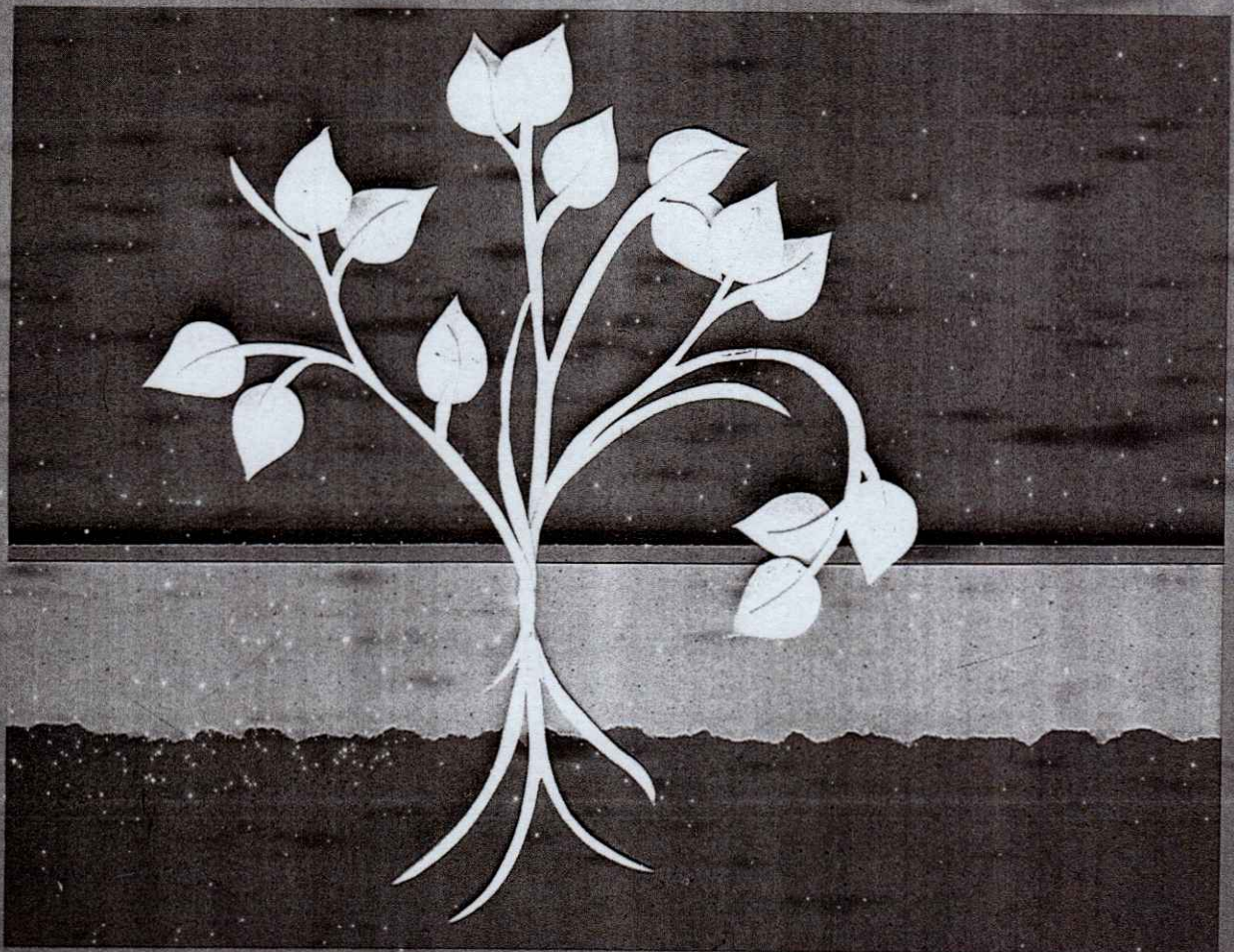


ISSN 0187-5779

TERRA

JULIO - SEPTIEMBRE DE 1997 • VOLUMEN 15 • NUMERO 3



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

TERRA

SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO A.C.

MESA DIRECTIVA 1996-1997

Presidente

Vicepresidente

Secretario General

Tesorero

Secretario Técnico

Secretario de Relaciones Públicas

Secretario de Eventos Nacionales

e Internacionales

Vocal

Vocal

Vocal

Dr. Gabriel Alcántar González

Dr. Rodrigo Aveldaño Salazar

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

M.C. Gerardo Cruz Flores

Dra. Edna Alvarez Sánchez

M.C. Joel Gutiérrez Lozano

M.C. Francisco Orozco Chávez

M.C. Jorge M. Rivera Díaz

M.C. Juan Manuel Alcalá Ruiz

Dr. Xavier X. Uvalle Bueno

EDITOR EN JEFE

EDITOR ADJUNTO

EDITORES TECNICOS

Dr. Andrés Aguilar Santelises

Dr. Javier Z. Castellanos

Dr. Gabriel Alcántar González

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

Dr. Juan José Peña Cabriales

Dr. Xavier X. Uvalle Bueno

Dra. Edna Alvarez Sánchez

M.C. Jorge Alvarado López

EDITOR DE ESTILO

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

TERRA registro en trámite.

Organo Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Julio- Septiembre de 1997 Volumen 15 Número 3

ISSN 0187 - 5779

Los artículos publicados son responsabilidad absoluta de los autores. Se autoriza la reproducción parcial o total 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** a:

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
56230 Chapingo, Edo. de México.

Teléfono: +(595) 4 60 24 **Fax:** +(595) 4 80 76

EQUIPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

Ina Aalmers de Aguilar
Sofía Blancas Cando
Ricarda Torres Estrada
María Elena Aguilar Sánchez
Gardenia Chávez Peña

Diseño de portada

EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

Dr. Manuel Anaya Garduño
Dr. Jesús Caballero Mellado
Dr. Lenom J. Cajuste
Dr. Ronald Ferrera Cerrato
Dr. Benjamín Figueroa Sandoval
M.C. Margarita E. Gutiérrez Ruiz
Dr. Reggie J. Laird
Dr. Angel Martínez Garza
Dr. Roberto Núñez Escobar
Dr. José Luis Oropeza Mota
M.C. Carlos Ortiz Solorio
Dr. Alejandro Velázquez Martínez
Dr. Enrique Palacios Vélez
Dr. Oscar L. Palacios Vélez
Dr. Benjamín V. Peña Olvera
Dr. Antonio Turrent Fernández

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

| | |
|------------------------------|------------|
| Dr. Eduardo Besoain M. | Chile |
| Dr. Winfried E. H. Blum | Austria |
| Dr. Elmer Bornemisza | Costa Rica |
| Dr. Luis Alfredo de León | Colombia |
| Dr. Harl Eswaran | E.U.A. |
| Dr. Anthony Fischer | Australia |
| Dr. Juan F. Gallardo Lancho | España |
| Dr. Renato Grez Z. | Chile |
| Dr. Alberto Hernández | Cuba |
| Dr. José M. Hernández Moreno | España |
| Dr. Eric S. Jensen | Dinamarca |
| Dr. Walter Luzio Leighton | Chile |
| Dr. John T. Moraghan | E.U.A. |
| Dr. Héctor J. M. Morrás | Argentina |
| Dr. Christian Prat | Francia |
| Dr. Parker F. Pratt | E.U.A. |
| Dr. Paul Quantin | Francia |
| Dr. José Rodríguez | Chile |
| Dr. Carlos Roquero | España |
| Dr. Karl Stahr | Alemania |
| Dr. Bernardo Van Raij | Brasil |
| Dr. Rafael Villegas | Cuba |
| Dr. Eduardo Zaffaroni | Brasil |

TERRA

JULIO - SEPTIEMBRE DE 1997 • VOLUMEN 15 • NUMERO 3

DIVISION I

- 255 Terminología edafológica referente a la migración de materia en los suelos: Análisis histórico y lexicográfico.
Héctor J. M. Morrás
- 267 Propiedades químicas y morfológicas de una secuencia de suelos con material volcánico de diferentes grados de alteración.
Lourdes Cruz Huerta y Adolfo Campos Cascaredo
- 279 Contenido y distribución de las formas del fósforo en Vertisoles de Cuba.
M. Morales Díaz, A. Vantour Causse, Y. González Mantilla, A. Hernández Jiménez y L. Ma. Otero Gómez
- 287 Efectos del ambiente aéreo y del suelo sobre el desarrollo de síntomas de declinación de oyamel.
Miguel Angel López López

DIVISION III

- 295 Rehabilitación de los tepetates: Productividad agrícola y condiciones socioeconómicas de producción en la región de Hueyotlipan (Tlaxcala, México).
H. Navarro, C. Zebrowski y Ma. A. Pérez
- 315 Producción de manzano en función de la fertilización fosfatada al suelo.
Jesús Pilar Amado Alvarez y Pedro Ortiz Franco
- 321 Respuesta del manzano a las dosis de nitrógeno aplicado al suelo, durante diez años.
Jesús Pilar Amado Alvarez y Pedro Ortiz Franco
- 329 Utilización de desechos de la industria cítrica en el mejoramiento de suelos salinos.
J. G. López Aguirre, J. Molina Ochoa, J. Farias Larios, S. Guzmán González y A. Michel Rosales

NOTA DE INVESTIGACION

337 Nutrición mineral y manejo de fertilizantes en huertas de cítricos.
Dariusz Swietlik

TERRA

MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

| | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| President | Dr. Gabriel Alcántar González |
| Vicepresident | Dr. Rodrigo Aveladaño Salazar |
| Secretary | Dr. Victor M. Ordaz Chaparro |
| Treasurer | M.C. Gerardo Cruz Flores |
| Technical Adviser | Dra. Edna Alvarez Sánchez |
| Public Relations | M.C. Joel Gutiérrez Lozano |
| National and International Events | |
| Secretary | M.C. Francisco Orozco Chávez |
| Voter | M.C. Jorge M. Rivera Díaz |
| Voter | M.C. Juan Manuel Alcalá Ruiz |
| Voter | Dr. Xavier X. Uvalle Bueno |

DIVISIONS AND DISCIPLINES

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

- a) Soil Genesis, Morphology and Classification
- b) Soil Physics
- c) Soil Chemistry
- d) Pollution

Division II: Soil - Climate - Biota Relationship

- a) Plant Nutrition
- b) Water - Soil - Plant - Atmosphere Relationship
- c) Soil Biology
- d) Technology and Fertilizer Use
- e) Water Management and Use

Division III: Use of the Soil Resource

- a) Soil Conservation
- b) Drainage and restoration
- c) Soil Fertility
- d) Agrosystem Productivity

Division IV: Education and Technical Assistance

- a) Education
- b) Credit and Technical Advise

TERRA Registration pending
Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science
July - September, 1997 Volume 15 Number 3

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
56230 Chapingo, Edo. de México.

Telephone: +(595) 4 60 24 **Fax:** +(595) 4 80 76

EDITOR-IN-CHIEF
ASSOCIATE EDITOR
TECHNICAL EDITORS

Dr. Andrés Aguilar Santelises
Dr. Javier Z. Castellanos
Dr. Gabriel Alcántar González
Dr. Victor M. Ordaz Chaparro
Dr. Juan José Peña Cabriales
Dr. Xavier X. Uvalle Bueno
Dra. Edna Alvarez Sánchez
M.C. Jorge Alvarado López

STYLE EDITOR

EDITORIAL STAFF

Cover design

Ina Aalmers de Aguilar
Sofía Blancas Cando
Ricarda Torres Estrada
María Elena Aguilar Sánchez
Gardenia Chávez Peña

NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

Dr. Manuel Anaya Garduño
Dr. Jesús Caballero Mellado
Dr. Lenom J. Cajuste
Dr. Ronald Ferrera Cerrato
Dr. Benjamín Figueroa Sandoval
M.C. Margarita E. Gutiérrez Ruiz
Dr. Reggle J. Laird
Dr. Angel Martínez Garza
Dr. Roberto Núñez Escobar
Dr. José Luis Oropeza Mota
M.C. Carlos Ortiz Solorio
Dr. Alejandro Velázquez Martínez
Dr. Enrique Palacios Vélez
Dr. Oscar L. Palacios Vélez
Dr. Benjamín V. Peña Olvera
Dr. Antonio Turrent Fernández

INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

| | |
|-------------------------------------|------------|
| Dr. Eduardo Besoain M. | Chile |
| Dr. Winfried E. H. Blum | Austria |
| Dr. Elmer Bornemisza | Costa Rica |
| Dr. Luis Alfredo de León | Colombia |
| Dr. Hari Eswaran | U.S.A |
| Dr. Anthony Fischer | Australia |
| Dr. Juan F. Gallardo Lancho | Spain |
| Dr. Renato Grez Z. | Chile |
| Dr. Alberto Hernández | Cuba |
| Dr. José M. Hernández Moreno | Spain |
| Dr. Eric S. Jensen | Denmark |
| Dr. Walter Luzio Leighton | Chile |
| Dr. John T. Moraghan | U.S.A |
| Dr. Héctor J. M. Morrás | Argentina |
| Dr. Christian Prat | France |
| Dr. Parker F. Pratt | U.S.A. |
| Dr. Paul Quantin | France |
| Dr. José Rodríguez | Chile |
| Dr. Carlos Roquero | Spain |
| Dr. Karl Stahr | Germany |
| Dr. Bernardo Van Raij | Brazil |
| Dr. Rafael Villegas | Cuba |
| Dr. Eduardo Zaffaroni | Brazil |

TERRA

JULY - SEPTEMBER, 1997 • VOLUME 15 • NUMBER 3

DIVISION I

- 255 Edaphological terminology related to migration of matter in soils: A historical and lexicographic analysis.
Héctor J. M. Morrás
- 267 Chemical and morphological properties of a soil sequence with volcanic material of different levels of weathering.
Lourdes Cruz Huerta and Adolfo Campos Cascaredo
- 279 Contents and distribution of the forms of phosphorus in Vertisols of Cuba.
M. Morales Díaz, A. Vantour Causse, Y. González Mantilla, A. Hernández Jiménez, and L. Ma. Otero Gómez
- 287 Effects of aerial environment and soil on the development of sacred fir decline symptoms.
Miguel Angel López López

DIVISION III

- 295 Tepetate soils rehabilitation: Agricultural production and socioeconomic factors in Hueyotlipan, Tlaxcala, Mexico.
H. Navarro, C. Zebrowski, and Ma. A. Pérez
- 315 Apple production as a function of P fertilization.
Jesús Pilar Amado Alvarez and Pedro Ortiz Franco
- 321 Response of mature apple trees to nitrogen rates applied to soil during ten years.
Jesús Pilar Amado Alvarez and Pedro Ortiz Franco
- 329 Use of citric waste for the amelioration of saline soils.
J. G. López Aguirre, J. Molina Ochoa, J. Farias Larios, S. Guzmán González, and A. Michel Rosales

SCIENTIFIC NOTE

337 Mineral nutrition and fertilizer management in citrus orchards.
Dariusz Swietlik

TERMINOLOGIA EDAFOLOGICA REFERENTE A LA MIGRACION DE MATERIA EN LOS SUELOS: ANALISIS HISTORICO Y LEXICOGRAFICO

Edaphological Terminology Related to Migration of Matter in Soils: a Historical and Lexicographic Analysis

Héctor J. M. Morrás¹

RESUMEN

Diversos términos referentes a la migración de materia en los suelos se suelen utilizar de manera ambigua o imprecisa; en ciertos casos por error y en otros por convención deliberada, a algunos términos se les da una significación y alcance diferente al de su sentido técnico y etimológico. Este problema aparece como parte del proceso de evolución de los conocimientos y de la conceptualización de los procesos edafológicos, y del desarrollo de un lenguaje específico. La dificultad alcanza al lenguaje edafológico en los principales idiomas, pero problemas suplementarios se producen al traducir vocablos de un idioma a otro, modificándose muchas veces el contenido conceptual del término original. En este trabajo se efectúa un análisis histórico y lexicográfico comparativo en idioma castellano, inglés, francés y ruso de diversos términos específicos. Finalmente se intenta precisar la significación edafológica española de algunos términos (lixiviación, lavado, eluviación, iluviación, "lessivage", argiluviación, ilimerización) y se efectúan propuestas respecto a su uso.

Palabras clave: Material de suelo, migración, evolución conceptual, léxico, distintos idiomas.

SUMMARY

Different words referring to migration of matter in soils are frequently used ambiguously or inaccurately. In certain cases owing to errors, and in others, due to deliberate convention, some words are given a meaning or a coverage differing from their technical sense and etymological root. This problem appears as part of the process of evolution of knowledge and the

conceptualization of edaphological processes, and the development of a specific language. Not only such a difficulty affects the edaphology-related lexicon in the principal languages but also additional problems arise when terms are translated: Many times, the conceptual content of an original word is modified by the process of translation. The present paper is aimed at both a historical analysis and a lexicographic comparative analysis of several specific terms in Spanish, English, French, and Russian. Finally, the Spanish, accurate, edaphological meaning of some terms such as "lixiviación, lavado, eluviación, iluviación, 'lessivage', argiluviación, ilimerización" is sought, and some proposals regarding their use are suggested.

Index words: Soil material, migration, conceptual evolution, lexicon, different languages.

INTRODUCCION

El desarrollo de una ciencia requiere tanto la generación continua de nuevos conocimientos e interpretaciones sobre los temas que aborda, como una terminología clara que exprese estrictamente sus avances conceptuales. Como señala Sokolov (1976) "...los términos correspondientes a esos conceptos son la base del lenguaje científico. El entendimiento mutuo es más completo cuando los científicos hablan un mismo idioma".

En este sentido, una cierta confusión existe en la terminología edafológica¹⁾ sobre el significado de distintos vocablos referidos a la migración de materia

¹ Instituto de Suelos, INTA-Centro de Investigaciones de Recursos Naturales, 1712 Castelar, Argentina.

1) Algunos autores diferencian la Edafología de la Pedología como dos disciplinas con un mismo objeto de estudio pero que persiguen propósitos diferentes (v.g. Lyon y Buckman, 1943; Mela Mela, 1954). Otros autores consideran, sin embargo, ambos términos como equivalentes entre sí, habiendo impulsado la utilización en español del término Edafología para evitar las confusiones fonéticas que se derivan del término Pedología (Albareda Herrera y Hoyos de Castro, 1948; Huguet del Villar, 1936). En este texto y con el mismo criterio expuesto por Guitián Ojea (Prólogo. In: Duchaufour, 1987), se utiliza Edafología como equivalente y abarcativo de los distintos alcances dados a los términos Pedología y Ciencia del Suelo.

en los suelos. Es así que términos como lixiviación, iluviación, lavado, se utilizan muchas veces como sinónimos; otras veces se emplean en sentidos distintos, pero en ocasiones el sentido restringido y específico que se le adjudica a algunos de esos términos no se corresponde con su sentido etimológico.

Algunos ejemplos de la literatura edafológica española sobre el particular son los siguientes:

- Bonfils (1966), en el capítulo referido a "Los procesos pedogenéticos", da la siguiente definición de lixiviación: "es el proceso de arrastre mecánico de coloides minerales. Tiene lugar en medio escasamente ácido y se diferencia de la podsolización en que la arcilla no sufre más que un arrastre mecánico, sin que haya alteración del coloide mineral".

- En un sentido similar, en la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1975), se da la definición que sigue: "Lixiviación: Traslado de arcilla y/o sesquióxidos de Fe y Aluminio con la consiguiente acumulación en profundidad. Es semejante al fenómeno llamado "lessivé" de los franceses".

- Por otra parte, en el Glosario de términos técnicos de las distintas Cartas de Suelos de la República Argentina, así como en el más reciente Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires (SAGyP-INTA, 1989) se da la definición siguiente: "Lixiviar-lixiviado (en edafología): acción y efecto del lavado por el agua de sustancias a través de los poros y las grietas del suelo, produciendo el arrastre y la migración interna de sales, arcilla o humus".

- En fin, en el Mapa General de Suelos del Ecuador (González *et al.*, 1986) se define: "lixiviación: la remoción de los materiales del suelo, tanto en solución como en suspensión".

En estas cuatro definiciones se observa ya una diferencia de conceptos: para las Cartas de Suelo de la Argentina y el Mapa de Suelos del Ecuador el término lixiviación implica la migración de componentes solubles y no solubles (sales, arcilla y humus); por el contrario, para Bonfils y para Hernández *et al.* implicaría solamente el arrastre de los coloides insolubles. Esta contraposición se halla complicada por el hecho que la definición corriente de lixiviar -tal como lo veremos más adelante- implicaría solamente la extracción de sustancias solubles; es decir que aquellas definiciones, además de ser contrapuestas, serían erróneas.

Del mismo modo, problemas conceptuales se presentan por ejemplo con el término francés

"lessivage". Como veremos, la significación etimológica de este vocablo es equivalente a lixiviación; sin embargo, este término tiene actualmente una significación edafológica distinta, que se contrapone tanto a la que tiene en otras disciplinas como a la significación edafológica de épocas anteriores.

Se percibe así que esa confusión terminológica no es exclusiva de los autores de habla española, y en definitiva no es sino el reflejo de la imprecisión que se ha dado a lo largo del desarrollo de la Edafología. Esta confusión no se halla limitada a los procesos aquí discutidos, sino que abarca muchos aspectos de aquella, y es así que Sokolov (*op.cit*) expresa: "el análisis de la literatura muestra que en la actualidad existe indeterminación en los conceptos y en la terminología de la ciencia del suelo".

En consecuencia, y dado que el avance de los conocimientos requiere también un vocabulario apropiado, resulta necesario la clarificación de las ideas y la resignificación de los términos, al menos de aquellos más corrientes y fundamentales sobre el tema de la migración de materia en los suelos (Morrás, 1993a,b).

LA EVOLUCION CONCEPTUAL Y TERMINOLOGICA DE LA MIGRACION DE ARCILLA. La noción de suelo "lessivé".

El interés de la discusión que aquí se efectuará sobre algunos términos referidos a la migración de la materia en los suelos, radica en la clarificación que esto conlleva de su contenido conceptual.

En este sentido, las teorías sobre la génesis de distintos tipos de suelos han ido modificándose con el transcurso del tiempo, y paralelamente el lenguaje también ha ido adecuándose. Los términos aquí tratados tienen que ver con algunos conceptos fundamentales de la Edafología, y que en conjunto abarcan la mayor parte de los suelos. En consecuencia, la discusión de estos términos nos conducirá a una revisión de los procesos edafogenéticos involucrados, lo que haremos siguiendo en gran parte los análisis ya hechos por Boulaine (1980-1981), Fridland (1958) y Liverovskiy *et al.* (1973)

Según lo mencionado por Liverovskiy *et al.*, y lo que se desprende asimismo de la clasificación edafológica presentada en la Exposición Universal de París de 1900 (ver facsímil en Pedro, 1984),

Dokuchaiev utilizó el término "podsol"²⁾ en un sentido morfológico ("sols bruns claires à podzol").

Sin embargo, y según lo señala Fridland (op.cit), al introducir también Dokuchaiev una concepción genética de los suelos podsólicos (considerándolos como resultantes de procesos de alteración y lavado), ya desde fines del siglo pasado surgen dos posturas respecto a la esencia de la podsolización: algunos autores consideraron ésta como una destrucción de las partículas de arcilla en la parte superior del perfil de suelo y la remoción de los productos de su destrucción (Georgievskii en 1888, Gedroits en 1933, Rode en 1937; citados por Fridland, 1958); otros, en cambio, consideraron a la podsolización como una remoción de las partículas de arcilla de los horizontes superiores sin destrucción de las mismas (Amaliskii en 1885, Wollny en 1895, Sokolovskii en 1922, Glinka en 1924; citados por Fridland, 1958).

Según Liverovski *et al.* (op.cit), algunos autores evolucionaron de una postura a otra (v.g. Glinka), o consideraron las dos hipótesis como diferentes procesos genéticos de un mismo grupo de suelos podsólicos (v.g. Georgievskii; Rode). Según Boulaine (op.cit), algunos precursores de otras escuelas (Treitz en 1913; Robinson en 1933) habrían establecido también una distinción clara entre un proceso de "leaching" químico y otro mecánico, aunque considerándolos ambos como etapas del proceso de podsolización. En esta época y este contexto, y según refieren tanto Fridland como Boulaine, Cernescu (1934) sugirió la división de los suelos podsolizados en dos grupos: uno en el cual las partículas de arcilla son destruidas y otro caracterizado por la migración de arcillas sin destrucción. Por otro lado, según Rode (1964), fue Krauss en 1939 el primero en establecer una hipótesis sobre el mecanismo real de la translocación de arcilla.

