesis.

Es un primer conocimiento de las características y de los problemas de la región.

Permite además, determinar zonas representativas de dichas características y con aquellos problemas que pueden ser estudiados en detalle posteriormente.

En estos sitios estarán instaladas las experimentaciones agronómicas, mismas que servirán de referencias técnicas para la región.

LITERATURA CITADA

ARRIAGA, C.R. 1985. Elementos de fotointerpretación y descripción de los tipos de vegetación y uso del suelo de la zona cafetalera de Veracruz. Informe INIREB, 25 p. 1 Mapa.

ARRIAGA, C.R. y D. GEISSERT. 1985. Diagnóstico fitoclimático de la zona cafetalera del centro del estado de Veracruz. Mem. "X Congreso Nacional de Geografía", Morelia, Mich. Tomo I, pp. 127-139.

GEISSERT, D. 1984. Regionalización agroclimática en la zona cafetalera del centro del estado de Veracruz. Reporte LIDER-INIREB, 9 p.

KILIAN, J. 1972. Les inventaires morphopédologiques. Conceptions Application au développement agricole. L'Agronomie Tropicale. Vol. XXVII, No. 9 pp 930 - 938.

ROSSIGNOL, J.P. 1989. Método de cartografía morfoedafológica: una revisión. *TERRA* 7-2: 87-92.

ROULLEAU, J.N. y ROSSIGNOL, J.P. 1985. Mapa morfoedafológico a 1:20,000 del municipio de Cosautlán, Ver., INIREB, Xalapa, Méx.

EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LA LABRANZA A TRAVES DE LA DINAMICA DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

Evaluation of Tillage Efficiency by Means of the Dynamics of the Physical Properties of the Soil.

Klaudia Oleschko

Palabras clave: Labranza, Determinación de la eficiencia, Dinámica de las propiedades físicas del suelo.

Index words: Soil tillage, Efficiency determination, Dynamics of soil physical properties.

RESUMEN

La evaluación de dos sistemas de labranza - tradicional (LT) y cero (LC) en un Xerosol lúvico y un Cambisol éutrico de México- se efectuó con base en la dinámica de sus propiedades estructurales. Se definió como un sistema de labranza óptimo aquel que fuese energética- y agronómicamente eficiente. Como sistema de labranza energéticamente eficiente se entendió aquel capaz de equilibrar la cantidad de energía externa aplicada al suelo por los implementos en el proceso de su preparación con el cambio de energía interna del sistema estructural. La labranza eficiente agronómicamente se definió como aquella que favorece la formación de los elementos estructurales de validez agronómica para la zona climática determinada. La LC fue

considerada eficiente energética- y agronómicamente para el Xerosol lúvico. Contrariamente, el Cambisol éutrico presentó mejores condiciones físicas bajo LT. La LT fue energéticamente excesiva en ambos suelos.

SUMMARY

The structural dynamics of two tillage systems, traditional (LT) and non-tillage (LC), were evaluated for luvic Xerosol and eutric Cambisol in Mexico. The optimum system was defined as that having the greatest agronomic and energy efficiency. Energy efficiency is the potential for balancing the quantity of external energy applied in soil preparation with the change in the structural system's internal energy. Agronomically efficient tillage promotes the formation of structural elements agronomically favorable for plant growth in a given climatic zone. LC proved efficient on both counts for luvic Xerosol. In contrast, the eutric Cambisol showed better structural conditions under LT.

INTRODUCCION

Ningún sistema de manejo puede ser aplicado constantemente al suelo si no es capaz de mantener la estructura de éste en un nivel

adecuado. La última característica tiene que ser considerada como determinante de la eficiencia agronómica del manejo del suelo.

En un suelo que se encuentra en condiciones naturales, el arreglo estructural se logra mediante distintos procesos, determinantes de las tensiones en los límites de las unidades estructurales. Los suelos sometidos a laboreo se compactan y se fracturan y las tensiones señaladas aumentan debido a la influencia de las herramientas agrícolas. El cambio en el tamaño de los elementos estructurales es provocado por la energía externa (E_{ext}) adicional que se aplica al suelo a través de las mencionadas herramientas. Esta energía es la característica más importante en cualquier sistema de labranza y su magnitud depende de la profundidad a que se practique, del ancho del implemento de labranza, de su ángulo de inclinación y de la velocidad de su movimiento. Existen algunos métodos de medición de la magnitud de esta energía, pero son poco comunes.

La ausencia de conocimientos sobre la magnitud de la energía que se maneja en el sistema suelo-implemento trae como resultado el uso frecuente de cantidades excesivas de ésta en el proceso de preparación y, como consecuencia, la degradación de los suelos. El aumento de la eficiencia en el trabajo de los equipos de laboreo supone un incremento en la eficiencia con que se usa la energía aplicada en este proceso (Singh y Singh, 1986). De manera que resolviendo este problema será posible aumentar significativamente la productividad del trabajo con el empleo de la misma cantidad de maquinaria.

Los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes:

(a) Evaluar los cambios del sistema estructural de un Xerosol lúvico y de un Cambisol éútrico bajo dos sistemas de labranza: tradicional (LT) y cero (LC).

(b) Cuantificar la magnitud del cambio de la energía interna del sistema estructural del suelo bajo laboreo y compararla con la energía que se aplicó al suelo por los implementos agrícolas.

(c) Evaluar la eficiencia energética de los dos sistemas de labranza mencionados y definir su eficiencia agronómica.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se efectuó en un Xerosol lúvico y en un Cambisol éútrico del centro de México. El primero presentó un 85% de arena, (Kachinski, 1965), pH neutro (7.1), bajo contenido de materia orgánica (1.17%) y de sales, baja capacidad de intercambio catiónico (CIC = 5.85 meq 100g⁻¹ suelo) y una baja fertilidad natural. El Cambisol éútrico posee una textura migajón arcillosa (41% arena, 31% limo y 28% arcilla), pH ácido (5), con un contenido de materia orgánica medio (2.7%) y un contenido de sales y una capacidad de intercambio catiónico bajos (CIC = 10.32 meq 100g⁻¹ suelo).

El sistema de labranza tradicional (LT) empleado para cultivar el Xerosol lúvico y el Cambisol éútrico fue idéntico en ambos casos y consistió de un arado, un paso de rastra y siembra con aplicación simultánea de fertilizantes. Sin embargo, lo que se llamó labranza cero (LC) fue diferente según el suelo. En el Cambisol éútrico se sembró directamente, sin preparación previa del suelo, con una sembradora Allis-Chalmers 333 diseñada para estos trabajos. En el Xerosol lúvico no se sembró y las mediciones se hicieron en el suelo sin cultivar tal como se encontraba en condiciones naturales bajo una plantación de nopal (*Opuntia* sp) (Nop.).

En cada muestra de suelos se estudiaron las siguientes variables: textura (Kachinsky y de Bouyoucos), composición de los microagregados (Kachinsky), composición de los macroagregados (Sávvinov), estabilidad de los agregados en agua (Adrianov), coeficientes de

estructuración y de dispersión del suelo (Kachinsky, Vageler y Vadyunina). Para ello se tomaron 25 muestras de suelo de la capa arable, antes de la siembra (inmediatamente después de la preparación del suelo) y después de la cosecha. Las muestras se tomaron sobre un transecto, cada 3 metros. Los métodos de determinación mencionados están descritos en Kaúrichev (1984). Además, se midieron la conductividad hidráulica a saturación (Sudnizin, 1979; Childs y Timas, 1971) y la humedad del suelo correspondiente a la capacidad de campo (CC) y al punto de marchitez permanente (PMP) (método de la olla de presión).

Para caracterizar los efectos del laboreo sobre la conductividad hidráulica a saturación (K_s), esta última se determinó en función de la dinámica de la macroporosidad del suelo o porosidad efectiva ϕ_e , definida como la diferencia entre la humedad a saturación (W_0) y la de capacidad de campo (W_{cc}). Se usó el procedimiento de Ahuja *et al.* (1984). Partiendo de la ecuación de Kozeny-Carman (Carman, 1937), este autor estableció un modelo que permite comparar el efecto de los sistemas de laboreo (en el caso del presente trabajo tradicional-LT y cero-CL) sobre la macroporosidad del suelo:

$$\frac{\sum_{i=1}^{N/2} \phi_e^2}{1} \text{ LT} = \alpha \frac{\sum_{i=1}^{N/2} \phi_e^2}{1} \text{ CL} \quad (1)$$

En la ecuación (1) N es el número de observaciones de ϕ y n se calcula empíricamente con base en los datos de medición de la conductividad hidráulica a saturación. El coeficiente α fue propuesto por el autor señalado como el determinante de los cambios que ocurren en las propiedades físicas del suelo bajo el laboreo.

Las mediciones de K_s se realizaron en muestras inalteradas de suelos obtenidas con

cilindros de 70 cm³ de volumen, directamente en el campo, sobre los transectos mencionados anteriormente. Se usó el método de carga constante. La repetición fue de cinco muestras.

El estudio de la dinámica del sistema estructural bajo el laboreo se realizó por el método de Dexter (1976) en muestras inalteradas de suelos, obtenidas directamente en el campo con muestreadores de Dexter (12x14x25 cm) e impregnadas con resina epoxy HU-543 (Dexter, 1976). Una vez que la resina se endureció se cortaron láminas gruesas que se sometieron a observación en un microscopio de luz polarizada. Los datos se procesaron mediante un programa de computación especialmente diseñado para este análisis (Montenegro, 1982). Las variables estudiadas fueron el tamaño medio del poro (\bar{S}), el tamaño medio del agregado (\bar{D}_{50}), la entropía media del sistema estructural (\bar{H}) y la macroporosidad lineal (ML), las que fueron obtenidas de 240 observaciones puntuales.

Para la caracterización energética de los sistemas de labranza estudiados se usó el método propuesto por Singh y Singh (1986), que permite calcular la fuerza de tracción (F) del tractor en función de las propiedades del suelo y del área de laboreo (A). En su forma final, que permite el cálculo de la energía aplicada (E_{apl}) por la herramienta a una unidad de volumen de suelo laboreado, la ecuación es la siguiente:

$$E_{apl} = \frac{F \times V}{A \times D_a} \quad (2)$$

donde:

V = velocidad de avance del implemento (M.S⁻¹).

D_a = densidad aparente del suelo (kg m⁻³).

Una parte de la energía aplicada al suelo por la maquinaria agrícola se gasta en modificar el arreglo estructural de los suelos. Según Hadas y Wolf (1984), es posible relacionar la E_{apl} con el cambio

correspondiente de la energía interna del sistema estructural del suelo producto del laboreo (ΔE_{int}). Para este propósito se usó el método de Hadas y Wolf (1984) de prueba de fragmentación de los macroagregados del suelo en el proceso de su caída. Los agregados de diferente diámetro inicial (D_{50}^i), obtenidos por el método de tamizado en seco, se dejaron caer de diferentes alturas (1.2 y 2.4 m) sobre un pavimento de cemento. Los agregados obtenidos se tamizaron para el cálculo de su diámetro final (D_{50}^f). Después de la caída, los agregados se fragmentaron en unidades de tamaño menor, lo que provocó un incremento de su superficie y, como consecuencia, de la energía superficial del suelo (E_{int}). La energía específica E que se requiere para reducir el tamaño de un agregado de D_{50}^i a D_{50}^f es, según Rogowski *et al.*, (1968), inversamente proporcional al diámetro final (D_{50}^f) del agregado:

$$\frac{dE}{dD_{50}} = \alpha (D_{50}^f)^n \quad (3)$$

donde:

dE = cambio de la energía interna del agregado

dD_{50} = cambio de su diámetro

α, n = constantes

De acuerdo con Hadas y Wolf (1984), para suelos con una distribución homogénea de los agregados, n es igual a 2, y la ecuación 3 se simplifica hasta:

$$E_{D_{50}^f} - E_{D_{50}^i} = \alpha ((D_{50}^f)^{-1} - (D_{50}^i)^{-1}) \quad (4)$$

donde:

D_{50} = tamaño medio geométrico de los agregados

$E_{D_{50}}$ para un agregado específico se calculó como:

$$E_{D_{50}} = \frac{6}{\rho \cdot D_{50}} \quad (5)$$

donde:

ρ = densidad aparente del agregado

α se calcula con base en los resultados de la prueba de fragmentación y se usa para los cálculos del cambio de la energía interna del sistema estructural del suelo bajo el laboreo (ΔE_{int}).

D_{50} de los agregados se calcula de acuerdo con el procedimiento de ASAE (1978), con base en los resultados del tamizado en seco:

$$d_{gw} = \log^{-1} \left\{ \frac{\sum W_i (\log \bar{d}_i)}{\sum W_i} \right\} \quad (6)$$

donde:

W_i = peso de la fracción de los agregados sobre un tamiz i .

$d_{gw} = D_{50}$ = tamaño medio geométrico.

La eficiencia energética de los sistemas de labranza se evaluó de acuerdo con el valor del coeficiente η , propuesto por Hadas y Wolf (1983). El coeficiente η representa la relación entre la magnitud de la energía externa (E_{ext}) aplicada al suelo por la herramienta (ec. 1) y el cambio en la energía interna del sistema estructural del suelo bajo el laboreo (ΔE_{int}).

$$\eta = \frac{E_{ext}}{\Delta E_{int}} \quad (7)$$

Si el coeficiente η se aproxima a 1, el sistema de laboreo se considera eficiente energéticamente.

Cuadro 1. Composición de los micro y macroagregados, densidad aparente (D_{ap}), porosidad total (P_{tot}) del Xerosol lúvico, bajo LT y LC.

Muestra	Variable	Composición de los microagregados		Composición de los macroagregados Contenido de agregados (0.25-10 mm)%		D_{ap}	P_{tot}
		Arena física ¹⁾	Arcilla física ²⁾	En seco	En húmedo		
Xerosol lúvico LT	\bar{x}	93.7	6.2	64.7	59.1	1.66	17.5
	δ ³⁾	0.6	0.7	4.5	3.0		6.6
	CV	0.7	10.7	7.0	5.2		37.6
Xerosol lúvico Nop.	\bar{x}	90.8	9.2	47.4	46.7	1.66	23.2
	δ	1.3	1.3	4.7	7.4		7.6
	CV	1.5	14.4	9.9	15.7		32.8

1) Total de agregados > 0.01 mm

2) Total de agregados < 0.01 mm

3) Desviación estándar

Cuadro 2. Conductividad hidráulica K_s , W_s , CC, PMP y porosidad efectiva del Cambisol éútrico y del Xerosol lúvico bajo LT y LC.

Muestra	Variable	K_s	W_s	CC	PMP	Porosidad efectiva
		cm h ⁻¹	-----	%	-----	$W_s - CC$
Cambisol LT éútrico	\bar{x}	0.06	38.81	19.21	10.65	19.16
	δ	0.01	0.77	0.78	0.87	1.63
	CV	7.76	1.97	4.06	8.15	8.5
LC	\bar{x}	0.06	38.14	20.42	11.41	17.71
	δ	0.01	2.29	1.53	0.72	2.88
	CV	1.85	6.01	7.51	6.29	16.27
Xerosol LT lúvico	\bar{x}	0.19	16.28	7.24	3.98	9.03
	δ	0.02	0.78	0.31	0.79	0.70
	CV	9.52	4.77	4.32	7.65	7.77
Nop	\bar{x}	0.33	14.35	6.66	4.23	7.68
	δ	0.07	0.28	0.25	0.27	0.48
	CV	9.21	1.92	3.81	6.42	6.23

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de los análisis tradicionales de micro-y macroestructura, de la estabilidad de los macroagregados en el agua, de la densidad aparente y de la porosidad total de ambos suelos, bajo los dos sistemas de laboreo estudiados, mostraron tendencias poco claras y diferencias no significativas (Cuadro 1). Resultados similares se obtuvieron en el análisis de las propiedades hidrofísicas: la humedad a saturación (W_s), la humedad a capacidad de campo (W_{cc}) y la humedad del punto de marchitez permanente (W_{pmp}) variaron entre 1.9% y 5.9% (Cuadro 2).

Sin embargo, fue detectado un cambio notorio en la conductividad hidráulica a saturación en ambos suelos. El Xerosol lúvico bajo condiciones de Nopalera (Nop) presentó una porosidad efectiva 40% mayor con relación a la de la labranza tradicional, lo cual concordó con el incremento de su conductividad hidráulica. El Cambisol éutrico tuvo un incremento de 38% de su porosidad efectiva en

condiciones de laboreo tradicional, lo que se expresó en el aumento correspondiente de su conductividad hidráulica (Cuadro 3).

Cabe mencionar que el valor de la constante n determinado empíricamente fue cercano al propuesto por Ahuja *et al.* (1984) para el caso del Cambisol éutrico. Sin embargo, para el suelo ligero (Xerosol lúvico) el valor de n fue menor: 3.2, comparado con 4 propuesto por el autor mencionado.

El estudio microscópico comparativo del sistema estructural de los suelos bajo el laboreo, realizado con el método de Dexter (1976) en muestras inalteradas, no mostró tendencias concordantes con los datos del análisis de K_s : el Cambisol éutrico bajo el laboreo cero tuvo un mayor tamaño medio del poro (Cuadro 4). Sin embargo, las diferencias entre los sistemas de laboreo fueron pequeñas. El análisis mostró una varianza baja de los datos.

El cambio de D_{50} de los agregados de ambos suelos se expresó en el correspondiente cambio de la energía interna del sistema estructural del suelo (ΔE_{int}), que alcanzó 6.04 J kg^{-1}

Cuadro 3. Conductividad hidráulica a saturación (K_s) del Xerosol lúvico y del Cambisol éutrico (modelo de Ahuja *et al.*, 1984).

K_s	Xerosol lúvico					Cambisol éutricos					
	LT $\phi_{ei}^{1)}$	$n^{2)}$	K_s	N ϕ_{ei}	n	K_s	LT ϕ_{ei}	n	K_s	CL ϕ_{ei}	n
0.2122	0.0937		0.2734	0.0805		0.0685	0.208		0.0589	0.2090	
0.1905	0.0881		0.3464	0.0779		0.0649	0.2039		0.0562	0.1068	
0.2035	0.0894	3.19	0.2468	0.0739	2.34	0.0649	0.2009	4.06	0.0536	0.1725	4.34
0.1732	0.0854		0.2452	0.0708		0.0560	0.1708		0.0526	0.1728	
0.2078	0.0914		0.420	0.0843		0.0572	0.1721		0.0433	0.1705	

1) Porosidad efectiva del suelo.
2) Constante del modelo de Ahuja *et al.* (1984).

Cuadro 4. Algunos parámetros de la estructura interna del Cambisol éútrico bajo LT y LC (método de Dexter, 1976).

Muestra	Entropía	Porosidad Lineal (N1)	Tamaño medio del poro ($\bar{\delta}$)	Tamaño medio del agregado (\bar{D})	
----- mm -----					
Cambisol X eútrico, LT	X $\bar{\delta}$ CV	0.89 0.04 4.88	0.45 0.06 13.54	0.59 0.14 23.85	0.76 0.11 14.07
Cambisol X eútrico, LC	X $\bar{\delta}$ CV	0.91 0.03 3.80	0.51 0.07 12.90	0.69 0.15 22.43	0.65 0.12 18.95

$\bar{\delta}$ = desviación estándar.

Cuadro 5. Cambio de la energía interna de suelos (ΔE_{int}) bajo la aplicación de la energía externa (E_{ext}) por la maquinaria.

Suelo	Laboreo	D_{50}	Implemento	Ancho del corte	Profundidad	Fuerza de tracción	$v^1)$	$D_a^2)$	E_{ext}	ΔE_{int}
		mm		m		N	m seg ⁻¹	kg m ⁻³	J kg ⁻¹	J kg ⁻¹
Xerosol lúvico	LT	0.52	Arado	1.20	0.25	15656.76	1.33	1314	52.9	6.0
			Rastra	5.03	0.10	17658.00	2.00		53.6	
			Sembradora	0.20	0.05	34.73	2.00		5.3	
	Nop	0.45						1388		
Cambisol éútrico	LT	0.76	Arado	1.20	0.25	15656.76	1.33	1660	43.9	50.6
			Rastra	5.03	0.10	17658.00	2.00		42.3	
			Sembradora	0.20	0.05	34.73	2.00		4.2	
	CL	0.65	Sembradora	0.20	0.05	34.73	2.00	1660	4.2	

1) Velocidad de avance del tractor.

2) Densidad aparente del suelo.

para el Xerosol lúvico y 50.58 J kg⁻¹ para el Cambisol éútrico (Cuadro 5).

La E_{ext} aplicada al suelo por las herramientas agrícolas en el caso del laboreo tradicional es de 111.8 y 90.4 J kg⁻¹, para el Xerosol lúvico y el Cambisol éútrico,

respectivamente. La magnitud de E_{ext} superó significativamente el valor de ΔE_{int} de ambos suelos laboreados tradicionalmente. Sin embargo, si en el suelo pesado (Cambisol éútrico) η fue igual a 2.2, en el suelo arenoso (Xerosol lúvico) la cantidad de energía externa aplicada al suelo en el

proceso de su laboreo superó en 15 veces el cambio correspondiente en energía interna del sistema estructural del suelo. De este modo, el laboreo tradicional mostró ser energéticamente excesivo para ambos suelos. Sin embargo, en el suelo pesado la pérdida de energía fue mucho menor que en un suelo arenoso, donde esta pérdida alcanzó el 94%.

La comparación de la estructura del Cambisol y Xerosol bajo LT y LC al igual que la evolución de sus propiedades hidrofísicas no permitieron llegar a conclusiones sobre la eficiencia agronómica de los sistemas de laboreo estudiadas, por lo que se puede concluir que es necesario un procedimiento específico para dicha evaluación.

CONCLUSIONES

- 1) El laboreo tradicional fue energéticamente excesivo tanto en el Xerosol lúvico como en el Cambisol éutrico. Sin embargo, si en el primer caso se perdió el 94% de la energía aplicada, en el segundo caso las pérdidas alcanzaron un 40%.
- 2) Bajo condiciones de Nopalera el Xerosol lúvico presentó una mayor conductividad hidráulica y una mayor porosidad efectiva. Sin embargo, no fueron detectados cambios significativos en su sistema estructural, por lo que se puede suponer que el laboreo cero es agrónomicamente eficiente en el Xerosol lúvico, pero se requiere un procedimiento específico para llegar a conclusiones definitivas.
- 3) El Cambisol éutrico presentó mejores condiciones físicas bajo el laboreo tradicional.

LITERATURA CITADA

AHUJA, L.R., J.W. NANCY, R.E. GREEN y D.R. NIELSEN. 1984. Macroporosity to characterize spatial variability of hydraulic conductivity and effects of land management. *Soil Sci. Soc. Am. Journal*. 48: 699-702.

ASAE. AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK. 1978. Method of determining and expressing finess of feed materials by sieving. (ASAE Standard: ASAE 319).

BEREZIN, P.N., A.D. VORONIN y E.U. SHEIN. 1983. An energetic approach to the quantitative evaluation of soil structure. *Soviet Soil Science*. Translated from *Pochvovedeniye*, 1983. No. 10: 63-69.

CARMAN, P.C. 1937. Fluid flow through granular beds. *Trans. Inst. Chem. Eng. Long*. 15: 150-166.

CHILDS, E.C. y TIMAS E. 1971. Darcy's law at small potential gradients. *J. of Soil Sci.* Vol. 22, No. 3.

DEXTER, R.A. 1976. A statistical measure of the structure of tilled soil. *Journal Agric. Engineering Research* 22: 101-104.

HADAS, A. y D. WOLF. 1983. Soil aggregates and clod strength dependence on size, cultivation, and stress load rates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1157-1164.

HADAS, A. y D. WOLF. 1984. Refinement and re-evaluation of the drop-shatter soil fragmentation method. *Soil & Tillage Research* 4: 237-249.

KAURICHEV, I. 1984. *Prácticas de edafología*. Moscú. Ed. Mir.

KACHINSKY, N.A. 1965. *Soil physics*. Superior School, Moscow, 322 pp. (en ruso).

KULCHITSKIY, L.I. 1972. The nature of clay mineral hydration and the hydrophyly of clay rocks. In: *Suyazannaya vode dispershykh sistemakh* (Bound water in dispersed systems).

MARSHALL, T.J. y J.P. QUIRK. 1950. Stability of structural aggregates of dry soil. *Austr. Journal Agric. Research*. 1: 266-275.

MONTENEGRO, G.H. 1982. Efectos de la lluvia sobre la estructura interna de los suelos labrados. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

ROGOWSKI, A.S., W.C. MOLDENHAUER y D. KIRKHAM. 1968. Rupture parameters of soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 720-724.

RUSSEL, E. 1955. Condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Moscú. Ed. Literatura extranjera.

SINGH, G. y D. SINGH. 1986. Optimum energy model for tillage. *Soil & Tillage Research* 6: 235-245.

SUDNIZIN, I.I. 1979. Movimiento del agua en el suelo y su uso por las plantas. Editorial de Universidad de Moscú, Moscú, 252 pp. (en ruso).

ZLOCHEVSKAYA, R.I. 1969. Syazannaya vode glinistykh grutakh (Bound water in clay soils). Moscow, Izd-vo. MGU.

EVALUACION DE LA ADSORCION DE CONTAMINANTES RADIOACTIVOS EN SUELOS DEL OESTE DE TEXAS

Evaluation of the Adsorption of Radionuclides in Soils from West Texas

Melida Gutiérrez y Héctor R. Fuentes

Center for Environmental Processes and Water Resources Research
Departments of Civil Engineering and Geological Sciences
University of Texas at El Paso
El Paso, Texas 79968-0516

Palabras clave: Isotermas de adsorción, Adsorción competitiva, Desechos radioactivos.

Index words: Adsorption isotherms, Competitive adsorption, Radioactive wastes.

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio es la obtención de isotermas que representen la cantidad y forma de adsorción del estroncio, del cobalto y del cesio en suelos arcillosos, a partir de datos experimentales. El estroncio, el cobalto y el cesio son elementos radioactivos, los cuales se encuentran típicamente en desechos de baja radioactividad. Las muestras de suelo utilizadas provinieron de un sitio en el condado de Hudspeth (Texas), el cual se estudia entre otras alternativas para almacenamiento de estos desechos. Los experimentos se realizaron a escala de laboratorio en reactores de mezclado sin flujo continuo. Las isotermas se requieren como base para diseñar experimentos más completos,

asi como para definir el proceso de adsorción en el modelado preliminar del transporte de materiales radioactivos en el subsuelo.

Los resultados indican que la adsorción se puede representar por la ecuación de Freundlich en un rango amplio de concentraciones. Se concluye también que la presencia simultánea de los tres elementos reduce la adsorción individual, siendo cobalto el elemento que presenta un mayor efecto competitivo. Este efecto es un factor importante en la predicción y modelado del transporte de materiales radioactivos en el subsuelo.

SUMMARY

The purpose of this study was to obtain adsorption isotherms to represent the extent and mode of adsorption of strontium, cobalt and cesium in clayey soils in laboratory experiments. Strontium, cobalt and cesium are typical components of low level radioactive wastes. Soil samples originated at the Hudspeth County site (Texas); this site has been selected as a candidate for the disposal of low level radioactive waste in Texas. Adsorption batch experiments were conducted to contact soil samples with strontium, cobalt and cesium, until equilibrium was

reached. Obtained adsorption isotherms provide basic information needed to scope additional experiments and to model radioactive transport in the subsurface.

Results show that adsorption can be represented by a Freundlich isotherm over a wide range of concentrations. It was also found that competition reduces individual adsorption with cobalt causing the largest effect. This effect is of prime importance to effectively predict radionuclide transport in natural barriers.

INTRODUCCION

La capacidad de suelos arcillosos de adsorber sustancias disueltas en agua los convierte en barreras naturales al paso de contaminantes hacia otras capas del subsuelo o aguas subterráneas. La medición de esta capacidad es un aspecto importante en la caracterización del subsuelo en cada sitio seleccionado como alternativa para depositar desechos radioactivos en el estado de Texas. Uno de estos sitios se encuentra en el condado de Hudspeth. Este artículo presenta los aspectos preliminares del diseño de los experimentos de adsorción para un grupo representativo de elementos radioactivos y muestras de suelo provenientes del condado de Hudspeth. Los experimentos se diseñaron a escala de laboratorio con el fin de estimar las cantidades de cada elemento, individualmente o en combinación, que pueden ser adsorbidas por el suelo en caso de alguna fuga de desechos radioactivos.

Los experimentos se llevaron a cabo utilizando dos muestras de suelo obtenidas del pozo No. LLWA-13 en el condado de Hudspeth. Estas muestras se extrajeron de la zona semisaturada en la formación conocida como Sedimentos del Bolsón Viejo, siendo UOB (Upper Older Bolson) la muestra representativa del intervalo superior (profundidades entre los 21 y 29 metros), y LOB (Lower Older Bolson) la muestra representativa del intervalo inferior (profundidades entre los 35 y 45 metros). El contenido de arcilla aumentó

con la profundidad de la muestra desde 16 a 30%. El Cuadro 1 presenta la composición granulométrica para las muestras, las cuales se definen respectivamente como medios limosos y arcillosos de acuerdo a la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Jackson, 1969). Las muestras de suelo se pusieron en contacto con soluciones de sales de cloro de estroncio, cobalto y cesio, los cuales son análogos sin radioactividad del estroncio-90 (28.1 años de vida media), del cobalto-60 (5.27 años de vida media), y del cesio-137 (30 años de vida media). La relación de masas del suelo y de la solución fue de 1 a 5, la cual aseguró una suspensión óptima para medir los cambios de concentración de cada análogo en la solución con una precisión aceptable.

Los experimentos se llevaron a cabo en reactores pequeños de mezclado sin flujo continuo a 25°C y presión atmosférica por un periodo suficiente para asegurar condiciones de equilibrio. El periodo fue por lo menos de 24 horas durante el cual las suspensiones se agitaron en un rotador mecánico a 30 revoluciones por minuto.

En las soluciones provenientes de desechos radioactivos, cabe esperar que el estroncio, el cobalto y el cesio se presenten formando parte de la misma solución, y no de manera aislada. La presencia simultánea de varios elementos en una solución puede afectar el

Cuadro 1. Distribución granulométrica de las muestras de suelo.

Muestra	Arcilla	Limo	Arena fina	Arena gruesa
----- % -----				
UOB 1	15.39	49.18	30.17	0.23
UOB 2	15.94	45.40	31.89	0.23
UOB 3	16.35	48.90	33.26	0.82
LOB 1	27.98	42.34	29.44	0.21
LOB 2	31.63	42.92	25.14	0.28
LOB 3	32.93	40.36	26.48	0.22

proceso de adsorción debido a la competencia entre los iones por los lugares de adsorción en los suelos. Consecuentemente, simulaciones preliminares de estas competencias se llevaron a cabo utilizando combinaciones binarias y ternarias de los elementos en solución.

Las isotermas de adsorción desarrolladas de los resultados experimentales definen ecuaciones que modelan el retardo de elementos radioactivos causado por adsorción. La objetividad de estas ecuaciones debe posteriormente validarse en pruebas de laboratorio y de campo en condiciones de flujo continuo.

MATERIALES Y METODOS

Los métodos experimentales utilizados en este estudio y descritos a continuación se basan en procedimientos de laboratorio usados por Polzer *et al.* (1985) en la evaluación de la adsorción de elementos radioactivos en rocas formadas por cenizas volcánicas, y se describen con más detalle en el reporte preparado por los autores para las autoridades del estado de Texas (Fuentes *et al.*, 1988).

Preparación de los Suelos

Las muestras de suelo fueron homogeneizadas y acondicionadas. La homogeneización se llevó a cabo agregando agua destilada a la muestra hasta obtener una consistencia lodosa que permitió un mezclado más uniforme. Después, la mezcla húmeda se vació en recipientes metálicos donde se secó al aire y a temperatura ambiente. Luego del secado la muestra se guardó en bolsas de plástico hasta su uso en los experimentos.

El acondicionamiento consistió en la saturación del suelo con calcio, Ca^{+2} . Porciones de 80 g se mezclaron con 400 ml de solución 0.01N (200 mg/l) de CaCl_2 en botellas de plástico de 500 ml. Las botellas se agitaron por lo menos durante seis horas antes de centrifugar la suspensión para eliminar el sobrenadante. Luego 400 ml de solución 0.005N (10 mg/l) de CaCl_2 se agregaron a cada botella

en un segundo lavado; después de centrifugar y eliminar el sobrenadante, las muestras se secaron de nuevo al aire antes de ser utilizadas en los experimentos de adsorción.

Equilibrio de Adsorción

Se prepararon las siguientes soluciones concentradas en agua destilada de los elementos de interés: 1000 mg/l de Sr^{+2} , 1000 mg/l de Co^{+2} , 1000 mg/l de Cs^{+2} , soluciones binarias de Sr^{+2} - Co^{+2} , Sr^{+2} - Cs^{+2} y Co^{+2} - Cs^{+2} , con cada elemento a una concentración de 1000 mg/l, y una solución ternaria con los tres elementos, cada uno de ellos a una concentración de 1000 mg/l. Reactivos sólidos de $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y CsCl de grado analítico y alta pureza fueron utilizados en la preparación de las soluciones. De las soluciones concentradas se prepararon diluciones a 100, 20, 5 y 1 mg/l y otras, dependiendo del rango de concentraciones deseado, en una solución base de CaCl_2 (0.005 N). Este rango fue función del límite de detección para cada elemento en solución y de un valor máximo que fue arbitrariamente definido en 1000 mg/l. Todas las soluciones concentradas se almacenaron en un cuarto oscuro y a 25°C de temperatura.

Los experimentos se llevaron hasta el equilibrio de acuerdo al siguiente procedimiento: a botellas de plástico de 125 ml conteniendo 10.0 g de suelo se le agregaron 50 ml de solución base con los elementos a las concentraciones de interés. Se usaron tres concentraciones diferentes en rangos de interés para asegurar el desarrollo de isotermas. Los experimentos se hicieron en duplicado e incluyeron controles para la solución base (CaCl_2) y el suelo. Estos controles se usaron para ajustar las concentraciones medidas en las botellas que contenían los elementos. Las botellas se agitaron en un rotador mecánico hasta el equilibrio. Aunque el equilibrio ocurrió en las dos primeras horas, las botellas se agitaron durante 12 horas, al término de las cuales se tomaron muestras de la suspensión para medición de concentraciones. La solución se separó de los sólidos por centrifugación

seguida de filtración a 45 μm . A la solución filtrada se le determinó el pH y se acidificó para almacenamiento hasta la medición de la concentración de los elementos mediante un espectrofotómetro de plasma de corriente

directa. El pH de las soluciones de equilibrio varió alrededor de 8.0 ± 0.2 . La cantidad adsorbida se calculó por diferencia entre las concentraciones de la solución inicial y de la solución de equilibrio.

Cuadro 2. Resultados de regresión de los datos para las isotermas de adsorción.

Solución	Indice de determinación, R^2			
	Lineal	Langmuir	Freundlich	Freundlich Mod. ¹⁾
<u>Suelo UOB</u>				
Sr	0.894	0.974	0.912	0.924
Sr-Co	0.917	0.070	0.969	0.970
Sr-Cs	0.929	0.999	0.977	0.979
Sr-Co-Cs	0.864	0.999	0.928	0.976
Co	0.650	0.989	0.964	0.951
Co-Sr	---	---	---	---
Co-Cs	---	---	---	---
Co-Sr-Cs	0.861	0.991	0.999	0.999
Cs	0.893	0.964	0.937	0.948
Cs-Sr	0.955	0.997	0.989	0.990
Cs-Co	0.977	0.951	0.998	0.999
Cs-Sr-Co	0.997	0.985	0.998	0.998
<u>Suelo LOB</u>				
Sr	0.801	0.965	0.945	0.953
Sr-Co	0.898	0.994	0.982	0.983
Sr-Cs	0.873	0.998	0.928	0.931
Sr-Co-Cs	0.917	0.987	0.995	0.995
Co	0.754	0.984	0.968	0.959
Co-Sr	---	---	---	---
Co-Cs	---	---	---	---
Co-Sr-Cs	0.866	0.993	0.999	0.999
Cs	0.974	0.802	0.969	0.972
Cs-Sr	0.900	0.328	0.833	0.834
Cs-Co	0.953	0.980	0.978	0.979
Cs-Sr-Co	0.981	0.999	0.995	0.995

1) Freundlich Mod. = Isoterma de Freundlich Modificada.