Según Boulaine (op.cit.) hacia mediados de la década del 30 los autores franceses no hacían todavía la distinción entre los dos procesos; al mismo tiempo "el término podsolización cubría la evolución de todos los suelos templados más o menos ácidos". Por otro lado, en esa época Erhart usa el término "lessivé" pero en el sentido de lixiviación. Según Boulaine varios autores siguen usando así el término "lessivé" hasta mediados de la década del 40, aunque aquí

veremos que este empleo continuó hasta tiempos más recientes.

Lo particular de aquella época es la confusión entre los procesos que caracterizan a los podsoles, y la iluviación de arcilla que caracteriza a los suelos conocidos actualmente como Alfisoles. Fedoroff (1969) señala que "el fenómeno de arrastre de las arcillas y de su acumulación en un horizonte B ha sido puesto en evidencia bastante tardíamente en comparación con los otros procesos fundamentales de la formación de suelos". Quizás sin embargo, según surge de la bibliografía aquí analizada, y como considera también Boulaine, el problema no residiría en no haberse percibido tempranamente dicho proceso sino en la dificultad para diferenciarlo de la podsolización. Rode (1964) dice que "podsolización y 'lessivage' ocurren bajo bosque y conducen a la formación de suelos con perfiles similares". Esta similitud dada por la existencia de horizontes A2 eluviados habría dificultado la distinción de los dos tipos de suelos y de procesos, así como más recientemente, y en otra medida, se ha planteado con los suelos de tipo planosólico (Morrás, 1979).

Además de esa falta de distinción entre esos dos procesos -dado que todo era podsolización- los distintos términos se empleaban como equivalentes: lixiviación, 'lessivage', iluviación, podsolización, 'leaching'. Como señala Boulaine "cuando se leen en detalle las publicaciones de la época, se siente la vacilación, el cuidado de no chocar las ideas reinantes y al mismo tiempo, las tentativas para hacer evolucionar los conceptos, para clarificar el lenguaje y para distinguir dos procesos y dos grandes conjuntos de suelos".

Es en este contexto que, según refieren Tavernier y Smith (1957) y según la cita que hace Boulaine (op.cit) de la Encyclopedia Universalis, Aubert en 1936 y Oudin en 1937 habrían empleado por primera vez el término "lessivé" para designar los suelos con un horizonte textural de acumulación de arcilla, llamados "sols podzoliques bruns". Sin embargo, a pesar de esta nueva connotación específica, la confusión persiste; esto está claramente evidenciado en el libro de Demolon, tanto en su segunda edición de 1938 como en la quinta de 1952, para quien el término "lessivage", "sols lessivés", es equivalente a lixiviación, pero también a migración de arcilla; esto se traduce asimismo en frases como "la migración de la arcilla se observa solamente en los suelos ácidos en climas

2) La grafía española de este nombre y sus derivaciones, varía según los autores. Aquí se utilizará "podsol" y "podsolización".

húmedos; ella caracteriza los suelos podsólicos”, y “los suelos podsólicos son suelos lessivés”.

Por su parte Aubert, redactando el capítulo III de ese mismo libro de Demolon, hace ya una distinción entre una serie de suelos “podzoliques” y una serie de suelos “lessivés”. Sin embargo, respecto a la primera dice por ejemplo: es bastante raro encontrar en Francia verdaderos podsoles en los que el horizonte eluvial, muy ‘lessivé’, posee una estructura...etc.”. Al mismo tiempo, del segundo grupo de suelos dice: “los suelos ‘lessivés’ presentan un perfil en el que los horizontes eluviales y de acumulación se hallan todavía netamente diferenciados, pero en los que el arrastre de elementos en profundidad no alcanza la misma intensidad que en los suelos podsólicos”. Resulta evidente que aún para el mismo Aubert, habiendo promovido la utilización del término “lessivage” como un concepto referido a la migración de arcilla y habiendo distinguido los dos tipos de suelos, le resulta todavía en esa época difícil de separar claramente ambos tipos de procesos. Asimismo, Aubert y Duchaufour (1946) describen suelos podsólicos por un lado y suelos “lessivés” por otro; estos últimos los caracterizan por la relación de arcilla de los horizontes B/A, aunque -incongruentemente- definen a esta relación como “coeficiente de podsolización”.

Finalmente será Duchaufour en su tesis de 1948 quien precisará el nuevo concepto de “lessivage” adjudicándole la significación de arrastre puramente mecánico de coloides electronegativos” y dando a la vez un esquema muy elaborado de la secuencia “sol brun-sol lessivé-sol podzolique”.

Paralelamente, según Liverovskii *et al.* (op.cit.), en los años 40 y 50 la mayor parte de la literatura soviética considera a la podsolización como un proceso de destrucción ácida de minerales primarios y secundarios, y migración a los horizontes inferiores de los productos de alteración. Por otro lado vuelve a difundirse la hipótesis de la formación de suelos con horizontes blanqueados por hidromorfia superficial y migración de arcilla en suspensión sin alteración. Como consecuencia se afirmó una división conceptual y terminológica entre los suelos podsólicos y los suelos pseudopodsólicos (estos últimos incluyendo suelos de distinta denominación tales como Pseudogley, Lessivés, Parabraunerde, etc.).

Es así que Royter (1968) señala que luego de las publicaciones de Aubert, Dudal y otros, se prestó atención al estudio de los procesos de movimiento

descendente de los coloides inorgánicos solos, es decir sin la participación de coloides protectores orgánicos. Este autor considera que es enteramente justificada la denominación de “lessivage” para este fenómeno.

Sin embargo, Fridland (1958) a la vez que establece claramente la distinción entre el proceso de podsolización y la migración de arcillas sin destrucción, sugiere utilizar el término de “illimerización” en lugar de “lessivage”. El mismo autor sugiere que la “illimerización” es característica de algunos suelos considerados podsolizados, en otros suelos podsolizados actuaría una combinación de illimerización y podsolización, en tanto existiría un tercer grupo de suelos estrictamente podsolizados.

En fin, la distinción entre los dos grandes procesos y tipos de suelos (los podsolizados y aquellos caracterizados por la iluviación de arcilla) será impuesta en 1960 por la “7ª Aproximación” de la clasificación de suelos del USDA, a través de los conceptos de horizonte argílico y de horizonte espódico. La migración de arcillas en los suelos y el término utilizado por Aubert y Duchaufour para expresarla adquieren así una entidad definida. Así por ejemplo, Buol *et al.* (1973) hablan de “illuviation of clay, a process called lessivage”.

Sin embargo, luego de haberse impuesto el concepto de “lessivage”, Duchaufour y Lelong (1967) señalan que el calificativo de “lessivé” ha sido aplicado a numerosos suelos que no ofrecen esa característica. Una consideración similar hace Rode (1964), para quien la difusión del concepto de “lessivage” llevó a aplicarlo a suelos en los que su importancia sería mínima o nula.

Aquí no debe dejar de mencionarse el intento del Mapa Mundial de Suelos de la FAO-UNESCO (1971) de resolver los problemas terminológicos y conceptuales que aquí hemos señalado. Así, en la Leyenda del Mapa se expresa que “a lo largo de los años los términos podzolizado y podzólico han venido a significar acumulaciones iluviales de arcilla, la formación de un horizonte lixiviado...y la iluviación de materia orgánica ácida o de sesquióxidos”. A partir de esta constatación, se conviene que: “Con el propósito de eliminar la confusión que ha surgido al emplear estos términos con significados distintos, se han adoptado los nombres luvisoles (del lat. luvi, tiempo perfecto de luo, lavar, lixiviar) y acrisoles (del lat. acris, muy ácido) para aquellos suelos cuya característica esencial es la acumulación iluvial de

arcilla en condiciones de alta y baja saturación de bases respectivamente. El término 'lúvico' se utiliza como adjetivo para designar los suelos que muestran una iluviación de arcilla..."

Como se ve, no solo los conceptos edafogenéticos sino que también la significación de los términos ha ido evolucionando con el tiempo. No obstante, la confusión, aunque menor, subsiste todavía; esto es particularmente evidente entre los especialistas de habla española, posiblemente porque no se ha impuesto todavía un equivalente del término francés "lessivage" con la significación convencional que el mismo tiene. Sin embargo debe notarse que aún más recientemente autores franceses han utilizado "lessivage" con un significado distinto al anterior. Así por ejemplo lo hacen Gaucher (1968), Hebert (1979) y Pedro y Lubin (1968); al respecto Gaucher dice (p.524): el "lessivage" de bases alcalinas y alcalino-térreas (K, Ca, Mg y accesoriamente Na) conduce a una desaturación del complejo adsorbente y a una acidificación del suelo", con lo que asimila "lessivage" a lixiviación.

LEXICOGRAFIA MULTILINGÜE REFERENTE A LA MIGRACION DE MATERIA EN LOS SUELOS

A fin de clarificar el significado de los términos españoles discutidos, es necesario referirse a otros idiomas en los que los conceptos y su correspondiente terminología han sido previamente elaborados y difundidos. Intentaremos aquí un análisis del vocabulario específico en inglés, francés y ruso.

Inglés

Un objetivo específico de esta revisión es diferenciar los términos que hacen referencia a la translocación de partículas en suspensión, y que pueden desembocar en la formación de un horizonte B de tipo argílico, de aquellos que hacen referencia a la migración de elementos o compuestos en solución. En este contexto conceptual, la Soil Taxonomy (USDA, 1975) define el horizonte argílico como "an illuvial horizon in which layer-lattice silicate clays have accumulated by illuviation to a significant extent".

Briggs (1977), en una obra de tipo pedagógico, define diversos vocablos del siguiente modo:

- "Eluviation: the removal of soil material in suspension or solution by percolating waters; forms an eluvial horizon".

- "Illuviation: the deposition of soil particles or solutes washed from the overlying soil horizons by percolating waters; forms an illuvial horizon".

- "Leaching: removal of soil materials in solution by percolating waters".

Por otra parte en el mismo texto el autor habla de "clay translocation" sin darle otra denominación equivalente.

Por su parte Knapp (1979), también en el glosario de una obra pedagógica, da las siguientes definiciones:

- "Eluviation: the removal of soil particles in suspension".

- "Illuviation: the reprecipitation of soil particles that have come from other regions of the soil either in suspension or solution".

- "Leaching: the removal of soil materials in solution".

- "Lessivage: the movement of clay particles in suspension consequent on the partial breakup of peds. The process implies a certain level of leaching of divalent cations as the cause of breakdown".

Como se ve, este autor da a la eluviación una acepción limitada a la migración de partículas en suspensión; por otro lado, incorpora al lenguaje el término "lessivage" con la acepción dada por los autores franceses, y que resulta aquí equivalente a "eluviation".

Buol *et al.* (1973) definen los procesos considerados de la siguiente manera:

- "Eluviation: movement of material out of a portion of a soil profile as in an albic horizon".

- "Illuviation: movement of material into a portion of soil profile as in an argillic or spodic horizon".

- "Leaching (depletion): general term for washing out or eluviating soluble materials from the solum".

- "Lessivage: the mechanical migration of small mineral particles from the A to the B horizons of a soil, producing in B horizons relative enrichment in clay (argillic horizons)".

Por otro lado, la Soil Science Society of America (1984), en un trabajo colectivo aunque expresamente indicado no oficial, da las siguientes definiciones:

- "Eluviation: the removal of soil material in suspension (or in solution) from a layer or layers of a soil. Usually, the loss of material in solution is described by the term 'leaching'".

- "Illuviation: the process of deposition of soil material removed from one horizon to another in the soil; usually from an upper to a lower horizon in the soil profile".

- "Leaching: the removal of materials in solution from the soil".

Finalmente en el diccionario inglés-castellano de Simon y Schuster (Gamez, 1973) se define el término 'leach' de la siguiente manera:

- "Leach: 1- lixiviar (separar mediante un disolvente una sustancia soluble de otra insoluble)". Además se dan las siguientes equivalencias al español: "leaching=lixiviación; lixiviation=lixiviación; illuviation=iluviación".

En resumen, de esta revisión resulta claro lo siguiente:

- 'illuviation' y su concomitante 'eluviation', significan la migración de elementos tanto en solución como en suspensión;

- 'leaching' y 'lixiviation': ambos son equivalentes al español lixiviación, e indican la remoción de elementos en solución. Sin embargo, los especialistas en suelos de lengua inglesa no usan el término 'lixiviation' sino solo 'leaching'.

- no existe un término inglés específico para designar exclusivamente la migración de partículas en suspensión. Los autores anglófonos hablan así de 'clay translocation' o 'clay illuviation' y eventualmente recurren al empleo del término francés 'lessivage'.

Francés

Además del análisis histórico que hemos visto más arriba sobre la evolución de los conceptos y términos edafogenéticos aquí discutidos, podemos agregar algunas precisiones respecto al significado de los vocablos en francés.

Según el diccionario francés-francés Nouveau Petit Larousse (Larousse, 1969), tenemos las siguientes definiciones:

- "Illuviation: processus d'accumulation dans un horizon du sol, dû à la migration d'éléments d'un autre horizon".

- "Lixiviation: extraction de matières solubles d'un mélange à l'aide de dissolvants appropriés".

- "Lessiver: laver avec de l'eau alcaline".

- "Lessivage: élimination d'un corps soluble au moyen d'un traitement par l'eau".

Por su parte en el diccionario francés-francés Le Petit Robert (Robert, 1981) se da la siguiente definición de:

- "Lessiver:...3-Chim. Traiter (un corps, une substance) par l'eau pour en éliminer les parties solubles..".

Por el contrario Duchaufour (1970) quien, como vimos, junto con Aubert le dio al término 'lessivage' una significación específica, lo define de la siguiente manera (p.294):

- "Processus de lessivage: on peut définir le lessivage, un processus d'entraînement mécanique de l'argile et du fer, en milieu peu acide et biologiquement actif, à la différence de la podzolization l'argile est, en general, peu altérée chimiquement, sauf dans certaines formes de transition (sols lessivés podzoliques): elle se dépose autour des unités structurales en formant des 'enrobements zonés' appelés parfois 'cutanes'".

Más recientemente Duchaufour (1977) reafirma aquella significación del término 'lessivage' diciendo (pag.73):

- "Lessivage: migration de particules en suspension.- Ce terme est désormais réservé conventionnellement à la designation du processus d'entraînement mécanique de particules dispersées, en l'espèce les argiles (d'est dans ce sens qu'on parle de sols lessivés)".

También Gaucher (1977), y a diferencia de la significación que le diera años antes (1968), da la siguiente definición del proceso de:

- "Lessivage: entrainement de l'argile, éventuellement avec le fer, a partir des horizons superieurs, et sous l'influence de l'humus acide (colloide protecteur)".

En consecuencia, de esta revisión queda en claro lo siguiente:

- "illuviation": implica la migración de partículas en solución y en suspensión;

- "lixiviation": corresponde solo a la extracción y migración de elementos solubles;

- "lessivage": en lenguaje corriente y técnico significa la eliminación de cuerpos solubles ³⁾; sin embargo en su acepción edafológica significa la migración de partículas en suspensión.

3) Sin embargo, considerando que "lixiviation" y "lessivage" hacen referencia al lavado con agua alcalina ("lessive" en francés), y dado que esto produciría la extracción tanto de sustancias en solución como de partículas dispersables, surge la interrogación si la significación de ambos términos no debería ser diferente a las dadas por la tradición y los diccionarios. La misma consideración vale para los términos españoles lixiviación y lejivación, derivados de lejía.

Ruso

Si bien disponemos de una información limitada con respecto a la designación en idioma ruso de los distintos procesos aquí discutidos, es claro que -tal como puede constatarse en el diccionario pedológico inglés-ruso de Peterburgsky y Rode (1967)- el vocablo *iluviación* y el vocablo *lixiviación* ("vischelachivanie") tendrían la misma acepción y diferencia conceptual entre ellos que la ya señalada en inglés y francés.

Como detalle puede señalarse que, si bien el término "illuvial" (inglés) tiene a "illuvialnig" como su correspondiente ruso, "illuviation" (inglés) se traduce también como "vmivanie" cuyo significado en español sería "lavado".

Por otro lado resulta interesante detenerse en la terminología edafológica rusa referida al proceso de translocación de arcilla y su distinción de la *podsolización*.

A este respecto, vimos anteriormente que la idea de la migración de arcilla como proceso con entidad propia fue retomado por Fridland (1958) bajo el término de "illimerizatsia".

Este término proviene de la partícula "ill" con que se designa en ruso a la fracción granulométrica inferior a 1 μ , según puede constatarse en Vilensky (1950).

Es así que en el diccionario de Peterburgsky y Rode pueden encontrarse las siguientes equivalencias inglés-ruso:

- "Illimerization: illimerizatsia, lessivage".
- "Lessivage: illimerizatsia; vinoz illa, bez razrusheniya" (movilización de la fracción 'ill', sin alteración).

Es interesante constatar también la siguiente equivalencia:

- "Pseudopodzolization: lessivage, illimerizatsia".

Es de señalar que el vocablo "illimerizatsia" acuñado por Fridland, ha sido usado por diversos autores españoles (v.g Aguilar *et al.*, 1980; Alias y Albadalejo, 1978; Torrent, 1976) aunque con la grafía 'ilimerización'⁴⁾.

4) Si bien este término es útil al hacer referencia específica a la migración de arcilla, en español su significado no resulta claro. En efecto, en un vocablo español la partícula 'merización' podría derivar del griego 'meros' que significa 'parte, porción' (Barceló, 1979; Eserverri Hualde, 1945), o bien del latín 'merus' que significa 'puro, sin mezcla' (Corominas, 1976). Por este motivo, la españolización de 'illimerizatsia' en 'ilimerización' produce cierta confusión respecto a su contenido conceptual, el que no concuerda con el significado de ninguna de esas dos raíces.

Significaciones y equivalencias en diccionarios técnicos multilingües

Existen numerosos glosarios de edafología, agronomía, geología, hidrología, etc., en dos, tres o más idiomas, en los cuales puede encontrarse la significación y equivalencia de varios de los términos aquí analizados. Consideraremos en este punto solamente los términos "leaching" (inglés), "lessivage" (francés) y "lixiviación" (español) que se encuentran en la mayoría de ellos.

En cuanto a definición de estos términos, citaremos dos ejemplos representativos. Así, en el Glosario de Conservación de Suelos y Aguas español-inglés (AID, 1963) se tiene:

- "Lixiviación: Remoción de los compuestos solubles del suelo o de otro material por el agua de percolación.
- Leaching: The removal of soluble constituents from soil or other material by percolating water".

Por otro lado, en el International Glossary of Hydrogeology (UNESCO, 1978) se define:

- "Leaching (engl.). Lessivage (fr). Lixiviación (esp.). The process of removal through solution of the soluble salts from the upper soil zone by percolating waters".

Si además se comparan las equivalencias terminológicas de los tres vocablos anteriores dadas por diversos léxicos, se llega a resultados en su mayor parte coincidentes y clarificadores, tal como surge del Cuadro 1.

Queda claro que los tres términos considerados tienen una significación equivalente. Se concluye también que la significación que se le da en Edafología a "lessivage" (migración de partículas en suspensión), no se corresponde con la significación que tiene en el resto de las ciencias ambientales.

LEXICOGRAFIA EDAFOLOGICA ESPAÑOLA.

Discusión y propuestas

A la luz del análisis efectuado del vocabulario específico utilizado en otros idiomas, y que pone desde ya en relieve ciertas dificultades y heterogeneidades para expresar algunos conceptos, analizaremos la terminología edafológica española referida a la migración de materia en los suelos.

Iluviación

Este término que podríamos considerar fundamental de la Edafología, no figura en la edición

Cuadro 1. Equivalencia de términos relativos a la migración de materia en los suelos en distintos idiomas y según diversos autores.

| Inglés | Francés | Español | Referencia |
|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Leaching | - | Lixiviación | Machatschek (1951) |
| Leaching | - | Lixiviación | AID (1963) |
| Leach | Lessiver | Lixiviar | Jacks <i>et al.</i> (1960) |
| Leaching | Lessivage | Lixiviación | UNESCO (1978) |
| Leaching | Lessivage | Lixiviación | Dubreuil (1969) |
| Leaching | Lessivage | Lixiviación | WMO (1974) |
| Leaching (lessivage) | - | Lixiviación | MOP (1977) |
| Leaching | Lessivage | Lixiviación, lejivación | Collocot (1979) |
| Leaching, lixiviation | Lessivage, lixiviation | Lixiviación, lejivación | Novitzky (1951) |
| Leaching | Lixiviation, lessivage, eluviation | Lixiviación, lavado | Haensch y Haberkamp (1975) |

consultada del Diccionario de la Real Academia Española (1984) ni tampoco en la mayor parte de los diccionarios técnicos españoles o multilingües citados en este trabajo.

No obstante, una definición de este término se encuentra en el Léxico Sedimentológico de Gonzalez Bonorino y Teruggi (1952): "Proceso por el cual materiales de horizontes superiores son transportados y concentrados en un nivel inferior. El transporte puede ser en solución o en suspensión coloidal y afecta en especial a carbonatos, silicatos (arcillas), sílice y sesquióxidos".

Esta definición es precisa y coincidente con las que se vieran de los términos equivalentes en inglés y francés ('illuviation'). Correspondientemente no habría duda que 'iluviación' en español significa la translocación (que se sobreentiende descendente) y acumulación de materia en el suelo por acción del agua de percolación, materia que puede hallarse tanto en solución como en suspensión.

Según la referencia dada por diversos autores (v.g. Boulaine, 1980-1981; Kubiena, 1953), este término habría sido creado por Wyssotzki en 1899. Según Kubiena, la etimología del término proviene del "latín illuere: penetrar por lavado". De acuerdo con el Diccionario Le Petit Robert (1981) este término derivaría "du lat. illuvio: débordement", es decir desborde o, por extensión, inundación. Según la explicación dada por Gaucher (1968), el término está conformado por una derivación del prefijo latino "in" que evoca la idea de penetración o término de un movimiento; el horizonte illuvial -la expresión material de la iluviación- es así el horizonte de aporte, al que llegan y se fijan las sustancias en movimiento.

Por el contrario, según Gaucher (*op.cit.*), el término "eluviación" (el proceso correlativo del

anterior), sería derivado del prefijo latino "ex" que indica salida u origen del movimiento. Es claro entonces que el horizonte eluvial es el horizonte de partida de las sustancias que migran.

Lixiviación

Según el diccionario de la Real Academia Española, la definición de este término es la siguiente: "Lixiviar: (del lat. lixivía, lejía). Quím. tratar una sustancia compleja por el disolvente adecuado para obtener la parte soluble de ella".

Conforme a esta definición, a las citadas anteriormente de diversos glosarios técnicos, y a la correspondencia establecida con los vocablos equivalentes del inglés ("lixiviation" y "leaching") y del francés ("lixiviation"), resulta claro que 'lixiviación' en el vocabulario edafológico español indica exclusivamente la extracción de sustancias solubles del suelo.

Lavado

Este término y la expresión 'suelos lavados' son utilizados en Edafología con una significación muy ambigua, a veces en el sentido de extracción de solutos (equivalente a lixiviado), a veces expresando la migración de arcillas y también con el sentido de agotamiento del suelo.

De acuerdo con el diccionario de la Real Academia Española, 'lavar' significa "limpiar una cosa con agua u otro líquido" o bien la acepción más específica para mineralogía: "purificar los minerales por medio del agua".

De este modo, y dado que en esta acción se eliminarían sustancias solubles y no solubles, el

adjetivo 'lavado' referido a horizontes de suelo sería equivalente a 'horizonte eluvial'. Es en este sentido que ha sido también definido este término por González Bonorino y Teruggi (1952): "En un suelo o sedimento, eliminación de sustancias por percolación. El lavado elimina principalmente sales solubles, pero también sustancias relativamente insolubles como sílice, silicatos, etc., los que son transportados en solución verdadera o en estado coloidal. Cuando afecta a los suelos se llama eluviación".

Sin embargo, creemos que 'lavado' se diferenciaría de 'eluviación' en que ésta hace normalmente referencia a la migración descendente vertical u oblicua de componentes del suelo, en tanto 'lavado' no implica una dirección y sentido específicos de migración⁵⁾.

"Lessivage"

A diferencia de los autores anglófonos que utilizan en cierta medida este término francés, entre los autores hispano parlantes su uso con la grafía y acepción edafológica ha tenido muy escasa difusión.

En nuestra interpretación, esto se debe en buena parte al hecho que -tal como puede constatarse en los ejemplos citados en la Introducción y en muchos otros que ofrece la literatura- los edafólogos de habla española al tratar el tema y citar fuentes de origen francés o inglés en las que se hace referencia al 'lessivage', han optado por traducir el término al español. Al hacer así, y conforme a la etimología, surgen en los textos castellanos el equivalente 'lixiviación' y, en menor medida, 'lavado'. Un ejemplo de esto último lo constituye la traducción de "processus de lessivage" por "procesos de lavado" en la versión española del libro de Duchaufour (1976); también, en otros casos puede constatarse la traducción de "sols lessivés" de la clasificación francesa por "suelos lavados" (v.g. Clemente *et al.*, 1976).

La consecuencia sería que, si bien al proceder de este modo se está más de acuerdo con el sentido etimológico, se pierde la connotación edafológica

específica dada a 'lessivage', modificándose en consecuencia en los textos españoles el transfondo conceptual original.

Sin embargo, como surge de esta revisión histórica y lexicográfica, y en acuerdo con la opinión de Fridland (1958), la utilización convencional de 'lessivage' promovida por Aubert y Duchaufour si bien ha servido para establecer la diferenciación con la podsolización, nos parece demasiado forzada y como tal fuente de confusiones.

Consecuentemente parecería necesario el reemplazo del término anterior, aún en su idioma de origen, por otros vocablos alternativos específicos tales como 'illimerización' o 'argiluviación'. Como se señaló, diversos autores españoles han usado ya el primero de ellos con la grafía 'ilimerización' (v.g. también, Dorronsoro y Aguilar, 1988). Otros autores han utilizado 'argiluviación' (v.g. Gallardo *et al.*, 1981) e incluso hablan de 'horizontes argiluvitados' (v.g. Benayas *et al.*, 1991) o de 'suelos argilúvicos' (v.g. Gandullo y Sánchez Palomares, 1976), en tanto en otros trabajos se emplean indistintamente ambos términos (v.g. Benayas *et al.*, 1981).

El término 'argiluviación', de acuñación relativamente reciente aunque no hemos podido identificar su origen, ha sido utilizado también por algunos autores en idioma francés ('argiluviation'). En nuestro criterio el empleo de este término sería la alternativa más adecuada, dada su conformación con dos partículas de clara significación (arcilla; iluviación) y su fácil asociación con otros términos similares que hacen referencia al enriquecimiento o acumulación de arcillas.

CONCLUSIONES

El nivel de desarrollo de una ciencia en un momento determinado está dado por la cantidad de conocimientos obtenidos y la elaboración alcanzada por su sistema conceptual, los que son traducidos en términos específicos y que dan origen a un lenguaje científico propio. Como expresara Sokolov (1976), "para ser usados sin ambigüedad, los conceptos científicos deben ser suficientemente estrictos y definidos con precisión y cada concepto debe tener su vocablo propio".

Kubiena (1953) expresó oportunamente que "el edificio de la Edafología puede llegar a ser una torre de

5) Porta *et al.* (1994) definen la 'eluviación' como "migración descendente u oblicua de sustancias en suspensión". Sin embargo, no parecería adecuado restringir el concepto a la migración en suspensión. Por otro lado, resulta útil señalar que los autores franceses individualizan la emigración lateral de componentes en suspensión mediante el término 'appauvrissement' (Baize y Girard, 1990; Duchaufour, 1970).

Babel". Como ha sido mostrado, algunos términos fundamentales referidos a la migración de materia en los suelos son utilizados todavía de una manera muy imprecisa y a veces contradictoria. Esta es una dificultad de la edafología de todas las latitudes, y que en última instancia no es sino un reflejo del proceso y estado evolutivo de esta ciencia.

En relación con el léxico considerado en este trabajo, parte de la imprecisión y contradicción en el uso de los vocablos tiene una raíz histórica, y se explica por la lenta y progresiva diferenciación conceptual sobre ciertos procesos edafológicos. En segundo lugar, la dificultad surge también por la falta de términos específicos, de significación unívoca y aceptación universal para cada uno de los procesos identificados. Así por ejemplo, la significación adjudicada a "lessivage" no se corresponde con su significado etimológico y aún edafológico 'temprano'.

Las dificultades mencionadas se presentan en mayor o menor medida en el lenguaje edafológico en los diversos idiomas. Por otro lado, algunos problemas suplementarios suelen presentarse cuando se trasladan vocablos de un idioma a otro. Esto es notorio en el lenguaje edafológico español, dada la traducción literal que se efectúa a veces de algunos términos aquí considerados, con modificación de su contenido conceptual etimológico o convencional.

En consecuencia, de acuerdo con el análisis histórico y lexicográfico aquí efectuado, la significación edafológica en lengua española de algunos términos referidos a la migración de materia, sería la siguiente:

- Lixiviación: indica la extracción y translocación de las sustancias solubles del suelo. Sus equivalentes principales serían en inglés 'leaching' y en francés 'lixiviation'. También son sinónimos el término castellano 'lejivación' y el inglés 'lixiviation', aunque éstos no se usan en Edafología. En otras disciplinas 'lessivage' es el equivalente francés principal (término de la misma raíz latina que 'lejivación'), pero en Edafología por el momento tiene otro significado.

- Lavado: expresa la extracción de sustancias tanto solubles como insolubles; connota sobre todo con empobrecimiento o agotamiento de componentes. Se diferencia de 'eluvación' en que ésta implicaría migraciones de sentido descendente, en tanto 'lavado' carecería de esa connotación direccional. En inglés el término equivalente probablemente sería 'washing out' y en francés 'lavage' o 'delavage'; sin embargo, éstos

no son términos de uso edafológico habitual en esos idiomas.

- Eluviación: significa la remoción de sustancias tanto en solución como en suspensión; connota sobre todo con el proceso de emigración descendente de componentes; genera horizontes 'eluviales' o 'eluviados'. Tanto en inglés como en francés el equivalente es "eluviation".

- Iluviación: es el proceso de ingresión y acumulación de componentes provenientes en solución o suspensión de otro horizonte del suelo. "Illuviation", con las diferencias fonéticas correspondientes, constituye el término equivalente en inglés y en francés.

- Argiluvación; ilimerización: ambos términos designan la migración de arcillas en el suelo; se entiende esto como un proceso puramente mecánico de arrastre de partículas en suspensión. Se sugiere aquí que estos términos, en particular el primero, deberían usarse en reemplazo definitivo del término "lessivage", el que etimológicamente y en el resto de las ciencias tiene una significación distinta a la convencional dada en Edafología.

La grafía española del término de origen ruso todavía no está establecida definitivamente, pudiendo ser 'illimerización', 'ilimerización', 'ilmerización'.... Este término haría referencia en particular al proceso de migración de la arcilla. Sin embargo, en español su significación no resulta etimológicamente clara.

En cuanto al término 'argiluvación', se considera que por su estructura compuesta, refleja con claridad el concepto implícito de translocación de arcillas, y es comprensible en varios idiomas con mínima modificación de la grafía. A diferencia del término anterior, argiluvación connota sobre todo con el enriquecimiento en arcilla; también por este hecho se lo asocia fácilmente con la génesis del horizonte argílico.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Ing. Agr. B. Jacyszyn la colaboración prestada en la traducción y transcripción fonética en alfabeto latino de las referencias en idioma ruso.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, J., J. Benayas y F. Macías. 1980. Procesos de Edafogénesis. I-Podsolización. Anal. Edaf. y Agrobiol. XXXIX (11-12): 1895-1922.

- A.I.D. 1963. Glosario de conservación de suelos y aguas. (Español-Inglés). Soil Conservation Society of America; AID, Centro Regional de Ayuda Técnica, México.
- Albareda Herrera, J. y A. Hoyos de Castro. 1948. Edafología. S.A.E.T.A., Madrid.
- Alias, L. y J. Albadaejo. 1978. Mineralogía y génesis de suelos con horizonte B textural sobre rocas volcánicas en el sudeste de España. *Anal. Edaf. y Agrobiol.* XXXVII (1-2): 165-186.
- Aubert, G. y Ph. Duchaufour. 1946. Les sols du domaine d'Harcourt. *C.R. Acad. Agr. de France, Paris*: 721-728.
- Baize, D. y M.C. Girard. (Eds.) 1990. Présentation du référentiel pédologique au Congrès de Kyoto. AFES-INRA, Plaisir. 203 p.
- Barcelo, J. 1979. Diccionario terminológico de química. Ed. Alhambra.
- Benayas, J., J. Gallardo y A. Pinilla. 1981. Movilidad del plasma en suelos de la Sierra de Guadarrama (Madrid). *Anal. Edaf. y Agrobiol.* XL (7-8): 1039-1058.
- Benayas, J., L. Alcalá del Olmo, F. Monturiol y A. Guerra. 1991. Paleoprocesos edáficos en superficies pliocuaternarias del Centro de España. *Suelo y Planta* 1 (2): 287-301.
- Bonfils, C. 1966. Rasgos principales de los suelos pampeanos. INTA, Instituto de Suelos y Agrotécnica, Public. N° 97.
- Boulaine, J. (1980-1981). La contribution de Georges Aubert et de la section de Pédologie de l'ORSTOM à l'orientation de la Pédologie Française. *Cah. ORSTOM, Ser. Pédol.* XVIII 3-4: 163-171.
- Briggs, D. 1977. Soils. Sources and methods in geography. Butterworths, London.
- Buol, S., F. Hole y R. McCracken. 1973. Soil genesis and classification. The Iowa State University Press, Ames.
- Cernescu, N. 1934. Facteurs de climat et zones de sol en Roumanie. *Inst. Geol. al Romaniei Studii techice si economice.* Bucuresti, Seria C, n° 2.
- Clemente, L., G. Paneque y W. Garcés. 1976. Rubefacción e hidromorfismo en suelos de terrazas del Guadalquivir. *Anal. Edaf. y Agrobiol.* XXXV (3-4): 417-430.
- Collocot, M. (Ed.) 1979. Chambers. Diccionario científico y tecnológico. Español/Inglés/Francés/Alemán. Ed. Omega S.A., Barcelona, Vol. 1.
- Corominas, J. 1976. Diccionario crítico etimológico de la lengua castellana. Ed. Gredos, Madrid, Vol. III.
- Demolon, A. 1952. Principes d'agronomie. Tome 1. Dynamique du sol. Dunod, Paris, 5ème. édition.
- Dorransoro, C. y J. Aguilar. 1988. El proceso de iluviación de arcilla. *Anal. Edaf. y Agrobiol.* XLVII (1-2): 311-350.
- Dubreuil, P. 1969. Recueil quadrilingue de mots usuels en hydrologie. ORSTOM, Paris. Init. Doc. Tech., N° 12.
- Duchaufour, Ph. 1948. Recherches écologiques sur la chenaie atlantique française. Thèse. *Annales de l'Ecole Nat. des Eaux et Forêts.* XI (1).
- Duchaufour, Ph. 1970. Précis de pédologie. Masson et Cie, Paris.
- Duchaufour, Ph. 1976. Manual de edafología. (Versión española del 'Précis de Pédologie'). Masson.
- Duchaufour, Ph. 1977. Pédologie. I. Pédogenèse et classification. Masson, Paris.
- Duchaufour, Ph. 1987. Manual de edafología. (Versión española del 'Abregé de Pédologie'). Masson S.A., Barcelona.
- Duchaufour, Ph. y F. Lelong. 1967. Entrainement ou destruction d'argile dans les horizons éluviaux des sols lessivés. *C.R. Acad. Sci. Paris, t. 264, Série D:* 2884-2887.
- Eseverri Hualde, C. 1945. Diccionario etimológico de helenismos españoles. Pamplonensia, Pamplona.
- FAO-UNESCO. 1971. Mapa mundial de suelos. 1:5 000 000. Vol. I. Leyenda.
- Fedoroff, N. 1969. Genèse et morphologie de sols à horizon B textural en France atlantique. *Science du Sol* 1: 29-65.
- Fridland, V. 1958. Podzolization and illimerization (clay migration). *Sov. Soil Sci.* 1: 24-32.
- Gallardo, J., T. Aleixandre y A. Guerra. 1981. Horizontes argílicos en suelos sobre rocas intrusivas y metamórficas de la Sierra de Guadarrama. *Anal. Edaf. y Agrobiol.*, XL (7-8): 1089-1100.
- Gamez, T. de (Ed.) 1973. Simon and Schuster's international dictionary. English/Spanish. New York.
- Gandullo, J.M. y O. Sánchez Palomares. 1976. Contribución al estudio ecológico de la Sierra de Guadarrama. III. Los suelos. *Anales del INIA. Serie: Recursos Naturales N° 2.* Madrid.
- Gaucher, G. 1968. *Traité de Pédologie Agricole. Le sol et ses caractéristiques agronomiques.* Dunod, Paris.
- Gaucher, G. 1977. Vers une classification pédologique naturelle basée sur la géochimie de la pédogenèse. *Catena.* Vol. 4: 1-27.
- González, A., F. Maldonado y L. Mejía. 1986. Memoria explicativa del mapa general de Suelos del Ecuador. *Soc. Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, Quito.* 38 p.
- González Bonorino, F. y M. Teruggi. 1952. Léxico sedimentológico. *Inst. Nac. de Investig. de las Ciencias Naturales (Buenos Aires), Public. de extensión cultural y didáctica N° 6.*
- Haensch, G y G. Haberkamp. 1975. Diccionario de agricultura. Alemán-Inglés-Francés-Español-Ruso. 4° Ed. Librería Mundi-Prensa, Madrid.
- Hebert, J. 1979. L'azote. pp. 386-394. *In: Bonneau, M. y B. Souchier. (Eds.). Pédologie. Vol. 2. Constituants et propriétés du sol.* Masson, Paris.
- Hernandez, A. et al. 1975. II. Clasificación genética de los suelos de Cuba. *Rev. de Agricultura, Acad. de Cs. de Cuba,* VIII (1): 47-69.
- Huget del Villar, E. 1936. *El Suelo.* Biblioteca Agrícola Salvat, Salvat Editores S.A., Barcelona.
- Jacks, G., R. Tavernier y O. Boalch. (Eds.) 1960. *Vocabulario multilingüe de la Ciencia del Suelo.* FAO. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, Italia.
- Knapp, B. 1979. *Soil processes.* George Allen and Unwin, London.
- Kubiena, W., 1953. Claves sistemáticas de suelos. *Inst. de Edafol., Consejo Sup. de Investig. Científ., Madrid.*
- Larousse. 1969. *Nouveau Petit Larousse. Dictionnaire encyclopedique pour tous.* Librairie Larousse, Paris.
- Liverovskiy, YU., Y. Sokolov y V. Targul'yan. 1973. Principles of soil-profiles and soil-genetic terminology. *Sov. Soil Sci.* 3: 308-314.
- Lyon, T. y H. Buckman. 1943. *The nature and properties of soils.* The Macmillan Co., New York.

- Machatschek, F. 1951. Terminología geomorfológica. Univ. Nac. de Tucumán, Inst. de Estudios Geogr., Tucumán (Argentina).
- Mela Mela, P. 1954. Tratado de edafología y sus distintas aplicaciones. Editorial Dossat S.A., Madrid.
- M.O.P. 1977. Diccionario técnico multilingüe de riegos y drenajes (Inglés, Francés, Español, Alemán). Comité Español de Riegos y Drenajes, Direc. Gral. Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas, Madrid.
- Morrás, H. 1979. Quelques éléments de discussion sur les mécanismes de pédogenèse des Planosols et d'autres sols apparentés. *Science du Sol* 1: 57-66.
- Morrás, H. 1993a. Problemática de la terminología edafológica referente a la migración de materia en los suelos. Análisis histórico y lexicográfico. *Actas XII Congr. Latinoam. de la Ciencia del Suelo, Salamanca (España)*. Vol. III: 1848-1857.
- Morrás, H. 1993b. Nuevos elementos para un análisis histórico y lexicográfico de la terminología referente a la migración de materia en los suelos. *Actas XIV Congr. Argentino de la Ciencia del Suelo, Mendoza*. pp.409-410.
- Novitzky, A. 1951. Diccionario Minero-metalúrgico-geológico-mineralógico petrográfico y de petróleo. Inglés, Español, Francés, Alemán, Ruso. (Ed. del Autor), Buenos Aires.
- Pedro, G. 1984. La pédologie cent ans après la parution du "Tchernozem russe" de B.B. Dokuchaev (1883-1983). *Science du Sol* 2: 81-92.
- Pedro, G. y J. Lubin. 1968. Etudes sur l'évolution géochimique de gels alumino-siliciques et la formation des hydroxides d'aluminium en conditions de libre drainage. *Ann. Agron.* 19 (3): 294-347.
- Peterburgsky, A. y A. Rode. (Eds.) 1967. English-Russian Dictionary of soil science and agricultural chemistry. Soviet Encyclopaedia Publishing House, Moscow.
- Porta, J., M. López Acevedo y C. Roquero. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Real Academia Española, 1984. Diccionario de la Lengua Española. XX Edición, Madrid.
- Robert, P. 1981. Le Petit Robert. Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française. Le Robert, Paris.
- Rode, A. 1964. Podzolization and lessivage. *Sov. Soil Sci.* 7: 660-671.
- Royter, G. 1968. Lessivé soils in different climatic regions of Europe and North América. *Sov. Soil Sci.* 2: 1088-1095.
- S.A.G. y P. - INTA. 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. 544 p.
- Soil Science Society of America. 1984. Glossary of Soil Science Terms. S.S.S. of Am., Madison, Wisconsin.
- Sokolov, I. 1976. Major geographic-genetic soil concepts and terms. *Sov. Soil Sci.* 6: 711-723.
- Tavernier, R. y G. Smith. 1957. The concept of Braunerde (Brown Forest Soil) in Europe and the United States. *Adv. in Agron.* Vol. IX: 217-289.
- Torrent, V. 1976. Génesis de un suelo desarrollado en una arcosa al sur de la provincia de Madrid. *Anal. Edaf.* XXXV (7-8): 667-686.
- UNESCO. 1978. International glossary of hidrogeology. First preliminary Technical Documents in edition, Paris.
- USDA. Soil Survey Staff. 1960. Soil Classification. A comprehensive system. 7th. Approximation.
- USDA. Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy. Handbook N° 436.
- Vilensky, D. 1950. Pochvovedeniye, Ed. Uchpedguiz, Moskva.
- W.M.O. 1974. International Glossary of Hydrology. World Meteorological Organization, N° 385.

PROPIEDADES QUIMICAS Y MORFOLOGICAS DE UNA SECUENCIA DE SUELOS CON MATERIAL VOLCANICO DE DIFERENTES GRADOS DE ALTERACION

Chemical and Morphological Properties of a Soil Sequence with Volcanic Material of Different Levels of Weathering

Lourdes Cruz Huerta¹ y Adolfo Campos Cascaredo

RESUMEN

En la ladera sureste del volcán Cofre de Perote se seleccionaron seis perfiles, localizados en un gradiente altitudinal (2800 a 1000 m) con diferentes condiciones climáticas. El objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades químicas y morfológicas de los suelos y su relación. Se aplicaron los criterios químicos para caracterizar a los Andisoles y se determinaron otras características químicas y morfológicas. En la parte alta de la ladera se localizan los perfiles Cof 17, Cof 22 y Cof 4. En el perfil Cof 17, se manifiesta la presencia de minerales amorfos, y los horizontes Ap y A13 contienen alta proporción de complejos metal-humus. Únicamente los tres primeros horizontes del perfil Cof 22 exhiben un marcado carácter ándico. El Cof 4 se localiza en un ambiente más seco, y en la fracción arena destaca la presencia de vidrio volcánico, sus características químicas corresponden a los Andisoles de clima seco. En la parte media de la ladera, con un régimen údico pero más cálido, el perfil Cof 25 presenta las características químicas ándicas más intensas. Cercanos a este sitio se observan conos volcánicos secundarios de actividad relativamente reciente. En la parte baja de la ladera, los perfiles Xal 2 y Sum 1 ya no presentan ninguna característica química ándica. Las condiciones climáticas tropicales y los pH más ácidos provocaron mayor alteración de los materiales volcánicos que se manifiesta por los mayores contenidos de arcilla y de óxidos cristalinos de Fe.

Palabras clave: Ceniza volcánica, alófano, complejos metal-humus, volcán Cofre de Perote, óxidos de hierro.

¹ Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz.
E-mail: cruzl@sun.ieco.conacyt.mx

Aceptado: Septiembre de 1997.

SUMMARY

In this paper, chemical criteria were applied in order to characterize Andisols. A sequence of soils of the most wet slope of Cofre of Perote volcano in Veracruz State was studied (six profiles were included: Cof 17, Cof 22, Cof 4, Cof 25, Xal 2, and Sum 1). They are located at different altitude (2800 to 1000 m) and climate. The purpose was to evaluate some of the chemical properties of these soils and to establish relations with their morphological characters. The pedons Cof 17, Cof 22, and Cof 4 are situated in the high part of the slope. The Cof 17 showed the presence of amorphous minerals, like allophane and imogolite in the entire profile, furthermore, in the horizons Ap and A13 a high concentration of metal-humus complex was observed. In the Cof 22, only the three first horizons showed a remarkable andic character. Both profiles are in similar climatic conditions, but the latter is situated at a lower altitude. Cof 4 is placed in a drier atmosphere, with less degradation, it exhibits chemical andic properties, its morphology displayed andic characters like dusty material and volcanic glass in the coarse fraction. In the middle part of the slope, with a udic regimen too, but warmer than the previous profiles, the pedon Cof 25 showed the most remarkable chemical andic properties of all the sequence of soils. It was observed that the present allophane is rich in silica. Near to this place, some secondary volcanic cones, which activity was relatively recent, were observed. In the low part of the slope, the profiles Xal 2 and Sum 1, don't show any chemical andic property. The tropical climatic conditions and the high acidity produced more degradation in the original materials, and as consequence, higher clay and crystalline iron oxides contents.

Index words: Volcanic ash, allophane, metal-humus complexes, Cofre of Perote volcano, iron oxides.

INTRODUCCION

En la ladera sureste del Cofre de Perote existe una secuencia de suelos en un gradiente altitudinal (2800 a 1000 m), en la cual se observan varios regimenes de lluvia y temperatura. En la parte alta, los suelos muestran la morfología de Andisoles, en la parte media existen Ultisoles con hidromorfismo, y en la parte baja se destaca la presencia de tepetate (fragipan) en los perfiles (Campos, 1994).

En algunas áreas del país se ha registrado gran actividad volcánica, que ha dado origen a los Andisoles, los cuales han sido elevados a nivel de orden en la Taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 1994).

La mayoría de los suelos derivados de cenizas volcánicas exhiben propiedades químicas y físicas especiales, las cuales varían según algunos factores, tales como la edad y grado de alteración de las depositaciones, clase de material parental, vegetación y principalmente condiciones climáticas (Ping *et al.*, 1989).

En este trabajo se aplicaron los criterios químicos (Al + $\frac{1}{2}$ Fe extractables en oxalato ácido igual o mayor a 2 % y la retención de P superior a 85 %, ó Al + $\frac{1}{2}$ Fe extractable con oxalato ácido igual a 0.40 y la retención de P superior a 25 %, si hay vidrio volcánico) que permiten identificar a un Andisol (Soil Survey Staff, 1994), así como otras pruebas químicas que ayudan a definir la naturaleza y el comportamiento de estos suelos.

Las pruebas químicas empleadas se aplicaron con el fin de observar las tendencias de distribución de Al, Fe y Si activos, las cuales indican la naturaleza de los productos volcánicos, la existencia de podsolización y el grado de intemperismo (Ping *et al.*, 1989).

La mineralogía de los Andisoles se caracteriza por la presencia de alofano, imogolita, ferrihidrita y complejos metal-humus. El alofano y la imogolita son minerales arcillosos de rango corto o no cristalinos, que contienen Al, Si y agua en una combinación química específica. El alofano y la imogolita pueden ser estimados a partir del Al y Si extraídos con oxalato. Esta disolución no es específica, sino que se obtienen simultáneamente el Al y Fe ligados al humus; los óxidos de Al no cristalinos y los óxidos hidratados cristalinos de Fe, como la goethita y la hematita. Los complejos de Al y Fe con humus son extraídos en forma exclusiva con pirofosfato. El ditionito extrae además del Al y Fe

ligados al humus, óxidos cristalinos y amorfos de Fe (ferrihidrita), y en forma moderada óxidos hidratados de Al no cristalinos y alofano (Wada, 1985).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar las propiedades químicas de los suelos de la ladera sureste del volcán y su relación con las características morfológicas.