RESULTADOS Y DISCUSION

La diferencia entre las concentraciones de la solución inicial y de la solución de equilibrio ($C_0 - C$), multiplicada por el volumen total de la solución inicial y dividida por la masa del suelo usado, define la cantidad adsorbida de cada elemento por unidad de masa de suelo, S . La gráfica de S como función de la concentración del elemento en la solución a equilibrio, C , define la isoterma experimental para cada caso analizado. Los resultados experimentales se evaluaron mediante las siguientes ecuaciones para su representación matemática: Lineal, Langmuir, Freundlich y Freundlich Modificada. La efectividad de cada ecuación se evaluó de acuerdo a los parámetros estadísticos de su regresión lineal. La mejor correlación se obtuvo en general para la isoterma de Freundlich, representada por la ecuación $S = K C^n$, donde K y n son constantes empíricas, y S y C son las concentraciones del elemento en equilibrio en el suelo y en la solución, respectivamente. Esta ecuación se recomienda para representar matemáticamente la magnitud de la adsorción para los casos estudiados. El Cuadro 2 presenta los resultados de la regresión estadística y el Cuadro 3 los parámetros de la isoterma de Freundlich para cada uno de los casos estudiados.

La Figura 1 presenta los datos experimentales y la predicción por la isoterma Freundlich para seis de los casos estudiados. La Figura 1 sugiere los siguientes efectos:

(1) Efecto de la cantidad de arcilla.

Las curvas 1d, 1e y 1f, obtenidas para la muestra de suelo LOB (30% arcilla), muestran una mayor adsorción del estroncio, del cobalto y del cesio que la cantidad adsorbida por la muestra UOB (16% arcilla), mostrada por las curvas 1a, 1b y 1c.

(2) Efecto debido al elemento.

La masa absorbida de cada elemento por gramo de suelo es diferente; se observa la siguiente relación: $C_s > C_o > S_r$.

Cuadro 3. Valores de K y n para las isotermas de Freundlich¹⁾

Suelo	Elemento de referencia	Otros iones presentes	K	n
UOB	Estroncio	---	0.160	0.487
		Cobalto	0.006	0.146
		Cobalto y cesio	0.084	0.507
UOB	Cobalto	---	0.546	0.254
		Estroncio	---	---
		Cesio	---	---
		Estroncio y cesio	0.380	0.311
UOB	Cesio	---	0.225	0.696
		Estroncio	0.172	0.745
		Cobalto	0.128	0.739
		Estroncio y cobalto	0.113	0.711
LOB	Estroncio	---	0.204	0.500
		Cobalto	0.083	0.615
		Cesio	0.137	0.639
		Cobalto y cesio	0.139	0.487
LOB	Cobalto	---	0.675	0.264
		Estroncio	---	---
		Cesio	---	---
		Estroncio y cesio	0.495	0.296
LOB	Cesio	---	0.196	0.771
		Estroncio	0.140	0.892
		Cobalto	0.167	0.822
		Estroncio y cobalto	0.127	0.809

1) $S = K C^n$, S en mg/g y C en mg/l.

(3) Competencia entre elementos.

El cobalto se adsorbe con más preferencia que el estroncio y el cesio. En la figura se observa que el cobalto afecta la adsorción del estroncio (1a y 1d) y la del cesio (1c y 1d) con más intensidad que el efecto del cesio y del estroncio en el cobalto (1b y 1e). La presencia del estroncio también afecta la adsorción del cesio pero en un grado menor que el cobalto (1a y 1d).

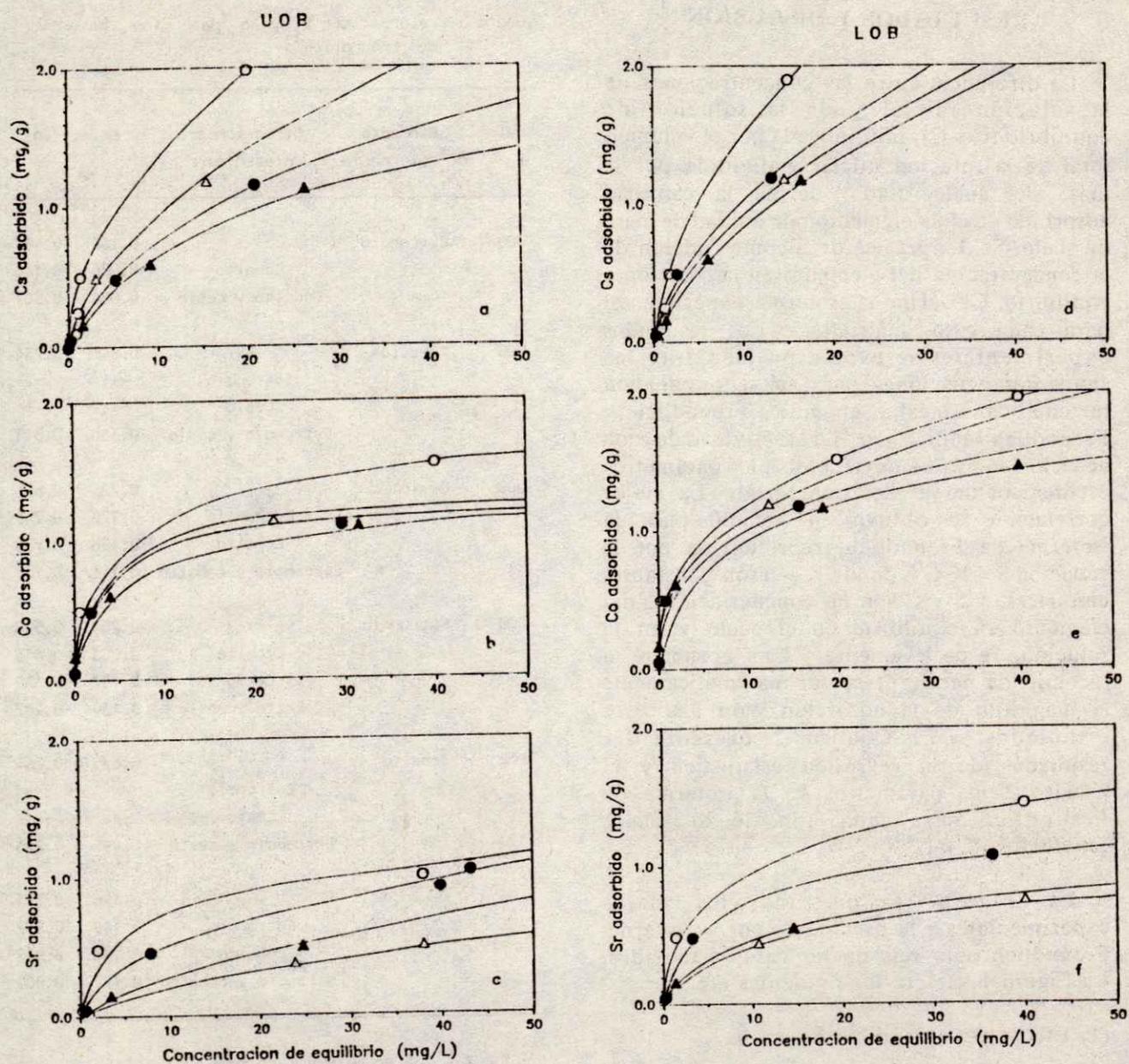


Figura 1. Isothermas de adsorción para las muestras UOB y LOB. Los puntos corresponden a las siguientes observaciones experimentales: o para solución unicomponente; • para soluciones binarias Sr-Co en a y d, Co-Sr en b y e, y Cs-Sr en c y f; Δ para soluciones binarias Sr-Cs en a y d, Co-Cs en b y e, y Cs-Co en c y f; y \blacktriangle para soluciones ternarias.

CONCLUSIONES

Los resultados de estas investigaciones constituyen información preliminar para la ejecución de experimentos más detallados y para el estudio inicial del efecto de adsorción en el transporte de materiales radioactivos en suelos provenientes del condado de Hudspeth. La adsorción del estroncio, del cobalto y del cesio se puede representar por la isoterma de Freundlich para un rango amplio de concentraciones en solución. Una mejor adsorción se espera para los suelos más arcillosos. La presencia simultánea del estroncio, del cobalto y del cesio reduce la adsorción que ocurre cuando cada elemento se encuentra solo en solución; el cobalto afecta la adsorción del estroncio y del cesio en una extensión mayor que la de éstos en el cobalto o entre ellos mismos. Este efecto de competencia debe considerarse en la predicción de adsorción por barreras naturales.

RECONOCIMIENTO

Estas investigaciones fueron financiadas por la Autoridad Tejana para Disposición de Desechos de Baja Radioactividad. Las investigaciones se ejecutaron en los laboratorios del Departamento de Ingeniería

Civil de la Universidad de Texas en El Paso. Los autores agradecen las contribuciones en el trabajo de laboratorio de los estudiantes de postgrado Kerry W. Hill y Michael Wilkinson. Reconocimiento especial merece el Ing. Ruben Alvarado, Director Técnico de la mencionada Autoridad, por su interés y cooperación.

LITERATURA CITADA

- FUENTES H.R., M. GUTIERREZ, y K.H. HILL. 1988. Preliminary physicochemical and adsorption studies of Older Bolson samples from the primary study area in Hudspeth County, Texas. A report for the Texas Low-Level Radioactive Waste Disposal Authority, IAC (88-89), Austin, Texas, 283 pp.
- JACKSON, M.L. 1969. Soil chemical analysis. Advanced course, 2nd. edition. Madison, Wisconsin, 895 pp.
- POLZER W.L., H.R. FUENTES, E.H. ES-SINGTON, y F.R. ROENSCH. 1985. Equilibrium sorption of cobalt, cesium, and strontium in Bandelier Tuff: analysis of alternative mathematical modeling. Waste Management 3: 167-173.

LEVANTAMIENTO NUTRIMENTAL DEL MANZANO (*Malus domestica*) EN LA SIERRA DE CHIHUAHUA.

Nutritional Survey of Apple Trees (*Malus domestica*) in the Mountainous areas of Chihuahua, Mexico.

Jesús Pilar Amado Alvarez

Programa U.M.A. CESICH-Chihuahua, Cd. Cuauhtémoc, Chih.

Palabras clave: Diagnóstico foliar.

Index words: Leaf diagnosis.

RESUMEN

En el mes de julio de 1985 se colectaron hojas de 58 huertas en producción incluyendo los cultivares Golden Delicious, Starkrimson, Red Delicious, Rome Beauty, Arkansas Black y Winesap en los cuatro municipios más importantes en producción de manzana en el estado de Chihuahua. Los resultados del análisis foliar indicaron que el 47% de los huertos tenía deficiencia de Cu, el 23% deficiencias de Mg, con niveles bajos de P y K. Estos problemas fueron más acentuados en el municipio de Guerrero, mientras que en el área de Cuauhtémoc, el 63% de los huertos resultó sobrefertilizado con N.

SUMMARY

In July of 1985, leaves from 58 orchards in production were collected of the varieties Golden Delicious, Starkrimson, Red Delicious,

Rome Beauty, Arkansas Black and Winesap in the four most important apple growing areas within the State of Chihuahua. Results of leaf analysis indicate that 47 per cent of the orchards registered some deficiency in Cu; 23 per cent, deficiency in Mg, with low levels of P and K. In the municipality of Guerrero this problem was accentuated while in the area of Cuauhtémoc, 63 per cent of the orchards were overfertilized with N.

INTRODUCCION

La nutrición adecuada de una planta requiere que la dosis y oportunidad de fertilización sea acorde a las necesidades del cultivo en particular, lo cual permite obtener la máxima eficiencia por unidad de fertilizante aplicado. El análisis foliar es una herramienta útil para lograr lo anterior, debido a que la planta refleja en forma integral la influencia de factores físicos, químicos, biológicos y climáticos que afectan la nutrición mineral de los cultivos. En la Sierra de Chihuahua, la fertilización del cultivo del manzano es muy variable. Amado (1985) detectó que el 87% de los fruticultores aplica N, P y K. El 20% fertiliza únicamente con N con dosis que varían de 10 a 50 kg ha^{-1} ; el 53% aplica

nitrógeno y fósforo con una formulación media de 33-25-00 y el 14% restante fertiliza con N, P y K con base en las formulaciones de 20-20-20 y 35-45-25.

El mismo estudio reflejó también que el 51% de los productores practica la fertilización foliar, dando de una a tres aplicaciones. El 12% de estos productores prefiere Gro-Green; el 7% Bay-folán; otro 7% nitrato de calcio; un 20% Cosmocel y el 5% restante usa otros productos en dosis que fluctúan entre 1 y 7 kg/1000 l de agua. Esta gran variación indica que en la mayoría de los casos se fertiliza sin considerar el estado nutricional del cultivo que es afectado por varios factores.

REVISIÓN DE LITERATURA

Romo y Díaz (1985a) encontraron que el cultivar "Anna"/MM106 presentaba concentraciones de Mg más altas durante el ciclo vegetativo en comparación con "Anna"/Vigoroso doméstica (0.35 a 0.65% contra 0.25 a 0.35%, respectivamente). Valdez *et al.* (1986), al diagnosticar el estado nutricional de árboles de durazno criollo bajo condiciones de riego y sometidos a diferentes intensidades de fertilización y control de maleza, encontraron que la formulación 50-50-50 sin control de maleza, promovió el mejor balance nutricional con el siguiente orden de requerimiento $K > N > Mg > Zn > Fe$. Este resultado les permitió concluir que el menor requerimiento de Zn y Fe, se debió a una mayor disponibilidad de estos elementos en el suelo debido a la presencia de las malezas.

Enriquez y Bazán (1976), al estudiar los cambios en la concentración de nutrimentos durante la estación de crecimiento en los cultivares Golden Delicious y Starkrimson en la Sierra de Chihuahua, concluyeron que las concentraciones de N, Fe y Mn eran altas; las de P, K, Ca y Cu normales, mientras que las de Mg y Zn resultaron deficientes.

Romo y Díaz (1985b) analizaron hojas de la parte media del crecimiento del año en manzano "Anna", muestreadas a intervalos de 15 días

durante el período marzo de 1982 a julio de 1983 y mostraron que el período de estabilidad en la concentración de los nutrimentos se presentaba entre los 160 y 180 días después de floración plena (mes de agosto), con excepción de los elementos Ca y K que variaban todo el tiempo.

Por otra parte, Salazar y Guerrero (1978), al estudiar el efecto del manejo del huerto sobre el estado nutricional de árboles de manzano en producción de los cultivares Red Delicious, Golden Delicious y Rome Beauty, establecidos en los municipios de Guerrero, Cuauhtémoc y Bachiniva, en el estado de Chihuahua, reportaron lo siguiente. La concentración de N fluctuó de deficiente a normal, las concentraciones de los elementos K, Ca, Mg, Cu, Fe y Zn resultaron normales y el nivel de Mn fluctuó de deficiente a alto.

Esta revisión breve es una indicación de la necesidad de realizar un levantamiento nutricional del cultivo de manzano en la Sierra de Chihuahua, mediante el análisis foliar con el fin de implementar un programa de fertilización que permita hacer un uso racional de los recursos agua y fertilizantes, y en esta forma incrementar la productividad de este árbol frutal.

MATERIALES Y METODOS

Se seleccionaron 58 huertos en producción: 16 en el municipio de Cuauhtémoc, 16 en el de Bachiniva, 14 en el de Guerrero y 12 en el de Namiquipa que representaron tres condiciones de manejo: bueno, regular y malo. Estos huertos estaban establecidos en suelos de textura franco-arcillo-arenoso, condición que predomina en el área de estudio. Los cultivares muestreados, por su importancia, fueron Golden Delicious, Starkrimson, Red Delicious, Rome Beauty, Arkansas Black y Winesap. En total se tuvieron 121 muestras.

En el mes de julio de 1985 se colectaron hojas de la parte media del árbol de brotes del crecimiento anual hasta completar 100 hojas por muestra. En el laboratorio, cada

muestra se lavó con agua de la llave para eliminar impurezas. Una vez eliminado el exceso de agua, las hojas se depositaron en bolsas de papel perforadas para su secado al aire libre hasta peso constante. Más tarde, se llevó a cabo la molienda de cada muestra usando un molino de acero inoxidable para practicarle las siguientes determinaciones: N total por el método microKjeldahl adaptado a material vegetal (Bremner, 1965); P por el método Olsen (Olsen *et al.*, 1954); B por el método de Hatcher y Wilcox (1950), citados por Chapman y Pratt (1973); y K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu por absorción atómica (Chapman y Pratt, 1961).

La concentración mineral se comparó con los niveles nutrimentales reportados por Shear y Faust (1980), considerando en cada huerto al cultivar de referencia para inferir sobre el resto de las variedades.

RESULTADOS Y DISCUSION

En las Figuras 1, 2, 3 y 4 se presentan los resultados de los análisis foliares

correspondientes a las plantaciones de manzana, en los municipios de la ciudad de Cuauhtémoc, Guerrero, Bachiniva y Namiquipa, respectivamente.

Nitrógeno. En el municipio de Cuauhtémoc, el 62.5% de los huertos presentó altos contenidos de N con un valor medio de 3.1% lo cual era de esperarse, ya que este municipio es uno de los que cuenta con más recursos (suelo y agua principalmente), por lo que los fruticultores buscan calidad y cantidad mediante una sobrefertilización. Es frecuente observar elongación excesiva de los brotes (>50 cm) con hojas de color verde oscuro y en la variedad Golden Delicious el fruto se mantiene verde aun cuando ya esté maduro fisiológicamente. Otro efecto del exceso de N observado es una disminución del tiempo de almacenamiento de los frutos. En el 37.5% de los huertos los resultados indicaron que reciben una fertilización normal, mostrando un contenido medio de N igual al 2.1%. En el municipio de Namiquipa el 25% de los huertos es sobrefertilizado, el 70% se encuentra en condiciones normales y el 5% restante tiene deficiencias de N. Este municipio se

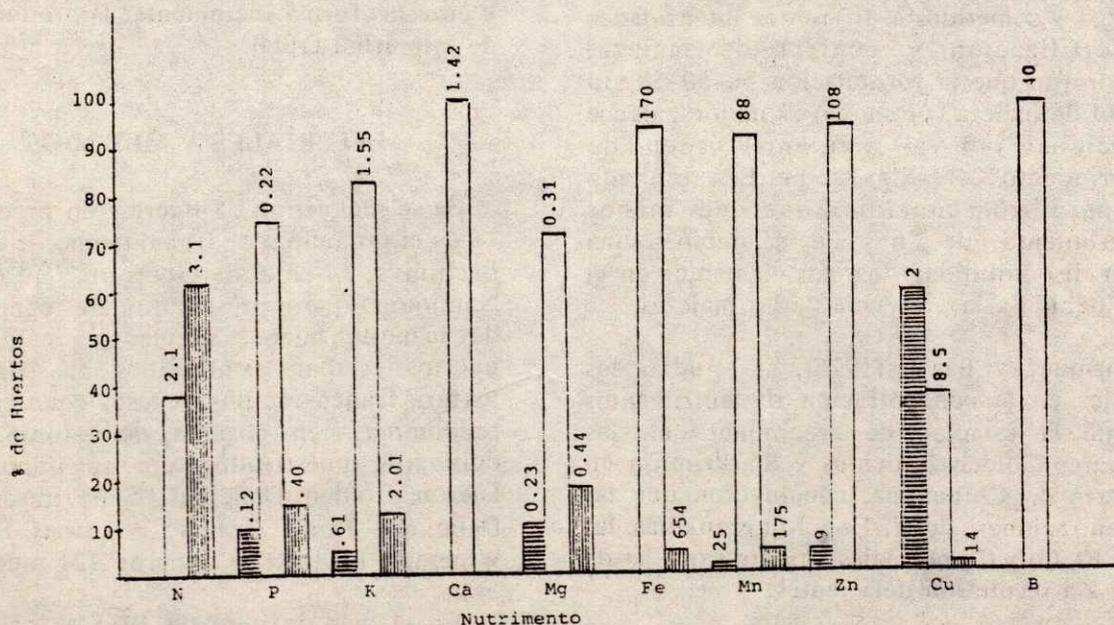


Figura 1. Condición nutrimental del manzano cultivado en el municipio de Ciudad Cuauhtémoc. Los números sobre cada barra es la concentración media con base en materia seca del elemento en particular (% para los elementos mayores y ppm para los microelementos).

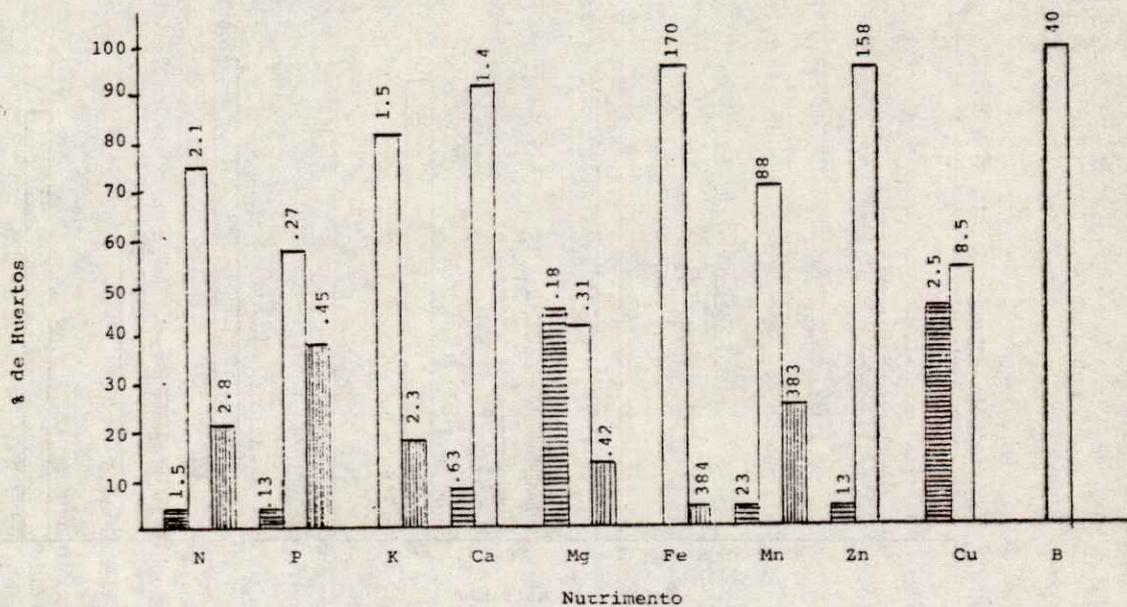


Figura 2. Condición nutricional del manzano cultivado en el municipio de Guerrero. Los números sobre cada barra corresponde a la concentración media con base en materia seca del elemento en particular (% para los elementos mayores y ppm para los microelementos).

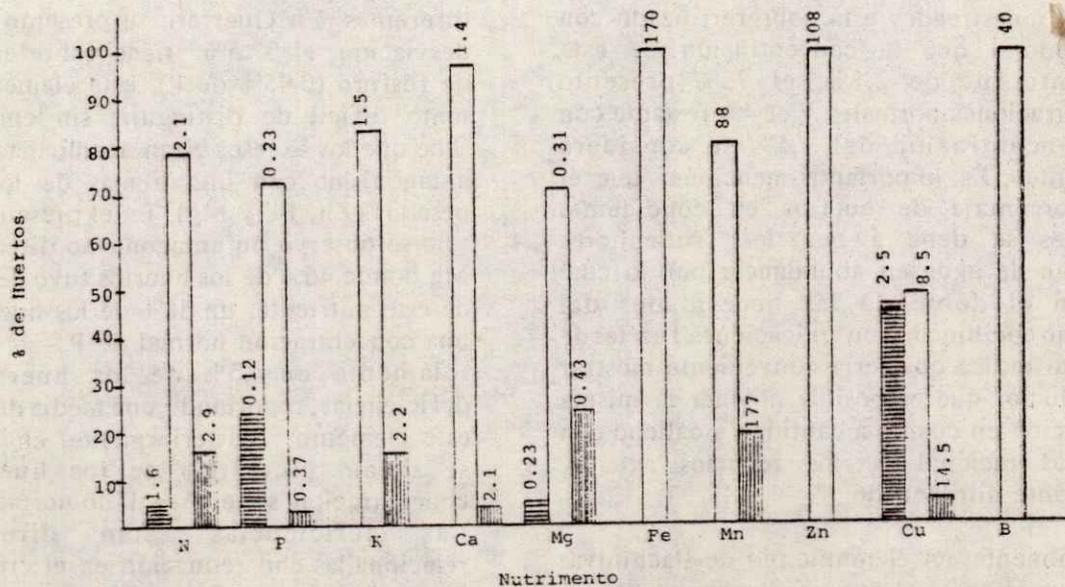


Figura 3. Condición nutricional del manzano cultivado en el municipio de Bachiniva. Los números sobre cada barra es la concentración media con base en materia seca del elemento en particular (% para los elementos mayores y ppm para los elementos menores).

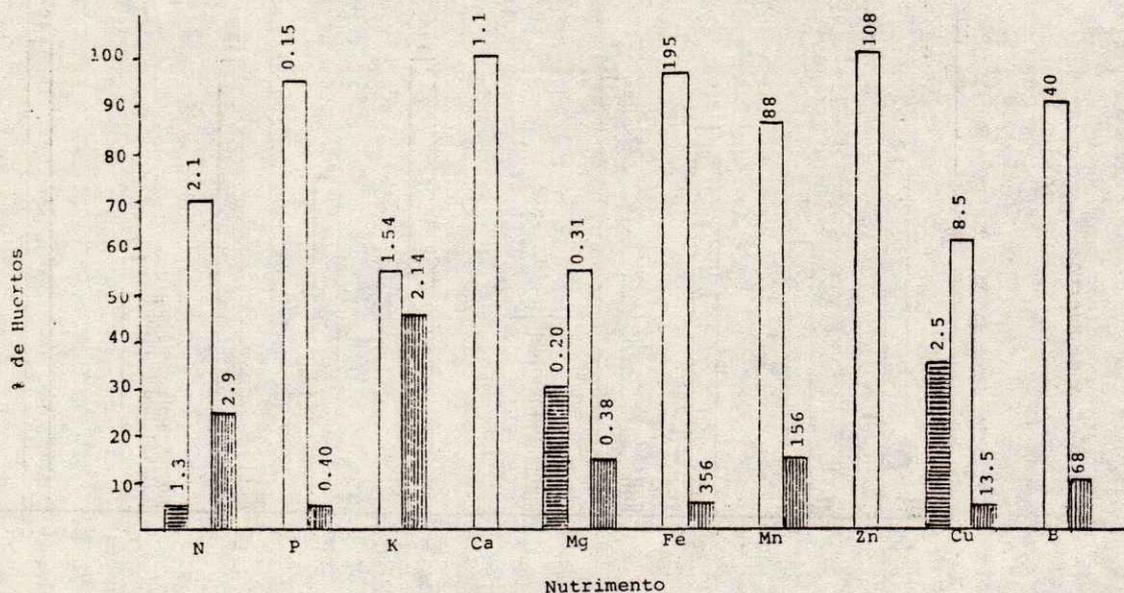


Figura 4. Condición nutrimental del manzano cultivado en el municipio de Namiquipa. Los números sobre cada barra es la concentración media con base en materia seca del elemento en particular (% para los elementos mayores y ppm para los elementos menores).

caracteriza porque los productores practican notablemente la fertilización al follaje aplicando los siguientes materiales: Cosmocel, Gro-Green y Bayfolán.

En Guerrero se encontró que el 21% de los huertos muestreados está sobrefertilizado con N debido a que la concentración de este nutriente fue de 2.8%; el 75% presentó concentraciones normales y el 4% restante con una concentración del 1.5% se considera deficiente. Es importante mencionar que el alto porcentaje de huertos en condiciones normales se debe a que los fruticultores disponen de agua en abundancia por lo cual aplican el doble de las necesidades del manzano combinado con aplicaciones fuertes de N. Esto indica que sería conveniente mostrar al productor que es posible obtener la misma producción en cuanto a cantidad y calidad con uso más racional de los recursos agua y fertilizante nitrogenado.

Finalmente, en el municipio de Bachíniva, considerado como el que tiene menos recursos, el 16% de los huertos está sobrefertilizado (2.9% de N) principalmente aquellos que están más próximos a la presa y los que tienen pozo propio, ya que pueden invertir más en

fertilizantes. El 78% de los huertos se encuentra en condiciones normales (2.1 %) y solamente el 6% tiene deficiencias (1.6%).

Fósforo. En el caso de este nutriente también se registraron las tres condiciones diferentes. En Guerrero se presentó la mayor desviación, el 37.5% tiene sobrefertilización de fósforo (0.45% de P), este elemento es un tanto difícil de distinguir, sin embargo, se sabe que los excesos están acompañados por un antagonismo con uno o más de los metales pesados (Zn, Fe y Mg). En el presente estudio sólo se observó un antagonismo directo con el Mg donde 46% de los huertos tuvo deficiencias de este nutriente, un 58% de los huertos tiene una concentración normal de P (0.27%) y solamente un 4.5% de los huertos tiene deficiencias, reportando una media de 0.13% de este elemento. Posteriormente, en Bachíniva se señaló un 24.3% de los huertos con concentraciones menores de lo normal (0.12%). Las deficiencias están directamente relacionadas con reducción en el crecimiento, las hojas frecuentemente muestran una coloración morada, se reducen la floración y la producción del fruto; así como calidad basada en el sabor ácido del fruto. También se reportó que un 73% de los huertos no tiene

problemas con P, la concentración media fue de 0.23% en el follaje y solamente un 2.7% de los huertos presentó una concentración mayor de lo normal (0.37%). En el municipio de Cuauhtémoc, donde el 75% de los huertos registró una concentración normal (0.22%), un 15% de los huertos tuvo exceso de este elemento y el 10% restante deficiencias, con concentraciones medias de 0.40 y 0.12% de P, respectivamente. Namiquipa fue el municipio con menos desviaciones en relación a este nutriente, el 95% de los huertos está en condiciones normales con una media de 0.15% de P y solamente un 5% de los huertos tiene concentraciones arriba de lo normal, es decir mayor de 0.27% de P.

Potasio. A través del tiempo se ha visto que el norte del país tiene grandes reservas de este nutriente, situación que se confirmó en el presente trabajo. El 45% de los huertos de Namiquipa acusó sobrefertilización con K, con una media de 2.14% de K en el follaje. La sintomatología de exceso de K es desconocida pero si se consideran las aplicaciones que los fruticultores hacen, es posible que los huertos se encuentren en estas condiciones. También se ha observado que altos contenidos de K inducen deficiencias de Mg, Mn y Zn principalmente. En nuestro caso se registró que un 30% de los huertos tiene deficiencias de Mg, lo cual está relacionado con las altas concentraciones de K; el 55% restante reportó una concentración normal de 1.54% de K en el follaje. En Guerrero, el 16.7% de los huertos presentó altas concentraciones de K (2.3% de K), pero un 46% de los huertos tenía concentraciones de Mg consideradas como deficitarias, situación que remarca el antagonismo que existe entre estos dos elementos. En este municipio, el 83.3% de los huertos tuvo una concentración normal (1.5 % de K en el follaje). En Bachiniva se presentó una situación similar a la de Guerrero, el 16.2% de los huertos con altas concentraciones (media de 2.2 % de K), sólo que aquí el antagonismo con el Mg no fue aparente, puesto que el 24% de los huertos registró altos contenidos de este nutriente y lo normal es que se hubieran mostrado deficiencias. El 83.8% restante de los huertos está en

condiciones normales con una concentración media de 1.5 % de K en el follaje de manzano. Finalmente, en el municipio de Cuauhtémoc, se presentaron tres condiciones nutrimentales con el K. Un 12.5% reportó altas concentraciones, un 82.5% de los huertos se encuentra normal y el 5% restante tiene deficiencias, las cuales están acompañadas por una coloración de un verde grisáceo de la superficie de la hoja, la cual cambia posteriormente a café rojizo, luego las hojas se encorvan y se enrollan. Las medias fueron 2.01, 1.55 y 0.61% de K para cada condición.

Calcio. Los resultados del análisis de este elemento muestran pocas variaciones; en Cuauhtémoc y Namiquipa el 100% de los huertos reportó concentraciones normales con medias de 1.42 y 1.1 % de Ca en el follaje, respectivamente.

Es importante señalar que las deficiencias de Ca se presentan más comúnmente en el fruto después de la cosecha, lo cual se manifiesta como manchas negras en el fruto frigorizado, por lo que en futuros trabajos deberá considerarse esta situación, ya que se han reportado indicios de deficiencias de este elemento. En Guerrero se registró un 8.3% de huertos con niveles deficitarios de Ca; la primera indicación de deficiencias de este elemento en el follaje de manzano es un enrollamiento hacia arriba de los márgenes de las hojas más jóvenes. En casos severos, las hojas viejas afectadas pueden volverse necróticas y comenzar a desmoronarse. El 91.7% de los huertos restantes se encuentra en condiciones normales, las medias registradas son de 0.63% y 1.4% de calcio, respectivamente. Finalmente, en Bachiniva la distribución fue la siguiente: 2.7% de los huertos tuvo altas concentraciones y el 97.3% de los huertos presentó una concentración normal, con medias de 2.1 y 1.4 % de Ca en el follaje.

Magnesio. La situación de este elemento en la Sierra de Chihuahua se presentó también en tres condiciones diferentes: deficiencias, suficiencias y excesos. La mayor desviación se registró en el municipio de Guerrero, donde

el 46% de los huertos tiene niveles de este nutriente considerados deficientes (0.18% Mg), aunque debemos recordar que se reportaron altos contenidos de fósforo y potasio, elementos que son antagonicos con el Mg. Las deficiencias de Mg en el manzano (Uriu, 1983) van acompañadas de una decoloración verdosa en las terminales de las hojas viejas, seguida por una clorosis progresiva intravenosa hacia la base, los brotes tienen hojas en la parte basal y en la parte terminal en buenas condiciones, pero no hay hojas en la parte central. Un 42% de los huertos presentó una condición nutrimental normal, con una concentración promedio de 0.31%, y el 12% restante altos contenidos, con una media de 0.42% de Mg en el follaje. En el municipio de Namiquipa se observó que un 30% de los huertos tenía niveles de deficiencia de Mg (0.20%), el 55% presentó una concentración normal (0.31% Mg) y el 15% restante una alta concentración (0.38% de Mg en el follaje). En Bachiniva, el 5.4% de los huertos tuvo deficiencias, un 70.3% está en condiciones normales y un 24.3% tiene altos contenidos de Mg. Esto último normalmente se manifiesta como deficiencias de P, K y Ca, dependiendo del balance de nutrientes disponibles en el árbol. En el presente trabajo se observó esta situación sólo con P; 24% de los huertos tenía niveles deficitarios de este elemento. La concentración media de Mg en las tres clases fue de 0.23, 0.31 y 0.43% de Mg, respectivamente. En Cuauhtémoc también se presentaron las tres condiciones: el 10% de los huertos con deficiencias, el 72.5% con condiciones normales, y el 17.5% restante tiene exceso de este nutriente.

Fierro. Las concentraciones de este elemento, en general, fueron consideradas como las concentraciones normales de fierro en el follaje de manzano. En Bachiniva, el 100% de los huertos presentó esta condición. En los otros tres municipios los huertos tuvieron condiciones similares, el 95% normal con medias de 170, 170 y 195 ppm y un 5% con sobrefertilización de Fe, con medias de 654, 384 y 356 ppm en Cuauhtémoc, Guerrero y Namiquipa, respectivamente.

Manganeso. La concentración de este elemento se distribuyó en tres clases. La menor concentración se presentó en Guerrero, donde el 4.2% de los huertos tenía una concentración media de 23 partes por millón de Mn, lo cual indica que hay deficiencias de este nutriente. La deficiencia normalmente va acompañado de una clorosis entre las venas mayores, que empieza desde el margen de las hojas y que llega a producir necrosis intravenosa apareciendo principalmente en las hojas más viejas. El 70.8% de los huertos mostró concentraciones normales (88 ppm), en tanto que un 25% presentó altos contenidos de Mn con una serie de 383 ppm, los cuales normalmente van acompañados de un desorden fisiológico conocido como viruela, provocado por un exceso de Mn, y bajos contenidos de Ca.

En Cuauhtémoc, la situación fue similar, un 2.5% de los huertos presentó concentraciones de Mn asociadas con deficiencia, un 92.5% concentraciones normales y el 5.0% restante niveles altos de este elemento. Las medias para estas tres clases fueron de 25, 88 y 175 ppm de Mn en el follaje. En los otros dos municipios sólo se presentaron las clases normal y alta: en Bachiniva, 81 y 19%, con medias de 88 y 177 ppm de Mn y en Namiquipa 85% y 15%, con medias de 88 y 156 ppm de Mn, respectivamente.

Zinc. Las concentraciones de este elemento fueron, en general, adecuadas. Solamente en Cuauhtémoc y Guerrero, el 5% de los huertos mostró deficiencias, con una concentración media de 9 y 13 ppm, respectivamente. El síntoma inicial de deficiencias de Zn es una clorosis, intravenosa; en casos más severos las hojas más viejas pueden sufrir abscisión, dejando los brotes solamente con hojas en la parte terminal y el resto sin ellas.

Las medias en los huertos con concentraciones normales en estos dos municipios y Bachiniva y Namiquipa, fueron 108, 158, 108 y 108 ppm Zn.

Cobre. La concentración de este nutrimento fue la que presentó mayor variación. Los

huertos con niveles considerados deficientes fueron de un 35% en Namiquipa hasta un 60% en Cuauhtémoc. Las concentraciones medias de la clase deficiente fueron 2, 2.5, 2.5 y 2.5 ppm Cu en Cuauhtémoc, Guerrero, Bachíniva y Namiquipa, respectivamente. La deficiencia de Cu se manifiesta en la corteza del tronco y de las ramas más viejas, la cual adquiere una aspereza típica y se vuelve rasposa y agrietada. Esta condición visual, sin embargo, se manifestó solamente en Cuauhtémoc y Guerrero en un 5% de los huertos; por esta razón la situación nutrimental del Cu debe estudiarse más en detalle. Es posible que los niveles críticos determinados sean demasiado elevados para la condición de esta zona.

El rango de huertos con concentración normal de Cu fue desde 37.5 hasta 60.0%. La media de esta clase fue de 8.5 ppm Cu en todos los municipios. Huertos con altas concentraciones de Cu se observaron en Cuauhtémoc (2.5%), Bachíniva (5.4%) y Namiquipa (5.0%) con medidas de 14, 14.5 13.5 ppm de Cu, respectivamente.

Boro. Este fue uno de los elementos que mostró menos divergencias. En Cuauhtémoc, Guerrero y Bachíniva el 100% de los huertos presentó una concentración normal. Las medias fueron de 40 ppm de B en el follaje en los tres municipios.

En Namiquipa el 90% de los huertos presentó una concentración normal de B y el 10% restante exhibió altos contenidos de este elemento en el follaje, con una media de 68 ppm B.

Paralelamente al estudio nutrimental reportado se comparó la concentración de nutrientes en el follaje de la variedad Golden Delicious con la de los cultivares Starkrimson, Red Delicious, Rome Beauty, Arkansas Black y Winesap de un mismo huerto en los cuatro municipios sin que se haya registrado ninguna tendencia clara.

CONCLUSIONES

El principal problema nutrimental en los huertos de manzano de los municipios de Guerrero, Cuauhtémoc, Bachíniva y Namiquipa es la deficiencia de cobre (2.4 ppm Cu) en 47% de los huertos estudiados, un 50% mostró condiciones normales (8.5 ppm Cu) y el 3% restante altos contenidos (14 ppm Cu). El 23% de todos los huertos estudiados reportó deficiencias de magnesio (0.21% Mg), un 61% exhibió condiciones normales (0.31% Mg) y el 17% restante altos contenidos (0.42% Mg). En el caso particular de Guerrero el 46% de los huertos mostró deficiencias de Mg (0.18% Mg) y un 38% altos contenidos de fósforo (0.45% P), sospechándose un antagonismo entre estos dos nutrientes. El 63% de los huertos de Cuauhtémoc, es sobrefertilizado con N (3.1 % N). El 30% de los huertos de Namiquipa registró deficiencias de Mg (0.20% Mg) y un 45% altos contenidos de potasio (2.14% K), que hace presentar la existencia de un antagonismo entre estos dos elementos. El 24% de los huertos de Bachíniva, mostró deficiencias de P (0.12% P). No se observaron variaciones entre cultivares en cuanto al comportamiento nutrimental.

LITERATURA CITADA

AMADO A., J. 1985. Actualización del Marco de Referencia sobre fertilización y distribución del agua de riego en la Sierra de Chihuahua. Informe de Investigación. CAESICH-CIAN-INIFAP (sin publicar).

BREMNER J., M. 1965. Total nitrógeno. In: C.A. Black (Ed.) Methods of soil analysis. Part. 2. Amer. Soc. of Agron. Madison Wisconsin. pp 1149-1178.

CHAPMAN D., H. y P.F. PRATT. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. Dept. Soil Science and Agricultural Engineering. University of California. Riverside. California 92502 USA.

CHAPMAN D., H. y P.F. PRATT. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Traducción al español del Ing. Agr. Agustín Contin. 1a. edición. Edit. Trillas, S.A. México, D.F. pp 370-373.

ENRIQUEZ R., S. y L. BAZAN G. 1976. Curva de variación de nueve nutrientes en el manzano en Canatlán Durango y en la Sierra de Chihuahua. Informe de Investigación. CAELALA-CIANE-INIA-SARH (Sin publicar).

OLSEN S., R.V. COLE, F.S. WATANABE, y C.A. DEAN. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. Agr. Circ. 939-943.

ROMO V., R. y D. DIAZ M. 1985a Dinámica foliar nutricional del manzano, cultivar "Anna", bajo condiciones de clima cálido. Resúmenes de ponencias 1er. Congreso Nacional de la SOMECH. Hermosillo, Sonora.

ROMO V., R. y D. DIAZ M. 1985b. Diferencia nutricional foliar durante la temporada entre dos cultivares y dos portainjertos de manzano. Resúmenes de ponencias, 1er. Congreso Nacional de la SOMECH. Hermosillo, Sonora, México. 108 p.

SALAZAR S., E. y V.M. GUERRERO P. 1978. Determinación del estado nutricional de los principales cultivares de manzano en el noroeste del estado de Chihuahua. Informe de Investigación. CAESICH-CIAN-INIA-SARH. (sin publicar).

SHEAR B., C. y M. FAUST. 1980. Nutritional ranges in deciduous tree fruit and nuts. Horticultural Reviews. No. 2 pp: 142-163.

URIU, K. 1983. Nutrición del manzano. I. Ciclo Internacional de Conferencias sobre el cultivo del manzano. Saltillo, Coah. México.

VALDEZ C., E., J. CHAN C. y H. PEREZ B. 1986. Diagnóstico foliar de N, K, Mg, Fe, y Zn por DRIS para duraznero criollo de riego en Zacatecas. Resúmenes del XI Congreso Nacional de Fitogenética. Universidad de Guadalajara, México. 150 p.

**MECANISMOS DE ADAPTACION DE LAS PLANTAS A LA DEFICIENCIA EN HIERRO:
MODALIDADES ADAPTATIVAS DE *Dittrichia viscosa* W. GREUTER A LA
CLOROSIS FERRICA**

Iron Stress Response of Plants: Adaptative Modalities of *Dittrichia viscosa* W. Greuter to Lime Induced Chlorosis.

Jorge Baus Picard †

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

Palabras clave: Respuesta al estrés de hierro, Plantas hierro-eficientes e hierro-ineficientes, Raíces laterales, Capacidad reductora, Hierro fisiológicamente activo.

Index words: Fe-stress response, Iron efficient and iron inefficient plants, Lateral roots, Reducing capacity, Physiologically active iron.

RESUMEN

Dittrichia viscosa tiene diferentes mecanismos para resistir la deficiencia de hierro. Como las plantas hierro-eficientes, al ser sometidas a una deficiencia de hierro, acidifica el medio de cultivo y ramifica su sistema radicular. Con base en la capacidad reductora de la raíz, esta planta puede ser considerada como hierro-eficiente. Aunado a lo anterior, el genotipo originario de un suelo calcáreo presenta una capacidad reductora de la raíz mayor que el genotipo nativo de un suelo ácido. Esta diferencia en capacidad reductora de la raíz puede ser de origen adaptativo. Finalmente, su requerimiento de hierro fisiológicamente activo (Fe II) es excepcionalmente bajo con respecto al detectado en otras especies.

La versión final de este artículo fue corregida y revisada por el Dr. Gabriel Alcántar González.

SUMMARY

Dittrichia viscosa seems to have different mechanisms to resist iron deficiency in calcareous habitats. Like iron efficient plants this plant acidifies the growth medium and ramifies its root system under iron stress. The reducing capacity of its roots is significantly higher than that of iron inefficient plants. The genotype from a calcareous habitat shows a greater capacity to reduce iron than the genotype from an acidic biotope; this last difference seems to be adaptative. Furthermore, its requirement for physiologically active iron is exceptionally low as compared to that of other species.

INTRODUCCION

La deficiencia en hierro es una de las principales limitantes nutricionales en los suelos calcáreos. De acuerdo con Seatz y Peterson (1964) los suelos calcáreos se forman principalmente en climas áridos y semiáridos, a partir de rocas sedimentarias más o menos ricas (5 a 70%) en carbonato de calcio. La alcalinidad de estos suelos se debe a la hidrólisis del carbonato de calcio, el cual se puede encontrar tanto en la fracción arenosa como en la de limos o arcillas. Sin embargo, su influencia sobre la nutrición de las

plantas o sobre las características químicas de los suelos, es más pronunciada a medida que la fracción de carbonato es más fina (Drouineau, 1963).

De acuerdo con Lindsay (1979), el pH de la mayoría de los suelos calcáreos se sitúa entre 7.3 y 8.3, lo anterior se debe al equilibrio químico que se establece entre las diferentes fases del sistema $\text{CaCO}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ del suelo. Este rango de pH provoca, según el mismo autor, que la suma de las tres principales especies de hierro presentes en este tipo de suelos Fe(OH)^+_2 , Fe(OH)°_3 y Fe(OH)^-_4 no exceda la concentración de 1×10^{-10} M. En relación a lo anterior tenemos, según Lindsay y Schwab (1982), que el Fe(OH)^+_2 es la especie predominante en el suelo cuando el pH es inferior a 7.4, en tanto que el Fe(OH)°_3 predomina entre 7.0 y 8.0 y que cuando el pH es superior a 8.0, la forma de hierro prevaeciente es el Fe(OH)^-_4 . Aunado a la baja disponibilidad de hierro, las plantas en ese tipo de suelos deben tolerar un pH elevado, un exceso de calcio, bicarbonato y carbonatos, así como una baja disponibilidad de fósforo, zinc y manganeso.

La adaptación de las plantas a la baja disponibilidad del hierro en dichos medios, varía notablemente entre especies al igual que en el seno de las variedades o poblaciones. Las plantas calcifugas, por ejemplo, cuando crecen en suelos calcáreos, presentan problemas nutricionales del género de la clorosis férrica (Mengel y Kirkby, 1978). Duchaufour (1952) señala que *Calluna vulgaris*, *Erica cinerea* y *Deschampsia flexuosa*, así como otras especies calcifugas toleran mal o "evitan" al carbonato activo de los suelos. Brown y Jones (1976), así como Olsen y Brown (1980), indican que en el seno de las especies *Lycopersicon esculentum*, *Glycine max*, *Zea mays*, *Sorghum bicolor* y *Avena bysanthia*, existen variedades hierro-eficientes, las cuales desarrollan bien en suelos calcáreos y variedades no eficientes que muestran síntomas de clorosis férrica en dichos suelos.

Por lo que toca a la resistencia a la clorosis férrica, las plantas hierro

eficientes han desarrollado diferentes mecanismos de orden morfológico o fisiológico para adaptarse a una situación de deficiencia en hierro. Cabe aclarar, que dichos mecanismos no se presentan por lo general en forma aislada, sino que son una serie de reacciones, la mayoría de las veces interrelacionadas y simultáneas.

Desde un punto de vista morfológico, las plantas hierro-eficientes muestran un aumento en la cantidad de las raíces laterales al ser sometidas a una deficiencia en hierro (Brown y Ambler, 1973; Hutchinson, 1967; Olsen y Brown, 1980; Römheld y Marschner, 1981). Kramer *et al.* (1980) y Römheld y Marschner (1983) señalan también que el meristemo apical de las variedades eficientes se engrosa y que en un periodo que varía entre 24 y 48 h después del inicio de los síntomas de deficiencia en hierro, la mayoría de las células periféricas se transforma en células llamadas "transfer". De acuerdo con Pate y Gunning (1972), las células "transfer" son células en donde la pared celular presenta numerosas invaginaciones que hacen que la superficie del plasmalema y las posibilidades de absorción aumenten considerablemente.

Por otra parte, los cambios fisiológicos comúnmente observados en las plantas hierro-eficientes son: (a) acidificación del medio (Brown y Ambler, 1973; Brown y Chaney, 1971; Kashirad y Marschner, 1974; Nagarajah y Ulrich, 1966; Olsen y Brown, 1980; Römheld y Marschner, 1981; Venkat-Raju *et al.*, 1972); (b) aumento de la capacidad reductora de las raíces (Bienfait *et al.*, 1983; Brown y Ambler, 1973; Olsen y Brown, 1980; Römheld *et al.*, 1982; Römheld y Marschner, 1983); (c) aumento de los ácidos orgánicos en las raíces (Landsberg, 1981; Venkat-Raju *et al.*, 1972); y (d) aumento de los compuestos fenólicos en las raíces (Olsen *et al.*, 1981; Römheld y Marschner, 1981; 1983).

La aptitud para acidificar el medio como consecuencia de una deficiencia en hierro, ha sido observada generalmente en las dicotiledóneas. Las monocotiledóneas (gramíneas), aun cuando sean hierro-

eficientes, rara vez acidifican el medio después de un estrés férrico (Olsen y Brown, 1980). En relación a lo anterior, Kramer *et al.* (1980) señalan que la formación de células "transfer" no ha podido ser observada hasta la fecha en las especies monocotiledóneas. No obstante, Wacquant (1977) concluyó, después de haber comparado la selectividad por el hierro a nivel radicular en 33 especies, que las gramíneas (monocotiledóneas) fueron las que presentaron mayor afinidad por dicho elemento.

La importancia de la acidificación del medio radica, por un lado, en que la solubilización de los compuestos férricos se ve favorecida por el descenso del pH. Aunado a lo anterior, la disminución del pH facilita la transformación del Fe^{3+} a Fe^{2+} , es decir, disminuye el potencial redox (Eh) necesario para que se realice la reducción, lo cual a su vez incrementa la disolución de los compuestos férricos (Cuadro 1).

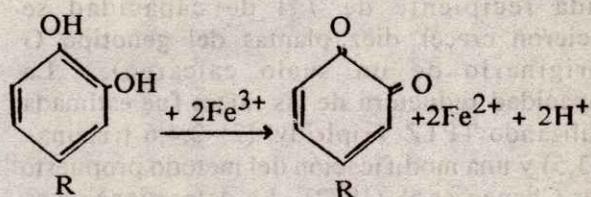
Cuadro 1. Efecto del pH sobre la solubilidad del $Fe(OH)_3$; (a) bajo condiciones de oxidación (Fe^{3+}), (b) bajo condiciones de reducción ($pe + pH = 10$)¹⁾ (Fe^{2+}) y (c) valores de Eh necesarios para que la reducción del Fe^{3+} se lleve a cabo a los valores de pH indicado.

	pH	
	5.0	8.0
a) Fe^{3+} (ox), mol l ⁻¹	$10^{-6.5}$	$10^{-21.3}$
b) Fe^{2+} (red), mol l ⁻¹	$10^{-4.26}$	$10^{-10.26}$
c) Eh ($Fe^{+3} - Fe^{+2}$), mV	+ 297.22	+ 119.96

Cuando: $pe + pH = 10$
 Temperatura = 25°C

1) $pe + pH = 10$ equivale a una tensión de oxígeno en el suelo de $10^{-43.12}$ Atm y puede ser considerada como una situación de reducción intermedia (Lindsay, 1979).

Venkat-Raju *et al.* (1972) señalan que la acidificación del medio es producida por la excreción de protones (H^+), la cual a su vez está asociada con un posible desequilibrio del balance de absorción entre cationes y aniones, ocasionado por el aumento en la cantidad de ácidos orgánicos dentro de la planta. Esta interpretación no es compartida por Olsen *et al.* (1981) ni por Landsberg (1981); este último menciona que la expulsión de protones está probablemente relacionada con las auxinas. De acuerdo con Landsberg, las observaciones de que la decapitación de la planta o la aplicación foliar de TIBA¹⁾ (retardador de la actividad de las auxinas) inhiba la expulsión de protones, constituyen dos argumentos en favor de la participación de las auxinas en el proceso de acidificación. El aumento de la capacidad reductora de las raíces ha sido explicado por la excreción de fenoles. Olsen y Brown (1980) proponen que la reducción del Fe^{3+} es realizada por el ácido caféico (fenol) excretado por las raíces de acuerdo con la reacción siguiente:



Acido caféico

Römheld y Marschner (1983), así como Bienfait *et al.* (1982; 1983), se inclinan a pensar que la capacidad reductora de las raíces se debe más bien a la participación de un transportador de electrones a nivel de la membrana y no a la acción de los fenoles. El principal argumento esgrimido en contra de los fenoles es, que la cantidad de dichos compuestos excretados por la raíz es sumamente baja con respecto a las cantidades de hierro reducido. No obstante, Olsen *et al.* (1981) demostraron que la adición del ácido p-cumárico (precursor del ácido caféico) a la solución corregía la deficiencia de hierro en un genotipo de jitomate hierro-ineficiente.

1) TIBA = ácido 2, 3, 5 - Triyodobenzóico

MATERIALES Y METODOS

Dittrichia viscosa W. Greuter es una planta ruderal circunmediterránea que se desarrolla indistintamente en los suelos ácidos, calcáreos y sódicos de la región. Dicha planta es un arbusto perenne de 40 a 130 cm de altura perteneciente a la familia de las compuestas. De acuerdo con Wacquant y Bouab (1983), la planta no presenta ningún síntoma de deficiencia de hierro cuando se le hace crecer en suelos sumamente calcáreos. Lo anterior condujo a realizar diferentes experimentos para evidenciar los mecanismos que permiten a D. viscosa sobrevivir en ambientes extremadamente calcáreos. Los aspectos metodológicos utilizados en los diferentes experimentos, presentados a continuación, están descritos con detalle en Baus (1986).

El seguimiento de la evolución del pH fue realizado en una solución nutritiva (Cuadro 2) con y sin hierro, aireada constantemente. En cada recipiente de 7 l de capacidad se hicieron crecer diez plantas del genotipo G (originario de un suelo calcáreo). La capacidad reductora de las raíces fue estimada utilizando TPTZ Tripiridyl (2)-2,4,6 triazina-1,3,5) y una modificación del método propuesto por Chaney et al. (1972). La determinación se

Cuadro 2. Composición química (mM) de la solución nutritiva con y sin hierro. Macro-elementos (Landsberg; 1981), oligoelementos (Bienfait et al.; 1983).

	NO_3^-	$\text{SO}_4^{=}$	H_2PO_4^-	mM
Ca^{2+}	4.0			4.0
K^+		1.50	0.50	2.0
Mg^{2+}		0.65		0.65
Σ	4.0	2.15	0.50	6.65

Mn = 2, B = 45, Cu = 0.3, Mo = 0.3, Zn = 0.7 y Fe = 35.0 ó 0.0 micromoles por litro, pH inicial 5.3.

Cuadro 3. Composición (mM) química de la solución nutritiva.

	NO_3^-	$\text{SO}_4^{=}$	H_2PO_4^-	OH	mM
Ca^{2+}	1.0				1.0
K^+	0.4		0.2		0.6
Mg^{2+}		0.4			0.4
Na^+				0.032	0.032
Σ	1.4	0.4	0.2	0.032	2.23

Oligoelementos ver Cuadro 2.

hizo empleando las raicillas seminales de aproximadamente cinco días de edad de las siguientes especies: Vicia faba, Glycine max (cv Kinsoy y Hawkeye), Helianthus annuus (cv Sobrid), Lupinus luteus, así como las raíces adventicias de la misma edad de Dittrichia viscosa genotipo M y G, nativos de un suelo ácido y calcáreo, respectivamente. La determinación del hierro (II) se realizó mediante la técnica propuesta por Kaytal y Sharma (1980). La extracción y cuantificación se hicieron por separado en brotes de cuatro plantas de D. viscosa que habían crecido respectivamente bajo condiciones de invernadero en un suelo ácido (pH 5.0), en un suelo calcáreo (pH 8.2) y en una solución nutritiva (Cuadro 3).

RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo con nuestros resultados Dittrichia viscosa puede considerarse como una planta hierro-eficiente. En efecto, cuando dicha especie crece en una solución nutritiva (Cuadro 2) en presencia y ausencia de hierro, la planta es capaz de acidificar la solución como respuesta a la deficiencia de hierro (Figura 1). En la Figura 1 se puede apreciar que el lote de plantas que no fue sometido a la deficiencia, alcaliniza progresivamente la solución nutritiva. Esta alcalinización es normal en las soluciones nutritivas en donde

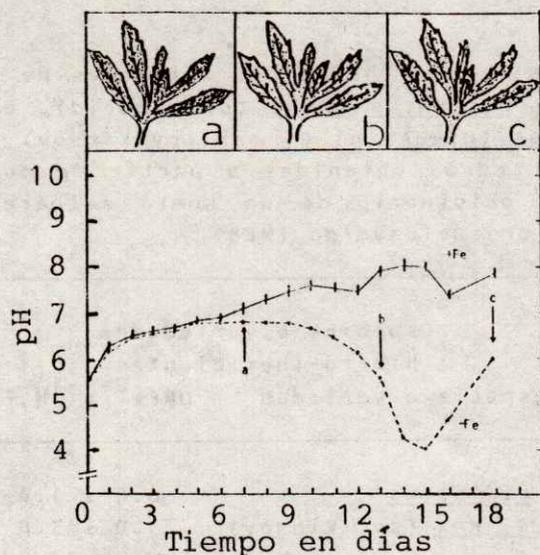


Figura 1. Evolución del pH en la solución nutritiva inducida por *Dittrichia viscosa*, en presencia (Fe^{3+}) y ausencia ($-\text{Fe}^{3+}$) de hierro. (a) inicio de la clorosis, (b) clorosis máxima, (c) inicio del reverdecimiento.

todo el nitrógeno es suministrado a las plantas como NO_3^- (Cuadro 2) y corresponde a la alcalinización fisiológica descrita entre otros por Mengel (1974). Por otro lado, el lote de plantas al que no se le suministró hierro, presentó un comportamiento diferente. Para la solución sin hierro la evolución del pH durante los primeros siete días es muy parecida a la que se observa en la solución que contiene hierro. Sin embargo, a partir del octavo día se puede observar que el pH de la solución disminuye, primero lentamente y después de manera más rápida entre los días 11 y 15. El descenso del pH alcanza un valor de 4.0 (quince días después del inicio del experimento) para después empezar a subir hacia un pH de 6.0 dos días más tarde.

En la parte superior de la Figura 1 se aprecia que los síntomas de clorosis comenzaron a aparecer hacia el séptimo día (Figura 1a), alcanzando su nivel máximo seis días después (Figura 1b). No obstante, hacia el día dieciocho la planta presentó un reverdecimiento (Figura 1c). Este reverdecimiento se observó dos días después de que el pH alcanzó su punto mínimo. Este fenómeno ha sido ya descrito con anterioridad

por Olsen y Brown (1980) y atribuido a la removilización del hierro, probablemente precipitado en las paredes celulares de la raíz durante la estancia de las plantas en la solución completa, antes de la privación del hierro (inicio del tratamiento). Paralelamente al proceso de acidificación del medio, en la Figura 2 se puede observar que las raíces que crecieron en situación de deficiencia mostraron, con respecto a las que se desarrollaron en la solución completa, una mayor proliferación de las raíces secundarias. Esta ramificación de las raíces es una reacción de las plantas hierro-eficientes y ha sido descrita con anterioridad por Brown y Ambler (1973), Olsen y Brown (1980), Römheld y Marschner (1981). Dicha ramificación aparece cuando las raíces se encuentran en una situación de deficiencia en hierro y se interpreta como una tentativa de la planta para aumentar la superficie de absorción.

Con respecto a la capacidad reductora de las raíces tenemos en el Cuadro 4, que las plantas consideradas hierro-eficientes *Vicia faba*, *Helianthus annuus* (Sobrid) y *Glycine max* (Hawkeye) tienen capacidades de reducción superiores que las plantas hierro-ineficientes, *Lupinus luteus* o *Glycine max* (Kinsoy). Los genotipos de *D. viscosa*

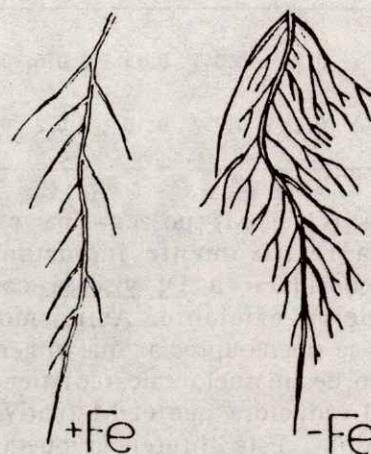


Figura 2. Diferencias en el grado de ramificación de las raíces en relación con la presencia (+Fe) y ausencia (-Fe) de hierro en la solución nutritiva.

Cuadro 4. Cantidad de hierro reducido ($\mu\text{M g}^{-1}$ M.F.) por las raíces seminales de 5 días de edad de: a) Vicia faba, (c) Heliantus annus (cv. Sobrid), c) Glycine max (cv. Hawkeye), f) Lupinus luteus, g) G. max (cv Kinsoy) y por las raíces adventicias de igual edad, obtenidas a partir de dos clones de D. viscosa, b) genotipo originario de un suelo calcáreo (G30), y d) genotipo proveniente de un suelo ácido (M28).

Especies o variedades hierro-eficientes		Especies o variedades hierro-ineficientes	
Especie o variedad	$\mu\text{MFe}^{2+} \text{g}^{-1}$ M.F.	Especie o variedad	$\mu\text{MFe}^{2+} \text{g}^{-1}$ M.F.
a) <u>V. faba</u>	82.5 ± 14.0	f) <u>L. luteus</u>	6.0 ± 1.0
b) <u>D. viscosa</u> (G30)	27.0 ± 9.5	g) <u>G. Max</u> (cv. Kinsoy)	5.0 ± 3.0
c) <u>H. annus</u> (cv. Sobrid)	23.5 ± 13.0		
d) <u>D. viscosa</u> (M28)	18.5 ± 7.5		
e) <u>G. max</u> (cv. Hawkeye)	9.3 ± 6.0		

Cuadro 5. Variación de la concentración de Fe^{2+} ($\mu\text{M g}^{-1}$ M.F.) en los brotes de D. viscosa según el medio de cultivo (suelos o solución nutritiva) y su origen edáfico. M genotipo originario de un suelo ácido y G genotipo nativo de un suelo calcáreo.

Origen del genotipo	Suelo ácido pH = 5.0	Suelo calcáreo pH = 8.2	Solución nutritiva pH = 5.3
M (ácido)	0.24 ± 0.043	0.13 ± 0.016	0.23 ± 0.006
G (calcáreo)	0.22 ± 0.057	0.18 ± 0.022	0.25 ± 0.001

estudiados (G y M) poseen una capacidad reductora relativamente importante, que permite considerar a D. viscosa como una planta hierro-eficiente. Asimismo, en el Cuadro 4 se puede apreciar que el genotipo G (originario de un suelo calcáreo) tiene mayor capacidad reductora que el M (nativo de un suelo ácido). Esta diferencia puede ser de carácter adaptativo, dado que el genotipo G se ve confrontado a serias limitaciones en el abastecimiento de hierro debido al carácter calcáreo de su biotopo de origen. Además, dichas diferencias pueden explicar el hecho

Cuadro 6. Comparación de la cantidad de Fe^{2+} (ppm) extraído por la O-fenantrolina de las hojas de Dittrichia viscosa, Oryza sativa y Citrus aurantium.

Especie	Hoja		Referencia
	Hoja verde	clorótica	
<u>O. sativa</u>	46.0	28.0	Kaytai y Sharma (1980)
<u>C. aurantium</u>	41.4	26.0	Hamze y Wacquant (1980)
<u>D. viscosa</u>	7.5 y 13.4	--	---

(Cuadro 5), que el genotipo G acumule significativamente más hierro (II) en sus hojas que el genotipo M, cuando ambos crecen en un suelo calcáreo. En el Cuadro 6 podemos observar que la cantidad de hierro (II) (fisiológicamente activo), extraída de los brotes de M y G, fue superior cuando éstos se desarrollaron en un suelo ácido (pH 5.0) o en la solución nutritiva (Cuadro 2), que la obtenida cuando ambos genotipos se desarrollaron en un suelo calcáreo (pH 8.2). Esta diferencia se explica por la distinta disponibilidad del hierro en dichos medios.

Por otro lado, en el suelo calcáreo el genotipo M, como ya se dijo anteriormente, acumuló una cantidad menor de hierro (II) en sus hojas que el genotipo G. Esta diferencia probablemente esté relacionada con la menor capacidad reductora de M con respecto a G descrita en el Cuadro 4. En el Cuadro 6 se puede observar que la concentración de hierro (II) (ppm) extraída de los brotes de D. viscosa (Cuadro 5) es sumamente baja con respecto a la que se obtiene en otras especies usando el mismo método de extracción. En el Cuadro 6 se muestra que D. viscosa tiene una cantidad de hierro (II) menor que Oryza sativa o Citrus aurantium. Dicha cantidad es 80 a 85% inferior con respecto a las hojas verdes de O. sativa o de C. aurantium y entre 50 a 60% inferior con respecto a las hojas cloróticas de dichas especies.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio confirman que Dittrichia viscosa puede clasificarse como una planta Fe-eficiente, ya que, al desarrollarse en condiciones de deficiencia de hierro, tanto en un suelo calcáreo como en solución nutritiva, presenta los principales mecanismos de respuesta a dicha deficiencia; acidificación del medio, aumento en el crecimiento radical, incremento de la capacidad reductora de las raíces y menor requerimiento metabólico de hierro fisiológicamente activo (Fe II). Además, al compararse con otras especies, presenta características adaptativas superiores que le permiten progresar con ventaja, en relación a las otras, en suelos o medios de cultivo, en donde el hierro podría ser el principal factor limitante desde el punto de vista nutricional.

LITERATURA CITADA

BAUS P., J. 1986. L'accumulation de cations (K, Ca, Mg, Na et Fe) et l'adaptation de Dittrichia viscosa W. Greuter aux sols acides et calcaires. Thèse es Sci. Univ. Montpellier II.

BIENFAIT, H.F., A.M. BLIEK y R. BINO. 1982. Different regulators on ferric reduction and acidification of the medium by roots of Fe-stressed plants in a rhizostat. J. Plant Nut. 5: 447-450.

BIENFAIT, H.F., R.J. BINO, A.M. BLIEK, J.F. DUIVENVOORDEN y J.M. FONTAINE. 1983. Characterization of ferric reducing activity in roots of Fe-deficient Phaseolus vulgaris. Physiol. Plant. 52: 196-202.

BROWN, J.C. y R.L. CHANEY. 1971. Effect of iron on the transport of citrate in the xylem of soybeans and tomatoes. Plant Physiol. 47: 836-840.

BROWN, J.C. y J.E. AMBLER. 1973. Reductants released by roots of Fe-deficient soybeans. Agron. J. 65: 311-314.

BROWN, J.C. y W.E. JONES. 1976. A technique to determine Fe-efficiency in plants. Soil Sci. Soc. Amer. J. 40: 398-405.

CHANEY, R.L., J.C. BROWN. y L.O. TIFFIN. 1972. Obligatory reduction of ferric chelates in iron uptake by soybeans. Plant Physiol. 50: 208-213.

DROUINEAU, G. 1963. La chlorose calcaire. Bull. Soc. Fr. Physiol. Veg. 9: (4).

DUCHAUFOR, P. 1952. Les espèces forestières calcicoles et calcifuges. Rev. Forest. Fr. 5: 301-305.

HAMZE, M. y J.P. WACQUANT. 1984. Chlorose des agrumes en sol calcaire et transport d'ion minéraux. Colloque de l'Association Internationale pour l'optimisation de la nutrition des plantes. Montpellier 2, 8 septembre. Communication No. C-0902.

HUTCHINSON, T.C. 1967. Coralloid root systems in plants showing lime-induced chlorosis. Nature 214: 943-945.

KASHIRAD, A., y H. MARSCHNER. 1974. Iron nutrition of sunflower and corn plants in mono and mixed culture. *Plant and Soil* 41: 91-101.

KAYTAL, J.C. y B.D. SHARMA. 1980. A new technique of plant analysis to resolve chlorosis. *Plant and Soil* 55: 105-119.

KRAMER, D., V. ROEMHELD, E. LANDSBERG, y H. MARSCHNER. 1980. Induction of transfer cell formation by iron deficiency in the root epidermis of Helianthus annuus L. *Planta* 147: 335-339.

LANDSBERG, E.C. 1981. Organic acid synthesis and release of hydrogen ions in response to Fe-deficiency stress of mono and dicotyledonous plants. *J. Plant Nutr.* 3: 579-591.

LINDSAY, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons. New York.

LINDSAY, E.L., y A.P. SCHWAB. 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *J. Plant Nutr.* 5: 821-840.

MENGEL, K. 1974. Plant ionic states 63-81. In: *The plant root and its environment.* Ed. CARSON (E.W.) University Press of Virginia, Charlottesville, U.S.A.

MENGEL, K., y E.A. KIRKBY. 1978. Principles of plant nutrition. International Potsh Institute Worblaufen. Eern, Switzerland.

NAGARAJAH, S. y A. ULRICH. 1966. Iron nutrition of the sugar beet plant in relation to growth, mineral balance and riboflavin formation. *Soil Sci.* 102:399-407.

OLSEN, R.A. y J.C. BROWN. 1980. Factors related to iron uptake by dicotyledonous and monocotyledonous plants. I. pH and reductant. *J. Plant Nutr.* 2: 629-645.

OLSEN, R.A., J.H. BENNETT, D. BLUME y J.C. BROWN. 1981. Chemical aspects of the Fe-stress response mechanism in tomatoes. *J. Plant Nutr.* 3: 905-921.

PATE, J.J. y E.J. GUNNING. 1972. Transfer cells. *Ann. Rev. Plant. Physiol* 23: 173-196.

ROEMHELD, V. y H. MARSCHNER. 1981. Iron deficiency stress induced morphological and physiological changes in root tips of sunflower (Helianthus annuus L). *Physiol. Plant.* 53: 354-360.

ROEMHELD, V., H. MARSCHNER y D. KRAMER. 1982. Responses to Fe-deficiency in roots of "Fe-efficient" plant species. *J. Plant Nutr.* 5: 489-498.

ROEMHELD, V. y H. MARSCHNER. 1983. Mechanism of iron uptake by peanut plants. I. Fe III reduction, chelate splitting, and release of phenolic. *Plant Physiol.* 71: 949-954.

SEATZ, L.F. y H.B. PETERSON. 1964. Acid, alkaline, saline and sodic soils. In: *Chemistry of soil.* 2nd ed. Ed. BEAR (F.E.) Reinhold Publishing Corporation. New York.

VENKAT-RAJU, K., H. MARSCHNER y V. ROEMHELD. 1972. Studies on the effect of iron supply on ion uptake, substrate pH and production and release of organic acids and riboflavin by sunflower plant. 2. *Pflanzenernhr. Bodenkd.* 132: 177-190.

WACQUANT, J.P. 1977. Recherches sur les propriétés l'absorption cationique des racines. (Rôle physiologique d'importance ecologique). Thèse es Sci. Univ. Montpellier II.

WACQUANT, J.P. y N. BOUAB. 1983. Nutritional differentiation within the species Dittrichia viscosa W. Greuter, between a population from a calcareous habitat and another from an acidic habitat. *Plant and Soil* 72: 297-303.