MATERIALES Y METODOS

Suelos y Factores Ambientales

Este trabajo incluye el estudio de seis perfiles representativos (Cof 17, 22, 4, 25, Xal 2 y Sum 1), ubicados en la ladera sureste (Figura 1), desde los 2800 msnm hasta los 1000 msnm. Esta ladera es la más húmeda y en ella se manifiestan variaciones importantes en las condiciones bioclimáticas del área. Esto origina una considerable variabilidad en la alteración de los materiales volcánicos. La parte alta se sitúa entre 2800 y 1500 msnm, e incluye los perfiles Cof 17 y Cof 22, presenta un clima frío (9 a 19 °C) y húmedo (2500 a 1500 mm), con neblinas frecuentes. La vegetación es de pino y encino, y su uso agrícola es de cultivo de papa y maíz. El perfil Cof 4 se localiza también en la parte alta, en la vertiente sur, la cual es más seca. Las características morfológicas de estos suelos corresponden a las de los Andisoles, los cuales tienen frecuentemente un horizonte A muy oscuro, principalmente los de la parte húmeda.

La parte media (perfil Cof 25), entre 1500 y 1100 msnm, se caracteriza por un clima subtropical húmedo, la temperatura media anual es de 19 a 21 °C y la precipitación de 1500 mm; la vegetación es de bosque caducifolio y pastizal. El suelo presenta las características morfológicas de un Andisol.

Los perfiles Xal 2 y Sum 1 se sitúan en la parte media/baja y baja (1100 a 900 msnm) de la toposecuencia. El clima es subtropical subhúmedo y tropical, la temperatura media anual es de 22 y 24 °C, y la precipitación varía de 1400 a 1200 mm. La vegetación es de bosque caducifolio y de selva baja caducifolia, aunque prácticamente se ha sustituido por caña de azúcar, maíz, café y pastos. Los suelos son de color pardo rojizo, arcillosos y con frecuencia presentan hidromorfismo (Ultisol) o se observa la presencia de fragipan en el perfil.

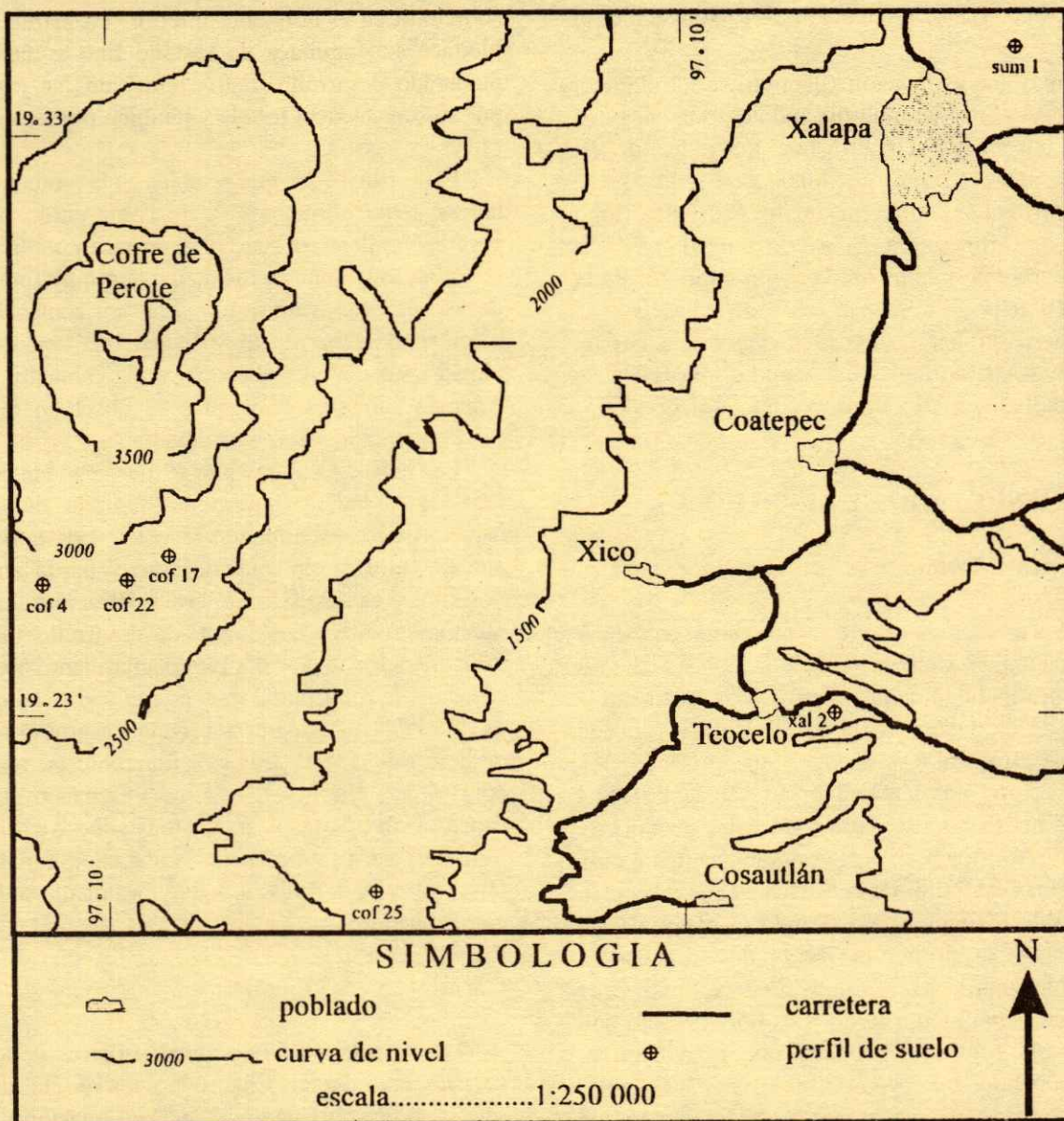


Figura 1. Distribución de los perfiles de suelo en la región del volcán Cofre de Perote, Veracruz.

Métodos

Las muestras de suelo se secaron al aire y las pruebas químicas se practicaron en la tierra fina (< 2 mm). El procedimiento usado para medir el tamaño de las partículas del suelo fue el método de la pipeta, con destrucción de la materia orgánica con H_2O_2 al 30 %, con un dispersante químico y con un tratamiento de ultrasonido durante 15 minutos. En algunos suelos, la dispersión se logró ajustando el pH de la solución del suelo a 4 ó a 10, usando HCl o NaOH.

Los métodos químicos empleados fueron: medición potenciométrica de pH en H_2O y KCl (1:2.5) y en NaF (1:50) (Soil Conservation Service, 1973); carbono orgánico total por Walkley Black; P extractable Bray-1; K, Ca, Mg intercambiables con CH_3COONH_4 pH7 1N; acidez intercambiable con KCl 1N; Al y Fe extractables con ditionito citrato bicarbonato (Ald, Fed y Sid) (Aomine y Jackson, 1959); Al y Fe extractables con pirofosfato de sodio 0.1M (Alp y Fep) (Wada y Gunjigake, 1979); y Al, Fe y Si extractables con oxalato

ácido (Alo, Feo, y Sio) y retención de P (Blakemore *et al.*, 1987).

Se obtuvo una estimación cuantitativa del alofano, empleando el Sio y multiplicándolo por factores estimados por Parfitt (1990). Los minerales de Fe cristalinos, tales como goethita y hematita, se obtuvieron mediante la diferencia entre Fed y Feo (total menos el amorfo) según Schwertmann (1985). La diferencia entre Feo-Fep es usada como indicador de la ferrihidrita (Parfitt, 1983).

Se obtuvieron los coeficientes de correlación de Pearson para las variables en estudio, mediante el paquete estadístico SAS y el procedimiento Corr (SAS, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSION

Características Morfológicas

Los datos morfológicos que se obtuvieron en campo se presentan en el Cuadro 1. Los suelos estudiados rebasan la profundidad de dos metros. Los suelos de la parte alta de la ladera (Cof 17 y Cof 22) tienen horizontes A cuyo color varía del pardo grisáceo muy oscuro al negro, y fundamentalmente en la base del horizonte A del Cof 17 se destaca un color más negro. La estructura de estos horizontes es granular fina a muy fina y de débil desarrollo. La consistencia que presentan es muy friable y friable, pero cuando el material está seco es suelta. El primer horizonte de estos suelos muestra abundantes raíces muy finas y finas, que generalmente pertenecen a pasto. Los horizontes B son de color pardo oscuro y tienen una estructura de bloques subangulares con grado de desarrollo moderado. Es frecuente la presencia de fragmentos de roca muy alterada. La consistencia en mojado es ligeramente plástica y ligeramente adhesiva. Los horizontes de estos suelos por lo general permanecen húmedos todo el año.

El perfil Cof 4, que también se localiza en la parte alta, está situado en la porción seca. En este suelo, los horizontes A son de color pardo amarillento y amarillo pardusco. La estructura es granular muy fina y muy débil. La consistencia en húmedo es muy friable y en seco es suelta. Sólo los primeros dos horizontes presentan raíces de tamaño muy fino. En estos horizontes se destaca la presencia de fragmentos de roca del tamaño de la grava. Los horizontes B son de color pardo amarillento oscuro y pardo, y es común la existencia de fragmentos de roca muy alterada,

sobretudo en el horizonte inferior. La estructura es de bloques subangulares de tamaño fino y mediano con moderado desarrollo. Estos horizontes se caracterizan por su consistencia friable y también por la ausencia de raíces.

El perfil Cof 25, que se ubica en la parte media de la ladera, tiene horizontes A de color pardo oscuro y pardo amarillento oscuro y se destacan por la presencia de raíces muy abundantes de tamaño muy fino y fino, y de aspecto muy ramificado. Los horizontes B son de color pardo amarillento y tienen una consistencia en mojado ligeramente plástica y ligeramente adhesiva. Además, en estos horizontes se observan muy pocas raíces de tamaño fino y mediano.

Los perfiles Xal 2 y Sum 1, que se sitúan en la parte baja de la ladera, muestran un grado de desarrollo característico de ambiente tropical. Los horizontes A son de color pardo muy oscuro y pardo amarillento oscuro, y se destacan por tener estructura granular de tamaño grueso y con grado de desarrollo fuerte. Los horizontes B son de color pardo amarillento oscuro con moteado de color pardo muy pálido y gris. La estructura es de bloques angulares y prismática gruesa con grado de desarrollo fuerte. En estos horizontes se aprecia una consistencia firme y muy firme, y cuando el material está mojado es muy plástica y muy adhesiva. En el perfil Sum 1 destaca la presencia de una capa muy compacta (Btx) parecida a fragipan y que localmente se le conoce como tepetate.

Características Químicas

Las características químicas y físicas de los suelos se presentan en el Cuadro 2, los de la disolución selectiva en el Cuadro 3 y las relaciones que se establecen entre ellos se muestran en el Cuadro 4.

Los suelos del perfil Cof 17 son muy ácidos (pH $H_2O \leq 5.2$), sobretudo el horizonte superficial. Las diferencias cuantitativas entre los valores de pH en H_2O y en KCl son muy leves, pero indican que hay un ligero exceso de carga negativa en la fracción coloidal de los tres primeros horizontes. El contenido de bases intercambiables es bajo en todo el perfil. En general, los valores de Ca, Mg y K disminuyen al aumentar la profundidad del perfil; la acidez intercambiable es superior en el horizonte más superficial, que en los más profundos. En los tres primeros horizontes el contenido de C orgánico fue superior a 7%, dichas concentraciones corresponden a niveles altos y muy altos. Como se sabe, el P es uno de los nutrimentos más

Cuadro 1. Propiedades morfológicas de los suelos.

| Horizonte | Profundidad. cm | Color, húmedo | | Estructura | Consistencia en campo | | | Raíces |
|---------------|--------------------|---------------|----------|------------|-----------------------|--------|--------|--------|
| | | Matriz | Moteado | | Seco | Húmedo | Mojado | |
| COF 17 | | | | | | | | |
| A11 | 0-55 | 10YR2/1 | - | gr2-d | | mfr | | ab2 |
| A12 | 55-110 | 10YR3/2 | - | gr1-d | | mfr | | co1 |
| A13 | 110-150 | 2Y2/0 | - | gr2-d | | mfr | | mpo1 |
| Bw | 150-200 | 10YR5/6 | - | bs3-m | | | lp-la | no |
| COF 22 | | | | | | | | |
| Ap | 0-20 | 10YR3/2 | - | gr2-m | s | | | ab1 |
| A12 | 20-45 | 10YR4/3 | - | gr1-d | s | | | po2 |
| A13 | 45-80 | 10YR4/6 | - | gr1-d | | fr | | mpo2 |
| 2Bw | 80-180 | 7.5YR4/4 | - | bs3-m | | fi | lp-la | no |
| 2Bw/C | 180-220 | 2.5Y5/4 | - | bs2-d | | | lp-la | no |
| COF 4 | | | | | | | | |
| Ap | 0-12 | 10YR5/4 | - | gr1-d | s | | | co1 |
| A12 | 12-35 | 10YR6/6 | - | gr1-d | | mfr | | mpo1 |
| A3 | 35-80 | 10YR4/4 | - | bs1-d | | mfr | | no |
| Bw1 | 80-145 | 10YR4/6 | - | bs2-m | | fr | | no |
| 2Bw2 | 145-180 | 10YR4/4 | - | bs2-m | | fr | | no |
| 2Bw3b | 180-240 | 10YR4/3 | - | bs1-m | | fr | | no |
| COF 25 | | | | | | | | |
| A11 | 0-45 | 10YR3/3 | - | gr1-d | s | | | mab1-2 |
| A12 | 45-80 | 10YR4/4 | - | gr1-d | s | | | mab1-2 |
| Bw1 | 80-105 | 10YR5/6 | - | bs2-d | | mfr | lp-la | mpo2-3 |
| Bw2 | 105-180 | 10YR5/6 | - | bs2-d | | mfr | lp-la | mpo2-3 |
| 2Bw3 | 180-220 | 10YR5/8 | - | bs2-d | | | lp-la | no |
| XAL 2 | | | | | | | | |
| Ap | 0-20 | 10YR3/2 | - | gr4-f | | fr | | co2-4 |
| (B)/A | 20-35 | 10YR4/6 | 10YR5/8 | bs4-f | | fr | lp-la | po1-2 |
| Bt | 35-70 | 10YR4/6 | 10YR5/8 | ba4-f | | fi | p-a | no |
| 2Btg1 | 70-130 | 10YR4/4 | 10YR7/4 | ba4-f | | fi | p-a | no |
| 2Btg2 | 130-240 | 10YR3/4 | 10YR8/3 | ba4-f | | fi | mp-ma | no |
| 3Btg3 | 240-360 | 10YR3/4 | 7.5YR7/2 | ba4-f | s | fi | mp-ma | no |
| SUM 1 | | | | | | | | |
| Ap | 0-25 | 7.5YR3/2 | - | gr3-f | | fi | | co1-2 |
| E | 25-55 | 7.5YR4/4 | - | bs4-f | | fi | | mpo2-3 |
| Btx | 55-70 | 10YR3/4 | - | pr4-f | | mfi | | no |
| Bt | 70-130 | 7.5YR3/4 | - | pr4-f | | mfi | | no |
| Btg1 | 130-180 | 10YR6/4 | - | ba4-f | | fi | mp-ma | no |
| Btg2 | 180-200 | 10YR6/4 | 10YR5/1 | ba4-f | | fi | mp-ma | no |

Simbología:

Estructura: forma: granular(gr), bloques subangular(bs), bloques angulares(ba), prismática(pr)

Tamaño: muy fina(1), fina(2), media(3), gruesa(4); grado: débil(d), moderado(m), fuerte(f)

Consistencia: suelta(s), muy friable(mfr), friable(fr), firme(fi), muy firme(mfi)

Plasticidad: ligeramente plástico(lp), plástico(p), muy plástico(mp)

Adhesividad: ligeramente adhesivo(la), adhesivo(a), muy adhesivo(ma)

Raíces: no raíces(no), muy pocas(mpo), pocas(po), comunes(co), abundantes(ab), muy abundantes(mab), muy finas(1), finas(2), medianas(3), gruesas(4)

deficitario en los suelos de origen volcánico, debido a los fuertes procesos de retención que se producen en ellos (Shoji *et al.*, 1985). En este perfil los niveles de P extractables fueron bajos, y se relacionan con sus altos porcentajes de retención de P.

El perfil Cof 17 cumple con las características químicas establecidas por la Soil Taxonomy (Soil

Survey Staff, 1994) para clasificar a un Andisol, porque el porcentaje de P retenido es superior a 95 % en todos sus horizontes; el contenido de $A_{10} + 1/2 Fe_0$ es mayor que 2 % en todos los estratos. Aunque los valores de pH NaF fueron todos superiores a 9.5, según afirman Perrot *et al.* (1976), con esta prueba se liberan cantidades apreciables de hidróxilos provenientes de

Cuadro 2. Características químicas y físicas de los suelos del Cofre de Perote.

| Horizonte | pH H ₂ O 1:2.5 | pH KCl 1:2.5 | C- Org. % | P Bray I ppm | K | Ca | Mg | Al+H | Arcilla | Limo | Arena |
|---------------|------------------------------|-----------------|--------------|-----------------|------|---------------------------|-------|------|---------|------|-------|
| | | | | | | cmol (+) kg ⁻¹ | | | | % | |
| COF 17 | | | | | | | | | | | |
| A11 | 4.9 | 4.5 | 8.93 | 5 | 0.11 | 2.17 | 0.22 | 1.56 | 7.6 | 82.6 | 9.8 |
| A12 | 5.2 | 5.2 | 7.89 | 6 | 0.07 | 1.94 | 1.40 | 0.14 | 7.1 | 83.3 | 9.6 |
| A13 | 5.1 | 4.8 | 12.0 | 6 | 0.06 | 1.98 | 0.17 | 0.51 | - | - | - |
| Bw | 5.1 | 6.1 | 1.74 | 7 | 0.05 | 1.27 | 0.14 | 0.09 | 11.7 | 84.3 | 4.0 |
| COF 22 | | | | | | | | | | | |
| Ap | 5.2 | 5.2 | 6.73 | 6 | 0.21 | 2.59 | 0.39 | 0.41 | 4.1 | 86.4 | 9.5 |
| A12 | 5.5 | 6.0 | 2.03 | 7 | 0.17 | 1.64 | 0.28 | 0.14 | 5.1 | 76.5 | 18.4 |
| A13 | 5.5 | 5.8 | 0.64 | 8 | 0.12 | 1.41 | 0.40 | 0.14 | 10.2 | 59.4 | 30.4 |
| 2Bw | 6.1 | 5.4 | 0.46 | 7 | 1.92 | 2.22 | 1.10 | 0.23 | 28.3 | 70.2 | 1.7 |
| 2Bw/c | 5.8 | 5.1 | 0.23 | 8 | 1.33 | 2.16 | 0.68 | 0.32 | 20.9 | 74.4 | 4.6 |
| COF 4 | | | | | | | | | | | |
| Ap | 5.2 | 5.0 | 1.98 | 12 | 0.90 | 3.97 | 0.32 | 0.18 | 10.3 | 79.7 | 10.1 |
| A12 | 6.1 | 6.1 | 0.20 | 3 | 0.87 | 8.31 | 0.60 | 0.14 | 7.2 | 73.0 | 19.8 |
| A13 | 6.3 | 5.4 | 0.06 | 4 | 1.66 | 6.64 | 0.64 | 0.18 | 9.2 | 66.0 | 25.8 |
| Bw1 | 6.4 | 5.8 | 0.09 | t | 1.74 | 12.00 | 1.98 | 0.14 | 8.7 | 67.5 | 23.8 |
| 2Bw2 | 6.5 | 5.5 | 0.01 | 3 | 2.01 | 5.57 | 0.54 | 0.14 | 11.0 | 66.1 | 22.9 |
| 2Bw3b | 6.6 | 6.0 | 0.01 | 2 | 2.25 | 4.13 | 0.93 | 0.14 | 7.8 | 64.0 | 28.2 |
| COF 25 | | | | | | | | | | | |
| A11 | 5.2 | 4.7 | 5.07 | t | 0.11 | 0.41 | 0.27 | 0.37 | 5.4 | 81.9 | 12.6 |
| A12 | 5.3 | 4.9 | 3.63 | t | 0.11 | 0.41 | 0.23 | 0.25 | 3.9 | 86.6 | 9.5 |
| Bw1 | 5.1 | 5.3 | 1.24 | 1 | 0.07 | 0.30 | 0.15 | 0.12 | 2.6 | 81.4 | 16.0 |
| Bw2 | 5.2 | 5.3 | 1.04 | t | 0.09 | 0.39 | 0.35 | 0.12 | 1.9 | 83.2 | 14.8 |
| 2Bw3 | 5.5 | 4.9 | 0.66 | t | 0.20 | 1.42 | 0.04 | 0.14 | 6.8 | 82.4 | 10.7 |
| XAL 2 | | | | | | | | | | | |
| Ap | 5.4 | 5.2 | 5.37 | t | 2.22 | 18.4 | 4.93 | 0.27 | 63.0 | 19.7 | 8.6 |
| (B)/A | 4.7 | 3.9 | 0.99 | t | 2.22 | 3.49 | 0.61 | 2.22 | 75.8 | 11.6 | 6.0 |
| Bt | 4.9 | 4.3 | 0.39 | t | 1.18 | 2.66 | 0.95 | 1.39 | 42.5 | 44.4 | 9.7 |
| 2Btg1 | 4.8 | 4.4 | 0.49 | t | 0.54 | 3.99 | 2.20 | 1.25 | 84.5 | 11.0 | 1.6 |
| 2Btg2 | 4.7 | 4.0 | 0.46 | t | 0.79 | 2.99 | 1.64 | 1.39 | 79.8 | 9.4 | 3.9 |
| 3Btg4 | 4.8 | 4.1 | 0.02 | t | 0.76 | 3.16 | 2.20 | 1.11 | 63.1 | 23.7 | 9.2 |
| SUM 1 | | | | | | | | | | | |
| Ap | 5.0 | 5.3 | 2.37 | 2 | 0.38 | 2.66 | 11.31 | 0.44 | 20.9 | 36.5 | 39.5 |
| E | 4.7 | 4.5 | 0.68 | t | 0.14 | 1.50 | 5.70 | 0.53 | 31.9 | 31.1 | 35.8 |
| Btx | 4.5 | 4.6 | 0.77 | t | 0.18 | 1.91 | 4.65 | 0.96 | 28.3 | 35.8 | 35.4 |
| Bt | 4.4 | 3.3 | 0.61 | t | 0.38 | 3.37 | 6.36 | 1.58 | 33.2 | 43.9 | 20.4 |
| Btg1 | 4.4 | 3.5 | 0.43 | t | 0.44 | 4.30 | 5.76 | 1.14 | 42.7 | 39.9 | 15.1 |
| Btg2 | 4.7 | 3.9 | 0.41 | 1 | 0.38 | 4.50 | 5.60 | 0.63 | 44.7 | 38.3 | 16.2 |

t = trazas.

aluminosilicatos pobremente ordenados de varios orígenes. En este perfil se presentaron los valores más altos de pH en NaF de toda la secuencia de suelos.

Las condiciones químicas para la formación de alofano e imogolita son adecuadas en lo que respecta al pH H₂O, ya que según Parfitt y Kimble (1989), este debe ser mayor que 4.7 para que el alofano precipite. En el caso del C orgánico, sus valores no deben ser muy altos, porque de ser así, el Al presente es acompañado por el humus (Ping *et al.*, 1989; Shoji y Fujiwara, 1984; Shoji *et al.*, 1982) y dicha situación no favorece la formación de alofano.