DINAMICA DEL NITROGENO EN PLANTAS DE SOYA

Dynamic of Nitrogen in Soybean Plants

J.L. Tirado Torres y G. Alcántar González

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230 Montecillo, México.

Palabras clave: Fijación de N_2 , Transporte de N, Asimilación de N, Nitratos.

Index words: N_2 fixation, N-transport, N-assimilation, Nitrates.

RESUMEN

Con el objeto de conocer la evolución de las principales formas de nitrógeno reducido, a través del ciclo de desarrollo de plantas de soya y ver su relación con la producción de plantas sometidas a diferentes condiciones de nutrición nitrogenada, se condujo un experimento en invernadero en cultivo de arena. A la aparición de la primera hoja trifoliada las plantas NIT (no inoculadas) se alimentaron con una solución que contenía N-mineral, $4 \text{ meq NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ más $2 \text{ meq NH}_4^+ \cdot \text{l}^{-1}$. Las plantas NITNOD (inoculadas) se abastecieron con la misma solución nutritiva y las plantas NOD (inoculadas) se desarrollaron exclusivamente a partir del N_2 fijado, en una solución carente de N-mineral. La acumulación de materia seca fue superior en las plantas NITNOD, en comparación con los otros dos tratamientos. La cantidad de ese N movilizado

es función del tratamiento. El nitrógeno fijado (ureídico) fue destinado principalmente a enriquecer los órganos en crecimiento y en particular los órganos generativos (vainas), mientras que el N-mineral fue preferencialmente utilizado para abastecer los órganos vegetativos (tallos y hojas). En las plantas noduladas, abastecidas además con N-mineral (NITNOD), la disminución de la masa de nódulos y de la actividad nitrogenasa fue acompañada de un decremento en la síntesis de ureidos, por lo que, bajo esas condiciones se vio favorecido el transporte de aminoácidos y nitratos.

SUMMARY

The main forms of reduced nitrogen and dry matter yield were evaluated in the tops of soybean plants grown hydroponically in a controlled environment under different conditions of nitrogen nutrition. When the first trifoliated leaf was expanding, NIT plants (non inoculated) were supplied with a nutrient solution containing $4 \text{ meq NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ and $2 \text{ meq NH}_4^+ \cdot \text{l}^{-1}$. NITNOD plants (inoculated) were supplied with the same nutrient solution. NOD plants (inoculated) were developed only from atmospheric N_2 in nutrient solution without mineral-N. Dry

matter accumulation was always highest in NITNOD plants when compared with other treatments. Total N in the tops could have originated from mineral N absorption or from symbiotic N_2 fixation. The amount of translocated N appears to be a function of the treatment. Fixed nitrogen (ureide) was translocated to the developing plant parts (meristematic tissue), mainly to reproductive organs. Mineral-N was preferentially supplied to vegetative organs (stems and leaves). In nodulated plants supplied with mineral-N (NITNOD), the reduction of nodules' fresh weight and nitrogenase activity was parallel with a decrease of the synthesis of ureides, and under these conditions transport of amines and nitrates was increased.

INTRODUCCION

Las leguminosas han ocupado desde hace mucho tiempo un lugar importante como fuente de proteínas en la alimentación humana. El crecimiento de la población y consecuentemente de la demanda de productos alimenticios, así como el aumento del precio de los fertilizantes químicos (sobre todo los nitrogenados), han incitado a los agrónomos a un regreso hacia una agricultura más "económica", proponiendo métodos de "fertilización racional", técnicas de restitución orgánica y una mejor utilización de la fijación biológica del nitrógeno atmosférico. El interés de estudiar una leguminosa como la soya no reside solamente en su gran valor nutricional (riqueza en proteínas), sino también porque ella dispone de dos vías de alimentación nitrogenada: la asimilación del nitrógeno mineral del suelo y la fijación del nitrógeno del aire.

Bajo condiciones naturales de cultivo, las leguminosas se desarrollan siempre en un medio que contiene nitrógeno mineral (nitrato y/o amonio) y además pueden beneficiarse simultáneamente de la fuente de nitrógeno gaseoso.

Los programas de mejoramiento genético en las leguminosas han sido enfocados

principalmente a aumentar la cantidad de las semillas, sin embargo, la producción de grano frecuentemente requiere de información detallada acerca de la distribución y removilización del nitrógeno a través de los órganos vegetativos y reproductivos de la planta, ya que estos factores pueden modificar el rendimiento de granos y el índice de cosecha del nitrógeno. En consecuencia, los estudios sobre la distribución del nitrógeno mineral proveniente del suelo y el nitrógeno derivado de la fijación simbiótica en leguminosas, permiten no solo la selección de las asociaciones simbióticas más eficientes, sino también determinar la época más conveniente para aplicar los fertilizantes nitrogenados (Pate y Herridge, 1978). Además es conveniente recordar que la movilización del nitrógeno puede variar entre distintos genotipos (Ruschel *et al.*, 1982) y también entre las cepas de *Rhizobium* (Morris y Weaver, 1983).

El análisis de la composición nitrogenada de la savia xilemática de varias leguminosas muestra que diferentes moléculas aseguran la función de transporte y almacenamiento del nitrógeno fijado (Matsumoto *et al.*, 1977). Estas varían según la especie, el estado vegetativo de la planta y sus condiciones de cultivo, y se caracterizan por tener una relación C/N y un peso molecular bajo. Cuatro moléculas son particularmente abundantes en la savia de leguminosas: las amidas, glutamina y asparagina, por una parte; los ureidos, alantoina y ácido alantóico, por otra parte.

Las dos categorías de compuestos (los ureidos y las amidas) coexisten en la savia de las leguminosas, pero en proporciones que varían con la especie: en el chícharo (una planta transportadora de amidas), el 10% del nitrógeno soluble del tallo se encuentra bajo forma ureídica y en la soya nodulada (planta transportadora de ureidos), una pequeña parte del nitrógeno fijado es transportado bajo forma de asparagina y glutamina (Streeter, 1979).

El nitrógeno ureídico representa cerca del 80% del nitrógeno de la savia xilemática de

las *Phaseolae* al momento en que la fijación es más intensa (floración, inicio de la formación de vainas). En ese momento, su acumulación en la planta es igualmente máxima, pero las proporciones varían según los órganos vegetales, siendo el tallo en donde se localizan las más grandes cantidades de ureidos (Matsumoto *et al.*, 1977).

El objetivo del presente estudio fue evaluar las principales formas del nitrógeno reducido en la parte aérea de plantas de soya, a través del ciclo de desarrollo, sometidas a diferentes condiciones de nutrición nitrogenada.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó bajo condiciones de invernadero a una temperatura media de 25°C y un fotoperíodo de 14 horas. Se utilizó como planta experimental la soya variedad Hodgson. Las semillas fueron desinfectadas en una solución de hipoclorito de calcio (30 g l⁻¹), posteriormente lavadas abundantemente con agua y puestas a 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 (Cuadro 1). Con el fin de renovarla se efectuaron lavados cada dos días con la misma solución nutritiva. Las semillas destinadas al tratamiento "nodulado" se inocularon después de la germinación, dejándolas en contacto, en una caja de Petri, (durante 10 minutos) con una suspensión de *Rhizobium japonicum* G3 (31 1b 138 USDA, USA). Las suspensiones de *Rhizobium* fueron preparadas en el medio ELM (extracto levadura manitol) (Vincent, 1971).

Se formaron tres lotes de semillas: uno sin inocular y dos inoculados con la cepa arriba indicada. Desde el inicio de la germinación hasta la aparición del primer trifolio, las plantas fueron regadas diariamente con la solución nutritiva sin nitrógeno (Cuadro 1) complementada con KNO₃ 1mM. Sin este aporte

inicial de nitrógeno, las plantas difícilmente podrían haber tenido un crecimiento adecuado.

A la aparición del primer trifolio se aplicaron tres tratamientos:

NIT: Plantas de soya sin inocular, regadas diariamente con una solución nutritiva que contiene nitrógeno, 4 meq l⁻¹ de NO₃⁻ más 2 meq l⁻¹ de NH₄⁺ (Cuadro 1).

NITNOD: Plantas de soya inoculadas, regadas diariamente con una solución nutritiva que contiene nitrógeno en la misma proporción que las plantas NIT.

NOD: Plantas de soya inoculadas, regadas diariamente con una solución nutritiva sin nitrógeno (Cuadro 1).

Se llevaron a cabo muestreos semanales a partir de la aparición del primer trifolio.

Cuadro 1. Composición de las soluciones nutritivas utilizadas.

Sal	mM	
	Con nitrógeno	Sin nitrógeno
KNO ₃	3.0	---
Ca(NO ₃) ₂	0.5	---
NH ₄ Cl	2.0	---
KH ₂ PO ₄	2.4	---
MgSO ₄	0.6	0.6
K ₂ HPO ₄	---	2.4
CaCl ₂	---	0.5
K ₂ SO ₄	---	1.0
		mg l ⁻¹
H ₃ BO ₃		2,000
MnSO ₄ ·H ₂ O		1,800
ZnSO ₄ ·7H ₂ O		0,200
CuSO ₄		0,080
NaMoO ₄ ·2H ₂ O		0,035
Fe-Versenato		16,600

Los diferentes órganos se muestrearon separadamente al medio día. Las hojas de un mismo tratamiento se mezclaron para formar muestras de 0.5 g ó 1 g de materia fresca. Las raíces sin nódulos y los tallos fueron cortados en pequeños fragmentos. Las muestras destinadas al análisis de proteínas, aminoácidos y ureidos se conservaron en nitrógeno líquido hasta su determinación y aquellas destinadas a la determinación del nitrógeno total, se secaron en frascos de vidrio durante 48 horas a 70°C.

El material vegetal seco se mineralizó en H_2SO_4 concentrado y el nitrógeno mineralizado se determinó por el método del 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.

Las proteínas se determinaron después de precipitar 1 ml de extracto vegetal (proveniente de la molienda de un gramo de material vegetal en 10 ml de la solución amortiguadora de fosfato de potasio 0.1M, pH 7.4) con 1 ml de ácido tricloracético al 20%, durante una noche a 4°C. El precipitado es resuspendido con 1 ml de NaOH 1N y las proteínas solubles fueron cuantificadas por el método de Lowry *et al.* (1951). La curva de calibración se preparó a partir de una solución de suero de albúmina de bovino.

Los aminoácidos se determinaron utilizando 0.1 ml del sobrenadante de centrifugación, obtenido de la precipitación con ácido tricloracético (ver determinación de proteínas), por el método de la Ninhydrina de Yemm y Cocking (1955). La curva de calibración con glicina (0-5 microgramos de N) permitió expresar los resultados en microgramos de nitrógeno-amino.

Los ureidos fueron determinados por el método de Young y Conway (1942), en otra alícuota del mismo sobrenadante utilizado para la determinación de aminoácidos libres.

RESULTADOS Y DISCUSION

Materia Seca

La acumulación de materia seca en la parte aérea (hojas + tallos + vainas) en el transcurso del ciclo, fue siempre superior en las plantas noduladas que recibieron nitrógeno (NITNOD), que en las plantas no noduladas que recibieron nitrógeno (NIT), a pesar que el desarrollo del aparato foliar fue idéntico en los dos tratamientos (24 hojas por planta a los 98 días después de la siembra). En estos dos tratamientos la aparición de los trifolios presentó dos fases: una fase lenta, hasta el inicio de la floración, a los 56 días después de la siembra (Figura 1), que presentó un ritmo medio de un trifolio cada seis días, y una segunda fase hasta 98 días después de la siembra, que presentó un ritmo medio de un trifolio cada tres días y que corresponde al período donde la velocidad de acumulación de materia seca fue más rápida. Las plantas del tratamiento NOD acumularon menos materia seca

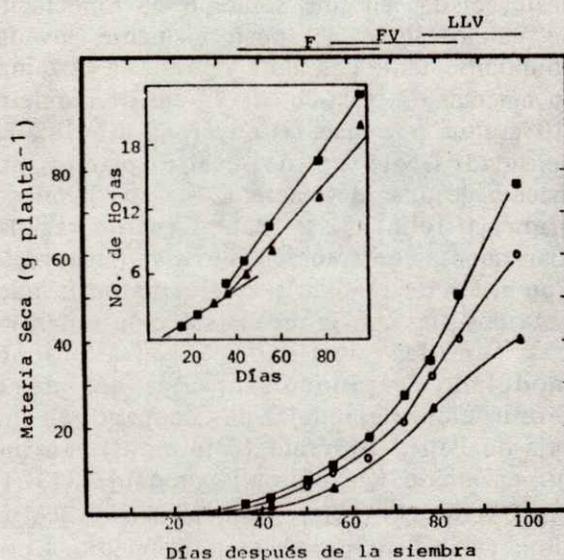


Figura 1. Materia seca de la parte aérea (hojas, tallos y vainas) de plantas de soja inoculadas y con aporte de nitrógeno mineral NITNOD (●); inoculadas privadas de nitrógeno mineral NOD (▲); no inoculadas abastecidas con nitrógeno mineral NIT (○). F = floración FV = formación de vainas, LLV = llenado de vainas.

que las de los tratamientos precedentes y se caracterizaron por un retraso en el desarrollo (21 trifolios por planta a los 98 días después de la siembra). Durante la primera fase de crecimiento, de la emergencia hasta el inicio de la floración, que corresponde al periodo de establecimiento de nódulos en las plantas inoculadas, las plantas NITNOD acumularon más materia seca en las hojas y tallos que las plantas NIT. Estas últimas acumularon más materia seca en las hojas y tallos que las plantas que no recibieron nitrógeno mineral (NOD).

Durante el mismo periodo de crecimiento, la materia seca de raíces fue más importante en plantas noduladas (NITNOD y NOD) que en plantas que recibieron exclusivamente nitrógeno mineral (NIT). El nitrógeno mineral tuvo entonces por efecto, favorecer el crecimiento de la parte aérea. Consecuentemente, una deficiencia de nitrógeno mineral disminuiría más el crecimiento de la parte aérea que el de las raíces, como ya ha sido señalado por diferentes investigadores en otras especies (Conejero *et al.*, 1986; Foehse y Junzk, 1983; Heins y Schenk, 1986).

Nitrógeno Total

La cantidad de nitrógeno movilizado, que fue absorbida y está presente en la parte aérea, puede provenir de la absorción del nitrógeno mineral y/o de la fijación simbiótica del nitrógeno del aire. La cantidad de ese nitrógeno movilizado dependió del tratamiento. La velocidad de acumulación del nitrógeno fue lenta al inicio del ciclo y aumentó durante la fase de floración-fructificación, siendo máxima al inicio del llenado del grano. La tasa de absorción fue poco modificada por la riqueza en nitrógeno del medio, pero no así la cantidad total absorbida (Figura 2).

La acumulación de nitrógeno total en la parte aérea evolucionó de la misma manera que la materia seca para los tres tratamientos. En el estado de grano verde (98 días después de la siembra), la acumulación de nitrógeno total en plantas NITNOD fue superior a

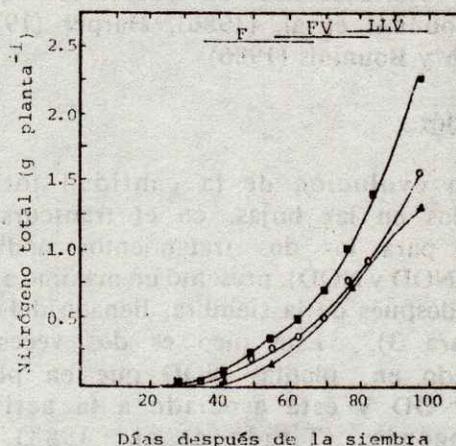


Figura 2. Nitrógeno total de la parte aérea (hojas + tallos + vainas) de plantas de soja inoculadas y con aporte de N-mineral NITNOD (■); inoculadas privadas de N-mineral NOD (▲); inoculadas abastecidas con N-mineral NIT (○). F = floración, FV = formación de vainas, LLV = llenado de vainas.

aquella de plantas NIT o NOD (Figura 2). Las plantas noduladas acumularon 74% más de nitrógeno en la parte aérea cuando éstas fueron cultivadas en presencia de nitrógeno mineral (NITNOD con respecto a NOD), mientras que las plantas cultivadas con nitrógeno mineral acumularon 45% más de nitrógeno total en la parte aérea cuando están noduladas (NITNOD con respecto a NIT). El efecto positivo del nitrógeno mineral sobre la acumulación del nitrógeno total en la parte aérea fue más marcado que aquel del nitrógeno fijado. Sin embargo, las hojas, tallos y vainas respondieron diferencialmente a la fuente nitrogenada (Tirado *et al.*, 1988), pues las vainas retienen el 50% del nitrógeno de la parte aérea en plantas NOD, 44% en plantas NITNOD y solamente el 35% en plantas NIT, indicando así que el nitrógeno fijado es de forma prioritaria destinado al enriquecimiento del grano y el nitrógeno mineral, principalmente al crecimiento y al desarrollo del sistema vegetativo. Sin embargo, las dos vías de asimilación del nitrógeno son necesarias para obtener un desarrollo máximo, ya sea en términos de materia seca o de nitrógeno total acumulado.

Estos resultados están de acuerdo con aquellos de Bouniols *et al.* (1986), Harper (1974) y Puech y Bouniols (1986).

Ureidos

La evolución de la cantidad total de ureidos en las hojas, en el transcurso del ciclo para los dos tratamientos nodulados (NITNOD y NOD), presentó un máximo a los 78 días después de la siembra, llenado del grano (Figura 3). Este pico es dos veces más elevado en plantas NOD que en plantas NITNOD y está asociado a la actividad nitrogenasa (Tirado *et al.*, 1988). La síntesis de ureidos a partir del nitrógeno fijado en plantas noduladas, es reducida por el aporte de nitrógeno mineral en leguminosas (McClure e Israel, 1979; Pate *et al.*, 1980), por una inhibición simultánea de la nodulación y de la actividad nitrogenasa (Tirado *et al.*, 1988).

Para las plantas no noduladas (NIT), la cantidad total de ureidos en las hojas es muy baja con respecto a plantas noduladas. La presencia de ureidos en las plantas no noduladas, podría provenir de la asimilación del amonio exógeno (Fujihara y Yamasaki, 1981;

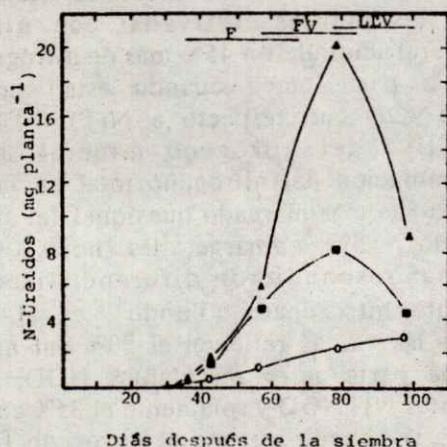


Figura 3. Efecto de la nutrición nitrogenada sobre el N-ureidos en las hojas de soja. Plantas inoculadas y con aporte de N-mineral NITNOD (■); inoculadas privadas de N-mineral NOD (▲); no inoculadas abastecidas con N-mineral NIT (○). F = floración, FV = formación de vainas, LLV = llenado de vainas.

McNeil y Laure, 1984; Ohyama y Kumazawa, 1979; Ohyama *et al.*, 1981; Zengbe *et al.*, 1984).

La producción de ureidos en plantas de soja está asociada muy estrechamente a la actividad nitrogenasa. En plantas *Phaseolae* el nitrógeno fijado es incorporado preferencialmente a las moléculas de ureidos, que constituyen los compuestos nitrogenados más abundantes en la savia de soja (Matsumoto *et al.*, 1977; Streeter, 1979) cuando las plantas tienen nódulos activos y fijan N_2 . La determinación de ureidos en los extractos de plantas o en la savia, podría constituir un criterio adecuado para estimar la capacidad fijadora de una asociación simbiótica en plantas *Phaseolae-Rhizobium*.

La disminución del contenido de ureidos en los tejidos de plantas de soja noduladas, consecutiva a la adición de nitrógeno nítrico-amoniaco en el medio de cultivo, no es una consecuencia de la inhibición de las enzimas que participan en la biosíntesis de estos compuestos (Zengbe, 1984). Esta disminución es más bien debida a la inhibición de la nitrogenasa (Fujihara y Yamaguchi, 1978; McClure e Israel, 1979; Pate *et al.*, 1980). El nitrógeno reduce entonces el crecimiento de raíces, la nodulación, la fijación de N_2 y consecuentemente la producción de ureidos.

La distribución de ureidos en cada una de las hojas de la planta de soja fue particularmente característica. En la mitad inferior de la planta, los contenidos de nitrógeno ureídico fueron muy bajos (0.1 mg g^{-1} de MF), mientras que en la mitad superior, se observó un gradiente hacia las hojas más jóvenes de la planta, donde el contenido de ureidos puede alcanzar hasta 2.5 mg g^{-1} de MF (Figura 4). Lo anterior confirma los resultados de Yoneyama e Ishizuka (1982), quienes demostraron, al utilizar $^{15}\text{NO}_3$ y $^{15}\text{N}_2$, que el nitrógeno de origen atmosférico era preferencialmente transportado hacia los órganos en crecimiento, mientras que el nitrógeno del nitrato era distribuido hacia los órganos en crecimiento y los órganos maduros. Estos mismos autores demostraron que

Cuadro 2. Acumulación de diferentes formas de nitrógeno (mg de N) en las hojas de soya en los días 78 y 98 después de la siembra (período de llenado de vainas).

Tratamiento	Forma del nitrógeno							
	N total		Proteínas		Ureidos		Aminoácidos	
	78	98	78	98	78	98	78	98
NOD	413	410	235	245	19,9	8,7	13,3	10,8
Δ	- 3		+ 10		- 11,2		- 2,5	
%	- 0,7		+ 4,0		- 56		- 19	
NITNOD	592	617	359	358	8,16	4,18	18,4	11,7
Δ	+ 25		- 1		- 3,98		- 6,7	
%	+ 4		- 0,2		- 50		- 36	

Δ Ganancia o pérdida de nitrógeno entre los días 78 y 98 después de la siembra.

Estos resultados indican que durante el período de llenado de vainas, el nitrógeno asimilado (mineral y/o atmosférico) podría ser suficiente para el mantenimiento del aparato vegetativo, pero no para el desarrollo de vainas, lo cual trae como consecuencia una removilización de los asimilados preexistentes de las hojas hacia los granos. Calmes *et al.* (1987), al utilizar $^{14}\text{CO}_2$, observaron para diferentes variedades de soya, que los asimilados sintetizados durante el período de llenado de los granos necesitan una redistribución de constituyentes bioquímicos del aparato vegetativo. Mediante la utilización de $^{15}\text{N}_2$, Warembourg y Fernández (1985) observaron que en el transcurso del desarrollo de las vainas, mientras que la cantidad total de nitrógeno fijado es muy baja, 60% del $^{15}\text{N}_2$ fue encontrado en los órganos reproductivos en detrimento del nitrógeno de las hojas. Así, la proteogénesis en los granos se ve ampliamente beneficiada de la removilización de moléculas carbonadas y nitrogenadas previamente almacenadas.

Finalmente, si el aporte de nitrógeno mineral tiene como efecto el de disminuir la cantidad sintetizada de ureidos, éste no afecta considerablemente la proporción de N-ureídico exportado. Por el contrario, el

nitrógeno mineral no hace más que aumentar la cantidad y la proporción de N-amídico (Cuadro 2).

CONCLUSIONES

Las dos fuentes nitrogenadas (mineral y atmosférica) son necesarias para obtener los máximos rendimientos en términos de materia seca o de nitrógeno total acumulado.

El nitrógeno fijado (ureido) es principalmente destinado al enriquecimiento de los órganos en crecimiento, mientras que el nitrógeno mineral es preferencialmente utilizado para abastecer el aparato foliar y los órganos vegetativos en general. En las plantas NITNOD la disminución de la masa de nódulos y de la actividad nitrogenasa fue acompañada de una disminución en la síntesis de ureidos, por lo que, bajo estas condiciones, se favorece el transporte nitrogenado en forma de amidas y nitratos.

La disminución del contenido de ureidos en los tejidos vegetales de plantas noduladas de soya, consecutiva a la adición de nitrógeno mineral en el cultivo, no es más que la consecuencia de la inhibición de la fijación del nitrógeno atmosférico.

LITERATURA CITADA

- BOUNIOLS, A., A. CHALAMET, B. LAGACHERIE, A. MERRIEN y M. OBATON.** 1986. Nutrition azotée du soja. Limites et améliorations de la fixation symbiotique. In: *Le Soja*. Ed. Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains 24-32.
- CALMES, J., N. GELFI, G. VIDAL, G. CAVALIE y R. BLANCHET.** 1987. Photosynthèse et élaboration des réserves des graines chez divers types de soja á croissance indéterminée, semi-déterminée et déterminée. *Agronomie* 7: 33-40.
- 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.
- FOEHSE, D. y A. JUNZK.** 1983. Influence of phosphate and nitrate supply on root hair formation of rape, spinach and tomato plants. *Plant and Soil* 74: 359-368.
- FUJIHARA, S. y M. YAMAGUCHI.** 1978. Probable site of allantoin formation in nodulating soybean plants. *Phytochemistry* 17: 1239-1243.
- FUJIHARA, S. y M. YAMASAKI.** 1981. Assimilation of $^{15}\text{NH}_3$ by root nodules detached from soybean plants. *Plant Cell Physiol* 22: 797-806.
- HARPER, J.E.** 1974. Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. *Crop Sci.* 14: 255-260.
- HEINS, B. y M. SCHENK.** 1986. Nitrate-uptake characteristics of root as affected by nitrate supply. In: *Developments in plant and soil sciences: fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants*. Eds. H.L. Lambers, J.J. Neetensen e I. Stulen. Martinus Nijhoff Publishers. pp. 41-45.
- LOWRY, O.H., N.S. ROSEBROUGH, A. FARR y R.S. RANDALL.** 1951. Protein measurements with Folin reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 265-275.
- MARTIN, F., M.J. WINSPEAR, J.D. MACFARLANE y A. OAKS.** 1983. Effect of menthionine sulfoximine on the accumulation of ammonia in C_3 and C_4 leaves. *Plant Physiol.* 71: 177-181.
- MATSUMOTO, T., M. YATAZAWA, e Y. YAMAMOTO.** 1977. Distribution and change in the contents of allantoin and allantoic acid in developing nodulating soybean plants. *Plant Cell Physiol* 18: 353-359 y 459-462.
- McCLURE, P.R. y D.W. ISRAEL.** 1979. Transport of nitrogen in xylem soybean plants. *Plant Physiol.* 64: 411-416.
- McNEIL, D.L. y T.A. LAURE.** 1984. Effect of nitrogen source on ureides in soybean. *Plant Physiol.* 74: 227-232.
- MORRIS, D.R. y R.M. WEAVER.** 1983. Mobilization of ^{15}N from soybean leaves as influenced by *Rhizobium* strains. *Crop Sci.* 23: 1111-1114.
- OHYAMA, T. y K. KUMAZAWA.** 1979. Assimilation and transport of nitrogen compounds originated from $^{15}\text{N}_2$ fixation and $^{15}\text{NO}_3$ assimilation. *Soil Sci. Plant Nutr.* 25: 9-19.
- OHYAMA, T., N. OWA, Y. FUJISHIMA, y K. KAMAZAWA.** 1981. Nitrogen assimilation in soybean nodules. IV. Allantoin formation and transport in relation to supply with various forms of combined nitrogen. *Soil Sci. Plant Nutr.* 27: 55-64.
- PATE, J.S. y D.F. HERRIDGE.** 1978. Partitioning and utilization of net photosynthate in nodulated annual legume. *J. Exp. Bot.* 29: 401-412.

PATE, J.S., C.A. ATKINS, S.T. WHITE, R.M. RAINBIRD y K.C. WOOL. 1980. Nitrogen nutrition and xylem transport of nitrogen in ureide-producing grain legumes. *Plant Physiol.* 65: 961-965.

PUECH, J. y A. BOUNIOLS. 1986. Besoins en eau et azote de soja: importance des phases sensibles. In: *Le Soja*. Ed. por Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux, 24-32.

RUSCHEL, A.P., P.B. VOSE, F. MATSUI, R.L. VICTORIA y S.M.J. SAITO. 1982. Field evaluation for N_2 fixation and nitrogen utilization by *Phaseolus* bean varieties determined by ^{15}N isotope dilution. *Plant and Soil* 65: 397-407.

STREETER, J.C. 1979. Allantoin and allantoic acid in tissues and stem exudate from field-grown soybean plants. *Plant Physiol.* 63: 478-480.

TIRADO T., J.L., G. CONEJERO y G. ALCANTAR G. 1988. Efecto de nitrógeno mineral y la sequía sobre las dos vías de asimilación del nitrógeno en plantas de soya. XXI Congreso de la SMCS, Memorias P. 83, Cd. Juárez, Chihuahua, México.

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. FERNANDEZ. 1985. Distribution and remobilization of symbiotically fixed nitrogen in soybean (*Glicine max*). *Physiol. Plant.* 65: 209-213.

YEMM, E.W. y E.C. COCKING. 1955. The determination of amino acids with ninhydrin. *Analyst* 80: 209-213.

YONEYAMA, T. y J. ISHIZUKA. 1982. ^{15}N study on the partitioning of nitrogen taken by soybean from atmospheric dinitrogen, medium nitrate or ammonium. *Soil Sci. Plant Nutr.* 28: 451-461.

YOUNG, E.G. y C.F. CONWAY. 1942. On the estimation of allantoin by the Rimini Scheyer reaction. *J. Biol. Chem.* 142: 839-853.

ZENGBE, J., P. TILLARD, S.C. CLEYET-MAREL y L. SALSAC. 1984. Influence de la souche de *Rhizobium* et de l'azote minéral sur la synthèse des uréides chez le soja. *Physiol. Vég.* 22: 285-294.

ZENGBE, J. 1984. Contribution a l'étude du métabolisme des uréides chez le soja (*Glycine max* (L) Merrill.). Thèse de Doctor d'Etat. Univ. des Sciences et Tech. du Languedoc. Montpellier, France. pp. 190.

APLICACION DE ESTIERCOL BOVINO, GALLINAZA Y FERTILIZANTES QUIMICOS EN MAIZ DE TEMPORAL EN NAYARIT¹⁾

Application of Dairy and Chicken Manure with Mineral Fertilizer on Unirrigated Corn in Nayarit.

J.D. García Paredes.

Coordinación de Investigación Científica. Universidad Autónoma de Nayarit. Cd. de la Cultura "Amado Nervo". Tepic, Nayarit, México.

Palabras clave: Abonos orgánicos, Fertilizante orgánico.

Index words: Organic manures, Organic fertilizer.

RESUMEN

Durante el verano de 1986, se realizó este trabajo con los siguientes objetivos: (a) evaluar el efecto de las aplicaciones de estiércol bovino y gallinaza sobre las características químicas del suelo; (b) encontrar una combinación óptima entre las dos fuentes de abonos orgánicos y los fertilizantes químicos que contribuya al aumento en la productividad del cultivo. Se evaluaron dos fuentes de estiércol animal: gallinaza y bovino, en dosis de 3 y 6 ton ha⁻¹ y su interacción con la aplicación de fertilizantes químicos, con niveles de nitrógeno, fósforo y oportunidad de aplicación

del nitrógeno. Se utilizó un diseño de parcelas divididas, en bloques al azar, con tres repeticiones; con las fuentes y niveles de abono orgánico en las parcelas principales, y los niveles de fertilización en las parcelas chicas. Se empleó maíz como cultivo indicador.

Los rendimientos obtenidos fueron bajos (menores que el promedio regional que es de 2.5 ton ha⁻¹), debido principalmente a las condiciones de sequía que afectaron al cultivo: 590 kg ha⁻¹ para el testigo; 610 y 810 kg ha⁻¹ de grano para el estiércol bovino con 3 y 6 ton ha⁻¹, respectivamente; 1,340 y 1,180 kg ha⁻¹ para gallinaza con 3 y 6 ton ha⁻¹, respectivamente. Se observó interacción entre los abonos orgánicos y el fertilizante químico por lo que es necesario estudiarlos más a fondo tomando en cuenta tanto las fuentes de abonos orgánicos como su grado de descomposición y el manejo previo que se les da.

El análisis de los resultados permite hacer las siguientes observaciones. La aplicación de 3 y 6 toneladas de gallinaza incrementó el rendimiento en 127 y 100%, respectivamente, con relación al testigo. Por otra parte, con el estiércol bovino en dosis de 3 y 6 ton ha⁻¹ se logró aumentar el rendimiento en sólo 3 y

¹⁾ Trabajo apoyado parcialmente por la SEP, mediante el convenio C87-01-0434.

37%, respectivamente, también con relación al testigo.

La aplicación de los abonos orgánicos al suelo modificó algunas de las características químicas del mismo, ya que las cantidades de los elementos evaluados fueron mayores con dichos tratamientos, con respecto al testigo.

SUMMARY

The objectives of this study conducted during the summer of 1986, were: (a) to evaluate the effect of cow and chicken manure application on the soil chemical properties and the grain's output; (b) to investigate an optimum mixture rate between organic manure and mineral fertilizer to increase crop production. The two sources of organic manures were evaluated at two different rates: 3 and 6 ton ha⁻¹. In addition, the interaction with mineral fertilizer that involves nitrogen and phosphorus levels as well as the opportunity of nitrogen application was also evaluated. A control without organic manure was also used. The experiment was conducted with three replications in a split-plot design with the sources and levels of organic manure in main plots and rates of fertilizers in sub-plots.

The experiment yields were low due to a drought condition. Production was: 590 kg ha⁻¹ for the control; 610 and 810 kg ha⁻¹ with 3 and 6 ton ha⁻¹ of cow manure; 1,340 and 1,180 kg ha⁻¹ with 3 and 6 ton ha⁻¹ of chicken manure, respectively. Interaction between organic manure and mineral fertilizer was observed, consequently further study on this topic is suggested, particularly on the effects of decomposition rate and previous handling.

Yield analysis indicated the following: application of 3 and 6 ton ha⁻¹ of chicken manure increased yield by 127 and 100%, respectively, with relation to control; and application of 3 to 6 ton ha⁻¹ of cow manure resulted in increases of only 3 and 37%, respectively.

Application of organic manure in soil changed some of its chemical properties although element amounts evaluated were greater with organic manure treatments than control.

INTRODUCCION

En Nayarit el cultivo de maíz ocupa una superficie aproximada de 65 mil hectáreas, de las cuales el 90% se siembra en condiciones de temporal en la región sur del estado.

En esta zona, la mayoría de las siembras se realiza en suelos con alto contenido de arena, así como con las características siguientes: baja capacidad de retención de humedad, pobres en materia orgánica y baja disponibilidad de nutrientes. Estas condiciones afectan el desarrollo normal de las plantas y ocasionan bajos rendimientos del cultivo.

Una alternativa para mejorar las condiciones de los suelos y lograr un aumento en el rendimiento del cultivo es mediante la aplicación de los abonos orgánicos, sin embargo, es necesario una combinación de ellos con los fertilizantes químicos, sobre todo en aquellos suelos deficientes en nitrógeno y fósforo, y que presentan textura gruesa (Martínez *et al.*, 1981; Mestanza, 1973; Trinidad, 1983).

A nivel regional existen pocos antecedentes experimentales sobre la utilización y el beneficio que los abonos orgánicos aportan directamente sobre las condiciones del suelo y sobre el rendimiento de los cultivos. En otras regiones del país se han realizado diferentes estudios relacionados con el uso de los abonos orgánicos en la producción de cosechas. Una de las principales características del uso de los abonos orgánicos estriba en los cambios benéficos que experimentan los suelos en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y nutricionales como lo indican los resultados experimentales de Baus y Alcalde (1979); Cavallaro (1981); Rodríguez (1967). Además, las adiciones al suelo de materiales orgánicos de fácil

descomposición, como los estiércoles, frecuentemente ayudan a corregir las deficiencias de zinc y algunos micronutrientes en los cultivos (Chapman, 1973; citado por Villaroel *et al.*, 1981).

Una de las causas por las cuales no se ha generalizado en la región la utilización de los abonos orgánicos, es la falta de información sobre el manejo, dosis, forma y época de aplicación de dichos materiales; ya que dentro de este ámbito es muy reducida la investigación sobre dichos mejoradores del suelo.