Los valores obtenidos de la relación Al_o-Al_p/Si_o en todo el perfil sustentan la presencia de alofano (Baumler y Zech, 1994; Shoji *et al.*, 1988), ya que se encuentran en el intervalo entre 1.2 y 3.2, mencionado por Parfitt y Kimble (1989). En este perfil, dicha relación varió de 1.86 en el estrato más profundo a 2.62 en el más superficial. Cuando el Si_o se presenta en concentraciones relativamente altas, como en el cuarto horizonte, también indica posible presencia de alofano; se observa lixiviación de este elemento a través del perfil. El contenido de alofano se incrementó al aumentar la profundidad del perfil, pero en los dos

Cuadro 3. Análisis químicos de disolución selectiva de los suelos del Cofre de Perote .

| Horizonte | pH NaF | P ret. | Al d | Fed | Alp | Fep | Alo | Feo | Sio | Alofano |
|---------------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| ----- % ----- | | | | | | | | | | |
| COF 17 | | | | | | | | | | |
| A11 | 11.26 | 97 | 2.60 | 1.04 | 2.14 | 0.54 | 3.16 | 0.68 | 0.39 | 3.9 |
| A12 | 11.24 | 96 | 2.29 | 1.75 | 1.43 | 0.28 | 2.57 | 1.03 | 0.57 | 4.0 |
| A13 | 11.20 | 98 | 3.31 | 1.80 | 2.70 | 1.08 | 6.12 | 1.28 | 1.40 | 14.0 |
| Bw | 10.97 | 96 | 2.13 | 4.17 | 0.76 | 0.04 | 4.81 | 1.38 | 2.18 | 15.3 |
| COF 22 | | | | | | | | | | |
| Ap | 10.95 | 89 | 1.79 | 1.26 | 1.17 | 0.16 | 2.59 | 0.55 | 0.54 | 5.4 |
| A12 | 10.49 | 94 | 1.48 | 1.95 | 0.61 | t | 3.23 | 0.57 | 1.00 | 10.0 |
| A13 | 10.43 | 86 | 1.00 | 2.42 | 0.32 | t | 2.28 | 0.79 | 0.85 | 7.2 |
| 2Bw | 9.73 | 66 | 0.80 | 4.66 | 0.66 | 0.27 | 0.65 | 1.02 | 0.77 | - |
| 2Bw/c | 9.43 | 66 | 0.33 | 2.22 | 0.29 | 0.05 | 0.70 | 0.77 | 1.10 | - |
| COF 4 | | | | | | | | | | |
| Ap | 10.37 | 80 | 1.12 | 1.84 | 0.43 | t | 2.65 | 0.39 | 0.87 | 8.7 |
| A12 | 10.09 | 66 | 0.51 | 2.41 | 0.14 | t | 1.16 | 0.73 | 0.32 | 4.5 |
| A13 | 9.52 | 57 | 0.22 | 1.95 | 0.10 | t | 0.50 | 0.56 | 0.38 | 1.9 |
| Bw1 | 9.39 | 29 | 0.26 | 2.32 | 0.12 | t | 0.88 | 0.55 | 0.81 | 4.0 |
| Bw2 | 9.16 | 34 | 0.16 | 1.52 | 0.03 | t | 0.16 | 0.14 | 0.25 | - |
| 2Bw3b | 9.20 | 43 | 0.13 | 1.82 | 0.16 | t | 0.18 | 0.21 | 0.32 | - |
| COF 25 | | | | | | | | | | |
| A11 | 11.2 | 99 | 2.51 | 3.95 | 1.75 | 0.44 | 4.55 | 1.41 | 2.20 | 12.1 |
| A12 | 11.1 | 98 | 2.26 | 3.94 | 1.66 | 0.38 | 4.65 | 1.51 | 2.60 | 14.3 |
| Bw1 | 11.0 | 98 | 1.42 | 3.53 | 1.19 | 0.20 | 4.02 | 1.83 | 2.09 | 11.5 |
| Bw2 | 11.0 | 98 | 1.63 | 3.95 | 1.81 | 0.11 | 4.89 | 1.71 | 2.94 | 14.7 |
| 2Bw3 | 10.8 | 97 | 0.68 | 1.95 | 0.87 | 0.16 | 3.15 | 1.30 | 1.86 | 10.2 |
| XAL 2 | | | | | | | | | | |
| Ap | 8.74 | 52 | 0.88 | 3.63 | 0.81 | 0.57 | 0.49 | 0.27 | 0.18 | 1.2 |
| (B)/A | 9.64 | 70 | 0.84 | 4.05 | 1.10 | 0.26 | 0.57 | 0.24 | 0.31 | 2.0 |
| Bt | 9.51 | 74 | 0.42 | 3.49 | 0.47 | t | 0.55 | 0.56 | 0.37 | - |
| 2Btg1 | 9.18 | 62 | 0.36 | 4.48 | 0.71 | 0.03 | 0.36 | 0.42 | 0.25 | - |
| 2Btg2 | 9.27 | 62 | 0.34 | 4.77 | 0.24 | t | 0.34 | 0.53 | 0.35 | - |
| 3Btg4 | 9.21 | 58 | 0.27 | 3.37 | 0.25 | t | 0.33 | 0.29 | 0.28 | - |
| SUM 1 | | | | | | | | | | |
| Ap | 8.8 | 38 | 0.33 | 2.02 | 0.48 | 0.19 | 0.39 | 0.68 | 0.28 | - |
| E | 9.0 | 32 | 0.19 | 1.85 | 0.47 | 0.10 | 0.19 | 0.34 | 0.13 | - |
| Btx | 8.7 | 22 | 0.20 | 2.43 | 0.10 | t | 0.12 | 0.15 | 0.15 | - |
| Bt | 8.0 | 20 | 0.20 | 4.04 | 0.37 | t | 0.12 | 0.12 | 0.10 | - |
| Btg1 | 7.9 | 17 | 0.34 | 4.99 | 0.66 | 0.13 | 0.08 | 0.07 | 0.14 | - |
| Btg2 | 8.0 | 16 | 0.15 | 3.94 | 0.71 | 0.20 | 0.08 | 0.07 | 0.05 | - |

t = trazas.

primeros horizontes el porcentaje fue más bajo, y esto se atribuyó a el contenido de C orgánico alto, el cual forma enlaces fuertes con el Al e inhibe la coprecipitación del Al y del Si para formar constituyentes amorfos (Nizeyimana *et al.*, 1997).

La información proporcionada por la relación Alp/Alo demuestra que en el primer y tercer horizonte una cantidad considerable de Al y Fe están ligados al humus (en el horizonte superficial 68 % de Alo), y se observa una mayor afinidad del Fe en relación con el Al para la formación de estos complejos en este perfil. El

valor de la relación Alp/Alo del último horizonte es igual a 0.16 y se acerca al reportado por Shoji y Fujiwara (1984) de 0.10, como el valor ideal para la formación de alofano.

Por otra parte, los valores de la relación Alp/Ald son relativamente cercanos a 1, en el primer y tercer horizonte, lo cual indicaría que una gran parte del Al liberado está en relación estrecha con los compuestos orgánicos, a diferencia de la relación Fep/Fed que no es cercana a 1 y por lo tanto sugieren una afinidad baja del Fed por los compuestos orgánicos (Baumler y Zech, 1994; Shoji y Fujiwara, 1984; Shoji *et al.*, 1988).

Cuadro 4. Relaciones obtenidas de los análisis químicos selectivos de los suelos del Cofre de Perote.

| Horizonte | Alp/Alo | Fep/Feo | Alo-Alp/Sio | Alp/Ald | Fep/Fed | Fed-Feo | Feo-Fep |
|---------------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|---------|
| COF 17 | | | | | | | |
| A11 | 0.68 | 0.79 | 2.62 | 0.82 | 0.52 | 0.36 | 0.14 |
| A12 | 0.28 | 0.27 | 2.00 | 0.62 | 0.16 | 0.72 | 0.75 |
| A13 | 0.44 | 0.84 | 2.44 | 0.82 | 0.60 | 0.52 | 0.20 |
| Bw | 0.16 | 0.03 | 1.86 | 0.36 | 0.01 | 2.79 | 1.34 |
| COF 22 | | | | | | | |
| Ap | 0.45 | 0.29 | 2.63 | 0.65 | 0.13 | 0.71 | 0.39 |
| A12 | 0.19 | - | 2.62 | 0.41 | - | 1.38 | 0.57 |
| A13 | 0.14 | - | 2.30 | 0.32 | - | 1.63 | 0.79 |
| 2Bw | 1.01 | 0.26 | -0.01 | 0.82 | 0.06 | 3.64 | 0.75 |
| 2Bw/c | 0.41 | 0.06 | 0.37 | 0.88 | 0.02 | 1.45 | 0.72 |
| COF 4 | | | | | | | |
| Ap | 0.16 | 0.39 | 2.55 | 0.38 | - | 1.45 | 0.39 |
| A12 | 0.12 | 0.73 | 3.19 | 0.27 | - | 1.68 | 0.73 |
| A13 | 0.20 | 0.56 | 1.05 | 0.45 | - | 1.39 | 0.56 |
| Bw1 | 0.14 | 0.55 | 0.94 | 0.46 | - | 1.77 | 0.55 |
| 2Bw2 | 0.19 | 0.14 | 0.52 | 0.19 | - | 1.38 | 0.14 |
| 2Bw3b | 0.89 | 0.21 | 0.06 | 1.23 | - | 1.61 | 0.21 |
| COF 25 | | | | | | | |
| A11 | 0.38 | 0.31 | 1.27 | 0.70 | 0.11 | 2.54 | 0.97 |
| A12 | 0.36 | 0.25 | 1.15 | 0.73 | 0.10 | 2.43 | 1.13 |
| Bw1 | 0.30 | 0.11 | 1.35 | 0.84 | 0.06 | 1.70 | 1.63 |
| Bw2 | 0.37 | 0.06 | 1.05 | 1.10 | 0.03 | 2.24 | 1.60 |
| 2Bw3 | 0.28 | 0.12 | 1.23 | 1.28 | 0.08 | 0.65 | 1.14 |
| XAL 2 | | | | | | | |
| Ap | 1.65 | 2.11 | 1.78 | 0.92 | 0.16 | 3.36 | - |
| (B)A | 1.93 | 1.08 | 1.71 | 1.31 | 0.06 | 3.81 | - |
| Bt | 0.85 | - | 0.22 | 1.12 | - | 2.93 | 0.56 |
| 2Btg1 | 1.97 | 0.07 | -1.40 | 1.97 | 0.01 | 4.06 | 0.39 |
| 2Btg2 | 0.71 | - | 0.29 | 0.71 | - | 4.24 | 0.53 |
| 3Btg4 | 0.76 | - | 0.28 | 0.93 | - | 3.08 | 0.29 |
| SUM 1 | | | | | | | |
| Ap | 1.23 | 0.28 | -0.32 | 1.45 | 0.09 | 1.34 | 0.49 |
| E | 2.47 | 0.29 | -2.15 | 2.47 | 0.05 | 1.51 | 0.24 |
| Btx | 0.83 | - | 0.13 | 0.50 | - | 2.28 | 0.15 |
| Bt | 3.08 | - | -2.50 | 1.85 | - | 3.92 | 0.12 |
| Btg1 | 8.25 | 1.0 | -4.14 | 1.94 | 0.03 | 4.92 | - |
| Btg2 | 8.88 | 1.0 | -12.6 | 4.73 | 0.05 | 3.87 | - |

Los minerales de Fe cristalinos fueron superiores a la ferrihidrita en casi todo el perfil. En el último estrato se observó la mayor cantidad de minerales de Fe cristalinos y de ferrihidrita.

En el perfil Cof 22 los valores de pH en H₂O son moderadamente ácidos (5.2 a 6.1), y no existen diferencias entre éstos y los de KCl en el horizonte superficial, lo cual indica electroneutralidad (Tan, 1992), en los dos horizontes siguientes se observa una ligera carga eléctrica positiva, lo que sugiere procesos de repulsión catiónica, pero en los dos últimos perfiles se detecta una carga neta negativa. Estos cambios en la carga eléctrica del suelo podrían tener efecto sobre el contenido de las bases intercambiables, el cual es bajo en casi todo el perfil, pero se incrementa en los dos horizontes más profundos. El nivel de P es bajo (< 8 ppm). El contenido de C orgánico se encuentra en

un nivel alto (6.7 %) en el primer horizonte, pero en los otros se encuentra en un nivel muy bajo (< 2.4%).

Solamente en los tres primeros horizontes, el Alo + ½ Feo fue superior a 2 % y los porcentajes de P retenido rebasaron el límite de 85 %, cumpliendo ambas determinaciones con los rangos propuestos para Andisoles. Los valores de pH en NaF fueron superiores a 9.5 en los primeros cuatro horizontes.

Los valores de la relación Alo-Alp/Sio varían desde valores negativos y muy bajos en los últimos dos horizontes, hasta valores superiores a 2, en los tres horizontes superficiales, donde presumiblemente existe alofano. Esta presunción se apoya en que la formación y estabilidad del alofano dependen de que el pH en H₂O sea superior a 4.9 y la relación Alp/Alo sea menor que 0.9 para suelos con régimen údico y buen drenaje (Parfitt y Kimble, 1989), ambos requerimientos químicos son satisfechos en todo el perfil, con excepción del cuarto horizonte, en el que dicha relación es igual a 1. En los tres horizontes superficiales se obtuvieron valores de alofano que variaron de 5 a 10 %.

Las relaciones de Alp/Alo y Fep/Feo indican la cantidad relativa de Al y Fe que forman parte de los complejos humus-metal, el valor de estas relaciones es bajo, con excepción del cuarto horizonte para el caso del Al, esto significa que si la mayoría del Al y Fe no está formando complejos con el humus, por lo tanto está disponible para la formación de alofano.

Más de 2/3 partes del Al liberado con ditionito está ligado al humus (Alp/Ald) en los horizontes Ap, Bw y C/Bw, lo cual indica una afinidad de media a alta de este metal para formar complejos orgánicos.

Los rangos de contenidos de Alo, Feo, Sio, Ald, Alp, Fep fueron más bajos en este perfil que en el precedente (Cof 17), lo cual indicaría que aunque también han recibido depositaciones de ceniza volcánica, su evolución ha sido diferente por estar expuestos a diferentes condiciones de temperatura, precipitación y vegetación (Ping *et al.*, 1989).

Los minerales de Fe cristalinos (0.71 a 3.64 %) en general aumentan su contenido al incrementarse la profundidad del perfil, la mayor acumulación se observa en el horizonte Bw. El contenido de estos minerales fue mayor en este perfil que en el precedente. El contenido de ferrihidrita (0.39 a 0.79 %) aumentó gradualmente a través del perfil.

En el perfil Cof 4, el pH en H₂O es ligeramente ácido (5.2 a 6.6) y la acidez disminuye gradualmente al incrementarse la profundidad del perfil. La diferencia

que se observa entre los valores de pH en H₂O y en KCl, es de media a una unidad de pH e indica una carga neta negativa en casi todo el perfil, que podría favorecer la atracción de cationes. De hecho, el contenido de K, Ca, y Mg es mayor con respecto a los perfiles precedentes (Cof 17 y Cof 22). Los niveles de K y Ca encontrados fueron altos y se observa una fuerte acumulación de Ca y Mg en el horizonte Bw1. La acidez intercambiable disminuyó en este perfil, respecto a los anteriores. El contenido de C orgánico es muy bajo (< 2.4 %) en todo el perfil, con excepción del horizonte más superficial, donde el contenido es medio. El nivel de P extractable es bajo en todo el perfil.

Al perfil Cof 4, por localizarse en un ambiente más seco y por presentar vidrio volcánico en su fracción arena, se le aplicó el segundo grupo de criterios químicos para la clasificación de Andisoles. Los horizontes Ap, A12, A13 dieron valores de pH en NaF superiores a 9.5, en los cuatro primeros horizontes el Alo + ½ Feo fue mayor que 0.4 %, y en todo el perfil el P retenido sobrepasó a 25 %, por lo que se considera un Andisol de clima seco. La relación Alo-Alp/Sio se mantuvo entre 1 y 2, para los horizontes Ap, A13 y Bw1 (2.55, 1.05 y 0.94), lo que dio origen a valores intermedios de alofano (2 a 9 %) en dichos horizontes.

La fracción de Al ligada al humus (Alp) fue mínima en Cof 4, de menos de 20 %, la cual es una condición favorable para la formación de alofano, con excepción del horizonte 2Bw3, en el cual ocupa 89 %. No se detectó Fe ligado al humus en este suelo. Tanto los valores de los minerales de Fe cristalinos, como los de la ferrihidrita, son menores en este perfil que en los anteriores, los primeros varían de 1.38 a 1.77 % y la ferrihidrita varía de 0.14 a 0.73 %.

En Cof 4, los contenidos de Alo, Feo, Sio, Ald, Fed, Alp, Fep fueron todos inferiores a los obtenidos en los perfiles precedentes (Cof 17 y Cof 22), lo cual significa que hay una menor cantidad de complejos metal-humus; de alofano e imogolita y de óxidos hidratados amorfos y cristalinos en Cof 4.

Los suelos del perfil Cof 25 son moderadamente ácidos (pH H₂O 5.1 a 5.5). Hay una pequeña carga neta negativa en los horizontes A11, A12 y 2Bw3. El C orgánico es alto y medio únicamente en los horizontes A11 y A12, respectivamente. El contenido de K, Ca y Mg es muy bajo en todo el perfil y se observa una acumulación de K y Ca en el horizonte más profundo, debido probablemente a la lixiviación. El P disponible se encuentra a nivel de trazas, lo cual se corrobora

porque en este perfil se observaron los más altos porcentajes de retención de P (97 a 99 %). Los valores de Alo + ½ Feo fueron superiores a 2 % en todo el perfil, lo cual significa que se cumplen los requerimientos establecidos para los Andisoles de clima húmedo. Después del perfil Cof 17, en este suelo se observaron los más altos valores de pH NaF (> 9.5), lo cual puede ser indicio de horizontes alofánicos.

En Cof 25, el pH en H₂O y el C orgánico sugieren condiciones apropiadas para la formación de alofano, esto se confirma por las concentraciones de Sio que fueron las más altas observadas (1.86 a 2.94 %); y por los valores de la relación Alp/Alo que fueron en promedio de 0.33, lo que quiere decir que sólo la tercera parte del Alo o del aluminio activo está acomplejado por el humus, lo cual representa una proporción adecuada. La relación Alo-Alp/Sio osciló entre 1.05 y 1.35, que está dentro del rango observado a nivel mundial para suelos alofánicos (Parfitt y Kimble, 1989). Se puede afirmar que este perfil tiene el mayor carácter alofánico de todos los suelos de este estudio. Esta afirmación se corrobora por los valores de alofano en este perfil, los cuales fueron los más altos de toda la toposecuencia (más que 10 y hasta 15 %).

La mayor parte o todo el Al liberado por el ditionito está ligado a complejos orgánicos (Alp/Ald = 0.70 a 1.28), lo que significa que hay una proporción mínima de óxidos hidratados no cristalinos de Al en Cof 25. Es muy escasa la cantidad de Fed que está ligada al humus, lo que sugiere una alta proporción de óxidos cristalinos y no cristalinos de Fe.

Los minerales cristalinos de Fe, tales como la goethita y hematita varían de 0.65 a 2.54 % y se presentaron las mayores concentraciones en la superficie de Cof 25. El contenido de ferrihidrita (0.97 a 1.63 %) fue superior al de los demás suelos. Los minerales de Fe cristalinos y no cristalinos tienen especial importancia, porque son compuestos anfóteros que influyen mucho en su carga variable.

En el perfil Xal 2, el pH en H₂O fue muy ácido (4.7 a 5.4), excepto en el horizonte Ap, con una acidez moderada. Con base en las diferencias entre los valores en H₂O y en KCl se puede inferir que existe una carga neta negativa en todo el perfil. En general, los contenidos de K, Ca y Mg intercambiables fueron altos en el horizonte Ap, para luego descender con la profundidad del perfil. El C orgánico varió de nivel medio a alto en la superficie (5.4 %) y muy bajo en los demás estratos (<1 %). La acidez intercambiable

registró sus valores más altos en los horizontes (B)/A, Bt, 2Btg3. El P extractable se encontró a nivel de trazas en estos suelos.

Los perfiles Xal 2 y Sum 1 no cumplen con los criterios químicos que les corresponden para Andisoles de clima húmedo. Solamente en los horizontes (B)/A, 2Btg1 del perfil Xal 2 los valores de pH en NaF rebasaron apenas 9.5. Todos los resultados de retención de P fueron menores que 85 %, y menores que 2 % para el caso del Alo + ½ Feo. Este suelo ya no presenta ninguna característica química de naturaleza ándica.

Los horizontes Ap y (B)/A del perfil Xal 2 presentaron valores que sugieren la presencia de alofano, según lo indican los valores obtenidos de la relación Alo-Alp/Sio. Esto puede explicarse, ya que las condiciones de pH en H₂O fueron menores que 4.9, y los valores de la relación Alp/Alo fueron mayores que 0.9 en la mayoría de los horizontes, por lo que no se satisfacen las condiciones óptimas requeridas para la formación y estabilidad de alofano. También los valores obtenidos de Sio, Alo, Feo, Ald fueron menores en este perfil que en los precedentes, pero la fracción de Fed fue mayor que la de los otros perfiles.

En el perfil Xal 2, la concentración de Alp superó a la del Alo en los horizontes Ap, (B)/A, 2Btg2, mientras que en los otros horizontes los resultados obtenidos por ambas fracciones fueron muy similares. Es posible que se formaran complejos Al-humus en sustitución de los minerales amorfos, por las condiciones de precipitación abundante y pH bajos, los cuales son determinantes (Baumler y Zech, 1994). Los minerales de Fe cristalinos goethita y hematita (Fed-Feo) tuvieron los más altos niveles (2.93 a 4.24 %) con relación a los perfiles descritos anteriormente (Campos, 1994). En contraste, el contenido de ferrihidrita (Feo-Fep) fue el más bajo (0.29 a 0.56 %) de todos los perfiles analizados hasta ahora.

En el perfil Sum 1, los valores de pH fueron muy ácidos (4.4 a 5.0). Se observaron diferencias de media a una unidad de pH entre las pruebas en H₂O y en KCl, en los tres horizontes más profundos, indicando una carga neta negativa. La acidez intercambiable fue baja. Los contenidos de Ca y Mg variaron de medios a altos, y los de K de bajos a medios. El C orgánico fue bajo (2.37 %) en el horizonte superficial, pero en los más profundos se encontró en niveles muy bajos, al igual que el P extractable.

Ninguno de los horizontes del perfil Sum 1 exhibió valores de pH en NaF mayores que 9.5, su retención de

P fue muy baja (16 a 38 %), al igual que el Alo (0.08 a 0.39 %), este suelo ya no presenta ninguna característica ándica. La relación que refleja la presencia de alofano en los suelos (Alo-Alp/Sio) es negativa. Los valores de Sio, Alo, Ald, Alp, Fep fueron los menores obtenidos de todos los perfiles estudiados, con excepción del Feo y Fed. En este perfil se obtuvieron las mayores concentraciones de Fed en toda la toposecuencia. Esto significa que hay una abundancia de óxidos hidratados de Fe no cristalinos y cristalinos, y hay una escasa cantidad de Fe ligado al humus, lo cual se manifiesta por los valores de Fep/Fed.

El intervalo de valores de los minerales de Fe cristalinos, goethita y hematita (1.51 a 4.92 %) presentes en el perfil Sum 1 fue el más alto de toda la toposecuencia, no así los de la ferrihidrita que resultaron ser bajos (0.12 a 0.49 %). En el perfil Sum 1 se observó una relación de Alp > Ald > Alo, al igual que en el perfil Xal 2, mientras que en los perfiles Cof 17, Cof 22, Cof 25 y Cof 4 la relación fue Alo > Ald > Alp, lo cual se refleja en los valores de la relación Alp/Ald, que sobrepasaron el valor de 1 en la mayoría de los casos.

En general, la magnitud de algunas características químicas, tales como C orgánico, P retenido, acidez intercambiable, Alo y otras, disminuyen al bajar en altitud, los cambios ocurridos aquí fueron similares a los observados en suelos derivados de cenizas volcánicas de otras partes del mundo (Nizeyimana, 1997). Dichas variaciones fueron inducidas por los distintos regímenes de lluvia y temperatura observados, que a su vez producen cambios en el contenido de materia orgánica y composición mineralógica.

La matriz de correlación que se presenta en el Cuadro 5 corroboró las relaciones teóricas entre los parámetros de las disoluciones químicas y otras determinaciones químicas tales como pH NaF, P retenido y C orgánico. En el estudio de los seis perfiles se observaron 31 asociaciones significativas, los parámetros que más asociaciones presentaron fueron pH NaF, P retenido, Alo, Alp, Ald, C orgánico, Sio y Feo.

CONCLUSIONES

En el perfil Cof 17 se manifiesta la presencia de minerales amorfos (alofano e imogolita) en todo el perfil. En los horizontes Ap y A13 se observó una alta proporción de complejos metal-humus, lo que se manifestó también en su morfología por el color

Cuadro 5. Coeficientes de correlación de los análisis químicos de todos los perfiles.

| | P ret | Alo | Feo | Sio | Fep | Fed | Alp | Ald | Sid | C Org |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|
| pH | 0.946 | 0.879 | 0.792 | 0.719 | ns | ns | 0.650 | 0.838 | ns | 0.550 |
| NaF | | | | | | | | | | |
| P ret | | 0.831 | 0.777 | 0.703 | ns | ns | 0.631 | 0.791 | ns | 0.494 |
| Alo | | | 0.837 | 0.848 | 0.507 | ns | 0.770 | 0.894 | ns | 0.586 |
| Feo | | | | 0.908 | ns | ns | 0.599 | 0.665 | ns | ns |
| Sio | | | | | ns | ns | 0.536 | 0.605 | ns | ns |
| Fep | | | | | | ns | 0.794 | 0.686 | ns | 0.827 |
| Fed | | | | | | | ns | ns | ns | ns |
| Alp | | | | | | | | 0.872 | ns | 0.809 |
| Ald | | | | | | | | | ns | 0.838 |
| Sid | | | | | | | | | | 0.604 |

ns = valores de r no significativo
 no. de muestras = 32
 nivel de significancia = 0.05

oscuro y hasta negro, los cuales están asociados con la presencia de dichos complejos.

El perfil Cof 22 solamente en sus tres primeros horizontes exhibió un marcado carácter ándico, a diferencia de los más profundos. Según su morfología, los tres primeros horizontes se derivan de ceniza volcánica, y los dos horizontes siguientes son el resultado de la alteración de una lava o flujo de rocas.

El perfil Cof 4 se localiza en un ambiente más seco, por lo que las condiciones de humedad y temperatura no favorecen la transformación del vidrio volcánico que se observa en la fracción gruesa. Sin embargo, se observan características químicas ándicas, y en la morfología de los tres primeros horizontes se describen rasgos ándicos como material suelto y polvoso, pero en los tres últimos se observa la alteración de bloques de roca en lugar de ceniza volcánica.

El perfil Cof 25 presenta las características ándicas más intensas de toda la toposecuencia. Se observó que el alofano que se desarrolla en este sitio es rico en sílice. Los primeros horizontes presentan un material muy suelto y con muy abundantes raíces finas y medianas, a las cuales se les adhieren muchos agregados de tamaño muy fino. En este sitio se presentan conos volcánicos secundarios de actividad relativamente reciente.

Los perfiles Xal 2 y Sum 1 no presentan ninguna característica química ándica. Debido a las condiciones climáticas tropicales y a los pH más ácidos de toda la toposecuencia, se presenta una mayor alteración del material volcánico, lo que se manifiesta por su alto contenido de arcilla y las mayores concentraciones de óxidos cristalinos de Fe. La morfología de estos perfiles corresponde a la de suelos tropicales. La estructura de

bloques angular y prismático gruesa, y la permeabilidad muy baja presentes, se relacionan con el moteado y las capas compactadas (tepetate).

LITERATURA CITADA

Aomine, S. y M.L. Jackson. 1959. Allophanic determination in Ando soil by cation exchange capacity delta value. *Soil Sci. Soc. Proc.* 14: 210-214.

Baumler, R. y W. Zech. 1994. Characterization of Andisols developed from nonvolcanic material in Eastern Nepal. *Soil Sci.* 158: 211-217.

Blakemore, L.C., P.L. Searle y B.K. Daly. 1987. *Methods of chemical analysis of soils.* New Zealand. Soil Bureau Scientific Report 80. pp.44- 45

Campos C.A. 1994. El moteado en un suelo bajo clima tropical y formado de materiales volcánicos: un estudio micromorfológico y mineralógico. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Nizeyimana, E. 1997. A toposequence of soils derived from volcanic materials in Rwanda: morphological, chemical, and physical properties. *Soil Sci.* 162: 350-360.

Nizeyimana, E., T.J. Bicki y P.A. Agbu. 1997. An assessment of colloidal constituents and clay mineralogy of soils derived from volcanic materials along a toposequence in Rwanda. *Soil Sci.* 162: 361-371.

Parfitt, R.L. 1983. Identification of allophane in Inceptisols and Spodosols. *Soil Taxonomy News.* 5: 11-18.

Parfitt, R.L. 1990. Allophane in New Zealand. A-review. *Aust. J. Soil Res.* 38: 346-360.

Parfitt, R.L. y J.M. Kimble. 1989. Conditions for formation of allophane in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 971-977.

Perrot, K.W., B.F.L. Smith y B.D. Michell. 1976. Effect of pH on the reaction of sodium fluoride with hydrous oxides of silicon, aluminum, and iron, and poorly ordered aluminosilicates. *J. Soil Sci.* 27: 348-356.

Ping, C.L., S. Shoji, T. Ito, T. Takahashy y J.P. Moore. 1989. Characteristics and classification of volcanic-ash derived soils in Alaska. *Soil Sci.* 148: 8-28.

- SAS. Institute Inc. 1985. SAS/STAT. Guide for personal computers, 6th Ed. SAS Institute Inc. Cary, N.C.
- Schwertmann, V. 1985. The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. *In*: B.A. Stewart (Ed.). *Advances in Soil Sci.* 1: 171-200.
- Shoji, S. y Y. Fujiwara. 1984. Active aluminum and iron in the humus horizons of Andisol, from northeastern Japan: their forms, properties, and significance in clay weathering. *Soil Sci.* 137: 216-226.
- Shoji, S., Y. Fujiwara, I. Yamada y M. Saigusa. 1982. Chemistry and clay mineralogy of ando soils, brown forest soils, and podzolic soils formed from recent Towada ashes, northeastern Japan. *Soil Sci.* 133: 69-86.
- Shoji, S., T. Ito, M. Saigusa e I. Yamada. 1985. Properties of nonallophanic andosols from Japan. *Soil Sci.* 140: 264-277.
- Shoji, S., T. Takahashi, M. Saigusa, I. Yamada y F.C. Ugolini. 1988. Properties of Spodosols and Andisols showing climosequential and biosequential relations in southern Hakkoda, Northeastern, Japan. *Soil Sci.* 145: 135-150.
- Soil Conservation Service. 1973. USDA. Investigación de suelos. Traducción al español: A. Contin. Edit. Trillas. México.
- Soil Survey Staff. 1994. Key to soil taxonomy. Sixth edition. USDA. Washington D.C.
- Tan, H.K. 1992. Principles of soil chemistry. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Wada, K. 1985. The distinctive properties of andosols. *In*: B.A. Stewart (Ed.). *Advances in Soil Sci.* 2: 173-229.
- Wada, K. y N. Gunjigake. 1979. Active aluminum and iron and phosphate adsorption in Ando soils. *Soil Sci.* 128: 331-336.

CONTENIDO Y DISTRIBUCION DE LAS FORMAS DEL FOSFORO EN VERTISOLES DE CUBA

Contents and Distribution of the Forms of Phosphorus in Vertisols of Cuba

M. Morales Díaz, A. Vantour Causse, Y. González Mantilla,
A. Hernández Jiménez y L. Ma. Otero Gómez

RESUMEN

Se estudiaron los contenidos y la distribución de las formas del fósforo en Vertisoles de Cuba, ubicados en la provincia Granma. Se analizaron 60 perfiles hasta más de 1 m de profundidad. Los resultados mostraron que los valores medios oscilaron entre 1871 y 1182 mg kg⁻¹ de P total en la capa arable; el fósforo mineral predomina sobre el fósforo orgánico y las fracciones inorgánicas ocupan el siguiente orden: PCa_{II} > PCa_{III} > PFe > PCa_I > PAI > Pocl. Además se encontraron correlaciones altamente significativas entre el pH y P total; log MO y P org; pH y P(Ca_I, Ca_{II}, Ca_{III}).

Palabras clave: Fraccionamiento de fósforo del suelo.

SUMMARY

In some Vertisols of Cuba the contents and distribution of the different forms of phosphorus were studied. The trial was carried out in soils of Granma province. The results showed that total phosphorus ranged between 1871-1182 mg kg⁻¹ of total P in the arable layer. The mineral phosphorus predominated over the organic phosphorus. The inorganic fractions occupied the following order. PCa_{II} > PCa_{III} > PFe > PCa_I > PAI > POC1. Besides, significant higher correlations were found between pH and total P; log MO and P_{org}; pH and P (Ca_I, Ca_{II}, Ca_{III}).

Index words: Fractionation of soil phosphorus.

Instituto de Suelos, MINAG, Apartado 8022, Ciudad Habana, Cuba.

Aceptado: Agosto de 1997.

INTRODUCCION

La fertilidad fosfórica de los Vertisoles de Cuba ha sido objeto de numerosas investigaciones (Bertsch, 1995; Bowman *et al.*, 1978; Shishov *et al.*, 1974; Vantour *et al.*, 1987) y se reportó en sentido general una elevada variabilidad del elemento, en dependencia de las manifestaciones de las propiedades físicas, químicas, mineralógicas y fisico-químicas de estos suelos.

En la provincia Granma, los suelos predominantes son los Vertisoles, los cuales ocupan más de 20 % de las áreas agrícolas de este territorio oriental. Estos se ubican fundamentalmente en los siguientes municipios: Río Cauto, Cauto Cristo, Jiguaní, Bayamo, Yara, Media Luna y Manzanillo. Los tres primeros corresponden a los suelos que se encuentran en la faja de suelos de clima relativamente seco y presentan en el perfil carbonato secundario y salinidad, mientras que el resto Bayamo, Yara, Media Luna y Manzanillo se sitúan en la faja de suelo de clima de humedad alternante sin carbonato secundario ni concentración de sales apreciables.

Basado en estas premisas se estudiaron los contenidos y la distribución de las distintas formas del P en los suelos de las localidades Río Cauto, Yara y Manzanillo.

MATERIALES Y METODOS

Se seleccionaron 20 perfiles de Vertisoles para cada uno de los municipios siguientes: Río Cauto, Yara y Manzanillo de la provincia Granma. Las características fundamentales de estos perfiles aparecen en el Cuadro 1.

El contenido y las formas del fósforo se determinaron por el método propuesto por Guinzburg y Lebedeva (1971). Es una técnica de fraccionamiento

Cuadro 1. Algunas características físicas y químicas de los Vertisoles (Typic hapludert).

| Parámetros | Río Cauto | Yara | Manzanillo |
|------------------------------|-----------|-----------|------------|
| pH H ₂ O | 7.7 | 6.7 | 6.9 |
| pH CaCl ₂ | 7.3 | 5.7 | 6.0 |
| Arcilla (%) | 52.5 | 40.0 | 47.0 |
| Textura | arcillosa | arcillosa | arcillosa |
| Materia orgánica (%) | 3.5 | 2.8 | 3.0 |
| Ca ⁺⁺ Cmol (+) kg | 25.4 | 15.3 | 17.0 |
| Mg ⁺⁺ Cmol (+) kg | 6.0 | 9.3 | 6.9 |
| Na ⁺ Cmol (+) kg | 1.9 | 0.3 | 0.8 |
| K ⁺ Cmol (+) kg | 1.0 | 0.4 | 0.6 |
| CCB Cmol (+) kg | 34.3 | 25.3 | 25.3 |
| CCC Cmol (+) kg | 35.0 | 28.8 | 28.2 |
| B (%) | 98.0 | 87.8 | 89.7 |

Profundidad de 0 a 20 cm.

del P, que consistió en una modificación al propuesto por Chang y Jackson (1957).

Esta modificación se fundamenta en eliminar la extracción con cloruro de amonio y efectuar las siguientes determinaciones.

Ca_I - P : Solución 1 % de sulfato de amonio y solución de molibdato de amonio 25 %.

Ca_{II} - P : Solución de ácido acético y solución de molibdato de amonio 25 %.

Las determinaciones de Al - P, Fe - P, Ca_{III} - P y P ocluido se realizaron según la metodología propuesta por Chang y Jackson (1957).

Los datos obtenidos, correspondientes a las profundidades de 0 a 15, 50 a 70 y > 150 cm, se evaluaron estadísticamente para conocer el rango, la media, la desviación estándar, el error típico y el coeficiente de variabilidad, además se establecieron las posibles correlaciones y regresiones entre el P total, P org y las fracciones inorgánicas con el pH en CaCl₂, así como también entre el fósforo orgánico y el porcentaje de materia orgánica.

RESULTADOS Y DISCUSION

Fósforo Total

Los contenidos de P total, en los Vertisoles estudiados, oscilaron entre 1871-1182 mg kg⁻¹ de P en la profundidad de 0 a 15 centímetros. Se aprecia (Figura 1) de acuerdo con los valores medios, que el municipio Río Cauto presentó los mayores contenidos, mientras que el menor valor correspondió al municipio Yara ocupando Manzanillo posición intermedia. Esto se debe a que existen variaciones dentro de un mismo

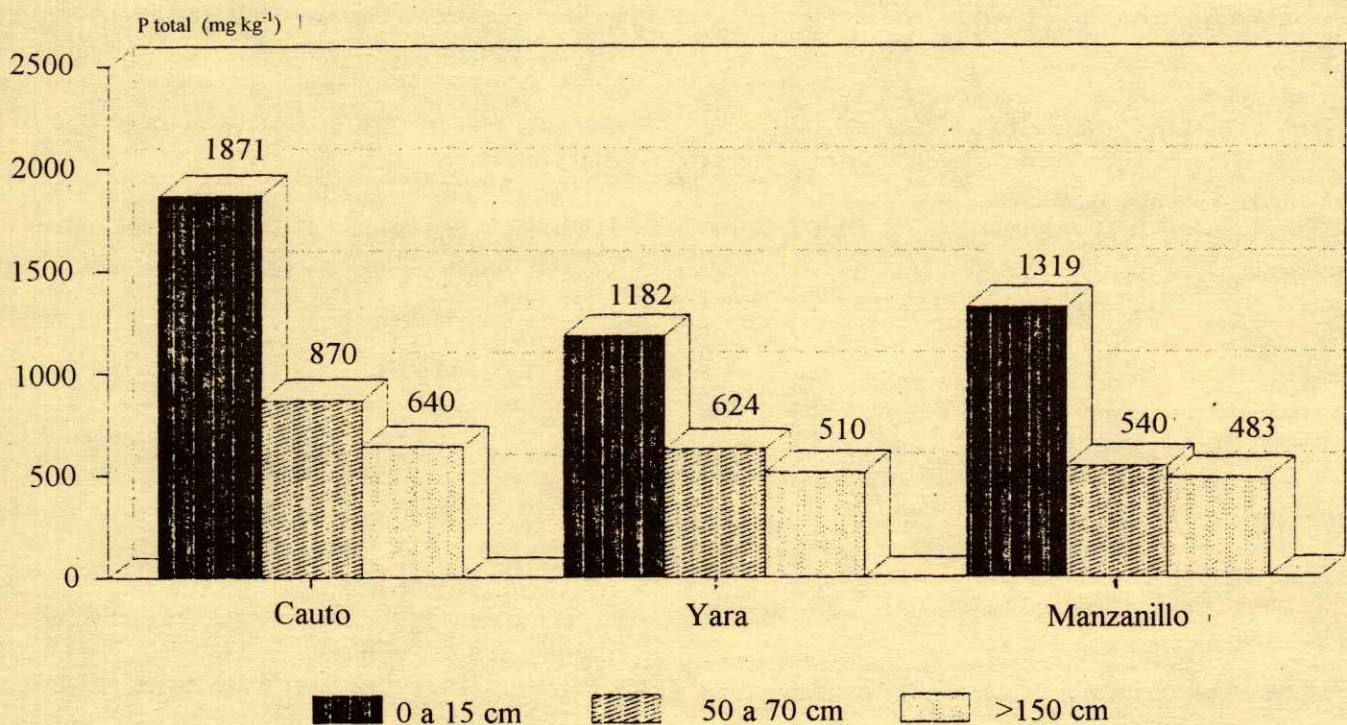


Figura 1. Formas del fósforo en Vertisoles (P total mg⁻¹ kg⁻¹).

suelo de acuerdo con la localización, lo que puede deberse a la influencia del clima. Los autores del presente trabajo coinciden con Sánchez (1981) al señalar que el contenido de P total del suelo, así como su forma predominante, reflejan la intensidad de la meteorización y varían de acuerdo con el material de origen. De manera general, el P total de estos suelos disminuye con la profundidad. Río Cauto, aún en los horizontes inferiores, presenta mayores contenidos que Yara y Manzanillo. Los resultados obtenidos son semejantes a los reportados por Vantour *et al.* (1987).

Se observó (Figura 2) que existe correlación significativa entre el pH en cloruro de calcio y el fósforo total, lo que coincide con los resultados de Vantour y Carriera (1984), quienes demostraron que en la medida que incrementa el pH disminuye el contenido de P total.

Fósforo Orgánico

Los contenidos del fósforo (Figura 3) en forma orgánica oscilan, en la capa de 0 a 15 cm, desde 434,1 hasta 632,4 mg kg⁻¹ de P, lo que constituye de 34 a 43 % del fósforo total, es decir, por debajo de 50 %. Estos datos demuestran que en estos suelos predomina el fósforo mineral (Cuadro 2). Además, se corrobora lo planteado por Sánchez (1981) que en los Vertisoles no predomina el P orgánico.

Los valores promedios de la superficie indican que el P orgánico en el municipio Río Cauto tiene los mayores valores, y en el municipio Yara los menores, ocupando Manzanillo posición intermedia.

En los tres municipios el fósforo orgánico disminuyó con la profundidad, y es más significativo en el municipio Yara.

Por otra parte, la elevada correlación logarítmica significativa entre P orgánico y porcentaje de materia orgánica (MO) (Figura 4) demuestra que esta forma del fósforo depende básicamente del contenido de materia orgánica que posean los suelos investigados. A conclusiones similares llegaron Sharman *et al.* (1982), Sood y Minhas (1988) y Vantour y Carriera (1984).

Fósforo Mineral

Como se informó, el fósforo mineral es la forma predominante de los fosfatos en los Vertisoles

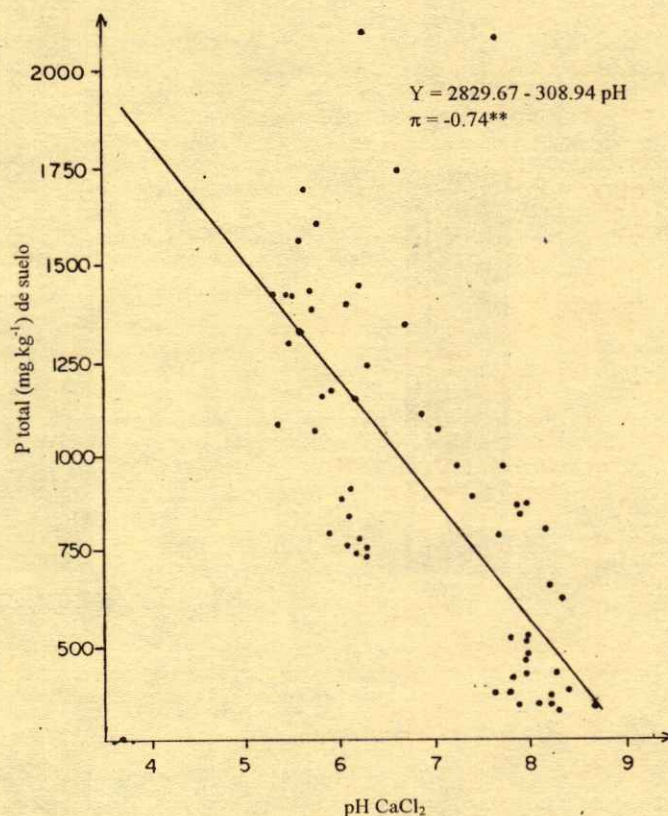


Figura 2. Relación entre el pH_{CaCl₂} y el fósforo total.

estudiados y presenta valores que varían en la superficie desde 747,9 hasta 1238,6 mg kg⁻¹ de P. De acuerdo con los valores promedios, el municipio Río Cauto mantiene la supremacía (Figura 5), mientras que Yara y Manzanillo tienen contenidos semejantes. También disminuye con la profundidad, en particular en Manzanillo.

Cuadro 2. Distribución y contenido del P orgánico de los suelos estudiados.

| Localidad | Profundidad | P orgánico mg kg ⁻¹ | P total % |
|------------|-------------|-----------------------------------|--------------|
| Río Cauto | 0 a 15 | 632.4 | 33.8 |
| | 50 a 70 | 73.0 | 8.4 |
| | > 150 | 32.0 | 5.0 |
| Yara | 0 a 15 | 434.1 | 36.7 |
| | 50 a 70 | 37.2 | 6.0 |
| | > 150 | 16.3 | 3.2 |
| Manzanillo | 0 a 15 | 569.2 | 43.2 |
| | 50 a 70 | 46.0 | 8.5 |
| | > 150 | 22.2 | 4.6 |

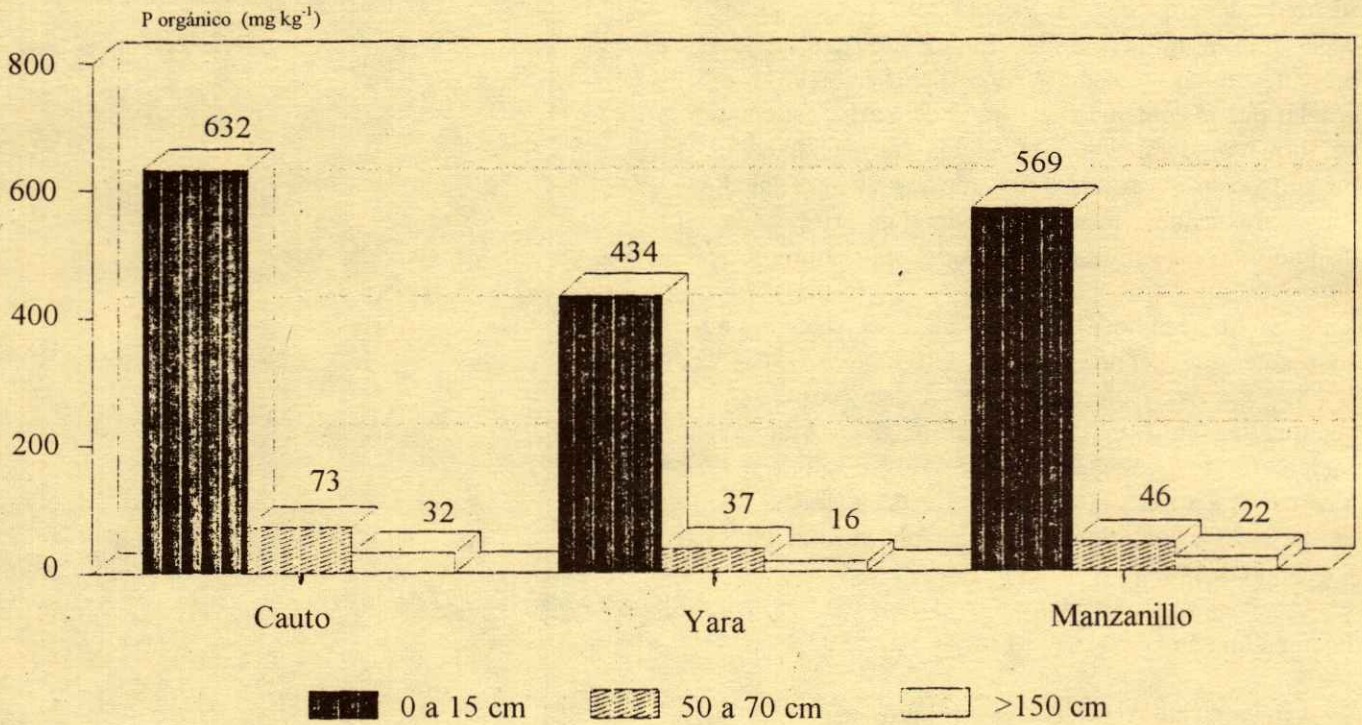


Figura 3. Formas del fósforo en Vertisoles (P orgánico mg⁻¹ kg⁻¹).

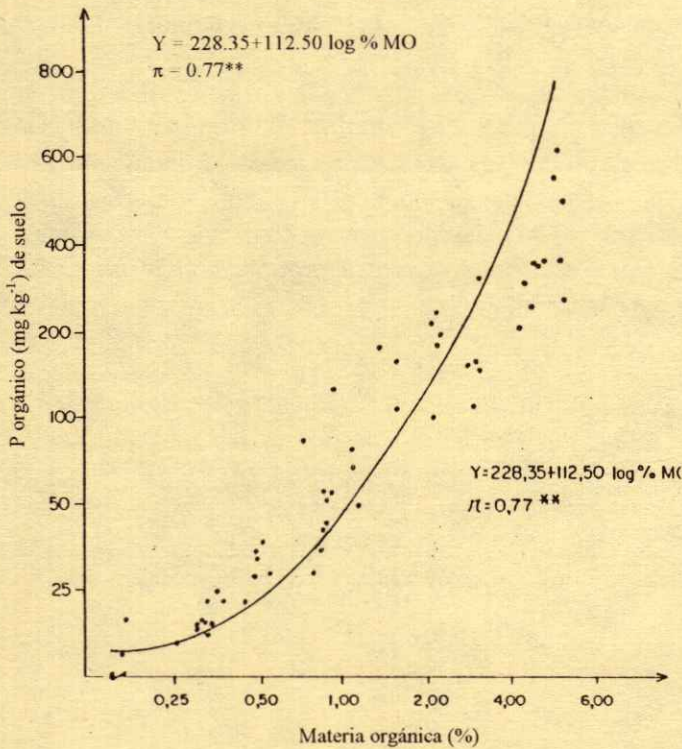


Figura 4. Relación entre el fósforo orgánico y la materia orgánica.