Al considerar lo anterior, se planeó este trabajo que contempla los siguientes objetivos: (a) evaluar el efecto de las aplicaciones de estiércol sobre las características químicas del suelo; y (b) encontrar una combinación óptima entre las fuentes de abonos orgánicos y los fertilizantes químicos que contribuya al aumento de la productividad del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se estableció bajo condiciones de temporal en un lote representativo del ejido de Ahuacatlán, Nayarit, en junio de 1986, en un suelo de textura arenosa, reacción ácida, contenido pobre de materia orgánica, baja capacidad de retención de humedad y baja disponibilidad de nutrientes (Cuadro 1).

Se utilizó un diseño de parcelas divididas en bloques al azar con tres repeticiones; las parcelas grandes las formaron las dos fuentes de estiércol animal (gallinaza y bovino), a dos niveles cada uno (3 y 6 ton ha⁻¹), además del tratamiento testigo. En las parcelas chicas se tuvieron seis tratamientos; los primeros cuatro resultaron de la combinación de dos niveles de nitrógeno (100 y 120 kg ha⁻¹) por dos niveles de fósforo (40 y 60 kg ha⁻¹); los otros dos tratamientos se formaron con la fórmula 120-60 (kg ha⁻¹ de nitrógeno y fósforo, respectivamente), con la aplicación fraccionada de nitrógeno a 1/3 a la siembra, 1/3 en primera labor y 1/3 en inicio de floración masculina; el otro tratamiento

Cuadro 1. Características físico-químicas del suelo donde se estableció el experimento de abonos orgánicos.

Características	Profundidad		Clasificación
	0-15 cm	15-30 cm	
Arena %	92.56	91.56	suelo arenoso
Limo %	4.00	6.00	" "
Arcilla %	3.44	2.44	" "
PMP %	2.91	2.80	
Agua aprovechable % (CC)	5.16	4.92	baja capacidad
Materia orgánica %	0.65	0.65	pobre
Nitrógeno total (kg ha ⁻¹)	39.50	40.00	medio
Potasio (kg ha ⁻¹)	74.00	0.00	pobre
Calcio (kg ha ⁻¹)	160.00	496.00	extrem. pobre
Magnesio (kg ha ⁻¹)	35.00	76.00	pobre y med. pobre
pH	4.60	5.10	fuertemente ácido
Ca + Mg (meq/100 g)	0.32	0.28	baja relación

consistió en la aplicación total al momento de la siembra. El tamaño de la parcela chica fue de cuatro surcos de 5 m de largo, con una distancia entre surcos de 75 centímetros.

La distribución del estiércol animal se efectuó al voleo dos días anteriores de la siembra, incorporándose con arado de tiro. La aplicación del fertilizante se hizo en forma manual, con urea y fosfato de amonio como fuentes de fertilización.

Se efectuó un muestreo de suelos antes de la siembra y de la aplicación del estiércol; y después de la cosecha, para cada uno de los tratamientos con estiércol, con el fin de realizarles un análisis rutinario de fertilidad. El pH se determinó en una relación 2:1 de agua y suelo, la materia orgánica por el método de combustión húmeda de Walkley y Black, el fósforo utilizando el método Bray P-1, el calcio y magnesio por el método del Versenato, y el potasio intercambiable por flamometría.

A la cosecha se midió el rendimiento por unidad experimental, el que fue traducido a kilogramos por hectárea mediante las transformaciones convencionales, ajustando la humedad del grano a un 14% y multiplicando los rendimientos por el factor 0.8, para considerarlos como rendimiento comercial.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de suelo. Los resultados obtenidos en los análisis de las muestras de suelo tomadas después de la cosecha del experimento se presentan en el Cuadro 2.

pH. Se aprecia que en promedio hubo un incremento en el valor del pH con la aplicación de abono orgánico. Con el nivel de 3 toneladas de gallinaza el incremento fue de 0.3 unidades, mientras que con 6 toneladas fue de 0.5. Por otra parte, con la adición de 3 ton ha⁻¹ de estiércol bovino el aumento fue de 0.5 unidades. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Cavallaro (1981) y Mestanza (1973), quienes mencionan que con la

aplicación de gallinaza se incrementa el pH debido a la liberación de amonio durante su descomposición y al abatimiento del zinc disponible; ya que ello retiene a este elemento formando complejos quelatados, mismos que son estables.

De acuerdo a lo anterior es de esperarse que con la aplicación de cantidades mayores de gallinaza y estiércol bovino, el pH puede ser regulado en cierto grado.

Fósforo. Los incrementos de fósforo fueron mayores con la adición de gallinaza que con el estiércol bovino. Esto significa, con respecto al testigo, que se tiene un incremento promedio de 50 unidades de fósforo extractable con la adición de gallinaza. En tanto que con la adición de estiércol bovino el aumento promedio es tan solo de 15 kg ha⁻¹.

Los resultados obtenidos coinciden con lo encontrado por otros investigadores, como Baus y Alcalde (1979), que señalan que a través del tiempo el empleo de gallinaza es una buena alternativa para aumentar la producción en los suelos que presentan limitaciones en el abastecimiento de fósforo.

Potasio. La aplicación de gallinaza y estiércol bovino incrementó en todos los casos el contenido de este elemento en el suelo. Para el primer caso, con nivel de 3 ton ha⁻¹,

Cuadro 2. Resultados del análisis de suelos en los tratamientos evaluados en el cultivo de maíz.

Tratamiento	pH	P	K	Ca	Mg
		ton ha ⁻¹		kg ha ⁻¹	
Testigo	4.8	270	16.5	199.5	39.7
Gallinaza 3	5.1	334	21.6	332.0	159.8
Gallinaza 6	5.3	306	30.7	439.0	135.5
E. bovino 3	5.3	286	20.2	80.0	48.0
E. bovino 6	5.2	284	54.9	80.0	6.2

el aumento fue de 5.1 unidades y de 14.2 para el nivel de 6 ton ha⁻¹. Con el estiércol bovino el aumento fue de 3.7 y 38.4 para 3 y 6 ton ha⁻¹, respectivamente.

Calcio y magnesio. En estos dos elementos hubo incrementos en el suelo únicamente con la aplicación de gallinaza, ya que con el estiércol bovino disminuyó la cantidad en el primer caso, y en el segundo caso se mantuvo más o menos estable.

Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Mestanza (1973) quien señaló que la aplicación de gallinaza incrementa notablemente los contenidos de calcio y magnesio del suelo.

Rendimiento de grano. Los resultados obtenidos en el rendimiento de grano del maíz fueron bajos, debido entre otras causas a las condiciones de sequía que afectaron al cultivo durante las fases vegetativas y de floración.

En el análisis de varianza para rendimiento de grano se detectaron diferencias significativas para los tratamientos de abonos orgánicos y para la interacción abonos orgánicos por fertilización química (Cuadro 3). Los valores para esta interacción indican que las dosis de fertilización responden de manera diferente a

Cuadro 3. Análisis de varianza del rendimiento en grano en el cultivo de maíz.

Causa de variación	GL	Fc
Bloques	2	5.85*
Abonos orgánicos (a)	3	25.16**
Error "a"	6	
Fert. química (b)	5	0.85
Interacción aXb	15	2.32*
Error "b"	40	
Total	71	

CV = 29.5%

* significancia al 5%

** significancia al 1%

la fuente y dosis de abono orgánico. La "F" asociada con los tratamientos de parcelas chicas no fue significativa, lo cual señala que no hubo respuesta a las dosis y la oportunidad de aplicación del fertilizante, lo cual se atribuyó a la mencionada sequía que ocasionó una menor demanda de nutrimentos.

En el Cuadro 4 se puede observar que las mejores combinaciones entre los abonos orgánicos y los niveles de fertilización se dieron con 3 ton ha⁻¹ para gallinaza. Para el estiércol bovino las mejores combinaciones se obtuvieron con 6 ton ha⁻¹. En general, la concentración nutrimental del estiércol bovino es de un 30 a un 50% de la mostrada por la gallinaza.

La Figura 1 muestra el efecto favorable de la aplicación de gallinaza y estiércol bovino con relación al testigo. En el primer caso, la aplicación de 3 y 6 ton ha⁻¹ incrementó el rendimiento en 127 y 100%, respectivamente, con relación al testigo (0.59 ton ha⁻¹). El estiércol bovino aumentó el rendimiento en un 3 y 37% para los niveles de 3 y 6 ton ha⁻¹, respectivamente. Esta relación de respuesta concuerda con lo reportado por algunos investigadores como Trinidad (1983), que señala mayores rendimientos para maíz, con la aplicación de gallinaza en relación al estiércol bovino.

Se puede notar que el paso de la aplicación de 3 y 6 ton ha⁻¹ de gallinaza se asocia con una disminución del rendimiento. Ello podría deberse a un efecto de salinidad. Para el estiércol bovino el fenómeno es contrario, ya que a mayor cantidad de estiércol aplicado aumenta el rendimiento. Lo anterior pudiera ser una indicación de que la dosis óptima de gallinaza está entre los niveles probados; mientras que para el estiércol bovino es posible que la dosis óptima esté por encima de los niveles evaluados; sin embargo, es necesario recordar que fue un año con mala precipitación y el cultivo se vio afectado por sequía.

Es menester señalar que los rendimientos presentados en la Figura 1 son promedios de

Cuadro 4. Rendimientos medios de maíz (ton ha^{-1}) asociados con la interacción abonos orgánicos por dosis y oportunidad de fertilización.

Tratamientos de parcelas chicas			Tratamientos de parcelas grandes				\bar{x}	Duncan 5%
N	P ₂ O ₅	OF	Gallineza		Est. bovino			
			3	6	3	6		
100	40	S2	1.23	1.10	0.64	0.85	0.95	a
100	60	S2	1.50	1.17	0.71	0.89	1.07	a
120	40	S2	1.23	1.12	0.34	1.02	0.93	a
120	60	S2	1.19	1.15	0.47	0.75	0.89	a
120	60	S3	0.97	1.40	0.56	1.03	0.99	a
120	60	S1	1.91	1.15	0.94	0.36	1.09	a
\bar{x}			1.34	1.18	0.61	0.81		
Duncan 5%			a	a	b	b		

Simbología: OF = oportunidad de fertilización.

S2 = 1/3 de N y el resto a los 45 días

S3 = todo el N a la siembra.

S1 = 1/3 de N a la siembra; 1/3 en la labor; y 1/3 en flor.

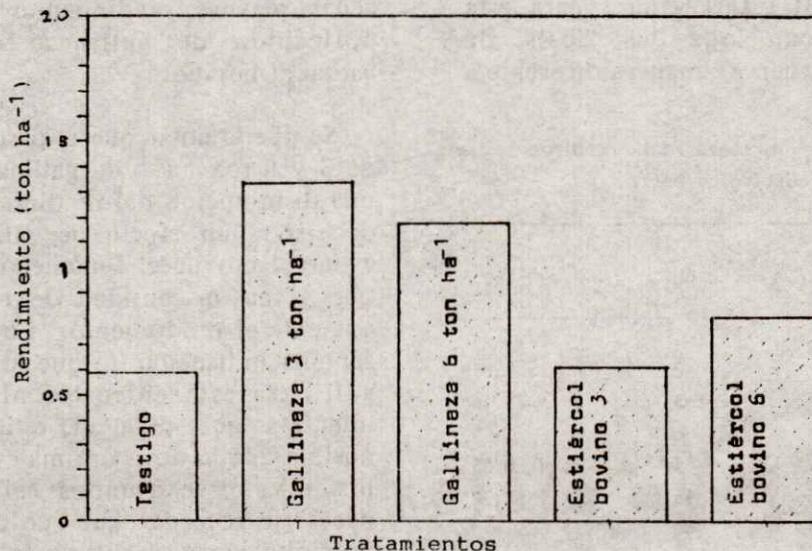


Figura 1. Respuesta del maíz a la aplicación de dos fuentes de abonos orgánicos.

los tratamientos de las parcelas chicas, con distintos niveles de nitrógeno y fósforo, por ello deducimos que las diferencias entre las dosis de abonos orgánicos y el testigo, no se deben a deficiencias de estos elementos.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y bajo las condiciones en que se realizó este experimento se puede concluir lo siguiente.

(1) La aplicación de gallinaza, en dosis de 3 y 6 ton ha⁻¹, permitió incrementar el rendimiento de grano en 127 y 100%, respectivamente, con relación al testigo.

(2) El efecto de la aplicación de estiércol bovino sobre el rendimiento del cultivo, en los niveles evaluados, fue mínimo por lo que se infiere que es necesario evaluar niveles mayores a los probados.

(3) Basados en el análisis de varianza concluimos que la fertilización química y los niveles de abonos orgánicos interactúan sobre el rendimiento; por ello es necesario estudiar más a fondo esta relación, considerando las fuentes de abonos orgánicos, su estado de descomposición y el manejo previo.

(4) La aplicación de abonos orgánicos al suelo modificó algunas de las características químicas del mismo, ya que, en general, al finalizar el desarrollo del cultivo, las cantidades de los diferentes elementos evaluados fueron mayores con respecto al testigo.

LITERATURA CITADA

BAUS P., J. y S. ALCALDE B. 1979. Efecto de la gallinaza sobre algunos cambios físico-químicos en un suelo de ando. pp. 89-108. In:

A. Trinidad S., O. Miranda J. (ed). Los suelos de ando y sus implicaciones en el desarrollo agrícola de la sierra Tarasca. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

CAVALLARO, W.N. 1981. Efecto de estiércoles sobre la solubilidad de fósforo en suelos de ando. p 95. Avances en la investigación. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

MARTINEZ, H.J., D. GARCIA L. y R. NUÑEZ E. 1981. Efecto residual de gallinaza sola o complementada con fertilizante químico en maíz de temporal en la región suroriental del Valle de México. p 77. Avances en la investigación. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

MESTANZA, S.S.A. 1973. Variaciones nutrimentales en el maíz H-30 y en un suelo de Puebla por efectos de aplicaciones de gallinaza, magnesio, manganeso y zinc, bajo condiciones de invernadero. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).

RODRIGUEZ, P.M. 1967. Efecto de las adiciones de estiércol vacuno sobre algunas propiedades físicas del suelo en la cuenca del Valle de México. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).

TRINIDAD, S.A. 1983. El uso de los abonos orgánicos en la producción agrícola. pp 1-40. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

VILLAROEL, A.J., R. NUÑEZ E., L. CAJUSTE y D. AGUIRRE M. 1981. Respuesta del maíz y frijol a la aplicación de gallinaza, estiércol vacuno, zinc, manganeso y hierro en suelos de Ciudad Serdán, Puebla; bajo condiciones de campo e invernadero. Agrociencia 44: p 77. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

ESTUDIO DEL PROBLEMA DE PERMEABILIDAD EN LOS TERRENOS CULTIVADOS CON ALFALFA EN LA LAGUNA, COAHUILA

Study of Permeability Problems in the Alfalfa Cultivated Land in La Laguna, Coahuila

Javier Z. Castellanos, Jaime Fraga P., Sergio Enriquez R.
y José Luis Olvera

CIFAP-Laguna-INIFAP, Apartado Postal 247, 27000 Torreón, Coah.

Palabras clave: Textura, Penetrabilidad, Tensión de humedad, Infiltración, Conductividad hidráulica, Yeso, Sodio, Compactación.

Index words: Texture, Penetrability, Moisture tension, Infiltration, Hydraulic conductivity, Gypsum, Sodium, Compaction.

RESUMEN

El presente estudio tuvo por objeto evaluar el problema de permeabilidad que se presenta en algunos terrenos cultivados con alfalfa en la región lagunera y consistió de un muestreo de 40 sitios de los cuales 11 reportaron problemas de permeabilidad. En cada sitio se tomaron muestras de suelo de 0-30 y 30-60 cm de profundidad y se realizó una prueba de infiltración. Se tomaron datos de tensión y contenido de humedad y permeabilidad durante el 1er, 3er, 5to y 8vo día después de la prueba de infiltración para los estratos de 0-30 y 30-60 cm de profundidad. En el último muestreo se tomó además el dato de densidad aparente. En las muestras de suelo colectadas se determinaron textura, pH, materia orgánica y RAS. Los resultados indican que alrededor de 14% de la superficie muestreada presenta

problemas de permeabilidad. Con base en los análisis físicos y químicos realizados en el suelo, los resultados sugieren que la principal causa de la baja permeabilidad del suelo es la alta relación de absorción de sodio. Las determinaciones de permeabilidad y densidad aparente sugieren que la compactación del suelo no es la causa principal de la baja permeabilidad, pues no se detectaron diferencias importantes entre los dos tipos de sitios muestreados, aunque en el estrato de 30-60 cm hubo una resistencia ligeramente mayor en los sitios problema. En muestras alteradas de suelo se observó un incremento notable en la conductividad hidráulica al agregar yeso agrícola al suelo y este incremento fue substancialmente mayor en los sitios detectados como problema, lo cual confirma que la causa principal del problema es el exceso de sodio en el suelo.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the permeability problem in land cultivated with alfalfa in La Laguna, Coahuila. It consisted of 40 sampling sites of which 11 reported permeability problems. In every site soil samples were taken from 0-30 and 30 to 60 cm depth. After that, an infiltration test was conducted. During the 1st, 3rd, 5th and 8th

day after the test, data for water tension, moisture content and penetrability were taken for 0-30 and 30-60 cm depth. During the last sampling day bulk density data were obtained. In the soil samples collected, texture, pH, organic matter, SAR and hydraulic conductivity with and without gypsum added were determined. Results indicate that about 14% of the sampled area presented permeability problems. In accordance with the physical and chemical analysis of the soil, the results suggest that the main cause of low soil permeability is the high sodium absorption ratio of the soil. Penetrability and bulk density determinations indicate that soil compaction is not the main cause of low permeability, since little difference was found between the two groups of sites, except for the 30-60 cm depth, where problem sites presented slightly higher resistance. Hydraulic conductivity of disturbed samples with and without added gypsum showed that the problem soils presented a higher response to this amendment, indicating that the main cause of the problem is the excess of sodium in the soils of this group of sites.

INTRODUCCION

Recientemente, se han observado algunos problemas de permeabilidad en algunos lotes del Campo Agrícola Experimental Laguna, y en terrenos de Matamoros, Coahuila y Gómez Palacios, Durango. Uno de los cultivos más sensibles a esta condición de suelo es la alfalfa. Castellanos y Muñoz (1985) reportaron para un suelo arcilloso de lenta infiltración un incremento de 60% en el rendimiento de alfalfa mediante la aplicación de 120 ton ha⁻¹ de estiércol y sugieren que este efecto se debió al mejoramiento de sus propiedades físicas. De hecho, se ha reportado una relación estrecha entre rendimiento e infiltración y aireación (Castellanos y Walker, 1988), así como también entre desarrollo radical y resistencia del suelo (Grimes *et al.*, 1978).

Cuando la permeabilidad del suelo es insuficiente para captar en un tiempo razonable la lámina de agua requerida en los estratos

inferiores del perfil de suelo, el espacio poroso se satura en el estrato superficial y la difusión de gases se reduce. Bajo estas condiciones se produce el fenómeno anaerobiosis, que causa la reducción de la absorción de agua y nutrientes, afecta la formación y translocación de reguladores del crecimiento y promueve la formación de compuestos tóxicos en la planta, tales como etanol (Grable, 1966; Russell, 1978). La anaerobiosis en el suelo puede causar senescencia prematura de la planta y aun cuando ocurra por períodos cortos, puede conducir a reducciones permanentes en el desarrollo del cultivo (Erickson y Van Doren, 1961).

Las causas de una reducida permeabilidad del suelo pueden ser variadas, entre las que destacan la compactación inducida por efecto del paso de la maquinaria o el exceso de sodio en el complejo de intercambio. Esto último provoca dispersión de los coloides y obstrucción de los poros de transmisión del agua. Recientemente se han observado problemas de permeabilidad en los terrenos del campo experimental de Matamoros, Coah. y de Gómez Palacios, Durango, y este problema ha resultado más importante en el cultivo de alfalfa, por ser más sensible a esta condición.

Con estos antecedentes, los objetivos del presente trabajo fueron evaluar la magnitud del problema de permeabilidad en los terrenos cultivados con alfalfa y estudiar las causas relacionadas con este problema en la región lagunera.

En este trabajo la hipótesis que se propuso fue que la causa de la baja permeabilidad era de origen físico propiciada por el paso de maquinaria durante las labores de corte, almillado y empaque.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó de julio 1985 a septiembre de 1986 y consistió de un estudio de campo en la Comarca Lagunera en el cual se incluyeron 40 sitios de muestreo que representaron unas 1,500 ha y las cuales estaban sembradas con alfalfas de 1er, 2do, y 3er año.

En estos sitios se inició el muestreo justo después de realizar el corte al cultivo.

En cada sitio se estimó la superficie dentro del predio, que cubría la condición de suelo que a juicio del agricultor se consideraba como problema o no problema. El juicio del agricultor se confirmaba mediante la prueba de infiltración, considerando como sitios problema aquellos que reportaban una infiltración básica menor de 0.5 cm h^{-1} . En cada sitio se tomaron muestras de suelo de los estratos de 0-30 y 30-60 cm de profundidad para realizar análisis de textura, mediante el hidrómetro; materia orgánica por el método de Walkley y Black (1934); contenido de carbonato de calcio; pH en una relación agua:suelo de 1:1 y relación de sodio adsorbido (RAS) en el extracto de saturación (USSL, 1954).

Una vez tomadas las muestras se procedió a realizar una prueba de infiltración por el método del doble anillo, cuyos diámetros fueron de 35 y 70 cm, de acuerdo al procedimiento descrito por Bertrand (1965). Después de realizar la prueba de infiltración, se procedió a cubrir el área con plástico negro. A partir de las 24 h de terminada la prueba, se muestreó cada sitio durante los días 1o, 3o, 5o, y 8vo. Durante los tres primeros muestreos se determinó para los estratos de 0-30 y 30-60 cm el contenido de humedad por el método gravimétrico; tensión, mediante el uso de un tensiómetro de lecturas rápidas y resistencia al penetrómetro (Carter y Tavernetty, 1968). Durante el cuarto muestreo, es decir el último, además de las determinaciones antes descritas se midió la densidad aparente por el método de la barrena para muestras inalteradas (Blake, 1965).

Se seleccionaron dos sitios caracterizados como problema y dos sin problema, y en ellos se excavaron perfiles a cielo abierto en los cuales se determinó densidad aparente para cada horizonte y se tomaron muestras de suelo de todos los estratos para realizar los análisis de laboratorio antes descritos.

En muestras de suelo de los estratos 0-30 y 30-60 cm y en todos los estratos de los cuatro

perfiles se determinó la conductividad hidráulica mediante el uso de permeámetros en el laboratorio. La determinación de conductividad hidráulica se realizó además agregando a los suelos dos dosis de yeso equivalente a 10 y 50 ton ha^{-1} . Esto fue con el objeto de verificar si la reducida permeabilidad en algunos suelos estaba asociada a un exceso de sodio.

Por otro lado, se seleccionó un sitio del Campo Experimental Laguna que presentaba problemas de infiltración; en él se determinó el efecto de la aplicación de 50 ton ha^{-1} de yeso sobre la velocidad de infiltración del agua. En este lote se sembró avena y los tratamientos incluyeron dos repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo al criterio del productor y a la prueba de infiltración, del total de 40 sitios muestreados, 11 se clasificaron como problema y 29 como sitios no problema. De acuerdo a la superficie del terreno que representa cada grupo, se estimó que el 14% de los terrenos cultivados con alfalfa reportan problemas de permeabilidad. La concentración de datos de acuerdo a la agrupación arriba mencionada se presenta en el Cuadro 1, en donde se consigna su respectiva media. A continuación se presentan los resultados de cada determinación.

Textura

Como se puede apreciar en el Cuadro 1, no se encontraron diferencias importantes en las características texturales de ambos grupos. Las medias en el contenido de arcilla para los sitios normales y problema fueron de 27 y 26% para el estrato de 0-30 cm y de 30 y 37% para el estrato de 30-60 cm. En los estratos inferiores estas diferencias tampoco fueron importantes indicando que las diferencias en la permeabilidad de ambos grupos de suelo no son explicadas con base en la distribución de las partículas de suelo.

Infiltración

Es notorio la gran diferencia que existe entre ambos grupos, pues en los sitios normales la infiltración inicial, una hora después del inicio de la prueba, fue casi 300% más alta en los sitios problema. Estas diferencias se hacen más pronunciadas conforme avanza la prueba de infiltración, pues a las 10 h de iniciada en los sitios problema, ésta representa apenas alrededor de un 25% de la de los sitios normales. Castellanos y Walker

(1988) reportaron que bajo las condiciones de manejo del agua de la Comarca Lagunera, cuando en un terreno la infiltración a las 10 h es de 0.3 cm h^{-1} , el rendimiento medio de alfalfa se reduce en un 25%, y cuando aquella llega a 0.1 cm h^{-1} la reducción media es del 50%. Estos datos dan una idea de que el rendimiento de alfalfa en los sitios problema puede ascender un 25% al eliminar esta limitante. Esto significaría que a nivel regional los rendimientos medios del cultivo ascenderían en un 3.5%.

Cuadro 1. Algunas determinaciones físicas y químicas de los suelos bajo estudio. Resultados promedio de cada determinación de acuerdo a la agrupación de sitios.

Tipo de sitio	Profundidad cm	Tipo textural	Densidad aparente g cm^{-3}	Resistencia kg cm^{-1}	Tensión de humedad		Contenido de humedad	
					3er día	5to día	Cap. campo	0.3 bars
					cbars		pw	
Sin problema (29) ¹⁾	0-30	F	1.28	10.24	5.01	6.77	28.75	27.88
	30-60	MR	1.28	16.34	10.50	13.58	26.27	28.26
Con problema (11)	0-30	F	1.29	10.25	5.04	7.00	30.03	29.38
	30-60	MR	1.35	21.14	7.25	6.29	27.44	31.77

Continuación:

	Infiltración		Conductiv. hidráulica			Incremento por yeso		RAS	Mat. org.
	1 h	10 h	Sin yeso	10 ton yeso	40 ton yeso	10 ton ha^{-1}	40 ton ha^{-1}		
	cm h^{-1}	cm h^{-1}	cm h^{-1}	cm h^{-1}	cm h^{-1}	%			%
0-30	3.06	1.41	1.89	2.77	3.69	46.6	95.2	2.70	1.54
30-60			1.54	2.19	2.88	42.2	87.0	3.30	0.81
0-30	1.28	0.31	1.09	1.92	4.08	76.2	274.3	6.42	1.29
30-60			0.73	1.34	3.10	83.6	324.7	7.30	0.77

¹⁾ No. de sitios en la muestra.

Densidad Aparente

En términos generales, los datos de densidad aparente del Cuadro 1 indican que para el estrato superficial no existen diferencias importantes, lo cual no es lo esperado, pues aun cuando la baja permeabilidad no sea el resultado de una compactación, inducida o natural, es de esperar que en condiciones de igualdad de texturas la mayor densidad se presenta en los suelos impermeables. No obstante que en promedio ambos tipos de sitios pertenecen a los mismos grupos de texturas, el contenido promedio de arena de los suelos problema fue 10% mayor que el de los normales para el estrato de 0-30 cm, por lo que el dato de densidad aparente pudiera estar enmascarado por efecto de la textura. Para el estrato de 30-60 cm, la densidad aparente sí resultó 0.07 unidades más alta en los sitios problema, lo que pudiera afectar el flujo vertical de agua en estos suelos.

En el Cuadro 2 se presentan los datos de densidad aparente para los tres principales grupos texturales. Se observa que al menos en la textura arcillosa la densidad fue

sustancialmente más alta en los sitios problema, no obstante el número de sitios muestreados dentro de esta textura fue muy bajo. Se detectaron estratos de suelo arcilloso con densidades de hasta 1.61 g cm^{-3} . Al mismo tiempo se presentan estratos dentro esta misma textura con densidad aparente de sólo 0.97 g cm^{-3} , lo que indica una gran variabilidad dentro de esta variable.

Penetrabilidad

No se presentó diferencia en penetrabilidad para el estrato superficial y si ocurrió en el estrato de 30-60 cm. Esta situación puede deberse a dos razones: a una mayor compactación de dicho estrato en los sitios problema o bien debido a un menor contenido de humedad causado por la limitación en la permeabilidad de este tipo de sitios, ya que la humedad del suelo afecta a esta variable más que a ninguna otra. Los datos del penetrógrafo indican que la zona de alta resistencia no concuerda con la profundidad a la que se esperaría el piso de arado, por lo que esta posible causa resultó descartada.

Cuadro 2. Densidad aparente de los principales suelos de acuerdo a la textura en sitios con y sin problemas de permeabilidad.

Textura	Estrato	Densidad aparente			
		Sitios normales		Sitios problema	
		No. de muestras	Densidad aparente	No. de muestras	Densidad aparente
	cm		g cm^{-3}		g cm^{-3}
Mr	0-30	11	1.25	3	1.32
	30-60	14	1.35	14	1.35
F	0-30	12	1.27	2	1.28
	30-60	10	1.27	2	1.31
R	0-30	2	1.25	2	1.32
	30-60	4	1.15	4	1.41

Tensión de Humedad

Los datos de tensión de humedad mostraron que tres días después del riego, la tensión de humedad en el suelo varió en forma general de 0 a 18.5 centibares para el estrato de 0-30 cm y de 0 a 31.5 para el de 30-60 cm, con una media general de 5 y 9 centibares, respectivamente, para dichos estratos; esta variable no fue afectada por permeabilidad. Los promedios generales por el quinto día fueron de 7 y 10 centibares para los estratos de 0-30 y 30-60 cm, respectivamente. En esta fecha de muestreo el dato resultó más alto en los sitios normales como resultado de un mayor movimiento vertical del agua. En los rangos arriba mencionados el extremo inferior corresponde a suelos de textura pesada. Es notorio que la humedad disponible bajo condiciones de campo se inicia muy por debajo de los 30 centibares tradicionalmente reportados. Por lo tanto, se esperaba que la capacidad de campo tendiera a ser mayor. Sin embargo, hay que recordar que el dato de capacidad de campo en muestras alteradas tiende a ser sobreestimado (Unger, 1975), por lo que el error es compensado. Para el estrato de 0-30 cm, los contenidos de humedad a capacidad de campo (medida en el terreno) y a 0.3 bares de muestras alteradas tienden a ser muy parecidos en los dos tipos de sitios. Sin embargo, la capacidad de campo del estrato 30-60 cm en los sitios problema fue menor que el contenido de humedad a 0.3 bares. Esto se debe a la baja permeabilidad de los suelos, lo que limita el movimiento vertical del agua. En estos suelos, el método de las ollas de presión resulta más preciso para determinar la capacidad de campo, pues una de las premisas fundamentales del método de campo es que el movimiento gravitacional del agua ya haya cesado, situación difícil de obtener en un suelo con problemas de permeabilidad.

Conductividad Hidráulica en Muestras Alteradas

Las determinaciones de conductividad hidráulica en muestras alteradas de suelo reportaron una alta variabilidad, sin embargo, en promedio ésta resulta mucho menor que en los sitios normales. Por otro lado, estos valores

siempre fueron menores en el estrato de 30-60 cm que en el de 0-30 cm. Esto se debe posiblemente al menor contenido de materia orgánica del segundo estrato. En el Cuadro 3 se presentan los datos de conductividad hidráulica para los tipos texturales más comunes encontrados en este muestreo. La conductividad hidráulica del suelo fue substancialmente incrementada mediante la aplicación de yeso, y este incremento fue significativamente mayor en los suelos problema que en los normales, indicando que el origen de la baja permeabilidad es más de tipo químico, de hecho el RAS fue más de 100% mayor en los suelos problema que en los normales.

Tradicionalmente se pensaba que el problema de sodio no tenía mucha importancia, y que la causa del problema era de tipo físico, sin embargo, los datos de RAS indican que la presencia de sodio en el suelo es de consideración, lo que fue corroborado por la respuesta a la aplicación de yeso.

Evaluación de Perfiles a Cielo Abierto

Los perfiles de campo indicaron que los sitios problema reportan, en general, una mayor densidad aparente, o bien, una mayor relación de adsorción de sodio. La profundidad a la cual penetró el agua, manteniendo una lámina de 30 cm durante 48 h, no rebasó los 40 cm, mientras que en los sitios normales el agua penetró en todo el perfil antes de 24 horas. En uno de los sitios problema se observaron niveles altos de densidad aparente abajo de 60 cm de profundidad.

Resultados del Experimento de Campo

En la Figura 1 se presentan los resultados de infiltración de cuatro riegos en parcelas con y sin la aplicación de yeso. Este terreno del Campo Agrícola Experimental La Laguna había presentado, durante los últimos años, problemas de permeabilidad.

Las parcelas que recibieron yeso presentaron consistentemente una mayor velocidad de infiltración. A medida que avanza el tiempo, la velocidad de infiltración tiende

Cuadro 3. Conductividad hidráulica en muestras alteradas de acuerdo a la textura de suelo en sitios con y sin problema de permeabilidad.

		Conductividad hidráulica, cm h^{-1}											
		Sitios normales					Sitios problema						
Tex- tura	Estrato	Sin yeso		Con yeso			Sin yeso		Con yeso				
				10 ton ha^{-1}		40 ton ha^{-1}			10 ton ha^{-1}		40 ton ha^{-1}		
		No. mtras	\bar{X}	No. mtras	\bar{X}	No. mtras	\bar{X}	No. mtras	\bar{X}	No. mtras	\bar{X}	No. mtras	\bar{X}
Mr	0-30	11	1.90	11	3.24	9	2.66	5	1.1	5	1.95	3	6.3
	30-60	18	1.28	18	1.73	15	2.53	4	.81	4	1.99	3	4.54
F	0-30	12	2.44	12	3.38	12	4.62	2	1.47	2	2.25	2	4.6
	30-60	10	1.51	10	2.23	8	4.77	2	2.04	2	3.41	1	3.75
R	0-30	2	1.35	2	1.36	2	3.4	2	.12	2	.14	2	1.61
	30-60	4	.69	2	.65	2	3.58	4	.18	4	.19	3	1.91

a bajar y las diferencias tienden a reducirse. La reducción en la velocidad de infiltración se debe a la compactación natural del suelo provocada por los riegos, no obstante, el terreno que recibió yeso mostró consistentemente una mayor velocidad de infiltración.

Fuente del Problema de Sodio

Es obvio que el problema de sodio en el suelo se presenta como resultado del uso del agua de riego con una alta relación sodio/calcio + magnesio, situación que sólo se presenta en las aguas del subsuelo, al menos en una parte de la región; por lo que el suelo regado con agua de la presa no debe reportar problemas en este sentido, ya que, en términos de la relación de cationes arriba mencionada, dicha agua es de buena calidad. Una evaluación preliminar de la calidad de agua de las norias de La Laguna mostró que las aguas con altos RAS se presentan con más frecuencia en la zona de Matamoros o en la zona poniente, así como también hacia el norte en los municipios de Francisco I. Madero y San Pedro. La zona de mejor calidad

del agua se localiza en la región aledaña al lecho del río Nazas. Esta evaluación también indica que la presencia relativa de sodio en el agua de bombeo ha ido subiendo a través de los años, por lo que el problema en el suelo debe ir incrementándose en esa misma proporción (G. Chavira, 1988. Comunicación personal).

CONCLUSIONES

1. Se estima que alrededor del 14% de los terrenos cultivados con alfalfa en la región Lagunera presenta problemas de baja permeabilidad.
2. La causa principal del problema de baja permeabilidad en los suelos es el alto contenido relativo de sodio.
3. La aplicación de yeso incrementa substancialmente la conductividad hidráulica de los suelos en general, pero en una proporción mucho mayor en la de los suelos con problemas de permeabilidad.