Fósforo Inorgánico

Al evaluar las diferentes fracciones inorgánicas se observa (Figura 6) que las fracciones del fósforo ligadas con el calcio predominan en los suelos estudiados, y presentan los mayores contenidos en la superficie en el municipio Río Cauto y los menores en Manzanillo. Las fracciones PCa_I y PCa_{II} fosfatos básicos de Ca(Mg), de formación secundaria y en cuya composición participan los fosfatos dicálcicos y octocálcicos (Guinzburg y Lebedeva, 1971; Vantour *et al.*, 1987), les corresponde desde 42,53 hasta 49,76 %

Cuadro 3. Coeficientes de correlación y ecuación de regresión entre varias formas de P y pH en cloruro de calcio.

| Relación | Ecuación de regresión | r |
|---|------------------------------|---------|
| pH-Porg | Y=967,06 + (-116,70)pH | -0,69** |
| pH-PCa _I | Y= 2,71 + (2,07)pH | 0,79** |
| pH-PCa _{II} | Y= 19,20 + (1,79)pH | 0,53** |
| pH-PCa _{III} | Y= 27,79 + (-0,76)pH | 0,62** |
| pH-%P (Ca _I +Ca _{II} +Ca _{III}) | Y= 20,72 + (7,34)pH | 0,78** |
| pH-%P-Al | Y= 28,65 + (-3,11)pH | -0,86** |
| pH-%P-Fe | Y= 51,87 + (-5,64)pH | -0,80** |
| Log %PCa-%P(Al,Fe,ocl) | Y=312,68 + (-153,73 log%PCa) | -0,98** |

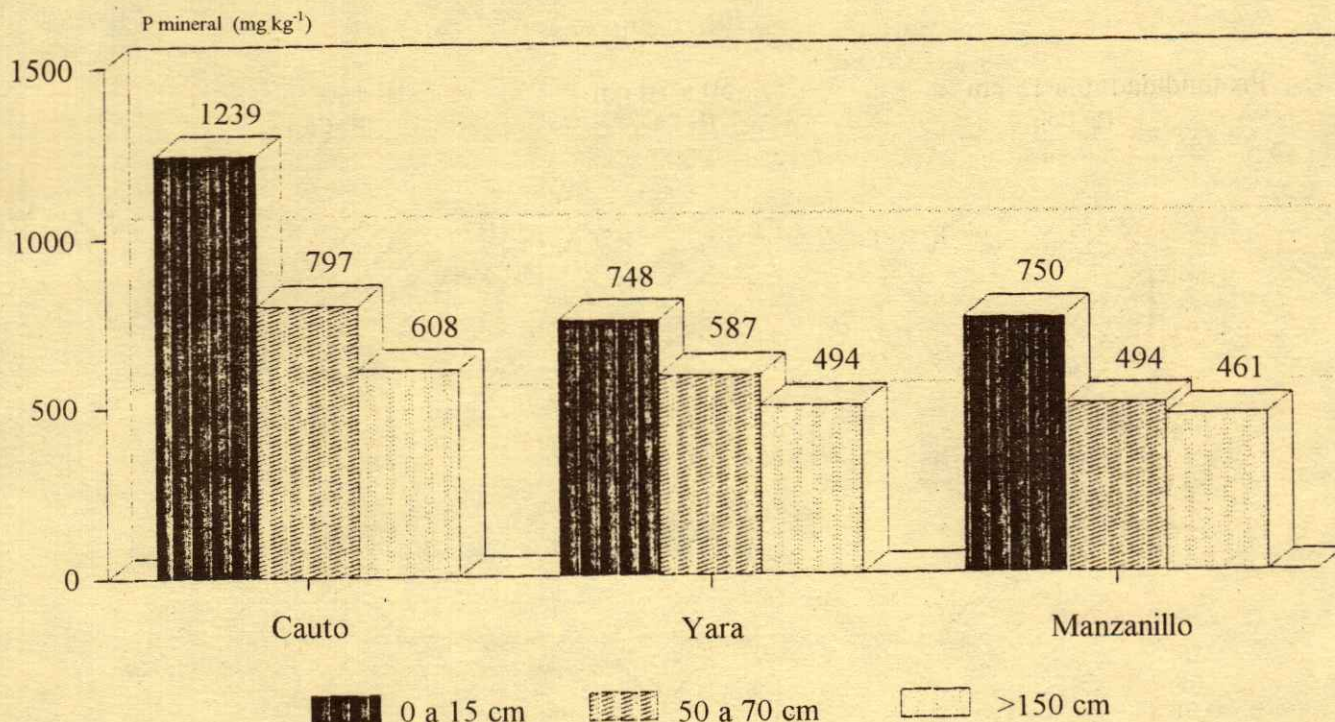


Figura 5. Formas del fósforo en Vertisoles (P mineral mg kg^{-1}).

de las fracciones activas del fósforo en estos suelos, superiores a los fosfatos ligados con el hierro y el aluminio. La fracción PCa_{III} perteneciente a los fosfatos de calcio de los minerales no meteorizados representó de 21,26 hasta 24,88 % de la suma de las fracciones activas, es decir, algo más de la quinta parte de las mismas, lo que demuestra el carácter sialítico de estos suelos, aunque el grado de evolución es variable.

En general, de acuerdo con su contenido, las fracciones inorgánicas del fósforo en los Vertisoles estudiados se pueden agrupar de la manera siguiente:

Río Cauto

| | |
|------------|--|
| 0 a 15 cm | $\text{PCa}_{\text{II}} > \text{PCa}_{\text{III}} > \text{PCa}_{\text{I}} > \text{PFe} > \text{PAI} > \text{Poel}$ |
| 50 a 70 cm | $\text{PCa}_{\text{II}} > \text{PCa}_{\text{III}} > \text{PCa}_{\text{I}} > \text{PFe} > \text{PAI} > \text{Poel}$ |
| > 150 cm | $\text{PCa}_{\text{II}} > \text{PCa}_{\text{III}} > \text{PCa}_{\text{I}} > \text{PFe} > \text{PAI} > \text{Poel}$ |

Yara

| | |
|------------|--|
| 0 a 15 cm | $\text{PCa}_{\text{II}} > \text{PCa}_{\text{III}} > \text{PFe} > \text{PCa}_{\text{I}} > \text{PAI} > \text{Poel}$ |
| 50 a 70 cm | $\text{PCa}_{\text{II}} > \text{PCa}_{\text{III}} > \text{PCa}_{\text{I}} > \text{PFe} > \text{PAI} > \text{Poel}$ |
| > 150 cm | $\text{PCa}_{\text{II}} > \text{PCa}_{\text{III}} > \text{PCa}_{\text{I}} > \text{PFe} > \text{PAI} > \text{Poel}$ |

Manzanillo

| | |
|------------|--|
| 0 a 15 cm | $\text{PCa}_{\text{II}} > \text{PFe} > \text{PCa}_{\text{III}} > \text{PCa}_{\text{I}} > \text{PAI} > \text{Poel}$ |
| 50 a 70 cm | $\text{PCa}_{\text{II}} > \text{PCa}_{\text{III}} > \text{PFe} > \text{PCa}_{\text{I}} > \text{PAI} > \text{Poel}$ |
| > 150 cm | $\text{PCa}_{\text{II}} > \text{PCa}_{\text{III}} > \text{PCa}_{\text{I}} > \text{PFe} > \text{PAI} > \text{Poel}$ |

Las correlaciones, ecuaciones y coeficientes de regresión entre pH y varias de las formas del fósforo (Cuadro 3), demuestran que existen correlaciones positivas y significativas entre este parámetro y las formas ligadas al calcio y negativas, las relacionadas con el P org, PAI y PFe.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que en los Vertisoles de los tres municipios estudiados, los valores medios del fósforo total oscilan entre 1871 y 1182 mg kg^{-1} de P en la capa arable, lo cual disminuye con la profundidad.

Los fosfatos minerales predominan sobre los fosfatos orgánicos, y los contenidos más altos se ubican en el municipio Río Cauto, mientras que Yara y Manzanillo tienen contenidos similares.

Se observó que existe una elevada correlación significativa entre pH y P total, log MO y P org y entre pH y P (Ca_{I} , Ca_{II} , Ca_{III}).

En sentido general pudo apreciarse que los contenidos del fósforo son mayores en los suelos Vertisoles que se ubican en la faja relativamente seca de la provincia que los encontrados en la faja de

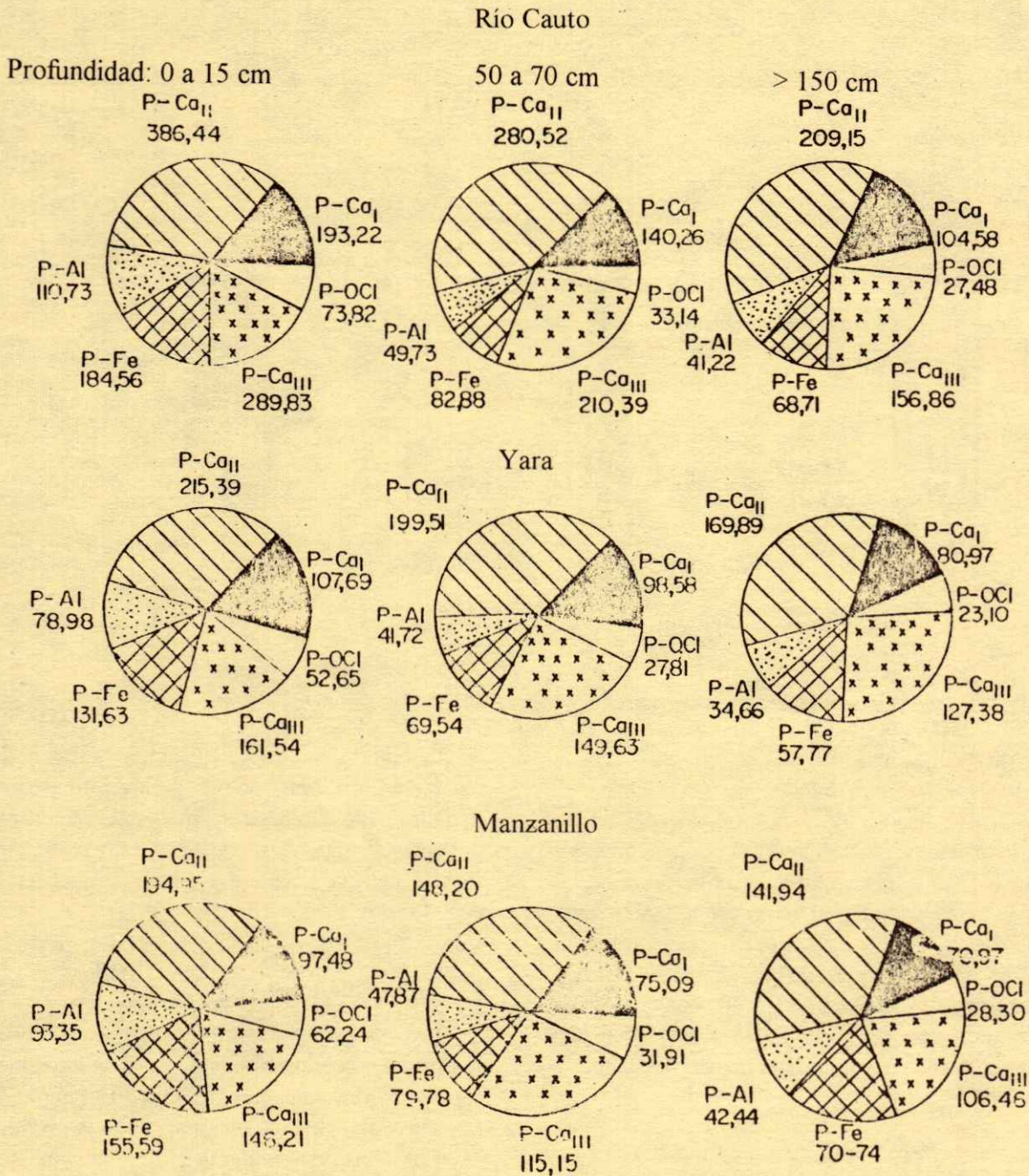


Figura 6. Fracciones inorgánicas de fósforo en mg kg^{-1} .

humedad alternante, lo que hace pensar en un manejo diferenciado en los mismos.

LITERATURA CITADA

- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1a ed. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. ACCS. San José. Costa Rica.
- Bowman, R.A., S.R. Olsen y F.S. Watanabe. 1978. Green house evaluation of residual phosphate by four phosphorus methods in neutral and calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 42(3): 451-454.
- Chang, S. y M. Jackson. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84(2).
- Guinzburg, K.E. y L.C. Lebedeva. 1971. A method of determining mineral forms of soil phosphates. *Soviet Soil Sci.* 3: 108-119.

- Sánchez, P.A. 1981 Suelos del trópico. Característica y manejo. IICA, San José, Costa Rica.
- Sharman, P.K., D.R. Bhumbra y S.P. Dev. 1982. Organic phosphorus in soil of humid temperate high land zone of Himachal Pradesh. *Acta Agron.* 31: 355-359.
- Shishov, L.L., R. Villegas y P. Melnikov. 1974. Dinámica del fósforo en los suelos ferralíticos y sialíticos de las plantaciones cañeras de Cuba. *Rev. Agric.* 7: 44-50.
- Sood, R.D. y R.S. Minhas. 1988. Organic phosphorus fractions in some soil profiles of humid temperate high land zone of Himachal Pradesh. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 36: 660-665.
- Vantour, A., A. Hernández, J.M. Torres Font. 1987. Los suelos oscuros plásticos de la empresa cañera "Cristina Naranjo". V. Algunos índices agroquímicos. *Cien. Agr.* 31: 82-90.
- Vantour, A. y Z. Carriera. 1984. Formas y contenidos del fósforo en suelos ferralíticos rojos en relación con el pH y la materia orgánica. *Cien. Agr.* 18: 103-113.

EFFECTOS DEL AMBIENTE AEREO Y DEL SUELO SOBRE EL DESARROLLO DE SINTOMAS DE DECLINACION DE OYAMEL

Effects of Aerial Environment and Soil on the Development of Sacred Fir Decline Symptoms

Miguel Angel López López¹

RESUMEN

En el Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones se ha presentado un proceso de declinación de varias especies forestales, una de las cuales es *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham., que es la especie dominante en el área. Los síntomas que se presentan son parecidos a los de especies afines en declinación en otras partes del mundo, de donde se han originado diversas hipótesis. En general, unas de estas hipótesis atribuyen el daño al ambiente aéreo y otras a problemas en el suelo. El presente estudio se diseñó con el objeto de determinar la importancia de estos dos factores sobre la presencia de tres de los síntomas más comunes presentes en la zona: bronceado del follaje, clorosis y defoliación. El experimento se estableció bajo un diseño factorial 2X2 en el que el primer factor estuvo constituido por dos orígenes de suelo: Desierto de los Leones y Cerro Tláloc, mientras que el segundo factor consistió en dos ambientes aéreos: sitio Desierto de los Leones y sitio Tláloc; sin embargo, debido a la muerte de algunas unidades experimentales, el análisis de la información se llevó a cabo ignorando el componente factorial de los tratamientos. Los resultados indican que el principal factor responsable de la clorosis y consecuente defoliación es el ambiente aéreo del Desierto de los Leones. El suelo no presentó efectos significativos sobre las variables estudiadas.

Palabras clave: Oyamel, contaminación ambiental, Desierto de los Leones, clorosis, bronceado.

SUMMARY

In the Cultural and Recreational Park "Desierto de los Leones", a declination process has appeared in several forest tree species, one of them being *Abies*

religiosa (H.B.K.) Schl. et Cham., which is the dominant species in the area. The declination symptoms are similar to those shown by related species under the declination process in other parts of the world, where various hypotheses have been developed. In general, some of these hypotheses attribute the damage to the aerial environment, whereas others attribute it to problems in the soil. The present study was designed to determine the importance these two factors present on the presence of three of the common symptoms in the area: bronzing or reddening, yellowing and defoliation. A 2X2 factorial design was used in the experiment. The first factor included two origins of soil: Desierto de los Leones and Cerro Tláloc, whereas the second factor consisted of two aerial environments: site Desierto de los Leones and site Tláloc; however, due to the death of some experimental units, the analysis of the information was carried out ignoring the factorial component of the treatments. The results indicate that the main factor involved in the presence of yellowing and the subsequent defoliation is the aerial environment of the Desierto de los Leones. The soil did not present significant effects on the variables studied.

Index words: Sacred fir, environmental pollution, Desierto de los Leones, yellowing, bronzing.

INTRODUCCION

En el Desierto de los Leones, Distrito Federal, México se ha presentado desde finales de la década de 1970 un proceso de declinación del oyamel (*Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham.). De acuerdo con Sierra et al. (1988), los bosques de esta región, en los que la especie dominante es precisamente *A. religiosa*, han experimentado desde entonces cambios en cuanto a su estructura (distribución de edades, composición de los estratos y estructura de copas entre otros), debido principalmente a los cambios que se han presentado en el dosel superior y a las tasas de mortalidad registradas

¹ Programa Forestal, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Estado de México.

que de acuerdo con Cibrián (1989), para el año de 1986 alcanzaban 36 % del volumen total de la especie en el parque.

A principios de la década de 1980, tuvo lugar en el área una muerte masiva de árboles de oyamel, generándose cinco claros denominados "cementorios", que suman un total de 274 ha (Vázquez, 1987); sin embargo, en la actualidad, en cualquier parte del parque es posible encontrar árboles de oyamel muertos o a punto de morir. Aunque no existen evaluaciones al respecto, es un hecho que la mayoría de los árboles del parque presentan una estructura de copa distinta a la de árboles de la misma especie que crecen en otras regiones del centro del país.

De acuerdo con los estudios realizados hasta la fecha en la zona (Alvarado *et al.*, 1993; De la Isla y Hernández, 1986) y con la literatura internacional que hace referencia a casos similares en especies afines en diversas partes del mundo, el proceso de declinación puede ser atribuible al efecto de contaminantes atmosféricos presentes en estos bosques; sin embargo, a nivel internacional, la gama de hipótesis al respecto es tan amplia como las probables causas. Algunos autores se inclinan por los cambios a nivel químico en el suelo [cambios del pH, depositaciones de elevadas cantidades de nitrógeno y acumulación de metales pesados, entre otros (Andersson, 1989; Cowling, 1982; Oren y Schulze, 1989)] como causa primaria del proceso de declinación, mientras que otros atribuyen el problema a efectos del ambiente aéreo sobre el follaje y tallos de los árboles [eventos climáticos drásticos o presencia de contaminantes atmosféricos (Auclair, *et al.*, 1992; Fenn, 1996)].

Con base en este panorama, mediante el presente estudio se trató de separar los efectos del suelo y del ambiente aéreo sobre el desarrollo de síntomas que, de acuerdo con López y Rivera (1995), están estrechamente relacionados con el proceso de declinación.

ANTECEDENTES

Abies religiosa es una especie forestal importante en los estados del centro del país por el volumen que representa. En el Distrito Federal, la especie presenta gran importancia debido a que, por la cercanía de los bosques de esta especie a la Ciudad de México, éstos deben satisfacer ciertas necesidades que se han generado o acrecentado debido al crecimiento de la

ciudad. Dentro de estas necesidades destacan la recarga de acuíferos, la recreación, la producción de oxígeno y su función como sumidero de contaminantes y calor producidos en el Valle de México. No obstante lo anterior, los bosques del Desierto de los Leones han mostrado desde finales de la década de 1970 una pérdida de vigor que condujo a la muerte de una importante cantidad de árboles a principios de la década de 1980.

Los síntomas asociados al proceso de declinación de *A. religiosa* incluyen una acentuada clorosis y coloración café rojiza (bronceado) del follaje de un año de edad o mayor, aunque es poco común encontrar en el área follaje de edad superior a 1.5 años debido a que los síntomas mencionados son sucedidos por la caída de ese follaje (López y Rivera, 1995). La presencia de estos síntomas reduce drásticamente el tiempo de permanencia del follaje en las ramas, lo que implica que los árboles necesariamente viven a expensas de los productos sintetizados en el follaje más reciente y esto, a su vez, significa que las tasas de crecimiento en el área son subóptimas; sin embargo, más importante que la disminución del crecimiento, es la pérdida de vigor, probablemente resultante de una reducida producción de fotosintetizados, la cual trae como consecuencia una pobre producción de sustancias de protección (Waring y Schlesinger, 1985) y con ello ataques exitosos de plagas y enfermedades.

En efecto, Cibrián (1989) menciona que en el Desierto de los Leones, *Pseudohylesinus variegatus* ha sido responsable final de la muerte de los individuos de *Abies religiosa*; sin embargo, el mismo autor señala que los ataques de este descortezador sólo son exitosos cuando tienen lugar sobre árboles débiles con follaje clorótico o defoliados.

A nivel ecosistema los cambios se caracterizan por la presencia de una gran cantidad de vegetación herbácea y arbustiva atípica de los bosques sanos de oyamel, los cuales debido a su alta densidad de copa cierran el dosel superior al grado en que la entrada de luz se ve lo suficientemente reducida como para evitar el establecimiento de un sotobosque denso. En algunas áreas, la regeneración del bosque ha sido nula quizá desde principios de la década de 1980, lo que ha modificado la estructura de edades del bosque (Sierra *et al.*, 1988) imprimiéndole a éste la apariencia de un bosque coetáneo, condición que en situaciones normales no se presenta en el caso de esta especie debido a su tolerancia a la sombra.

La falta de regeneración natural indica que existe uno o más factores que impiden la repoblación natural de los claros; sin embargo, cuando se ha llevado a cabo la regeneración artificial, los brinzales comienzan a mostrar los síntomas mencionados (clorosis, bronceado y defoliación) a muy temprana edad, lo cual indica la presencia de factores adversos ya sea en el ambiente aéreo o en el suelo.

De acuerdo con los resultados de estudios con plantas indicadoras de contaminantes atmosféricos (De Bauer, 1972), de la observación directa de síntomas típicos de daño por ozono en *Pinus hartwegii* (Hernández *et al.*, 1982) y de experimentos con cámaras provistas de filtros de carbón activado, instaladas en las ramas de los árboles (Hernández y De la Isla, 1984), los autores concluyeron que el desarrollo de los síntomas de declinación tenía su origen en el daño directo de contaminantes atmosféricos, especialmente ozono, sobre el follaje de los árboles.

Posteriormente, Alvarado (1989) llevó a cabo un estudio en la zona para tratar de relacionar otros factores con el proceso de declinación del oyamel. En su estudio, el autor incluyó el análisis nutrimental de follaje con el objeto de determinar posibles desórdenes nutrimentales que pudieran estar asociados al daño, encontrando deficiencias de Mn y Zn en arbolado adulto. Estos resultados motivaron posteriormente la realización de estudios detallados, específicamente sobre aspectos nutrimentales del oyamel en una plantación establecida en 1985 en el paraje "El Cementerio I" (Castañeda *et al.*, 1995; López, 1993; López y Rivera, 1995). De estos estudios se concluyó que la clorosis del follaje está relacionada con deficiencias de N, P, K, Mg y Mn, mientras que el bronceado del follaje estuvo asociado con deficiencias de N, Zn, Mg y Mn.