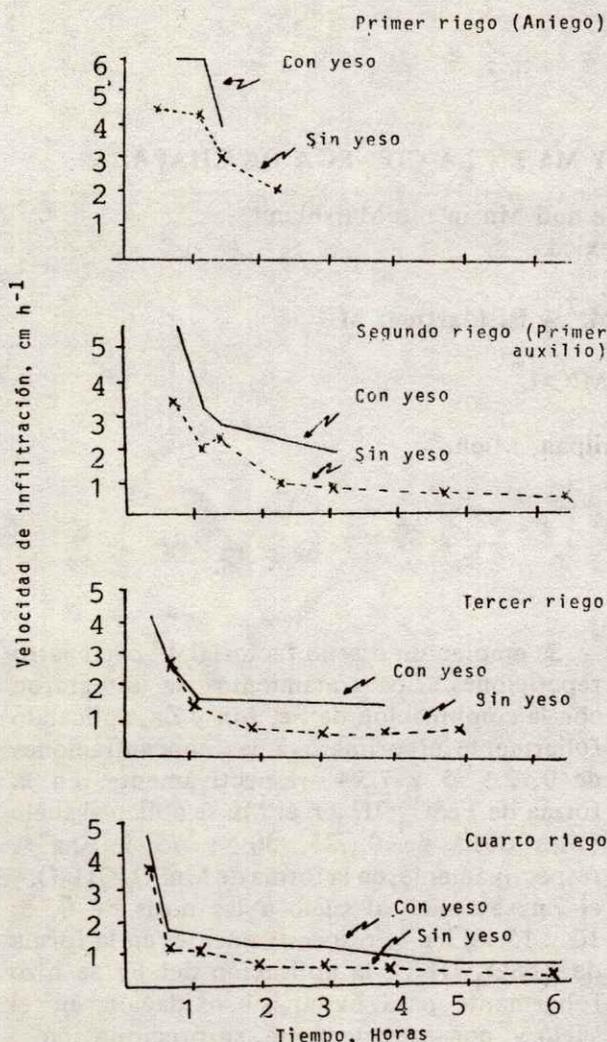


Figura 1. Velocidad de infiltración en el lote 21 del CAELALA con y sin la aplicación de yeso de 50 ton ha⁻¹. CAELALA.

4. Es de esperar que la causa original del problema esté en la baja calidad del agua de bombeo, cuya presencia relativa de sodio es alta y ésta se ha ido incrementando a través del tiempo.

LITERATURA CITADA

BERTRAND, A.R. 1965. Rate of water intake in the field. *In: Methods of soil analysis. Part. I. Monograph No. 9. C.A. Black et al. (Eds). ASA. SSSA. Madison, Wisc. p. 180-196.*

BLAKE, G.R. 1965. Particle density. *In: Methods of soil analysis. Part. I. Monograph*

No. 9. C.A. Black et al. (Eds). ASA. SSSA. Madison, Wisc. p. 374-390.

CARTER, L.M. y J.R. TAVERNETTY. 1968. Influence of precision tillage and soil compaction on cotton yields. *Transaction ASAE. 11(1): 65-67, 73.*

CASTELLANOS, J.Z. y J.A. MUÑOZ. 1985. Soil physical properties and alfalfa yields as affected by manure application to a low infiltration clayey soil. *Agricultural Waste Utilization and Management. ASAE. S.P. 13-85: 222-228.*

CASTELLANOS, J.Z. y E. WALKER. 1988. Relaciones entre algunas características físicas del suelo y el rendimiento de alfalfa en parcelas tratados con estiércol. *Turrialba 38: 288-294.*

ERICKSON, A.E. y D.M. VAN DOREN. 1961. The relationship of plant growth and yield to soil oxygen availability. *Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci. 424-434.*

GRABLE, A.R. 1966. Soil aeration and plant growth. *Advances in Agronomy 18: 57-106.*

GRIMES, D., W. SHEESLEY y P.L. WILEY. 1978. Alfalfa root development and shoot regrowth in compact soil of wheel traffic patterns. *Agron. Jour. 70: 955-958.*

RUSSELL, R.S. 1978. Plant root systems: their function and interaction with the soil. *McGraw Hill Co. (UK) 298 p.*

UNGER, P.W. 1975. Relationship between water retention, texture, density and organic matter content of west and south central Texas soil. *Texas Agric. Exp. Stn. Misc. Publ. M.P. 1192 C. 20 p.*

UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Handbook No. 60.*

WALKLEY, A. e I.A. BLACK. 1934. An examination of the Degtjaseff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci. 27: 29-38.*

RESPUESTA DEL MAIZ H-220 AL Zn, Fe Y Mn EN LA CIENEGA DE CHAPALA

Corn H-220 Response to Zn, Fe and Mn in the Marshland of Chapala, Mexico.

J. Venegas G.¹, C. Palominos M.² y R. Martínez M.

CIIDIR-IPN-U-MICH.

Justo Sierra 28, 59510 Jiquilpan, Mich.

Palabras clave: Enanismo, Micronutrientes, Clorosis intervenal, Deficiencia de Zn.

Index words: Stunt plants, Intervenial chlorosis, Zn deficiency.

RESUMEN

En el ámbito de la Ciénega de Chapala existen pequeñas áreas dispersas donde el maíz presenta enanismo, malformaciones foliares, coloraciones purpúreas, clorosis intervenal en las hojas jóvenes y, ocasionalmente, en todas las hojas. Con el fin de conocer las causas de estas anomalías se llevó a cabo un estudio de invernadero en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Michoacán.

Se empleó un diseño factorial 4^3 con cuatro repeticiones. Los tratamientos se integraron con la combinación de Fe, Mn y Zn, aplicando foliarmente el primero a las concentraciones de 0, 2.5, 5 y 7.5%, respectivamente, en la forma de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; el Mn se aplicó al suelo a las dosis de 0, 25, 50, y 75 kg ha^{-1} , respectivamente, en la forma de $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, y el Zn se aplicó al suelo a las dosis de 0, 5, 10 y 15 kg ha^{-1} , respectivamente, en la forma de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; la aplicación del Fe se hizo foliarmente para evitar su oxidación en el suelo y, consecuentemente, su precipitación.

Como planta indicadora se utilizó el maíz híbrido H-220. Las plantas se cosecharon a las ocho semanas, se procesaron y se evaluó estadísticamente el peso de la materia seca. Se concluyó que la sintomatología manifestada por las plantas de maíz se debe a una severa deficiencia de Zn.

SUMMARY

In the Marshland of Chapala there are disperse areas, whose size in diameter ranges from 10 to 15 meters. Corn grown on these areas has the following characteristics: stunt plants, leaf malformation, purple coloured plants, intervenial chlorosis on the young leaves and, often, on all leaves of the corn

¹ Becario de la COFAA del IPN

² El presente trabajo es parte de la tesis profesional de Palominos M.C., exbecario de CONACYT.

plants, etc. A greenhouse experiment was carried out to determine the corn response to Fe, Mn and Zn applications. Sixty four treatments were tested, using four replications on a 4x4x4 factorial design. Dry matter weight was measured per pot. The statistical analysis showed that the characteristics of the corn plants are due to severe Zn deficiency.

INTRODUCCION

La Ciénega de Chapala es una región agrícola en la cual predominan los cultivos de maíz y sorgo en el verano bajo condiciones de temporal, y los de trigo y cártamo en invierno bajo riego. En toda la Ciénega existen áreas dispersas con heterogeneidad del suelo cuyos diámetros oscilan entre 10 y 15 m en los cuales, cuando se siembra maíz, éste presenta la siguiente sintomatología.

- Decoloraciones en los bordes de la parte basal de las hojas más jóvenes, las cuales, en general, están acompañadas por clorosis intervenal y, ocasionalmente, en la totalidad de las hojas.
- Un acortamiento de entrenudos que ocasiona un achaparramiento de la planta así como un arrosetamiento en el ápice de la misma.
- Las hojas se enrollan hacia arriba, presumiblemente por falta de absorción de agua.
- En muchos casos se manifiestan coloraciones purpúreas en las hojas.
- La altura final de muchas plantas no rebasa los 0.50 m y, al madurar, produce una pequeña mazorca de escasos 0.10 m de longitud.

REVISION DE LITERATURA

Krantz y Melsted (1941) señalan que de los cultivos estudiados, el maíz es el más sensible a las deficiencias de Zn y muestra

síntomas fácilmente reconocibles, como es el caso de la sintomatología observada.

Olsen y Fried (1957) indican que si el pH del suelo es mayor de 8.0 las plantas pueden ser incapaces de absorber suficiente Fe, Mn y Zn.

Chapman (1965) cita que los tipos de suelo donde comúnmente ocurren las deficiencias de Zn son: ácidos arenosos, alcalinos, derivados de granito, gneis, etc., orgánicos, o bien, arcillas con baja relación Si/Mg.

Con relación a la sintomatología debida a las deficiencias de Zn Lindsay, citado por Follet *et al.* (1981), indica que el Zn tiene una movilidad intermedia en la planta en comparación con los otros nutrimentos, pero los síntomas de su deficiencia en la mayoría de las plantas y en la mayor parte de los casos, se manifiestan en los tejidos nuevos; las raíces pueden tener una mayor concentración de Zn que los tallos y tejidos foliares; las diferentes especies y variedades difieren en su habilidad para absorber Zn de una fuente y para transportarlo de las raíces a los tallos, y que la acumulación de Zn por las raíces puede aliviar parcialmente las deficiencias cuando éstas ocurran más tarde durante el crecimiento si las raíces se expanden a un área de baja disponibilidad de este elemento.

Baver y Lindsay, citados por Follet *et al.* (1981), al referirse a la sintomatología del maíz debida a una deficiencia de Zn, indican que ésta aparece durante las primeras dos semanas después de la emergencia en áreas severamente deficientes y que se caracteriza por lo siguiente. (a) Se desarrolla una banda ancha de tejido clorótico sobre uno o ambos lados de la nervadura central de la hoja, la que es más pronunciada hacia la base de la misma, siendo más afectadas las hojas jóvenes; (b) existe un enanismo, tal vez por falta de suficiente cantidad de reguladores de crecimiento, produciendo en la planta un arrosetamiento; (c) los bordes de las hojas son sinuosos y posteriormente se acumulan antocianinas en ellos, lo que constituye una evidencia posterior de una deficiencia de Zn.

Lingle, citado por Krantz y Melsted (1941), reporta que con frecuencia en las plantas de maíz deficientes en Zn, pueden ocurrir áreas rojizas o cafés en las hojas más viejas y muchas flores carecen de anteras; asimismo señala que: (a) la deficiencia moderada de Zn puede mostrar un rayado intervenal similar al de las deficiencias de Fe y Mn, sólo que en el caso de estos dos elementos el rayado intervenal corre la longitud completa de la hoja, en tanto que con la deficiencia de Zn el rayado ocurre principalmente en la mitad inferior de la hoja; (b) los síntomas de una deficiencia moderada de Zn, por lo común sólo se manifiestan en el estado de plántula, desapareciendo a la mitad de la estación de crecimiento; sin embargo, aún en el caso de estas deficiencias, la emergencia de los estigmas puede ser dañada e irregular.

Winters y Parks (1956), citados por Gauch (1972), encontraron que bajo una deficiencia severa de Zn al partir por abajo de la mitad al tallo de maíz, con frecuencia los nudos inferiores muestran una coloración purpúrea oscura, casi negra.

Skoog, citado por Seatz y Jurinak (1957), comenta que el Zn está asociado con las relaciones hídricas de la planta; que las altas presiones osmóticas que resultan de la deficiencia de Zn son debidas a la reducción en la absorción de agua, que es restringida por falta de paredes celulares.

Reed (1968), citado por Shkolnik (1984), al referirse a la sintomatología manifestada a nivel celular, como consecuencia de una deficiencia de Zn, señala modificaciones considerables en el parénquima en empalizada y esponjoso; las células del parénquima en empalizada fueron de 12 a 16 veces mayores, su número se redujo y desapareció el espacio intercelular; muchas de las células del mesófilo fueron estropeadas; además, la división y elongación de las células, así como la diferenciación normal de los tejidos, disminuyeron; los plastidios disminuyeron en tamaño y su diferenciación fue retardada o cesó completamente; las mitocondrias fueron elongadas o torcidas como una hélice,

particularmente se observaron serios daños en los cloroplastos, su desarrollo se interrumpió y muchos se desintegraron; los cloroplastos de las células en empalizada en las hojas afectadas fueron pequeños y mostraron una tendencia a acumularse en las partes más bajas de las células; como resultado de la degeneración de muchos plastidios, su número llegó a ser extremadamente bajo.

Tsui Cheng y Wu (1960), citados por Shkolnik (1984), detectaron una severa disminución en la síntesis de triptófano a partir de indol y serina en plantas con deficiencia de Zn.

Darydova (1966), citado por Shkolnik (1984), reportó que la remoción del Zn resultó en una disminución en el contenido de vitamina B₆ de las raíces de las plantas de tomate antes del desarrollo de los síntomas de la deficiencia de Zn; con una aguda deficiencia de Zn, las concentraciones de las vitaminas B₁ y B₆ se redujeron igualmente en hojas y raíces; además, la deficiencia de vitamina B₆ afecta la biosíntesis de algunos aminoácidos incluyendo el triptófano.

La literatura sobre la corrección de las deficiencias de Zn es amplia y concisa, seleccionando la siguiente: Toddressing y Siddressing, citados por Seatz y Jurinak (1957), hacen saber que las aplicaciones de Zn después de que el cultivo se está desarrollando, no han sido satisfactorias en la corrección de sus deficiencias.

Barnette *et al.* (1936), citados por Chapman (1965), indican que la deficiencia de Zn en el maíz se corrige con la aplicación de 40 a 80 lb/A de sulfato de zinc en el surco: o bien ZnSO₄ · 7H₂O al 0.5% + Ca(OH)₂ al 0.5% en aspersión, aplicada al maíz cuando tenga 6 pulgadas de altura, aunque Viets *et al.* (1953), citados por el mismo autor, señalan que en esta última forma no obtuvieron respuesta en rendimiento cuando hubo síntomas moderados de la deficiencia.

Follet *et al.* (1981) consignan que las deficiencias de Zn en maíz se corrigen con la

aplicación de 5 a 11 kg de Zn ha⁻¹ en forma de ZnSO₄ ó ZnO al voleo o en banda, y de 1 a 2 kg de Zn ha⁻¹ en forma de quelato de Zn aplicados en banda.

Chandler (1937), citado por Gauch (1972), asevera que sólo las aspersiones foliares son efectivas para corregir las deficiencias de Zn.

Seatz y Jurinak (1957) dicen que la aplicación de sales solubles de Zn al suelo puede no ser efectiva en suelos con alta capacidad de fijación de Zn, pero a veces la aplicación en banda ha incrementada su efectividad; además, el uso de quelatos de Zn es un medio efectivo para proporcionar Zn a las plantas en suelos con alta capacidad de fijación. Los mismos autores señalan que las aspersiones foliares han sido efectivas para corregir las deficiencias del nutrimento, particularmente en frutales. También dicen que en ocasiones los agentes adhesivos y mojantes han dado un efecto benéfico a bajas concentraciones, y que las espolvoreaciones con base en Zn han sido menos efectivas que las aspersiones para corregir las deficiencias. Por otro lado, opinan que las aspersiones de ZnSO₄ en los cultivos han sido satisfactorias cuando se hacen antes de que aparezcan las deficiencias severas.

Tisdale *et al.* (1985) dicen que para corregir las deficiencias de Zn en los cultivos las cantidades de Zn recomendadas dependen de: cultivo, fuente de Zn, método de aplicación y severidad de la deficiencia; además, que las tasas de aplicación varían de 3 a 20 lb/A cuando se usan fuentes inorgánicas y de 0.5 a 2 lb/A cuando la fuente de Zn es un quelato o un complejo orgánico. Los mismos autores señalan que los métodos para proporcionar Zn para el control o prevención de las deficiencias, varían desde las aplicaciones al suelo y foliares hasta las inyecciones al tronco de los árboles; además, señalan que debido a la limitada movilidad del Zn en el suelo las aplicaciones deben ser profundas.

Mohamed Elnaim y Manojlovič (1978), citados por Manojlovič (1983), en una investigación de campo, probaron varias fuentes de Zn para controlar su deficiencia en los suelos del oeste de Bacica Yugoslavia, encontraron que el ZnDTPA fue más eficiente que el ZnEDTA.

Manojlovič (1983), en un estudio sobre las posibilidades de incrementar la producción de maíz en suelos Chernozem en Yugoslavia, concluye que la aplicación de Zn puede incrementar en 5-10% la producción de maíz en el 50% de los suelos arables de la provincia de Vojvodina, Yugoslavia.

Hipótesis.

El objetivo del presente trabajo es conocer la causa de la problemática aludida a través de la aplicación de elementos menores (Fe, Mn y Zn).

Para cumplir con los objetivos se plantearon las siguientes hipótesis: (1) el conjunto de anomalías que presentan las plantas de maíz en algunas áreas de la Ciénega de Chapala se debe a una severa deficiencia de Zn; (2) la deficiencia de Zn en el maíz está asociada con deficiencias de Fe y Mn.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se desarrolló con suelos de la comunidad de Cerrito de Pescadores, Municipio de Venustiano Carranza, Mich. clasificados como Vertisoles pélicos (Cuadro 1).

Una vez localizada el área problema se inició el muestreo del suelo a una profundidad de 0-0.30 m; se transportó al CIIDIR y se procedió a secar, desmoronar, cernir y pesar 2 kg por bolsa; se fertilizó con el tratamiento 140-60-0 utilizando como fuente de N a la urea (46% N) y como fuente de P al superfosfato triple de calcio (46% P₂O₅).

Para lograr el objetivo propuesto y comprobar las hipótesis planteadas, se condujo

Cuadro 1. Análisis físicoquímico del suelo de Cerrito de Pescadores, Municipio de Venustiano Carranza, Mich.

Textura	pH	Contenido de P (Olsen)	Fijación de P	Materia orgánica	CC	N total
Migajón arcilloso	8.6	40 ppm	74	1.1	39	0.6

un experimento a nivel invernadero con las siguientes especificaciones.

Se probaron tres elementos menores (Fe, Mn y Zn) a cuatro niveles diferentes cada uno: el Zn y el Mn se aplicaron al suelo junto con el tratamiento de fertilización antes de la siembra; el Fe se aplicó en forma de aspersión al follaje en cuanto aparecieron los síntomas de deficiencia para evitar su oxidación en el suelo. Las concentraciones del Fe fueron: 0, 2.5, 5 y 7.5%, respectivamente en forma de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Los niveles de Mn fueron 0, 25, 50 y 75 kg ha^{-1} respectivamente en forma de $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y los niveles de Zn fueron 0, 5, 10 y 15 kg ha^{-1} respectivamente en forma de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; el genotipo indicador fue el híbrido de maíz H-220. Estadísticamente se trabajó con un diseño factorial 4x4x4 con cuatro repeticiones.

Durante ocho semanas se le dio mantenimiento al experimento regando cada tercer día a capacidad de campo. Finalmente se cosecharon las plantas al ras del suelo, se secaron hasta peso constante y se obtuvieron los rendimientos por tratamiento, los cuales fueron procesados estadísticamente. Primero se realizó un análisis de varianza para un diseño experimental completamente al azar, enseguida se obtuvieron las interacciones de segundo y tercer orden de acuerdo al algoritmo de Yates, citado por Box *et al.* (1978).

RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo al análisis de varianza realizado hubo una diferencia altamente

Cuadro 2. Incremento de la producción de materia seca del maíz como respuesta a la aplicación de los fitomicronutrientes Zn, Fe y Mn.

Micronutriente	Incremento medio de producción
Zn	4.0 Unidades de rendimiento
Fe	0.1 Unidades de rendimiento
Mn	0.1 Unidades de rendimiento

significativa entre tratamientos y de acuerdo al algoritmo de Yates, citado por Box *et al.* (1978), el Zn en su máximo nivel aumentó los rendimientos de materia seca del maíz 40 veces más que el Fe y Mn (Cuadro 2).

Los resultados en este trabajo indican que los suelos en estudio son deficientes en Zn. Las deficiencias no son provocadas por fijación del elemento como lo señalan Seatz y Jurinak (1957) al decir que las deficiencias de Zn pueden ser causadas por fijación en el suelo, puesto que la respuesta se manifestó en los tres niveles. En general, los resultados concuerdan con los obtenidos por Barnette *et al.* (1936), citados por Chapman (1965), y por Follet *et al.* (1981) al concluir que las deficiencias de Zn en el maíz se corrigen con aplicaciones de ZnSO_4 al suelo en banda o al voleo.

Los resultados también coinciden con los obtenidos por Manjolović (1983) al concluir que la aplicación de Zn en suelos deficientes

puede mejorar la producción del maíz. Sin embargo, Manojlović espera incrementos pequeños (5 al 10%) y en el presente trabajo son muy superiores, en primer lugar porque la deficiencia es muy severa y, en segundo porque fue a nivel invernadero. Con relación a la respuesta del maíz a la aplicación del Fe, ésta no fue significativa, lo cual indica que las plantas no tuvieron deficiencia de este nutrimento y, aunque a esos niveles de alcalinidad se esperan deficiencias, el maíz utilizado es eficiente en la absorción del Fe; el mismo argumento es válido para el Mn.

Mediante la aplicación del algoritmo de Yates se concluyó que las interacciones dobles y triples de los nutrimentos probados fueron negativas, pues hubo reducciones en el rendimiento de materia seca al aplicar conjuntamente Zn-Mn, Fe-Mn y Zn-Fe-Mn (Cuadro 3).

El caso de la interacción Fe-Zn no fue negativo, sin embargo, no se encontró significancia estadística.

En la Figura 1 se aprecia de manera general la respuesta del maíz a las aplicaciones del Fe, Mn y Zn.

A pesar de los incrementos en la producción de materia seca del maíz como respuesta a las aplicaciones de 15 kg de sulfato de zinc ha⁻¹, esta cantidad no fue suficiente para corregir completamente la deficiencia, ya que las plantas manifestaron aún la siguiente sintomatología.

Enanismo y arrosetamiento de la planta, como consecuencia de un acortamiento de los entrenudos por falta de síntesis de la suficiente cantidad de ácido indolacético (hormona del crecimiento). Coloración blanquisca en forma de bandas en los bordes de

Cuadro 3. Reducciones del rendimiento del maíz como respuesta de las interacciones dobles y triples del Zn, Fe y Mn.

Interacción	Reducción media
Zn - Mn	0.10 Unidades de rendimiento
Fe - Mn	0.41 Unidades de rendimiento
Zn - Fe - Mn	0.60 Unidades de rendimiento

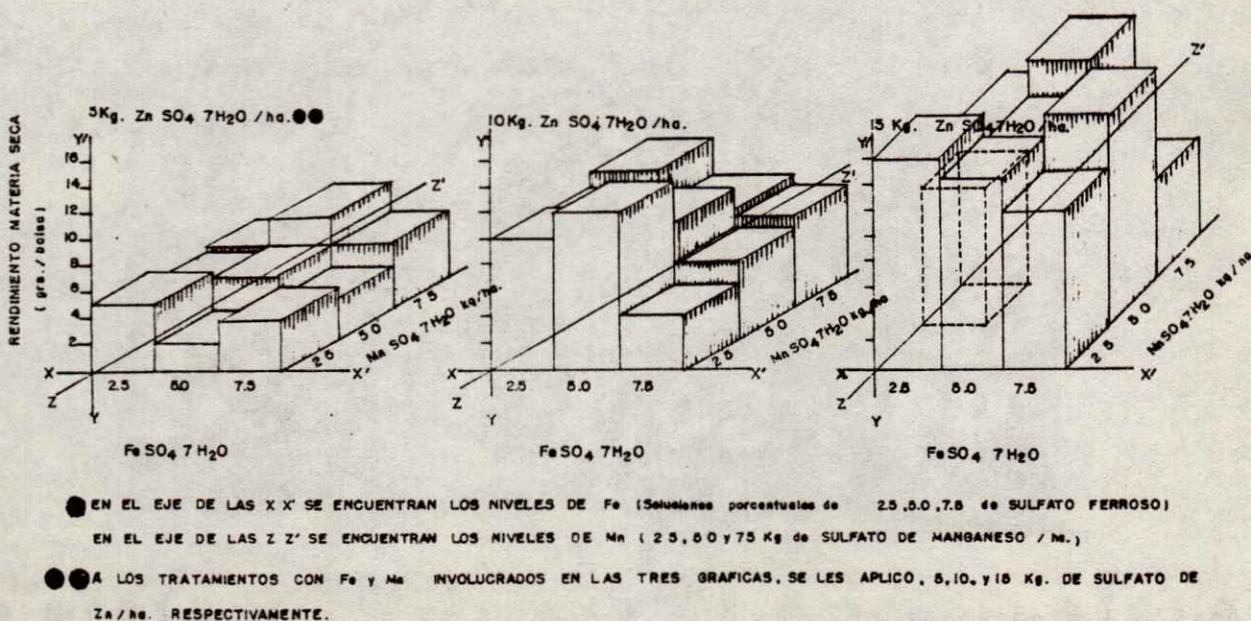


Figura 1. Respuesta del maíz H-220 al Zn, Fe y Mn.



Foto 1. Tratamientos: 1. Testigo; 2, 3 y 4 con 25, 50 y 75 kg de sulfato de manganeso ha^{-1} , respectivamente.



Foto 2. Tratamientos 49, 50, 51 y 52 con 15 kg de sulfato de zinc + 0, 25, 50 y 75 kg de sulfato de manganeso ha^{-1} , respectivamente.

la parte basal de las hojas más jóvenes, debido a la falta de síntesis de clorofila en esas partes de la planta.

Enrollamiento de los bordes de las hojas hacia arriba ocasionado por una absorción deficiente de agua, por un mal desarrollo radical y falta de paredes celulares en la raíz.

Las características sintomatológicas observadas concuerdan con las descritas por Baver y Lindsay, citados por Follet *et al.* (1981), al caracterizar las deficiencias de Zn en maíz (Fotos 1 y 2). Al conjuntar los resultados obtenidos con la sintomatología observada, se corrobora la primera hipótesis de trabajo de la presente investigación y se rechaza la segunda; al mismo tiempo se cumple con el objetivo propuesto, pues la causa de la problemática mencionada obedece a una severa deficiencia de Zn y su efecto se manifiesta en una producción casi nula.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y la literatura consultada, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

Las aplicaciones de $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ al suelo mejoraron el desarrollo y la producción de materia seca del maíz H-220, lo cual indica que la problemática aludida es causada por una deficiencia nutricional de Zn.

Las aplicaciones de Fe y Mn en forma independiente no tuvieron efecto alguno sobre la producción de materia seca, sin embargo, su aplicación simultánea tuvo un efecto de toxicidad sobre el desarrollo de la planta, el cual se intensifica con la aplicación conjunta de los tres elementos Zn-Fe-Mn.

El nivel de 15 kg de $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ha^{-1} no fue suficiente para corregir por completo las deficiencias de Zn en las plantas de maíz, por lo que se recomienda que en una segunda fase de la investigación se trabaje sólo con Zn y a niveles superiores a los probados en la presente.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la colaboración de la Srita Susana Avila Hernández y de la Sra Olga Macías Nava, al mecanografiar el presente trabajo.

LITERATURA CITADA

BOX, G.E.P., W.G. HUNTER y J.S. HUNTER. 1978. *Statistic for experimenters. An introduction to design, data analysis, and model building.* John Wiley and Sons, Inc.

CHAPMAN, H.D. 1965. Zinc. pp. 484-499. *In:* Chapman, H.D. (ed.). *Diagnostic criteria for plants and soils.* Department of Soils and Plant Nutrition, University of California, Citrus Research Center and Agricultural Experiment Station, Riverside.

FOLLET, R.H., L.S. MURPHY y R.L. DONAHUE. 1981. *Fertilizers and soil amendments.* Prentice-Hall, Inc. Englewood.

GAUCH, G.G. 1972. *Inorganic plant nutrition.* Second Printing. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. Stroudsburg, Pa.

KRANTZ, B.A. y S.W. MELSTED. 1941. Nutrient deficiencies in corn, sorghums and small grains, pp. 25-57. *In:* Sprague, H.B. (ed.). *Hunger signs in crops.* Published by David McKay Company, New York, N.Y.

MANOJLOVIĆ, S. 1983. Possibilities of increasing the production of corn in the chernosem zone of Yugoslavia (Vojvodina) by zinc application, pp. 331-350. *In:* Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. *Efficient use of fertilizers in agriculture.* United Nations Economic Commission for Europe (1983: Geneva, Switzerland). *Developments in Plant and Soil Sciences: V.10.*

OLSEN, S.R. y M. FRIED. 1957. Soil phosphorus and fertility, pp. 94-100. *In:* Stefferud, A. (ed.). *Soil. The 1957 Yearbook of Agriculture.* The United States Department of Agriculture. Washington, D.C.

SEATZ, L.F. y J.J. JURINAK. 1957. Zinc and soil fertility, pp. 115-121. In: Stefferud, A. (ed.). Soil. The 1957 Yearbook of Agriculture. The United States Department of Agriculture, Washington, D.C.

SHKOLNIK, M.YA. 1984. Trace elements in plants. Translation Editor: Mark Cowan.

Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, The Netherlands. Developments in Crop Sciences: 6.

TISDALE, S.L., W.L. NELSON y J.D. BEATON. 1985. Soil fertility and fertilizers. Fourth Edition. MacMillan Publishing Company New York, N.Y.

EXTRACCION DE NITROGENO Y FOSFORO POR EL CULTIVO DE TRIGO EN LA REGION DE NUEVO CASAS GRANDES, CHIH.

Nitrogen and Phosphorus Extraction by Wheat in Nuevo Casas Grandes, Chihuahua.

Omar Felix Verdugo¹, Javier Z. Castellanos² y Sergio A. Enriquez²

¹CEBAJ-CIFAP-Chihuahua. Apartado Postal 2244, 32000 Cd. Juárez. Chih.

²CAEB. CIFAP-Guanajuato. Apartado Postal 112, 38000 Celaya, Gto.

Palabras clave: Recuperación de N, Eficiencia de aprovechamiento de N, Paja, Grano, Concentración de N, Concentración de fósforo.

Index words: N recovery, Nitrogen use efficiency, Straw, Grain, N concentration, P concentration.

RESUMEN

El conocimiento de la extracción nutrimental de los cultivos conjuntamente con datos sobre la suplementación de nutrimentos por el suelo permite generar recomendaciones racionales de fertilización a costos más accesibles a las instituciones de investigación. El objetivo del presente trabajo fue obtener información sobre la extracción de N y P por el cultivo de trigo y la distribución de los mismos en el componente económico del cultivo, de acuerdo a las dosis de estos nutrimentos aplicados al suelo. El trabajo consistió en un experimento de campo con dosis de 0 a 240 kg de N con y sin la aplicación de 80 kg de P_2O_5 ha^{-1} y de un muestreo al momento de la cosecha en dos lotes experimentales con dosis conocidas de fertilizantes. Estos trabajos se llevaron a

cabo en los inviernos de 1986 y 1987 en la región de Nuevo Casas Grandes, Chih.

Al momento de la cosecha se evaluó el rendimiento de grano y paja y se analizó la concentración de N y P en ambos componentes. De acuerdo con los datos obtenidos en el presente estudio, para producir una tonelada de trigo de la variedad F-75 en la región de Nuevo Casas Grandes, Chih., a peso de campo, se requieren en promedio 27.6 kg de N y 11.4 kg de P_2O_5 ha^{-1} . La concentración de N en paja y grano aumentó de acuerdo con la dosis de N aplicada al suelo. Del total de N y P tomado por el cultivo, aproximadamente 78% de N y 73% de P se acumularon en el grano, y los porcentajes restantes en el residuo del cultivo. La recuperación de N por el cultivo promedió un 41%, del cual 27% del total aplicado fue acumulado en el grano.

SUMMARY

With knowledge of the nutrient extraction of crops as well as data of nutriment supply by the soil, it is possible to generate rational fertilizer recommendations at accessible costs to research institutions. The objective of this study was to obtain information on N and P extraction for wheat

and the partition of these nutrients in grain and straw as affected by N fertilization rate. The study consisted of a field experiment with rates from 0 to 240 kg N ha⁻¹ with and without the application of 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ and also in a sampling of two experimental sites with known rates of fertilizer. The study was undertaken in the winters of 1986 and 1987 in Nuevo Casas Grandes, Chihuahua. At harvesting, data of grain yield and straw were taken, and in samples of both total N and P were analyzed. According to the data gathered during this study, to produce a ton of wheat grain at field weight, 27.6 kg of N and 11.4 kg of P₂O₅ ha⁻¹ are required. The concentration of N and P in grain and straw increased when the N rate increased. Nitrogen and P in grain averaged 78 and 73%, respectively, in regard to the total nutrient uptake. N recovery by the crop averaged 41% of the total applied to the soil, of which 27% was accumulated in the grain.

INTRODUCCION

Las aplicaciones excesivas de fertilizantes nitrogenados repercuten sobre la economía del productor, pueden afectar la disponibilidad de algunos nutrimentos y son un riesgo para el medio ambiente.

La estrategia tradicional de recomendar dosis de fertilizante con base en ensayos de campo evaluando dosis de dos o más nutrientes ha sido muy costosa y a menudo poco extrapolable a otras zonas. Hay dos variables fundamentales a conocer para recomendar dosis de fertilizantes: la demanda nutrimental del cultivo y la capacidad de abastecimiento del suelo. Generar información para conocer estas dos variables será una de las tareas de los investigadores de fertilidad en los próximos años, ya que a través de esta metodología resulta más económico generar recomendaciones de fertilización. En consecuencia, con esta segunda estrategia, el conocer la extracción nutrimental del cultivo y la distribución del nutrimento en el componente económico del mismo es el primer paso para lograr un uso racional de los fertilizantes.

Los objetivos del presente trabajo fueron determinar la extracción de N en trigo de acuerdo con la dosis de este nutrimento aplicado al suelo y estimar la recuperación del N aplicado.

En relación a la proporción de nutrientes en el grano, Waldren y Flowerday (1979) reportaron que el 70% del N y el 75% del P absorbido por el trigo, se encontraron en el grano. El contenido nutrimental del grano y el rendimiento son las variables que determinan la extracción nutrimental. González (1984) reporta en los cv. de trigo Anáhuac F-75 un contenido de N en el grano de 1.75 a 2.38%. Terman (1979) reporta que existen variaciones importantes en la concentración de N en el grano de acuerdo con la variedad y con la dosis de N aplicado. Esta última variable estuvo positivamente relacionada con el contenido de proteína. Similares resultados fueron reportados por Dubetz y Gardiner (1980). Al igual que los resultados consignados por Johnson *et al.* (1973) al evaluar las variedades de trigo "Lancer" y C.I. 14016, presentando esta última un 2% más de proteína en el grano que la primera. En el tratamiento sin nitrógeno encontraron 1.65 y 1.96% de N, respectivamente para los genotipos arriba mencionados, y para la dosis de 120 kg de N ha⁻¹; la concentración de N en el grano fue de 2.06 y 2.46%, respectivamente. Por otro lado, González (1972) no reportó cambios en concentración de N en el grano como resultado de la variación de la dosis de N al suelo.

En relación con la extracción de N total en planta por tonelada de grano, Singh *et al.* (1979) reportaron para la variedad enana "Kaljansona", valores de 24 a 26.3 kg de N ton⁻¹ para dosis de N de 60 a 120 kg de N ha⁻¹ y rendimiento de grano de 3.6 a 4.3 ton ha⁻¹. De esta cantidad de N extraído, el 74% se encontró en el grano y el resto en la paja.

En relación con la determinación de la eficiencia en el aprovechamiento de N existen dos métodos: el método isotópico (IAEA, 1976) y el método de la diferencia, que requiere un testigo y dosis crecientes de N. Este segundo

método es más inexacto pero menos costoso. De acuerdo con estudios realizados en varios países, la FAO (1980) ha reportado para trigo porcentajes de N derivados del fertilizante de 41 a 74% con un promedio de 51%.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se llevó a cabo en la región de Nuevo Casas Grandes, Chih., y consistió primeramente en un muestreo de dos lotes experimentales con dosis de 0 a 240 kg N ha⁻¹ y la aplicación uniforme de 80 kg de P₂O₅ ha⁻¹. La variedad de trigo utilizado fue Anáhuac F-75, sembrada el 14 y 25 de febrero de 1986 y en ambos casos recibió seis riegos de auxilio. En estos lotes se tomaron cuatro muestras de 0.48 m² en cada dosis de nitrógeno. Estas muestras se tomaron al momento de la cosecha, se determinaron el rendimiento de grano, el peso seco de paja y posteriormente se analizaron N y P en ambas porciones.

En el invierno de 1986-1987 se estableció un experimento en el sitio CEBETA con tratamiento de 0, 80, 160 y 240 kg de N ha⁻¹, con y sin la aplicación de 80 kg de P₂O₅ ha⁻¹. En este sitio se sembró la variedad Anáhuac F-75 el día 24 de febrero de 1987 en un suelo de textura migajón arcillo arenoso y cuyo cultivo anterior fue trigo. El experimento recibió un total de seis riegos de auxilio, la parcela total fue de 6 x 6 m y la evaluación de rendimiento se realizó en una superficie de 1 m² repetido cuatro veces en la parcela experimental. Además del rendimiento de grano se determinó peso seco de paja y se tomaron muestras de ambas porciones para determinación de N y P total en el laboratorio, mediante los métodos de Kjeldahl y digestión en ácido nítrico y perclórico, respectivamente. Mediante los datos de peso seco de grano y paja y su concentración de N y P, se cuantificó la extracción de estos nutrimentos por el cultivo. En el caso del nitrógeno se cuantificó además la recuperación de N en relación con el aplicado como fertilizantes. Para obtener este dato se consideró el rendimiento de paja y grano del tratamiento

testigo multiplicado por su concentración de N, como el N aportado por el suelo y al abstraer este dato del N total cosechado de cada tratamiento nitrogenado se obtuvo el N proveniente del fertilizante. No obstante que este método presenta algunas inconveniencias en relación con los métodos isotópicos (Broadbent y Carlton, 1979), en términos económicos es el único factible al alcance de las posibilidades económicas de la estación experimental.

Debido a que no se presentó diferencia estadística entre aplicar fósforo o no, se promediaron las dosis de 0 y 80 kg de P₂O₅ ha⁻¹ y se aumentó así, la confiabilidad de las medias para los tratamientos de nitrógeno.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los resultados del experimento establecido en CEBETA en 1987 en donde se aprecian los datos de rendimiento, concentración y extracción de N de acuerdo con las dosis de N aplicado. El máximo rendimiento de grano se obtuvo con la dosis de 160 kg de N ha⁻¹, el cual con base en el 14% de humedad fue de 4.50 ton ha⁻¹ (3.87 ton en base seca), y cuyo índice de cosecha resultó de 0.40.

La concentración de N se incrementó tanto en grano como en paja de acuerdo con la dosis de N aplicado, concordando con los datos de Dubetz y Gardiner (1980) y Terman (1979). Sin embargo, con excepción del tratamiento testigo, la variación de N en grano fue relativamente baja, no ocurriendo lo mismo con la paja, cuya concentración sigue aumentando considerablemente con la dosis de nitrógeno.

En relación con la proporción del N total extraído que ocurre en el grano, se calculó un promedio de 78% y cuyo porcentaje estuvo inversamente relacionado con la dosis de N aplicado (86% para el testigo y 73% para la dosis de 240 kg de N ha⁻¹).

La recuperación del N por la planta fue en promedio del 41% del total aplicado y de éste

Cuadro 1. Producción de materia seca de grano y paja de trigo, concentración, extracción y recuperación de nitrógeno por el cultivo de acuerdo a la dosis aplicada de este elemento. CEBETA, 1987.

Dosis de N	Rendimiento ¹⁾		Conc. de N		Extracción de nitrógeno			N recuperado ²⁾			Extracción ³⁾ unitaria de N
	grano	paja	grano	paja	grano	paja	total	grano	paja	total	
kg ha ⁻¹	ton ha ⁻¹	---	%	---	-----	kg ha ⁻¹	-----	-----	%	-----	kg ton ⁻¹
0	2.65	2.71	2.19	0.32	58	9	67	-	-	-	25.3
80	3.38	5.61	2.57	0.44	86	24	110	35	19	54	32.5
160	3.87	5.24	2.54	0.46	98	24	122	25	9	34	31.5
240	3.85	5.70	2.85	0.72	110	41	151	22	13	35	39.2
Media	3.44	4.82	2.54	0.49	88	25	113	27	14	41	32.1

¹⁾ Materia seca

$$^2) N \text{ Recup.} = \frac{N \text{ extr. trat. con N extr. testigo}}{N \text{ aplicado en fertilizante}}$$

$$^3) \text{ Extr. unit.} = \frac{\text{Extracción total de N}}{\text{Rendimiento de grano}}$$

solo el 27% se recuperó en el grano y el restante 14% en la paja. De acuerdo a estos cálculos, de cada 100 kg de N aplicado solo 27 kg se recuperan en la porción económica del cultivo y el resto posiblemente se pierde del sistema. En caso de no quemarse el residuo, el N de la paja se reincorpora a la reserva de materia orgánica del suelo, y es posteriormente utilizado por la planta, al menos en forma parcial.

En la última columna del Cuadro 1 se presentan los datos de extracción de N total en plantas por tonelada de grano en base seca. El dato resultó de 32.1 kg de N por tonelada de grano de trigo (27.6 kg ton⁻¹ con base en peso de campo). Este dato se incrementó con la dosis de N aplicado y el incremento se debe al aumento en la concentración de N en grano y paja debido a la dosis de N aplicado.

Con el fin de obtener un valor con mayor grado de generalización se calculó en forma conjunta la extracción de N para los sitios de 1986 y para el reportado aquí en 1987 (Figura 1). De acuerdo al promedio de estos datos,

para producir una tonelada de trigo a peso de campo (ajustada al 14% de humedad) se requieren 30 kg de N. Este dato se debe afinar en los lotes de productores para los genotipos más utilizados en la región.

Los datos de extracción de fósforo se presentan en el Cuadro 2. Como se puede apreciar, no se presentó respuesta a la aplicación de fósforo, lo cual indica que el suelo resultó rico en este nutriente. La concentración de P en paja o grano prácticamente no se alteró con la dosis de fósforo aplicado. Alrededor del 73% del P extraído por la planta se acumula en el grano, valor similar al reportado por Waldren y Flowerday (1979). Esta proporción resultó ser ligeramente menor a la del nitrógeno.

De acuerdo a los datos del Cuadro 2, por cada tonelada de trigo producida (al 14 % de humedad) se extraen del suelo 11.4 kg de P₂O₅, es decir que para un rendimiento medio anual de 5 ton ha⁻¹ se requieren 57 kg ha⁻¹ de este nutriente, no obstante, en caso de no quemar el residuo, 15.4 kg se regresan al suelo vía

Cuadro 2. Rendimiento de grano, concentración y extracción de fósforo por el cultivo de trigo de acuerdo a la dosis de P_2O_5 aplicado. CEBETA, 1987.

Dosis ¹⁾ kg P_2O_5 ha ⁻¹	Mat. seca		Conc. de P		Extracción de P		
	paja	grano	paja	grano	paja	grano	total
	ton ha ⁻¹		---	%	---	kg ha ⁻¹	---
0	5.66	3.87	0.10	0.42	5.6	16.4	21.8
80	5.20	3.53	0.12	0.42	6.2	14.8	21.0

¹⁾ Promedios de las dosis de 80, 160 y 240 kg de N ha⁻¹

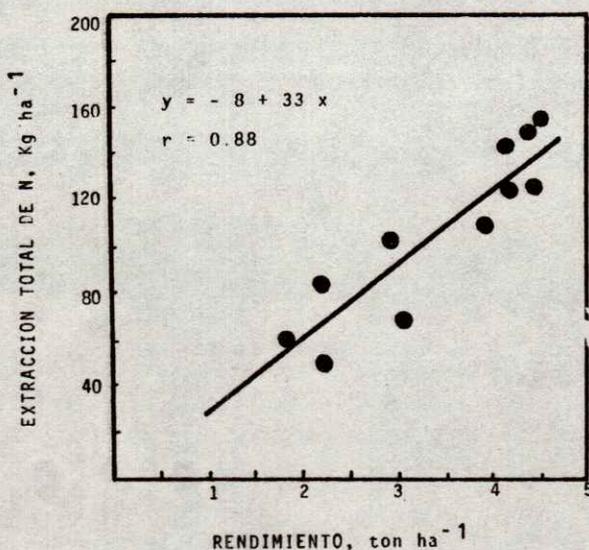


Figura 1. Relación entre el rendimiento de trigo a peso de campo (14% humedad) y la extracción total de nitrógeno en varios sitios de muestreo. 1986 y 1987.

paja, por lo que a largo plazo la dosis teórica requerida para el mencionado nivel de producción resultaría de 42 kg ha⁻¹.

CONCLUSIONES

1. Para producir una tonelada de trigo de la variedad Anáhuac F-75 a peso de campo en la región de Nuevo Casas Grandes, Chih. se

requieren en promedio de 27.6 kg de N y 11.4 kg de P_2O_5 .

2. La concentración de N en paja y grano aumentó de acuerdo a la dosis de N al suelo.

3. Del total de N y P tomado por el cultivo aproximadamente el 78 y 73%, respectivamente, se acumularon en el grano y el restante en el residuo del cultivo.

4. La recuperación de N por el cultivo promedió un 41% del cual 27% ocurrió en el grano.

LITERATURA CITADA

BROADBENT, F.E. y A.B. CARLTON. 1979. Field trials with isotopes-plant and soil data for Davis and Kearney sites. p 433-465. In: Nitrate in effluents from irrigated lands. Ed. P.F. Pratt. Final Report to NSF. University of California.

DUBETZ, S. y E.E. GARDINER. 1980. Protein content and aminoacid composition of seven wheat cultivars subject to water stress; effects of nitrogen fertilizer treatments. J. Pl. Nutr. 2: 517-523.

FAO. 1980. Maximizing the efficiency of fertilizer use by grain crops. FAO Fertilizer Bulletin No. 3. Roma.

GONZALEZ E.D.R. 1972. Respuesta del cultivo de trigo a la aplicación de fertilizantes químicos en el Valle de Mexicali. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara, México.

GONZALEZ E.D.R. 1984. Análisis de la dinámica de producción de materia seca y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio en trigo cultivado bajo diferentes ambientes. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

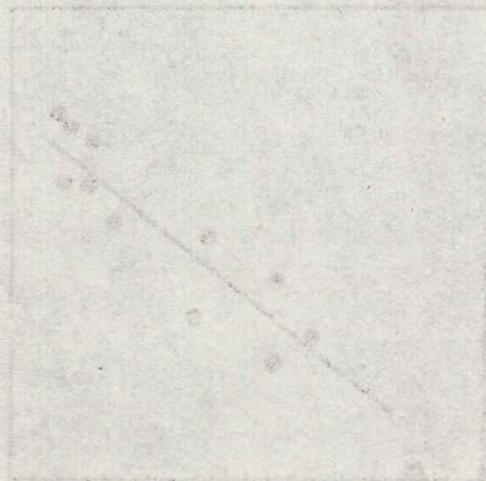
IAEA. 1976. Tracer manual on crops and soils. Technical Report Series No. 171. International Atomic Energy Agency. Vienna. 277 p.

JOHNSON, V.A., A.F. DREIER, y P.H. GRABOUSKI. 1973. Yield and protein response to nitrogen fertilizer of two winter wheat varieties differing in inherent protein content of their grain. *Agron. Jour.* 65: 259-263.

SINGH, N.T., A.G. VIG, E. SINGH, y M.R. CHAUDHARY. 1979. Influence of different levels of irrigation and nitrogen on yield and nutrient uptake by wheat. *Agron. Jour.* 71: 401-404.

TERMAN, G.L. 1979. Yields and protein content of wheat grain as affected by cultivar, N and environmental growth factors. *Agron. Jour.* 71: 437-440.

WALDREN, R.P. y A.D. FLOWERDAY. 1979. Growth stages and distribution of dry matter, N, P and K in winter wheat. *Agron. Jour.* 71: 391-397.



EVOLUCION DE LA CIENCIA DEL SUELO EN MEXICO Y LOS DESAFIOS PARA EL FUTURO

Evolution of Soil Science in Mexico and the
Challenge for the Future.

Reggie J. Laird

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230 Montecillo, México.

EVOLUCION DE LA CIENCIA DEL SUELO EN MEXICO

Los inicios

Al llegar los españoles al Nuevo Mundo en el año 1492, ya existía en México un gran conocimiento de los suelos y de su uso en la producción de cultivos, generado a través de los años por los pobladores autóctonos. Tovar (1986) relata que las culturas en el sureste de la República, como la Olmeca y la Maya, habían desarrollado prácticas de fertilización, sistemas de riego y drenaje, e incluso una clasificación de suelos empleando términos como kancab, alcaché y tzeke, que a la fecha aún es válida. Los Toltecas y los Aztecas tenían toda una nomenclatura para referirse a las características físicas y químicas de los suelos. Otras culturas, como la Zapoteca en Oaxaca y la Acolhua en Texcoco, emplearon prácticas de conservación de suelos a través de la construcción de terrazas de las cuales aún es posible observar sus vestigios en Monte Albán y en el Cerro del Tezcutzingo.

Conferencia presentada en el XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, celebrado en Montecillo, Edo. de México.

Recibido 11-89.

Los pueblos de Acolman, Chalco y Xochimilco, entre otros, desarrollaron los sistemas de subirrigación a través de la construcción y el uso de las chinampas.

Durante el período colonial, los españoles introdujeron especies de plantas y animales, implementos agrícolas y tecnologías de producción de Europa. En el siglo diecinueve, un período de avances rápidos en los conocimientos científicos, llegaron continuamente a México informes sobre prácticas nuevas de producción de cosechas, como el uso de los abonos químicos.

Aunque las especies, los implementos y las tecnologías europeas tuvieron un gran impacto en la producción de cosechas en México, muchos de los productores, particularmente los campesinos indígenas, conservaron sus prácticas tradicionales para la producción de cultivos de autoconsumo, como maíz y frijol. Las investigaciones recientes han confirmado que las tecnologías empleadas por los campesinos, muchas de ellas muy antiguas, representan un uso, de los recursos entonces disponibles, cercano al óptimo.

El interés en el uso de las ciencias agrícolas, incluyendo la del suelo, como medio para incrementar la producción de cosechas, se volvió más patente al principio del siglo

veinte. En 1906, se inició la creación de las estaciones agrícolas experimentales con la asignación de tierras para este propósito en El Dorado, Sinaloa y Ciudad Juárez, Chihuahua. Poco tiempo después, se establecieron las estaciones en San Luis Potosí, Yucatán, Tabasco y Coahuila (Anónimo, 1987). Posteriormente se establecieron otras estaciones agrícolas experimentales, y la administración de éstas correspondía al Departamento de Agronomía de la Secretaría de Agricultura y Fomento.

Durante los primeros años, las actividades de investigación llevadas a cabo en las estaciones experimentales se limitaron principalmente a la observación del comportamiento de introducciones de nuevas variedades y especies de plantas. Aunque esta clase de estudios no alcanzó el nivel para ser investigación científica, sí resultó en algunos logros. Por ejemplo, durante la década de los treinta, Taboada (1984) y sus colaboradores demostraron que la variedad Marqués de trigo de origen canadiense fue bastante resistente a las razas de chahuixtle presentes en México.

Al mismo tiempo que los ingenieros agrónomos hicieron los primeros ensayos en los campos experimentales con las introducciones vegetales, empezó a extenderse el uso de los procedimientos analíticos para determinar las características de los suelos. Funcionaron laboratorios de suelos en diferentes dependencias del gobierno incluyendo el Departamento de Agronomía de la SAF, el Departamento Agronómico de la Comisión Nacional de Irrigación, y la Escuela Nacional de Agricultura. Profesores, investigadores, agricultores y otros se interesaron en la información obtenida en los laboratorios. En la Comisión Nacional de Irrigación, por ejemplo, emplearon los análisis de suelos "para apreciar la calidad agrícola de los suelos y para juzgar acerca del uso y la aplicación de los fertilizantes y mejoradores" (Brambila, 1955). Los análisis de rutina de este laboratorio incluyeron color, densidad aparente, textura, capacidad de retención de agua, agua de marchitamiento, carbonato de

sodio, sulfato de sodio, carbonato de calcio, materia orgánica, nitrógeno total y los elementos disponibles empleando los métodos de Morgan y de Peach (Brambila, 1955).

Durante este periodo, quizá el avance más importante en los conocimientos de los suelos mexicanos ocurrió en las zonas áridas y semiáridas del país. Con el fin de fortalecer los proyectos de irrigación en esas zonas, se formó en el año de 1927 el Departamento Agronómico de la Comisión Nacional de Irrigación, con el propósito de generar en cada proyecto información sobre las propiedades de los suelos. De acuerdo con González (1941), al fin de la década de los treinta se había formado un catálogo con 344 series de suelos de la información acumulada en 45 proyectos. En diciembre de 1937, los Ingenieros Antonio Rodríguez y Miguel Brambila presentaron un Mapa de Suelos de México, "un primer intento para agrupar los suelos de México dentro de los grandes grupos del mundo".

En lo referente a la docencia, parece que se incluyó algo de instrucción en suelos en la Escuela Nacional de Agricultura desde su creación en el año 1854. El plan de estudios para la carrera de "administradores instruidos" en 1856 incluyó prácticas agrícolas y química agrícola (Gómez, 1976). Aunque el título de la carrera y el plan de estudios sufrieron cambios a través de los años, los cursos prácticas agrícolas y química agrícola permanecieron presentes. En el plan de estudios iniciado en marzo de 1923, se incluyó por primera vez en el programa de base, la materia suelos y labores, con tres horas de teoría y tres de práctica por semana. Además, fue incluido como electivo para especialistas en servicios agrícolas un curso sobre investigación y experimentación agrícolas.

El período 1940-1959

Durante los primeros años de la década de los cuarentas, la investigación agrícola en la Oficina de Campos Experimentales, bajo la dirección del Ing. Taboada, se volvió más

científica. En la estación experimental de León, Guanajuato, por ejemplo, se hicieron investigaciones "en maíz y papa, incluyendo los campos de mejoramiento genético y de fertilización". El Ing. Eduardo Limón tenía un proyecto "para la formación de las primeras líneas de los híbridos y variedades de polinización abierta (de maíz) que todavía se cultivan" (Martínez, 1984).

En 1943, con la llegada a México de los doctores norteamericanos George Harrar y Edwin Wellhausen, empezó a funcionar la Oficina de Estudios Especiales (OEE), un programa agrícola cooperativo entre la Secretaría de Agricultura y Ganadería en México y la Fundación Rockefeller. Durante un período de 18 años, la OEE operó bajo el mando de científicos extranjeros y con financiamiento de las dos instituciones. La investigación fue concentrada en el mejoramiento de los cultivos básicos y en las disciplinas de apoyo, incluyendo la ciencia del suelo. La investigación en suelos dio primera importancia a la generación de recomendaciones sobre prácticas de producción de maíz y trigo, particularmente la fertilización química. Se dio mucha importancia a la preparación, a nivel práctico y académico, de los investigadores mexicanos y de otros países latinoamericanos. En 1958, el cuerpo de investigadores de la OEE llegó a su tamaño máximo con unos 115 mexicanos y 18 norteamericanos.

En 1947, se creó el Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA) como una etapa avanzada de la antigua Oficina de Campos Experimentales. El programa de investigación del IIA abarcaba un mayor número de cultivos que el de la OEE y fue instrumentado en una red más amplia de campos experimentales. Igual que en el caso de la OEE, el programa de investigación de suelos del IIA dio mucha importancia al estudio del uso de fertilizantes y otras prácticas de producción. Además, promovió el uso de los análisis de suelos en el diagnóstico de las deficiencias de nutrimentos en las plantas, mediante una red de laboratorios ubicados en los campos experimentales.

Durante este período, la Comisión Nacional de Irrigación, transformada a finales del año de 1946 en la Secretaría de Recursos Hidráulicos, siguió contribuyendo a la ciencia del suelo a través de los estudios agrológicos y los análisis de suelo. La Oficina de Campos Experimentales, dependiente de la Unión Nacional de Productores de Azúcar, S.A., también hizo trabajos agrológicos y análisis de suelos en las zonas cañeras del país (Ortiz, 1955). La Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro" y el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, a través de sus Departamentos de Suelos, hicieron recomendaciones a los agricultores sobre el uso de fertilizantes químicos, basadas en los resultados de los análisis de suelos (Puertas, 1955; Romo, 1955). Otras entidades, incluyendo particulares y dependencias del gobierno como Guanos y Fertilizantes, creado en 1943, ofrecieron a los agricultores el servicio del análisis de suelos.

La destrucción de los suelos por la erosión hídrica ha sido una preocupación de la gente trabajando en la agricultura desde muchos años atrás. Por ejemplo, la obra Economía Rural del Ing. Rómulo Escobar, publicada de la década en los veintes, incluía un capítulo sobre la conservación de los suelos (Blanco y Ramírez, 1966). La evidente necesidad de proteger el suelo resultó en el Acuerdo Presidencial del 25 de marzo de 1942 que creó el Departamento de Conservación del Suelo y Agua de la Comisión Nacional de Irrigación. Al final de 1946, cuando la Comisión se transformó en la Secretaría de Recursos Hidráulicos, la Dirección General de Conservación del Suelo y Agua pasó a la Secretaría de Agricultura y Ganadería (Blanco y Ramírez, 1966).

Durante las décadas de los treinta y cuarenta, la enseñanza agrícola superior concedió a la ciencia del suelo cada vez más importancia. De acuerdo con Tovar (1986), el Ing. Manuel Meza Andraca, al ser nombrado Director de la Escuela Nacional de Agricultura en 1929, conciente de la necesidad de personal técnico con buena preparación en suelos,

particularmente en la recién creada Comisión Nacional de Irrigación, trató de establecer la especialidad de suelos en la escuela. Por falta de profesores especializados en agrología, no fue posible formar la carrera en ese tiempo.

En los años de 1948 y 1950 se hicieron otros intentos para establecer la especialidad de suelos en la ENA, pero sin éxito. Posteriormente, en noviembre de 1954 se aprobó la creación del Departamento de Enseñanza e Investigación de Suelos y, en 1958, la carrera de Ingeniero Agrónomo en la Especialidad de Suelos. El Profesor Mariano Villegas Soto, quien había pugnado por muchos años para establecer la especialidad, fue nombrado su primer jefe (Tovar, 1986). La generación de 1954-1960 incluía los primeros seis especialistas en suelos.

En 1959, un año después de crear la Especialidad de Suelos en la ENA, se estableció el Colegio de Postgraduados con su Rama de Suelos con el mandato de formar a nivel de Maestría en Ciencias, especialistas en suelos.

El período 1960 al presente

El Departamento de Suelos de la ENA creció lentamente durante la década de los sesentas, graduando solamente 76 especialistas en las primeras nueve generaciones. Después, creció más rápidamente, graduando su generación más numerosa en 1982; noventa y uno ingenieros. Hasta ahora, han egresado 560 ingenieros agrónomos especialistas en suelos.

Durante el período de 1959 a 1970, el Departamento de Suelos de la ENA y la Rama de Suelos del Colegio de Postgraduados, estuvieron prácticamente fusionados, y los profesores daban clases indistintamente a los niveles de licenciatura y postgrado. Posteriormente, el desarrollo de las dos entidades fue más independiente, cada una formando su propio cuadro de profesores. Actualmente el Departamento de Suelos de la ENA cuenta con 42 profesores de tiempo completo y 12 de tiempo parcial.

La Rama de Suelos del Colegio de Postgraduados, transformado en 1980 al Centro de Edafología, empezó en 1959 con cuatro profesores y cuatro alumnos. A través de los años se ha ido aumentando tanto el número de alumnos y profesores como el número de materias de la especialidad. Actualmente, el Centro cuenta con 33 profesores de los cuales 29 son de tiempo completo. El número de alumnos en el semestre de otoño de 1989 es 71 (M.C. Tovar Salinas, CEDAF, CP, Montecillo, México. Comunicación personal). Hay Secciones de Nutrición Vegetal, Fertilidad, Química, Física, Microbiología y Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos. Se ofrece en el Centro un total de 25 materias, más Problemas Especiales y seminarios.

Durante el período 1961-1989 han egresado 323 especialistas con maestría en ciencias y nueve con el doctorado. La distribución de los titulados entre las seis secciones es: Fertilidad - 121 con maestría en ciencias y 5 con el doctorado; Química - 34 y 1; Física - 57 y 0; Microbiología - 15 y 0; Génesis, Morfología y Clasificación - 53 y 1; y Nutrición Vegetal - 43 y 2 (M.C. Jorge L. Tovar Salinas, CEDAF, CP, Montecillo, México. Comunicación personal).

A través de los años, ha seguido aumentando el número de instituciones de enseñanza agrícola superior en México, llegando en la actualidad a alrededor de 100 (Dr. Leobardo Jiménez Sánchez, CP, Montecillo, México. Comunicación personal). Todas ellas incluyen en sus planes de estudio instrucción en la ciencia del suelo, muchas promueven la investigación de suelos y algunas tienen programas de postgrado en suelos. La contribución conjunta de todas las instituciones de enseñanza agrícola superior a la ciencia del suelo es enorme.

Durante el año de 1960, se planeó la fusión de la Oficina de Estudios Especiales y el Instituto de Investigaciones Agrícolas, ambos de la Secretaría de Agricultura y Ganadería, y en enero de 1961, empezó a funcionar el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). En septiembre de 1985, se

fusionó el INIA con el Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales para formar el actual Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP).

En 1961, el Departamento de Suelos de INIA, bajo el mando del Dr. Rodolfo Moreno Dahme, siguió dando primera importancia a la investigación de las prácticas de producción de cosechas. A través de los años se han ido ampliando y diversificando los estudios del suelo. Actualmente, la organización de INIFAP incluye 43 redes de investigación con coordinación nacional que tienen el propósito de lograr los balances deseados entre las prioridades nacionales y las locales o regionales. Cinco de estas redes - productividad de agrosistemas, conservación de suelo y agua, sistemas de explotación de la tierra, relaciones agua-suelo-planta-atmósfera, e innovación tecnológica - se basan en gran parte en la ciencia del suelo. Además, en este momento, INIFAP tiene aprobado siete Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, uno de los cuales corresponde a la ya mencionada área de investigación, relaciones agua-suelo-planta-atmósfera (Dr. Antonio Turrent Fernández, INIFAP, México, D.F. Comunicación personal).

Además de INIFAP, que lleva a cabo investigación forestal agropecuaria por toda la República, los estados también tienen sus programas agrícolas, que a menudo incluyen la investigación de suelos. En algunos casos, como en el Estado de México, la mayor parte de la investigación agrícola, incluyendo la de suelos, puede corresponder al programa estatal.

Para los principios de la década de los sesentas, trabajaron muchos especialistas de suelos en los institutos de investigación agropecuaria forestal, las instituciones de enseñanza agrícola superior, las dependencias del gobierno y otras entidades. Fue oportuno el momento para buscar un instrumento que fomentara las interacciones entre los

investigadores de suelos y la publicación de los productos de sus estudios.

Desde 1961, se iniciaron diversas actividades encaminadas a fomentar la formación de una Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS). Después de varias reuniones informales, se llevó a cabo una reunión formal en junio de 1962 con la finalidad de establecer los lineamientos a seguir en la organización de tal sociedad. En octubre de este mismo año, se formalizó la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo con 140 Socios Fundadores (Sánchez, 1963).

El Primer Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo fue celebrado del 15 al 17 de julio de 1963 en la Escuela Nacional de Agricultura y en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Trabajaron siete mesas: relación suelo-planta, química de suelos, física de suelos, biología de suelos, génesis, clasificación y cartografía de suelos, conservación de suelos, y relaciones agua-suelo-planta. Las memorias incluyen 42 trabajos por 46 investigadores.

Durante los siguientes 11 años, la SMCS celebró congresos nacionales cada dos años. A partir de 1973, se han venido celebrando congresos cada año. A través de este período el número de participantes así como el número de mesas de trabajo ha ido aumentando. En los últimos dos congresos, el XX y el XXI, asistieron un promedio de 600 personas, 58% profesionales y 42% estudiantes; se reportó un promedio de 335 resúmenes de trabajos de 15 mesas (Aguilar y Baus, 1987; 1988). Al distribuir los 335 trabajos aproximadamente entre las siete mesas que trabajaron en el primer congreso, las proporciones correspondientes son: relación suelo-planta (40%), química de suelos (5%), física de suelos (12%), biología de suelos (4%), génesis, clasificación y cartografía de suelos (8%), conservación de suelos (7%), y relaciones agua-suelo-planta (22%). Actualmente, la Sociedad cuenta con aproximadamente 500 socios activos y 101 vitalicios.

LOGROS DE LA INVESTIGACION DE SUELOS

Ahora, vamos a cambiar un poco la orientación de este resumen y examinar brevemente los logros de la ciencia del suelo en México. Más aún, vamos a enfocar concretamente sobre los avances obtenidos en las investigaciones efectuadas en los suelos.

Hay diferentes maneras de contemplar los logros de la investigación de suelos. Quizá, en el corto plazo, lo más interesante es considerar el impacto que han tenido los conocimientos generados por la investigación de suelos sobre la producción y productividad agrícola en México. Otra posibilidad es observar concretamente los nuevos conocimientos producidos por los investigadores de suelos, sin intentar calificarlos en términos de impacto actual o futuro. A continuación, vamos a examinar los logros de la ciencia del suelo a los dos niveles.

Impacto de la Ciencia del Suelo en la Agricultura Mexicana

Durante los 37 años que he tenido la oportunidad de observar la agricultura mexicana, los nuevos conocimientos de la ciencia del suelo, generados en los campos experimentales, terrenos de los agricultores, laboratorios e invernaderos de México, han tenido un impacto muy grande en la producción y productividad de cosechas. Durante este período, los promedios de rendimiento de trigo bajo riego se han incrementado más de cuatro veces; los promedios de maíz de temporal se han más que duplicado. Desde luego, estos incrementos en los promedios de rendimiento de estos cereales y otras cosechas, se han debido a varios cambios, sobre todo en la potencia de producción de las variedades sembradas. Sin embargo, es evidente que el empleo de prácticas más adecuadas de manejo de los suelos ha contribuido grandemente a estos aumentos en rendimiento.

En términos cuantitativos, quizá la contribución más importante de la ciencia del

suelo a la productividad de cosechas ha sido el proporcionar a los agricultores recomendaciones más adecuadas sobre el uso de los fertilizantes químicos. La investigación ha generado recomendaciones para la mayoría de las cosechas en toda la República. Sin embargo, la eficiencia de las recomendaciones es muy variable y, en general, es mayor para los cereales en las tierras bajo riego. A pesar de la gran variabilidad ecológica del país, los resultados de la investigación han revelado cierta consistencia en la importancia relativa, en términos cuantitativos, de los elementos mayores en la fertilización de los cereales y otras cosechas no-leguminosas: el requerimiento del nitrógeno es mayor que el del fósforo y raramente se necesita aplicar el potasio. El reconocimiento de la importancia relativa de los nutrimentos ha permitido a los productores alcanzar un nivel más alto de productividad a un costo menor. La información proporcionada a los productores sobre otras prácticas de producción, tales como la población óptima de plantas, la fuente y oportunidad de aplicar los fertilizantes y la fecha de siembra ha contribuido a un uso más eficiente de los fertilizantes.

Las prácticas de irrigación empleadas por los productores, sobre todo el número y calendario de riegos y la manera de aplicarlos, han sido modificadas a través de los años como resultado de los conocimientos generados por la investigación. A partir del año 1955, cuando se iniciaron los estudios sobre el uso del riego con trigo en el Campo Experimental "La Cal Grande", Guanajuato, se han generado recomendaciones sobre las prácticas de riego para la mayoría de las cosechas en las zonas de riego del país. El uso más eficiente del agua de riego ha contribuido a niveles más altos de productividad de cosechas en las tierras bajo riego.

Otra contribución de la ciencia del suelo a la producción de cosechas, que aunque claramente importante es más difícil evaluar cuantitativamente, es la caracterización de las propiedades de los suelos y su clasificación en distintas categorías.

Empezando con los trabajos de la Comisión Nacional de Irrigación durante la década de los treinta, se han hecho descripciones de los suelos y mapas de diferentes índoles. Actualmente, el Instituto Nacional de Estudios, Geografía e Informática (antes la Comisión de Estudios del Territorio Nacional) cuenta con mapas del suelo a la escala de 1:1,000,000 para toda la República, a la escala de 1:250,000 para aproximadamente el 80%, y a la escala de 1:50,000 para más o menos el 60% (M.C. Carlos Ortiz Solorio, CEDAF, CP, Montecillo, México. Comunicación personal). Estos mapas de suelos se usan ampliamente en la regionalización del país y la planeación de programas agropecuarios forestales.

Durante los últimos 20 años, la Sección de Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos del Centro de Edafología del CP ha adaptado el levantamiento fisiográfico a las condiciones de México, y éste ha sido empleado para la preparación de mapas a nivel provincia y región terrestre de todo el país, a nivel de sistema terrestre de unas 65 millones de hectáreas en 14 estados, y a nivel de faceta en 2,400,000 ha en seis estados (M.C. Carlos Ortiz Solorio, CEDAF, CP, Montecillo, México. Comunicación personal). Se están empleando estos levantamientos para estratificar la variabilidad del pasaje con el propósito de hacer más eficiente el proceso de generación de recomendaciones tecnológicas.

Desde luego, no se puede versar sobre el impacto de la ciencia del suelo en la producción agrícola mexicana sin tratar el tema de la conservación del suelo. Es evidente que la extinta Dirección de Conservación de Suelo y Agua de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, así como las contribuciones de la Sección de Física de Suelos del Centro de Edafología del CP, sobre todo su Manual de Conservación de Suelo y Agua, han tenido cierto efecto favorable en el control de la erosión. Sin embargo, la magnitud del problema de la erosión del suelo en México es tan grande que resulta difícil apreciar los pocos avances que han ocurrido hasta el momento.

La recuperación de suelos salinos, principalmente en el Valle del Yaqui y otros distritos de riego, ha mejorado la productividad de estos suelos. Las investigaciones efectuadas recientemente por varias instituciones sobre la labranza mínima, o reducida, han afectado favorablemente pequeñas superficies, tanto en la reducción de costos de producción como en la disminución en la erosión.

Los conocimientos generados por los investigadores de suelos han contribuido en pequeña escala a la productividad de los suelos de Ando. El reconocimiento de la presencia de Andisoles en México data de 1962 cuando se iniciaron estudios detallados de algunos suelos de la Meseta Tarasca. Desde entonces, se ha reconocido la existencia de Andisoles en muchas partes del eje volcánico y se han efectuado numerosos estudios de campo, laboratorio e invernadero para caracterizar sus propiedades y determinar prácticas eficientes de producción de cosechas. Sin embargo, a pesar de todo este esfuerzo, no ha sido posible generar prácticas de producción económicamente factibles que permiten los productores realizar la potencia productiva de estos suelos.

CONTRIBUCIONES DEL CENTRO DE EDAFOLOGIA DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Con este breve repaso del impacto de los conocimientos generados por la investigación de los suelos sobre la producción y productividad agrícola, continuamos con algunos comentarios sobre los nuevos conocimientos producidos por los investigadores de suelos, sin intentar calificar su actual o futuro impacto. En virtud de que este año es el XXX Aniversario de la fundación del Colegio de Postgraduados y su Centro de Edafología, nos concretamos a la presentación de logros, a este nivel, de los investigadores de este Centro.

Fertilidad de Suelos (Núñez, 1989).

Se han generado recomendaciones óptimas económicas de fertilización de maíz para diferentes regiones del país como son el Valle de México, Valle de Toluca, Valle de Puebla, Llanos de Ciudad Serdán, Sierra Tarasca y Valles Centrales de Oaxaca. Los estudios han comprendido dosificación de nitrógeno y fósforo y el comportamiento de diferentes fertilizantes y métodos de aplicación, incluyendo uso de fertilizantes fluidos, fertilización foliar y aplicación conjunta de fertilizantes químicos con abonos orgánicos.

Se ha evaluado el aporte nutrimental de las aguas negras del gran canal de desagüe del Distrito Federal en el área de Chiconautla, México. Se ha demostrado la no necesidad de fertilización complementaria de los cultivos ahí desarrollados.

Se ha detectado el efecto residual acumulativo de las adiciones de fertilizantes fosfatados a los cultivos de temporal en el Estado de Tlaxcala, que en algunos casos hace innecesaria la nueva adición de fósforo y pone de manifiesto la utilidad del análisis de suelos como método de diagnóstico nutrimental.

Se ha demostrado la mayor eficiencia y economía de fertilizantes nitrogenados fluidos aplicados en sincronización con la lluvia en maíz de temporal. Se ha comprobado la interacción positiva entre los fertilizantes químicos y distintos abonos orgánicos como son las compostas de basura y los estiércoles de bovinos, cerdos y aves. Se ha evaluado la calidad fertilizante de desechos agroindustriales como cachaza de la industria azucarera, pulpa de café, paja de arroz y aguas residuales de la fabricación de levaduras.

Se han generado métodos de fabricación de fertilizantes organominerales a base de estiércol bovino, paja de cebada y aditivos, que después de una fermentación quedan transformados en un material fertilizante económico y no contaminante.

Se ha demostrado la factibilidad económica del uso de roca fosfórica en suelos ácidos como sustituto de los superfosfatos tradicionales y el incremento de su eficiencia agronómica mediante la adición de azufre elemental.

Productividad de Agrosistemas (Turrent, 1989).

La disciplina de productividad de agrosistemas tiene su origen en el método de campo para corregir los problemas de fertilidad. Fue necesario desarrollar el método de campo, porque los procedimientos más típicos de fertilidad, que involucraban al laboratorio y al invernadero, resultaban seriamente imprecisos ante la notable diversidad morfológica en los suelos y el alto riesgo en la producción bajo condiciones de temporal.

En el desarrollo del método de campo se tomó en cuenta la influencia de otros factores controlables de la producción, como la densidad de población, sobre la dosificación recomendada de nitrógeno y fósforo y el rendimiento del cultivo bajo temporal. También, se consideró la necesidad de evaluar otros factores de la producción, a veces incontrolables como la fecha de siembra, en la optimización del uso de los fertilizantes. Se aceptó la necesidad de estratificar en agrosistemas las condiciones de producción de un cultivo, en una región, usando como criterio central el de la repetibilidad de los factores incontrolables de la producción: factores morfológicos del suelo y factores del clima.

Durante la década de los años 70, los investigadores en productividad de agrosistemas, interaccionando con los de la Sección de Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos y el Centro de Estadística y Cálculo hicieron aportaciones importantes que cubren las siguientes áreas: (1) el método de la definición "a posteriori" del agrosistema de un cultivo, (2) la matriz experimental, (3) la caracterización de las condiciones

agronómicas, climáticas y edáficas del sitio experimental, (4) los procedimientos para la interpretación de los resultados de un experimento, y (5) los procedimientos cuantitativos para la interpretación y aplicación práctica de los resultados experimentales para un agrosistema.

Nutrición Vegetal (Alcalde y Tirado, 1989)

Se han investigado mecanismos de adaptación genética a presiones ambientales. Los estudios sobre nutrición bajo condiciones de salinidad y clorosis férrica son los más comunes. Actualmente se tiene definido dentro de un amplio número de genotipos de frijol, maíz, trigo y cebada a aquellas más susceptibles y tolerantes a la salinidad. Se han identificado genotipos de soya y sorgo con alta capacidad para desarrollarse en suelos que presentan bajas concentraciones de hierro disponible. Se ha confirmado que la acidificación de la rizósfera y el aumento de la capacidad reductora de las raíces constituyen dos mecanismos de adaptación de las plantas que se ven activadas por la deficiencia de hierro.

La hidroponía, como un sistema agrícola de producción intensiva, se considera una alternativa viable para las zonas del país donde los recursos suelo y agua son factores limitantes para la producción agrícola. Se han llevado a cabo estudios sobre adaptabilidad de cultivos hortícolas bajo el sistema hidropónico por subirrigación (jitomate, pepino, chile, col, coliflor, berenjena, acelga, lechuga, etc.); se han probado diferentes tipos de substrato (arena del río, tezontle rojo, tezontle negro); y se han hecho pruebas de manejo de soluciones nutritivas (dosis de fertilizantes, cambios de solución nutritiva, frecuencia de riego, etc.). Actualmente se cuenta con una serie de procedimientos que simplifican el ejercicio de la hidroponía.

Física de Suelos (Anaya, 1989)

Se han desarrollado los arados, Xolox I y Xolox II, que están siendo utilizados por agricultores de los estados de México, San Luis Potosí, Puebla y Guanajuato.

Se han generado métodos de captación de lluvia que están siendo aplicados en los estados de México, Hidalgo, Oaxaca, San Luis Potosí, Querétaro, Puebla, Aguascalientes y Zacatecas. Se ha generado un modelo matemático para captación de lluvia en terrenos de temporal deficiente. Esta fórmula se utiliza para calcular el tamaño de las microcuencas de captación de lluvia que permiten aumentar la disponibilidad de agua para las plantas y reducir los efectos de la sequía.

Se han evaluado las relaciones precipitación-escorrentía en los diferentes ecosistemas de la Cuenca del Río Texcoco. Se encontró que las zonas con afloramiento de tepetates eran las que producían más sedimento, enseguida las áreas agrícolas en ladera, después los pastizales y finalmente los bosques. En 1975, se estableció una estación experimental para estudios de conservación del suelo y del agua en una extensión de 15 hectáreas. En 1977, se publicó el Manual de Conservación del Suelo y del Agua.

Se ha estudiado el origen, la composición y la dureza de los tepetates. Se ha encontrado una relación estrecha entre la química de los agentes cementantes y la dureza del material.

Se ha usado la Cuenca del Río Texcoco para llevar a cabo un estudio sobre el manejo integral de cuencas. Actualmente se cuenta con información pluviométrica, hidrogramas y resultados que permiten la extrapolación de las experiencias generadas a áreas de comportamiento hidrológico semejante.

Se han realizado estudios de la desertificación a nivel nacional a una escala de 1:7.5 millones, del Eje Neovolcánico a una escala de 1:2 millones, en la región Texcoco-Tizayuca a una escala de 1:250,000 y en la Cuenca del Río Texcoco a una escala de 1:40,000.

Relaciones Agua-Suelo-Planta (Fernández, 1989)

El Centro de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados, fundado en 1966, originalmente estaba constituido por la Sección de Relaciones Agua-Suelo-Planta de la Rama de Suelos. A continuación se hace mención de algunas aportaciones de las investigaciones efectuadas.

Se adaptaron varios métodos para determinar la capacidad de campo y el porcentaje de marchitamiento permanente. Se desarrollaron ecuaciones para su definición y estimación:

Se introdujeron medidores de humedad del suelo como tensiómetros, bloques de resistencia eléctrica y el aspersor de neutrones. Se desarrollaron nuevos aparatos, tanto para el suelo como para uso en las plantas. Se desarrolló la teoría para el diseño de electrodos en las unidades de resistencia eléctrica.

Se desarrolló el equipo para el muestreo gravimétrico en el campo, y el método para determinar la densidad aparente, la velocidad de infiltración y la curva de velocidad de infiltración.

Se aportó la metodología para los experimentos de riego de cultivos y la interpretación de resultados a través de la curva de respuesta o funciones de producción.

Se diseñaron nuevos equipos para riego como el sifonómetro, las cápsulas porosas e implementos para riego.

Se diseñaron y construyeron simuladores de lluvia y se han desarrollado metodologías para la regionalización termopluviométrica.

Química de Suelos (Cajuste, 1989)

Se ha trabajado principalmente en la adaptación a las condiciones de México de los métodos de análisis químico de suelos y el desarrollo de métodos nuevos. Se ha perfeccionado la metodología para la evaluación de la disponibilidad de los nutrimentos esenciales de los suelos. Mediante la caracterización de las propiedades químicas de los suelos, se ha contribuido a la solución de numerosos problemas que constituyen factores limitantes de la producción agrícola.

Microbiología de Suelos (Ferrera-Cerrato, 1989)

Se han hecho numerosas aportaciones sobre la fijación biológica de nitrógeno. Se han seleccionado cepas de Rhizobium eficientes en la fijación simbiótica de nitrógeno en frijol y otras leguminosas. Se han determinado los factores que inciden en la fijación y la producción de biomasa y grano.

Se ha evaluado la importancia de los hongos micorrizicos en la producción agrícola, frutícola y forestal. Se ha estudiado la potencia de Azolla sp., un helecho acuático, en el trópico húmedo de México.

Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos (Cuanalo, 1989)

Inicialmente, se dio mayor importancia a la investigación sobre la metodología de clasificación y cartografía de suelos. Durante la década de los setentas, se concentró la investigación sobre el levantamiento fisiográfico, definiendo esquemas metodológicos adaptados a las condiciones de México.

Durante la década de los ochentas se cambió el énfasis hacia la evaluación de tierras. Esto se inició conjugando metodologías agroclimatológicas con información de cartografía de suelos y relacionando la

tecnología de producción agrícola y los rendimientos de cultivos con los mapas fisiográficos y de suelos. De esta manera se materializó la metodología para la definición de agrohabitats y se afinó la metodología de zonificación agroecológica. También, durante esta década, se implementó trabajos sobre la clasificación campesina de tierras.

En los dos últimos años, se ha dado énfasis a la automatización de la metodología de zonificación agroecológica mediante el empleo de micro-computadoras. También, se han implementado trabajos sobre micromorfología de suelos empleando el microscopio petrográfico en la descripción de láminas delgadas de muestras de suelos.

DESAFIOS PARA EL FUTURO

El suelo es el recurso indispensable para la producción de la mayoría de los alimentos y las fibras utilizadas por el hombre y sus animales. La meta central de los científicos de suelos en México es maximizar las contribuciones de la ciencia del suelo al mejoramiento de la productividad de las cosechas en una manera sustentable.

Para alcanzar esta meta, sería necesario en el futuro mejorar la preparación teórica y práctica de los especialistas en suelos, así como mejorar su participación en el proceso de generación de tecnologías de producción de cosechas. A continuación se comenta brevemente sobre estos dos aspectos.

Mejoramiento de la Preparación de los Especialistas en Suelos

La preparación de un especialista en suelos depende de su inteligencia y atributos innatos, la educación primaria, secundaria, preparatoria, profesional y de postgrado, y a la experiencia propia. De suma importancia en esta preparación es la enseñanza impartida a nivel de licenciatura y postgrado donde participamos algunos de nosotros. Surge, entonces, la pregunta: ¿cómo podemos

contribuir de una manera más eficaz a la formación de los especialistas en suelos?

La bondad de un programa de educación agrícola superior depende de muchos elementos entre los cuales destacan el plan de estudios, el contenido de los cursos, la competencia de los profesores, el ambiente académico, y las facilidades de apoyo (biblioteca, laboratorios, invernaderos, campos experimentales, etc.). Serias limitaciones en cualquiera de estos elementos pueden afectar adversamente la formación de los especialistas en suelos.

Sin duda, la consideración más importante en la educación agrícola superior es la competencia y dedicación de los profesores, y muy relacionado con ésta, la prevalencia de un ambiente entre los alumnos, profesores y personal de apoyo favorable para el estudio, la reflexión y la investigación. Lograr excelencia en el cuerpo de profesores y un ambiente favorable para la formación de profesionales agrícolas requiere un esfuerzo inteligente y continuo de toda la comunidad universitaria por muchos años.

También, el plan de estudios y el contenido de los cursos juegan un papel importante en la formación de profesionales agrícolas. Relacionado con estos elementos, han existido durante muchos años diferencias fundamentales de opinión, particularmente en lo referente a la especialización. En la actualidad, la opinión que prevalece es que la especialización debería iniciarse a nivel de licenciatura y perfeccionarse a nivel de postgrado.

Sin embargo, hay una minoría que piensa que todos los estudiantes a nivel de licenciatura deberán seguir el mismo plan de estudios, y que la preparación especializada en las disciplinas de agricultura se impartiría a nivel de postgrado (Laird, 1977). Esta posición se apoya en la afirmación de que la mayoría de los empleos del sector agropecuario forestal requiere, más que otra cosa, de una buena preparación en los fundamentos de todas las disciplinas agrícolas, y que son

relativamente pocos los profesionistas, principalmente los investigadores y profesores, que requieren la preparación a nivel de postgrado.

Al reservar la especialización para el postgrado, el plan de estudios común a nivel de licenciatura podría incluir, además de los cursos básicos en ciencias naturales, matemáticas, estadística, ciencias sociales, artes y humanidades, así como los cursos generales en las disciplinas agrícolas, cursos sobre la caracterización de los campesinos, los modelos para su organización, las normas operativas de las instituciones de servicio agropecuario, y cursos prácticos comprendiendo un período de varios meses durante el cual los estudiantes viven y trabajan con los campesinos. Un plan de estudios de este contenido podría favorecer la formación de ingenieros agrónomos con una mejor preparación teórica y práctica en las ciencias agrícolas y con un mejor entendimiento de los campesinos, sus recursos y su problemática.

Mejoramiento del Proceso de Generación de Tecnologías de Producción de Cosechas

La mayoría de la investigación llevada a cabo en México por los científicos de suelos es de índole aplicada. Es decir, la finalidad de la investigación es mejorar, de alguna manera, el uso del suelo para la producción de cosechas. Esta investigación conduce directa- o indirectamente a la generación de recomendaciones para los productores sobre las prácticas de emplear en la producción de cosechas. Los investigadores de INIFAP y otras entidades como el CEICADAR del CP, quienes trabajan principalmente en los campos experimentales y en los terrenos de los agricultores, emplean sus resultados directamente en la elaboración de recomendaciones sobre las prácticas de producción. Otros investigadores, como los de la sede del CP, de otras instituciones de educación agrícola superior y de los Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria de INIFAP, quienes trabajan principalmente en las oficinas, laboratorios e invernaderos,

desarrollan nuevos conocimientos y métodos, que son de utilidad para los primeros, en la generación de tecnología de producción para los agricultores.

Lo que nos preocupa en este momento es ¿cómo hacer más eficaces las investigaciones llevadas a cabo en suelos y en otras disciplinas en la generación de tecnologías de producción de cosechas más apropiadas a las circunstancias de los productores? Primero, vamos a tratar la cuestión de ¿cómo hacer más eficiente el proceso empleado actualmente por los investigadores que trabajan en campos experimentales y en terrenos de los productores y elaboran recomendaciones para los últimos? En segundo término, vamos a comentar sobre el trabajo de equipo y como lograr una acción multidisciplinaria con la participación de los investigadores que trabajan a cualquier nivel en la solución de los problemas de los agricultores.

¿Cómo eficientar el proceso empleado actualmente en la generación de tecnología?

El proceso seguido por los científicos en la investigación llevado a cabo con el propósito de generar tecnología de producción agrícola varía grandemente entre las disciplinas como suelos, mejoramiento genético, fitopatología, entomología, etc., y aún entre las especialidades de una misma disciplina como suelos. Para tratar la cuestión de cómo hacer más eficiente el proceso de generación de tecnología, voy a tomar como ejemplo la productividad de agrosistemas, una área que conozco algo mejor que las demás.

El proceso seguido en la investigación de la productividad de agrosistemas comprende una serie de pasos o acciones: diagnosticar la problemática de los productores, definir los problemas prioritarios, planear la investigación de estos problemas, llevar a cabo la experimentación de campo, analizar e interpretar los resultados experimentales, y formular las recomendaciones (Laird, 1986).

Los investigadores del INIFAP, CP y otras instituciones que trabajan en productividad de agrosistemas entienden este esquema. Sin embargo, los procedimientos empleados en cada acción, así como la manera de aplicarlos, difieren grandemente entre instituciones y entre investigadores de la misma institución. Por eso, mucha de la información generada en la investigación de la productividad de agrosistemas resulta deficiente y de poca utilidad en la formulación de recomendaciones.

Parece que las deficiencias más notables y más frecuentes en los procedimientos empleados actualmente son las siguientes:

1. El diagnóstico de las circunstancias de los productores no capta la información indispensable sobre su problemática. Por consiguiente, no se identifican correctamente los problemas prioritarios y la planificación de la experimentación es deficiente.
2. La experimentación de campo no se lleva a cabo respetando las circunstancias y las limitaciones de los productores, y no se colecta suficiente información a nivel de experimento sobre los factores de producción.
3. El método empleado en la interpretación económica de los datos experimentales, así como la información sobre los costos de producción y los precios de productos, son deficientes.
4. La interpretación de los resultados experimentales y la formulación de las recomendaciones no da adecuada consideración al efecto de las variaciones climáticas entre años sobre los resultados obtenidos.

¿Por qué siguen presentándose año tras año estas deficiencias y otras en el proceso de generación de tecnología de producción de cosecha? Por un lado se debe a la falta de métodos adecuados para efectuar cierta acción, o falta de convencimiento por parte del investigador de la bondad de los métodos. Esto es cierto sobre todo en lo referente al diagnóstico donde existe poco consenso de como

efectuar esta acción indispensable para una orientación correcta de la investigación. Algunos investigadores consideran suficiente la colecta de información de las fuentes secundarias, otros prefieren usar el sondeo, un diagnóstico rápido que implica entrevistas informales con los productores durante un período de una o dos semanas, y otros emplean un proceso más largo que consiste de la colecta de información de las fuentes secundarias, el sondeo, los reconocimientos de campo y una encuesta formal. Claramente, sería necesario en el futuro, a través de la investigación, definir con mayor precisión el método más adecuado para el diagnóstico de las circunstancias de los productores.

Sin embargo, el problema más generalizado no es la falta de procedimientos eficientes, sino el uso deficiente de estos procedimientos. Aparentemente, hay dos razones principales por las que los métodos de la productividad de agrosistemas sean empleados por los investigadores de una manera deficiente: (1) el investigador no tiene la preparación científica especializada y/o la experiencia de campo suficiente para aplicar de una manera correcta los métodos, y (2) el investigador, aún con la formación científica y la experiencia adecuadas, no participa personalmente en todos los momentos críticos en la aplicación de los métodos.

La corrección de la primera causa del uso ineficiente de los métodos de investigación se puede lograr mediante una selección más cuidadosa de los investigadores y su capacitación antes de iniciar los estudios de campo. La segunda causa, que probablemente es la más importante y más generalizada, es más difícil de corregir. Por muchas razones - la necesidad de asistir a una reunión, escribir un informe, analizar datos experimentales, o simplemente atender un asunto sin mayor importancia, - causa que el investigador, en vez de tomar la responsabilidad directa en los momentos críticos de la investigación, delege esta responsabilidad a su ayudante. Es cierto que hay muchos ayudantes muy capaces y con mucha experiencia que pueden funcionar tan o más eficiente que el investigador en el empleo

de muchos de los procedimientos experimentales. Sin embargo, debido a la subjetividad que sigue caracterizando algunos de los procedimientos empleados en la investigación de la productividad de agrosistemas, es imprescindible que el investigador, con la debida preparación, participe personalmente en actividades como la estratificación de las circunstancias de los agricultores y la toma de observaciones sobre el cultivo y el ambiente durante el ciclo de crecimiento. Además, para evitar al máximo la posibilidad de errores en las actividades críticas, es importante que el investigador personalmente haga los cálculos de los insumos empleados como variables y supervise las pesadas de éstos y su distribución en las parcelas experimentales; también, debería supervisar la cosecha y la pesada de los productos, así como el registro de los valores en la carpeta de campo.

Hacer más eficiente la acción del investigador en la generación de tecnología de producción de cosechas requiere cambios fundamentales en su preparación, su motivación, la manera de supervisar su trabajo de campo, y la forma de reconocer dentro de la comunidad científica los avances logrados y la importancia de ellos.

El trabajo de equipo en la solución de problemas agrícolas

Durante los últimos 20 años se ha hablado mucho de las ventajas del enfoque multidisciplinario en la investigación agrícola y se ha avanzado algo en varios intentos de emplearlo. Uno de los ejemplos más antiguos y de más duración es el Plan Puebla donde los especialistas en suelos, mejoramiento de maíz, divulgación, evaluación socioeconómica, producción animal, producción de frutales, etc., han trabajado como equipo en la búsqueda de tecnologías de producción apropiadas, la divulgación de la nueva tecnología a los productores, la asistencia técnica a ellos en el empleo de nuevas prácticas, la identificación de los obstáculos que limitan el uso de las prácticas, y la

evaluación de su adopción por los productores. Los avances logrados en Plan Puebla han demostrado el mérito del enfoque multidisciplinario en la solución de los problemas de producción agropecuario de los campesinos con pocos recursos.

Algunos de los intentos de resolver los problemas agropecuarios mediante un enfoque multidisciplinario no han tenido mucho éxito. Se han observado limitaciones serias en formar el equipo, mantener permanencia en el cuerpo de investigadores, planear la investigación en función de prioridades bien definidas, e instrumentar acciones de una manera coordinada con un intercambio constante de información e ideas entre participantes. Sin embargo, parece que las dificultades encontradas se deben más bien a deficiencias en la manera de instrumentar el concepto y no a deficiencias en el concepto mismo.

De las varias ventajas que tiene el enfoque multidisciplinario, destacan dos en la investigación agrícola: (1) hay más probabilidad de éxito en el diagnóstico de las circunstancias de los productores y la definición de los problemas prioritarios cuando éstos se hacen por un equipo multidisciplinario, y (2) hay más probabilidad de resolver los problemas prioritarios de los agricultores cuando el equipo de investigadores involucrados abarcan las especialidades necesarias para su estudio global. Dada la gran importancia que pueden tener estas consideraciones en la calidad de la investigación efectuada, parece imprescindible que los programas de investigación en suelos, así como en las demás disciplinas agrícolas, hagan todo posible para organizar sus actividades de investigación agrícola dentro del enfoque multidisciplinario.

Voy a tomar como ejemplo la investigación llevada a cabo por el CP y comentar brevemente un escenario para organizar e instrumentar esta investigación siguiendo el enfoque multidisciplinario. Dado el mandato del CP de formar investigadores y profesores a nivel de maestría en ciencias y de doctorado,

parece ser la institución idónea para desarrollar los métodos más adecuados para la investigación multidisciplinaria y demostrar el empleo eficiente del enfoque.

El CP es una institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Se capacita personal de alto nivel científico en 11 especialidades. Tiene programas interdisciplinarios de Agrometeorología y Forestal. Además, participa en acciones de desarrollo agrícola a través de cuatro centros regionales.

Creo que su estructura, le permite al CP emplear eficientemente el enfoque multidisciplinario en la investigación agrícola. En la sede se cuentan con investigadores de alto nivel en todas las disciplinas agrícolas, más laboratorios, invernaderos, campo experimental y otras facilidades especializadas. A nivel de centro regional se tienen cuerpos de investigadores que trabajan en contacto con los agricultores y con conocimientos de sus circunstancias y problemática. El desafío es encontrar la manera de organizar estos recursos para que sean empleados eficientemente en la solución de los problemas prioritarios de los productores.

A continuación, se menciona una manera de organizar las acciones multidisciplinarias dentro del CP:

1. Los investigadores de los centros regionales, dada la ubicación de sus trabajos en contacto con los productores, seleccionarán unidades de producción o áreas agroecológicas que requieren atención prioritaria en la solución de sus problemas de producción agrícola. Las entidades seleccionadas serían aquellas que tienen una problemática representativa de poblaciones importantes de productores. Esta selección se haría a partir de la información colectada en un diagnóstico general del área de influencia del centro regional. Participarán en este diagnóstico un equipo, con un balance de disciplinas, consistiendo de los investigadores destacados del centro, más científicos de la sede, otros

centros regionales y otras instituciones. En el análisis de la información del diagnóstico y la selección de las unidades o áreas, deberían participar, además del equipo que hizo el estudio, otros investigadores del centro, agricultores y representantes de las instituciones locales con mucha experiencia en la región.

2. Una vez seleccionadas las unidades de producción o las áreas agroecológicas de estudio, se llevará a cabo en estas entidades un diagnóstico más detallado para determinar, en términos generales, las dimensiones de los problemas principales y para definir las disciplinas o especialidades que deberían participar en el programa de investigación. Lo más indicado sería que el mismo equipo que hizo el diagnóstico general hiciera este diagnóstico semi-detallado.

3. Una vez definida las disciplinas o especialidades que deberían participar en la investigación, se formará el equipo de investigadores mediante un proceso de análisis y estudio, con la participación de los candidatos del centro regional y de la sede que tienen la preparación idónea para investigar los problemas identificados. Este equipo debería consistir en los investigadores necesarios para el estudio de los problemas claramente prioritarios, entendiendo que, durante el transcurso de la investigación, se puede nombrar otros investigadores para cubrir los problemas identificados subsecuentemente.

4. Los investigadores del equipo, individualmente o en grupos, procederán a coleccionar a nivel de la unidad de estudio información detallada sobre las circunstancias locales que influyen en la investigación de los problemas prioritarios. Este equipo preparará un programa global de investigación con la definición de la participación de cada científico. A la vez, cada investigador preparará en detalle una descripción de los estudios que llevará a cabo.

5. Se nombrará un coordinador para el programa de investigación para cada entidad de estudio. Se celebrarán reuniones de todos

los miembros del equipo con cierta regularidad, quizá cada tres meses. Cada investigador o subgrupo llevará a cabo independientemente los estudios que le corresponden, empleando los métodos y criterios de su disciplina. En general, los científicos del equipo ubicados en el centro regional llevarán a cabo las investigaciones de campo correspondientes al área de estudio; los científicos de la sede llevarán a cabo las investigaciones que requieren el uso de laboratorios, invernaderos y otras facilidades especializadas. Se esperaría que la investigación por parte de los científicos de la sede incluirá la participación de los alumnos.

En el caso específico de suelos, la participación de los investigadores del Centro de Edafología del CP, en los equipos multidisciplinarios para el estudio de los problemas prioritarios en áreas definidas, variaría en función de la naturaleza de los problemas edáficos identificados. Si el diagnóstico de los suelos del área de estudio no reporta problemas de erosión, drenaje, sales, aluminio, etc., quizá la participación de suelos podría concretarse a la investigación de la productividad de agrosistemas. Sin embargo, en la mayoría de las situaciones, se va a reportar problemas de la erosión, y el equipo de investigadores tendría que incluir especialistas en la conservación del suelo. En el caso de presentar problemas de drenaje, deberían participar especialistas en física de suelos. Al reportar niveles apreciables de alofano en los suelos, convendría la participación de especialistas en química y microbiología de suelos.

Finalmente quiero hacer hincapié que cada día hay una mayor conciencia entre la comunidad científica en la necesidad de proteger el ambiente y aprovechar el recurso suelo de manera sustentable. En la solución de los problemas prioritarios y la generación de tecnologías de producción para las áreas definidas, será imprescindible que la participación de los especialistas de suelos asegure que las recomendaciones diseminadas

entre los productores cumplan con el imperativo de conservar el suelo.

LITERATURA CITADA

AGUILAR S., A. y BAUS P., J. (Eds). 1987. Resúmenes de trabajos presentados en el XX Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. SMCS. Chapingo, Edo. de México. México.

AGUILAR S., A. y BAUS P., J. (Eds). 1988. Trabajos presentados en el XXI Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Memorias. SMCS. Chapingo, Edo. de México.

ALCALDE BLANCO, S. y J.L. TIRADO TORRES. 1989. Contribución de la Sección de Nutrición Vegetal del Centro de Edafología a la investigación. Memoria del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. pp. 80.

ANAYAGARDUÑO, M. 1989. La investigación sobre Física de Suelos en el Colegio de Postgraduados. Memoria del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. pp. 23.

ANONIMO. 1987. Reunión Nacional de Análisis y Perspectivas del Sistema de Investigación de la SARH: La Ciencia Forestal y Agropecuaria en México. INIFAP, SARH México, D.F.

ANONIMO. 1987b. Resúmenes de trabajos presentados en el XX Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.

ANONIMO. 1988. Memorias. Trabajos presentados en el XXI Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.

BLANCO MACIAS, G. y G. RAMIREZ CERVANTES. 1966. La Conservación del Suelo y el Agua en México. Inst. Mex. de Rec. Nat. Renovables, México, D.F.

- BRAMBILA, M.** 1955. Los procedimientos de análisis de suelos. *In:* Primera Asamblea Latinoamericana de la Ciencia del Suelo. Folleto Misc. No. 5, OEE, SAG. México.
- CAJUSTE, L.J.** 1989. Contribuciones del Colegio de Postgraduados: Area Química de Suelo. Memoria del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. pp. 58.
- CUANALO DE LA CERDA, H.** 1989. La Génesis, la Morfología y Clasificación de los Suelos en México. Memoria del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.
- FERNANDEZ GONZALEZ, R.** 1989. Relaciones Agua-Suelo-Planta. Memoria del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. pp. 132.
- FERRERA-CERRATO, R., A. ECHEGARAY ALEMAN, R. QUINTERO LIZAOLA y D. JAEN CONTRERAS.** 1989. La sección de Microbiología del Suelo: su historia, desarrollo y logros en el CEDAF-CP. Memoria del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. pp. 132.
- GOMEZ, M.R.** 1976. Episodios de la Vida de la Escuela Nacional de Agricultura. Centro de Economía, CP, ENA, Chapingo, México.
- GONZALEZ GALLARDO, A.** 1941. Introducción al Estudio de los Suelos. Banco Nac. Cred. Agric. México, D.F.
- LAIRD, R.J.** 1977. Investigación Agronómica para el Desarrollo de la Agricultura Tradicional. CP, ENA, Chapingo, México.
- LAIRD, R.J.** 1986. Consideraciones metodológicas en la generación y validación de tecnología de producción agronómica. Serie Cuadernos de Edafología 7, CEDAF, CP. Chapingo, México.
- MARTINEZ MEDINA, L.** 1984. *In:* las Ciencias Agrícolas y sus Protagonistas. Vol. I. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- NUÑEZ ESCOBAR, R.** 1989. Investigaciones del Colegio de Postgraduados sobre Tecnología y Uso de Fertilizantes. Memorias del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. pp. 163.
- ORTIZ VILLANUEVA, B.** 1955. Servicio de análisis de suelos en las regiones cañeras de México. *In:* Primera Asamblea Latinoamericana de la Ciencia del Suelo. Folleto Misc. Núm. 5. OEE, SAG. México, D.F.
- PUERTAS F., J.L.** 1955. Los trabajos sobre suelos y fertilizantes que se están realizando en el ITESM. *In:* Primera Asamblea Latinoamericana de la Ciencia del Suelo. Folleto Misc. Núm. 5. OEE, SAG, México, D.F.
- ROMO GARZA, C.** 1955. El programa de suelos de la Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro". *In:* Primera Asamblea Latinoamericana de la Ciencia del Suelo. Folleto Misc. Núm. 5. OEE, SAG, México, D.F.
- SANCHEZ DURON, N.** 1963. Objetivos del 1er Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Memorias del 1er Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México.
- TABOADA RAMIREZ, E.** 1984. *In:* Las Ciencias Agrícolas y sus Protagonistas. Vol. I. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- TOVAR SALINAS, J.L.** 1986. El Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo. UACH, Chapingo, Edo. de México. México. Mimeógrafo.
- TURRENT FERNANDEZ, A.** 1989. La influencia del CP sobre el desarrollo de la productividad de agrosistemas en México. Memoria del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. pp. 289.

INDICE DE AUTORES
AUTHOR INDEX

- Achik, J. 81
Alcántar G., G. 133
Amado A., J. P. 116
- Baus P., J. 125
Briones S., G. 30, 64
- Campos, A. 93
Castellanos, J. Z. 57, 150, 167
- Delgado H., Y. 30
Dubroeuq, D. 3
- Enríquez R., S. A. 13, 150, 167
Echavarría Ch., F. G. 71
- Felix V., O. 167
Fraga P., J. 150
Fuentes, H. R. 109
- García P., J. D. 143
García-Pérez, R. E. 50
Geissert, D. 93
Gutiérrez, M. 109
- Laird, R. J. 173
Longoria, G. A. 57
- Martínez M., R. 158
Mejía A., C. 40
Muñoz, J. A. 57
- Oleschko, K. 100
Olvera, J. L. 150
- Palominos M., C. 158
- Quantin, P. 3
- Romero F., J. 50
Rossignol, J.-P. 87, 93
- Schiavon, M. 81
- Terrones R., R. 40
Tirado T., J. L. 133
- Venegas G., J. 158
Vergara S., M. A. 21
- Zárate Z., R. 21
Zebrowski, C. 3

REVISORES QUE HAN COLABORADO CON LA
REVISTA TERRA DURANTE 1989.

DR. LORENZO ACEVES NAVARRO, Montecillo
M.C. ANTONIO G. AGUILAR NOH, Chapingo
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES, Chapingo
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, Montecillo
M.C. MARIA EDNA ALVAREZ SANCHEZ, Chapingo
DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO, Montecillo
DR. GUSTAVO BACA CASTILLO, Chapingo
DRA. ISABEL BAROIS, Xalapa
DR. LUIS ANTONIO BOJORQUEZ TAPIA, Montecillo
DR. LENOM J. CAJUSTE, Montecillo
M.C. JAVIER Z. CASTELLANOS, Celaya
DR. JOSE LUIS CHAN CASTAÑEDA, Zacatecas
M.C. LAMINE DIAKITE DIAKITE, Chapingo
M.C. JOSE GONZALO DIAZ DE LEON TOBIAS, Celaya
M.C. ALFREDO ECHEGARAY ALEMAN, México, D.F.
M.C. JUAN W. ESTRADA BERG W., Chapingo
DR. JORGE D. ETCHEVERS BARRA, Montecillo
DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI, Torreón
M.C. WILLIAM GANDROY BERNASCONI, Chapingo
M.C. RAFAEL E. GARCIA PEREZ, Chapingo
DR. DIEGO GONZALEZ EGUIARTE, Zapopan
DR. REMIGIO GUZMAN PLAZOLA, Chapingo
ING. EFRAIM HERNANDEZ X., Chapingo
DR. REGGIE J. LAIRD, Montecillo
M.C. CARLOS LAZCANO CANO, México, D.F.
DR. MANUEL LIVERA MUÑOZ, Montecillo

DR. ABEL MUÑOZ OROZCO, Montecillo
DR. EDUARDO NARRO FARIAS, Saltillo
DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, Montecillo
DR. VICTOR OLALDE PORTUGAL, Irapuato
DRA. KLAUDIA OLESCHKO, Montecillo
M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, Montecillo
ING. ARNOLDO PADRON HERNANDEZ, Chapingo
DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, Naucalpan
M.C. LAUREANO PASTRANA APONTE, Huimanguillo
DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES, Irapuato
DR. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA, Colima
DR. LUIS RENDON PIMENTEL, Montecillo
M.C. JORGE M. RIVERA DIAZ, Chapingo
ING. FRANCISCO RODRIGUEZ NEAVE, Chapingo
DR. FELICIANO RUIZ FIGUEROA, Chapingo
ING. JORGE V. ROJO SOBERANEZ, Oaxaca
ING. JUAN FRANCISCO TAH IUIT, Chapingo
DR. JUAN LUIS TIRADO TORRES, Montecillo
DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS, Montecillo
M.C. CARLOS FERNANDO UREÑA CASTELLANO,
Chapingo
DR. XAVIER UVALLE BUENO, Cd. Obregón
M.C. VALENTIN VAZQUEZ AGUILAR, Celaya
DR. HUGO ALEJO VELASCO MOLINA, Monterrey
DR. JUAN VELAZQUEZ MENDOZA, Montecillo
M.C. MIGUEL ANGEL VERGARA SANCHEZ, Chapingo
DR. VICTOR VOLKE HALLER, 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 entien de 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 ibero-americanos, 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 $g\ m^{-2}$ y en otra en $kg\ ha^{-1}$. 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:

NUÑEZ 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 acostumbran 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 fácil 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-les 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.

Esta publicación se terminó de imprimir el mes de octubre de 1990
en los Talleres Gráficos del CENID-RASPA
Km 6+500 Canal Sacramento
Gómez Palacio, Dgo. Méx.

Tiraje 1000 ejemplares

DIVISION III

Estudio del problema de permeabilidad en los terrenos cultivados con alfalfa en La Laguna, Coahuila.

**JAVIER Z. CASTELLANOS,
JAIME FRAGA P.,
SERGIO ENRIQUEZ R. y
JOSE LUIS OLVERA.**

150

Respuesta del maíz H-220 al Zn, Fe y Mn en la cienega de Chapala.

**J. VENEGAS G., C. PALOMINOS M.
y R. MARTINEZ M.**

158

Extracción de nitrógeno y fósforo por el cultivo de trigo en la región de Nuevo Casas Grandes, Chih.

**OMAR FELIX VERDUGO,
JAVIER Z. CASTELLANOS
y SERGIO A. ENRIQUEZ.**

167

ENSAYO

Evolución de la ciencia del suelo en México y los desafíos para el futuro.

REGGIE J. LAIRD.

173