El estudio de López y Rivera (1995) indicó que durante la aparición y desarrollo del nuevo flujo de crecimiento inicia la clorosis del follaje viejo y las deficiencias mencionadas, lo que da idea de que esos nutrimentos son retranslocados del follaje viejo al follaje en crecimiento. Este proceso de retranslocación ha sido demostrado por los estudios de Lange *et al.* (1987) para el caso de *Picea abies* y el de Nambiar y Fife (1987) para *Pinus radiata* con clorosis del follaje maduro. La retranslocación de nutrimentos del follaje viejo al nuevo es un proceso normal en los vegetales, siendo más fuerte en las especies de hoja caduca que en

las perennes, razón por la cual el follaje de estas últimas permanece por períodos más prolongados en el árbol; sin embargo, la retranslocación presente en los árboles del Desierto de los Leones es un proceso demasiado acelerado cuya alteración puede tener su origen a partir de problemas de contaminación del aire como ocurre en otros casos de declinación (Oren y Schulze, 1989). La presencia de desórdenes nutrimentales por un lado y la sugerencia de algunos autores sobre la relación del proceso de declinación con la contaminación del aire, motivó el establecimiento del presente trabajo para tratar de separar los efectos del suelo de los del ambiente aéreo sobre la presencia de síntomas de declinación.

OBJETIVO

Establecer los efectos de la atmósfera y del suelo sobre el proceso de declinación de brinzales de *Abies religiosa*, en términos del grado de desarrollo de síntomas asociados a dicho proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en 1995, al inicio de la temporada de lluvias (antes del rompimiento de yemas vegetativas) en dos localidades: una de ellas, la del Desierto de los Leones, sujeta al fuerte proceso de declinación, y la otra, faldas del Cerro Tláloc, constituida por un bosque de oyamel en el que es muy escasa la presencia de árboles con los síntomas de declinación en cuestión. El área del Desierto de los Leones en la cual se estableció parte del experimento, es denominada paraje "El Cementerio", y se ubica a una altitud de 3050 m en una exposición norte. El área en que se estableció la otra parte del experimento se localiza al este del Valle de México, en el municipio de Texcoco, Estado de México, a una altitud y exposición iguales que las correspondientes al paraje "El Cementerio". Los suelos en ambos sitios presentan una textura franca a franco-arenosa con un pH de 6.32 y 6.24 en el área del Tláloc y en "El Cementerio I", respectivamente. En cuanto a la concentración de nutrimentos, la diferencia más notable es en relación a la concentración de potasio, la cual es de 1.08 y 0.55 me 100⁻¹ g de suelo, en el Tláloc y "El Cementerio I", respectivamente (información no publicada).

El diseño experimental fue un factorial con arreglo de las unidades experimentales en forma

completamente al azar. La unidad experimental consistió en una planta sana de *A. religiosa* de cinco años de edad, crecida en bolsa negra de plástico de 60 cm de diámetro por 70 cm de altura en un vivero forestal ubicado en Santiago Tlazala, municipio de Nicolás Romero, Estado de México. En el mes de marzo de 1995, estas plantas fueron transplantadas a macetas de plástico rígido de un volumen aproximado de 100 L para ser utilizadas en el presente experimento. Los factores probados fueron 1) Suelo y 2) Ambiente aéreo. Los niveles del suelo fueron 1) Suelo del Cerro Tláloc y 2) Suelo del Desierto de los Leones. El ambiente aéreo estuvo constituido por dos localidades: 1) Localidad Tláloc y 2) Localidad Desierto de los Leones. La combinación de los niveles de ambos factores originó cuatro tratamientos, cada uno de los cuales se replicó tres veces.

En cada una de las localidades se enterraron las macetas hasta el nivel del suelo para hacerlas menos visibles y atractivas a los paseantes. Posteriormente, las macetas fueron cubiertas en su parte superior con polietileno y éste con suelo, con el objeto de evitar la entrada del agua de lluvia y utilizar una sola calidad de agua (agua potable de Chapingo, Estado de México). Las macetas fueron regadas aproximadamente cada dos meses, pues la tapa de polietileno disminuyó la tasa de evaporación, lo que hizo más perdurable la humedad del suelo, la cual se perdía a través del proceso de transpiración y por los ocho orificios de 2 cm de diámetro que se le hicieron a cada una de ellas para lograr el escurrimiento del exceso de agua. Debido a la distancia entre ambos sitios, invariablemente los riegos fueron aplicados con un día de diferencia entre sitios y las cantidades aplicadas de agua fueron variables entre riegos pero constantes para todas las macetas en una misma fecha de riego con el objeto de evitar que la humedad del suelo pudiera influir en forma diferencial en las unidades experimentales.

En el mes de mayo de 1996 se llevaron a cabo las evaluaciones de las variables consideradas, las cuales consistieron en la clorosis, el bronceado y la defoliación tanto en el follaje que nació y desarrolló en el vivero (follaje de 1994), como en el que se originó y maduró bajo las condiciones experimentales. Estas evaluaciones se realizaron utilizando las escalas desarrolladas y probadas por López *et al.* (1995).

Durante el análisis de la información, debido a que dos unidades experimentales de un mismo tratamiento

murieron aparentemente por la influencia de factores ajenos al mismo, este tratamiento fue eliminado del análisis, lo que imposibilitó el estudio de las interacciones de los factores considerados, al obligar a analizar la información comparando sólo los tres tratamientos restantes como si se tratara de un diseño completamente al azar sin el componente factorial.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el presente experimento, de las tres variables de respuesta que se pretendió evaluar, sólo dos se presentaron: la clorosis y la defoliación. El enrojecimiento o bronceado del follaje no apareció en ninguna de las unidades experimentales.

De acuerdo con el Cuadro 1, los tratamientos presentaron efectos significativos sobre la clorosis del follaje correspondiente a los dos años considerados y explicaron porcentajes considerables de la variación de este síntoma. Aún cuando se ha observado que la clorosis precede a la defoliación (López y Rivera, 1995), este último síntoma no fue afectado significativamente por los tratamientos aplicados, posiblemente debido a que la presencia de la defoliación requiere de la influencia de otros factores tales como la fricción entre ramas con follaje clorótico, provocada por vientos, lluvia, granizo o animales.

A partir de la premisa de que tanto el suelo como el aire del Desierto de los Leones presentan problemas de contaminación que afectan a la vegetación presente en el área (Alvarado *et al.*, 1993; Báez y Belmont, 1987; Castro *et al.*, 1993; De la Isla y Hernández, 1986; López, 1993), mediante el presente experimento se esperaba que el peor de los tratamientos aplicados fuera el correspondiente al suelo del D.L. y ambiente aéreo del mismo sitio (Tratamiento 4, Cuadro 2). Sin embargo, no fue posible obtener los parámetros estadísticos necesarios para la evaluación de este tratamiento (Cuadro 2), debido a que dos unidades

Cuadro 1. Niveles de probabilidad (α) y coeficientes de determinación de los tratamientos (modelo) sobre las variables de respuesta.

| | Clorosis follaje 1995 | Clorosis follaje 1994 | Defoliación follaje 1995 | Defoliación follaje 1994 |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Pr>F | 0.03 | 0.0004 | 0.29 | 0.17 |
| R ² | 0.70 | 0.9300 | 0.34 | 0.44 |

Cuadro 2. Pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$) para las variables evaluadas.

| Tratamiento | Descripción | | Clorosis Follaje 1995 (\bar{x}) | Clorosis Follaje 1994 (\bar{x}) | Defoliación Follaje 1995 (\bar{x}) | Defoliación Follaje 1994 (\bar{x}) |
|-------------|-------------|-------------------|---|---|--|--|
| | Suelo | Ambiente aéreo | | | | |
| 1 | 1 (TL) | 1 (TL) | 0.43 b | 2.78 b | 0.23 a | 29.63 a |
| 2 | 1 (TL) | 2 (DL) | 63.83 a | 83.33 a | 51.83 a | 79.60 a |
| 3 | 2 (DL) | 1 (TL) | 3.07 b | 0.00 b | 22.50 a | 20.00 a |
| 4 | 2 (DL) | 2 (DL) | - | - | - | - |

Para una variable, medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes.

DL = Desierto de los Leones

TL = Tláloc

experimentales murieron, presumiblemente por causas ajenas al tratamiento, aunque es posible que éste haya tenido algún efecto pues en ambos árboles se encontraron vestigios de hongos en el follaje nuevo; dichos hongos frecuentemente se presentan en el área y de acuerdo con los resultados de los análisis realizados en el Laboratorio de Hongos del Colegio de Postgraduados corresponden a los géneros *Cladosporium* spp. y *Alternaria* spp. Los hongos afectan especialmente las ramillas del último flujo de crecimiento, estableciéndose en el follaje entre los meses de abril y junio. El follaje toma una coloración gris oscura, se enrolla y muere al final de la estación de crecimiento. Según observaciones hechas por el autor, las ramillas afectadas por estos hongos generalmente son incapaces de generar yemas para el nuevo flujo de crecimiento. Los brinzales pequeños pueden ser totalmente desprovistos del follaje más joven por este tipo de daño. En el caso de las unidades experimentales referidas, éstas fueron gravemente afectadas por estos agentes, haciéndose poco visibles por la falta de follaje, por lo que durante las actividades de limpia, podas y aclareos de la plantación que llevó a cabo el Departamento del Distrito Federal, quedaron sepultados por los desperdicios.

En los tratamientos restantes, de acuerdo con el Cuadro 2, se observan diferencias significativas en cuanto a la clorosis del follaje tanto de 1994 como del de 1995. Para ambas edades del follaje, el ambiente aéreo Tláloc (Tratamientos 1 y 3) produjo niveles de clorosis significativamente inferiores a los inducidos por el ambiente aéreo Desierto de los Leones (Tratamiento 2), independientemente del tipo de suelo. Esto indica que el ambiente aéreo juega un papel preponderante en la aparición de este síntoma.

El Cerro Tláloc (ambiente aéreo 1) está ubicado en la parte noreste del Valle de México, dentro del Eje Neovolcánico. El tipo de vegetación en el sitio corresponde al bosque de oyamel; sin embargo, en esta localidad, solamente en raras ocasiones se presentan los síntomas considerados, lo cual probablemente se debe a un ambiente aéreo más benigno que el existente en el área del Desierto de los Leones, especialmente en lo que respecta a la presencia de contaminantes, puesto que en relación con las características climatológicas, ambas áreas son muy semejantes (Cuadro 3). La diferencia entre ambos sitios en cuanto a la presencia de contaminantes se explica al menos parcialmente por los vientos dominantes del Valle de México, los cuales circulan en dirección noreste-suroeste (Cibrián, 1989).

Cibrián (1989) menciona que los vientos dominantes en el Valle de México durante la mañana se dirigen aproximadamente al centro y sureste del valle, pero a las 14:00 h, cuando las concentraciones de ozono se acercan a su punto máximo, los vientos se dirigen hacia el sur y suroeste del valle, justo al área donde se localizan los bosques en declinación. Este patrón de movimiento de los vientos superficiales del Valle de México, implica que una importante proporción de los contaminantes producidos por la

Cuadro 3. Ubicación y características climatológicas de los sitios experimentales utilizados.

| | Desierto de los Leones | Faldas del Tláloc |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|
| Altitud | 3050 m | 3050 m |
| Latitud norte | 19° 15' | 19° 25' |
| Temperatura media anual | de 7 a 15 °C * | 15 °C** |
| Precipitación anual | 1300 mm* | > 1000 mm ** |

* Vázquez (1987)

** Fuente: Ortiz (1986)

industria y parque vehicular de la ciudad de México, es arrastrada hacia los bosques del suroeste del Valle de México.

De acuerdo con Hernández y De la Isla (1989), de los diversos contaminantes presentes en la atmósfera del Valle de México, el ozono es el principal ofensor, sobrepasando la norma (0.11 ppm) en más de 80 % de los días del año. Para el año 1994, en la zona suroeste se registraron durante todos los días del año valores superiores a los 200 puntos IMECA; es decir, más de 0.22 ppm de ozono, mientras que en San Angel, en la misma región, se han registrado los valores más altos de ozono a nivel mundial en lo que lleva de operación la red automática de monitoreo atmosférico (Muro, 1996).

Otros contaminantes del aire que también han llegado a ser importantes por su concentración y efectos sobre los ecosistemas, son los sulfatos y el amonio, ambos de reacción ácida, cuya concentración ha disminuido notablemente a partir de 1989, como ha sucedido en el caso del plomo, debido a diversas acciones emprendidas por las autoridades (Jáuregui, 1993)

La información anterior, junto con algunos trabajos que han demostrado la presencia de daños por ozono en la vegetación de la región (De la Isla y Hernández, 1986; Hernández y De la Isla, 1989), fundamenta los resultados de la presente investigación en el sentido de que el daño a la vegetación proviene del ambiente aéreo.

En relación al efecto de los suelos utilizados en el experimento, la comparación entre los Tratamientos 1 y 3 (Cuadro 2), los cuales tienen el mismo ambiente aéreo (sitio Tláloc) pero diferentes suelos, indica que ninguna de las variables estudiadas respondió de manera significativa a los suelos en que crecieron las plantas. Con excepción del grado de defoliación de los interverticilos de 1995, las demás variables muestran medias muy parecidas en los Tratamientos 1 y 3. El Tratamiento 3 (suelo del Desierto de los Leones y ambiente aéreo del Tláloc), presentó un grado de pérdida del follaje de 1995 bastante superior al Tratamiento 1. Esta pérdida de follaje se debió a que una unidad experimental del Tratamiento 3 fue afectada por la presencia de los hongos que se establecen en el follaje más reciente y cuyas características fueron detalladas anteriormente. Quizá este daño se debió a algún problema de contaminación

del suelo con los hongos mencionados, los cuales eventualmente infectaron a la planta.

CONCLUSIONES

La clorosis del follaje de oyamel en el Desierto de los Leones está fuertemente determinada por las condiciones del aire prevalecientes en el área.

El comportamiento de las variables de respuesta fue independiente del origen del suelo utilizado.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el financiamiento recibido del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a través del proyecto 3637-A, para el desarrollo del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Alvarado R. D., L. I. de Bauer y J. Galindo A. 1993. Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park south of Mexico City. *Environmental pollution* 80: 115-121.
- Alvarado R. D. 1989. Declinación y muerte del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del Valle de México. Tesis de Maestría. Centro de Fitopatología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.
- Andersson, F. O. 1989. Air pollution impact on Swedish forests. Present evidence and future development. *Environmental Monitoring and Assessment* 12: 29-38.
- Auclair, A. N. D., R. C. Worrest, D. Lachance y H. C. Martin. 1992. Climatic perturbation as a general mechanism of forest dieback. pp. 38-58. *In: Manion, P. D. and D. Lachance. Forest decline concepts.* APS. Press. Minnesota.
- Báez A. P. y R. Belmont. 1987. Comparative study of the chemical composition of rain of three different zones in Mexico. *Contam. Ambient.* 3: 25-36.
- Castañeda, G. M. I., M. A. López L. y A. Velázquez M. 1995. Efecto de tratamientos de fertilización sobre algunos síntomas de declinación en una plantación de oyamel. p. 52. *In: Memorias del II Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales.* Sociedad Mexicana de Recursos Forestales. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.
- Castro S. J. M., V. González K. y T. Hernández T. 1993. Determinación preliminar de algunos metales pesados en los suelos del Desierto de los Leones. p. 59. *In: I Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales.* Sociedad Mexicana de Recursos Forestales. Saltillo, Coah.
- Cibrián T. D. 1989. Air pollution and forest decline near Mexico City. *Environmental monitoring and assessment* 12: 49-58.
- Cowling, E. B. 1982. A status report on acid deposition and its ecological consequences as for January 1982. pp. 2-1 a 2-9. *In: Acid precipitation. The North American Challenge.* Soil Conservation Society of America. Burlington, Vermont.

- De Bauer, M. L. I. 1972. Uso de plantas indicadoras de aeropolutos en la ciudad de México. *Agrociencia* 9: 139-141.
- De la Isla B. M. L. y T. Hernández T. 1986. Contaminación: Una amenaza para la vegetación de México. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.
- Fenn, M. E. 1996. De la limitación de nitrógeno al exceso: Saturación de nitrógeno en bosques de Norteamérica. pp. 19-33. *In: Memorias del II simposio internacional y III reunión nacional sobre agricultura sostenible: Una contribución al desarrollo agrícola integral.* Comisión de Estudios Ambientales y Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados. San Luis Potosí, México.
- Hernández T. T. y M. L. De la Isla de B. 1984. Evolución del daño por gases oxidantes en *Pinus hartwegii* y *P. montezumae* var. *Lindleyi* en el Ajusco, D.F. *Agrociencia* 56: 183-194.
- Hernández T. T., M. L. De la Isla de B. y S. Krupa. 1982. Daño por gases oxidantes en pinos y avena, reconocimiento y evaluación en el Ajusco, D.F. *Rev. Chapingo* 33-34, 19-28.
- Hernández T. T. y M. L. De la Isla de B. 1989. La supervivencia vegetal ante la contaminación atmosférica. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.
- Jáuregui, E. 1993. Mexico City's heat island revisited. *Erdkunde* 47: 185-195.
- Lange, O. L., H. Zellner, J. Gebel, P. Schramel, B. Köstner and F. C. Czygan. 1987. Photosynthetic capacity, chloroplast pigments, and mineral content of previous year's spruce needles with and without the new flush: analysis of the forest decline phenomenon of needle bleaching. *Oecologia (Berl)*. 73: 351-357.
- López L. M. A. 1993. Evaluación del estado nutricional de *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones, D.F. Tesis de Maestría. Programa Forestal, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.
- López L. M. A y R. Rivera A. 1995. Caracterización nutricional de follaje de oyamel en proceso de declinación. p. 50. *In: Memorias del II Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales.* Sociedad Mexicana de Recursos Forestales. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.
- López L. M. A, M. I. Castañeda G. y A. Velázquez M. 1995. Sistema de evaluación del grado de daño de árboles de oyamel en proceso de declinación. p. 51. *In: Memorias del II Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales.* Sociedad Mexicana de Recursos Forestales. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.
- Muro B. P. 1996. Impacto ambiental en el corredor Los Reyes- Texcoco. Departamento de Sociología Rural. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México
- Nambiar, E. K. S. y D. N. Fife. 1987. Growth and nutrient retranslocation in needles of radiata pine in relation to nitrogen supply. *Ann. Bot.* 60: 147-156.
- Oren, R. y E. D. Schulze. 1989. Nutritional disharmony and forest decline: A conceptual model. *In: Forest decline and air pollution: a study of spruce (Picea abies (L) Karst.) on acid soils.* *Ecol. Studies* 77: 425-443.
- Ortiz S., M.L.M. 1986. Evaluación de la velocidad de desertificación en la cuenca del Río Texcoco (efecto de la tecnología aplicada, inversiones y factor humano). Tesis de Maestría. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.
- Sierra P. A., D. A. Rodríguez T., V. O. Bonilla A., V. Flores R., M. A. González R., C. Olguín C., H. Acosta D., M. P. Ruíz H., R. Valladares M. y F. Gómez-Santamaría. 1988. Estructura y dinámica del bosque de oyamel afectado por la declinación forestal en el Desierto de los Leones. COCODER, DDF, México.
- Vázquez S. J. 1987. El saneamiento y la limpia forestales en el Desierto de los Leones. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Rural, Departamento del Distrito Federal.
- Waring, R. H. y W. H. Schlesinger. 1985. *Forest ecosystems. Concepts and management.* Academic Press, Inc.

**REHABILITACION DE LOS TEPETATES:
Productividad agrícola y condiciones socioeconómicas de producción en la
región de Hueyotlipan (Tlaxcala, México)
TEPETATE SOILS REHABILITATION:
Agricultural Production and Socioeconomic Factors in Hueyotlipan, Tlaxcala, Mexico**

H. Navarro¹, C. Zebrowski² y Ma. A. Pérez¹

RESUMEN

En el altiplano mexicano semi-árido, las zonas de suelos volcánicos erosionados, endurecidos y estériles (tepetates) están, debido a una fuerte presión humana, siendo reincorporadas a la agricultura. En promedio, los tepetates constituyen 50 % de la superficie agrícola útil de las unidades de producción (UP) estudiadas en 1991 y que se dividen en tres grupos: Grupo 1: unidades de menos de 5 ha, donde el maíz es el cultivo dominante (autoconsumo), y no poseen equipo agrícola mecanizado. Casi la mitad de la población económicamente activa (PEA) obtiene importantes ingresos ajenos a la explotación agrícola de la UP; Grupo 2: unidades de 5 a 11 ha, donde los cultivos de maíz y trigo y ocasionalmente de cebada son los predominantes. Algunas explotaciones emplean equipo mecanizado. Alrededor de la tercera parte de la PEA trabaja fuera de la UP; Grupo 3: unidades de más de 11 ha, con dominio de cultivos comerciales (trigo y sobre todo cebada), pero también maíz para autoconsumo. Casi todas las explotaciones cuentan con equipo mecanizado. El 19 % de la PEA trabaja fuera de la UP. Se estudiaron los itinerarios técnicos del maíz, del trigo y de la cebada a través de seguimientos agronómicos: para un cultivo dado, las formas de labranza son independientes del grupo al que pertenece el agricultor. Son similares en suelo agrícola y en tepetate; los rendimientos del año 1991, por lo general superiores al promedio regional en el caso del trigo y de la cebada, fueron independientes del substrato (suelo agrícola o tepetate). Los del maíz, aunque ligeramente inferiores al promedio regional, fueron bajos en tepetate recientemente cultivado pero igualaron a los obtenidos en suelo agrícola, en el

tepetate cultivado desde más de tres años atrás. Los cálculos de los costos de producción muestran que: la rentabilidad de los cultivos de trigo y de cebada es generalmente positiva, siendo la del maíz a menudo negativa, particularmente en tepetate recién cultivado; los ingresos netos por UP siguen siendo bajos de modo que los ingresos exteriores son necesarios para asegurar un nivel de vida decente y en particular para costear los trabajos de rehabilitación agrícola del tepetate. Sin embargo, el aumento de la productividad, que permitiría una agricultura autosuficiente, es posible.

Palabras clave: Suelo volcánico endurecido, tepetate, producción agrícola, costos de producción.

RESUME

Sur les plateaux mexicains semi-arides, les zones de sols volcaniques érodés, indurés et stériles (tepetates) sont, du fait d'une forte pression humaine, réincorporées à l'agriculture. Elles constituent en moyenne 50 % de la surface agricole utile des unités de production (UP) étudiées en 1991. Ces UP se répartissent en trois groupes: Groupe 1: unités de moins de 5 ha, la culture est essentiellement le maïs (autoconsommation), sans matériel agricole mécanisé. Près de la moitié de la population économiquement active (PEA) assure un important revenu extérieur à l'exploitation; Groupe 2: unités de 5 à 11 ha, cultures de maïs et de blé avec éventuellement de l'orge. Le matériel agricole mécanisé est présent dans quelques UP. Environ 1/3 de la PEA travaille à l'extérieur; Groupe 3: unités de plus de 11 ha, cultures commerciales (blé et surtout orge) avec néanmoins du maïs pour la consommation familiale. Le matériel agricole mécanisé est présent dans la plupart des exploitations. Dix-neuf % de la PEA assure des revenus extérieurs à l'UP. Les itinéraires techniques du maïs, blé et orge ont été précisés au cours de suivis agronomiques: pour une culture donnée, les façons culturales sont indépendantes du groupe auquel

¹ Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

² ORSTOM, Quito, Ecuador.

appartient l'agriculteur. Elles sont très peu différentes sur sol agricole et sur tepetate; les rendements de l'année 1991, généralement supérieurs aux moyennes régionales pour le blé et l'orge, sont indépendants du substrat (sol agricole ou tepetate). Ceux du maïs, légèrement inférieurs à la moyenne régionale, sont faibles sur tepetate récemment mis en culture mais égalent ceux sur sol agricole pour les tepetates cultivés depuis plus de trois ans. Les calculs des coûts de production ont montré que: la rentabilité des cultures de blé et d'orge est généralement positive, celle du maïs est souvent négative en particulier sur les tepetates récemment mis en culture; les revenus nets par UP restent faibles de telle sorte que les revenus extérieurs sont nécessaires afin d'assurer un niveau de vie décent et en particulier pour pouvoir financer les travaux de réhabilitation agricole du tepetate. L'augmentation de la productivité, qui permettrait une agriculture auto-suffisante, est cependant possible.

Mots clés: Sol volcanique induré, tepetate, production agricole, coûts de production.

SUMMARY

In the Mexican semi-arid highlands the eroded, indurated and unproductive volcanic soil areas are, by the human pressure, re-incorporated to agricultural activities. They constitute in average 50 % of the agricultural production units (PU) useful surfaces studied in 1991. Those PU are divided in three groups: Group 1: units of less than 5 ha, mostly corn culture (for family use) without mechanized farming material. A considerable exploitation's outer income is assumed by almost half of the economic active population (EAP); Group 2: units of 5 to 11 ha, cultivation of corn, wheat and in some cases barley. In some PU mechanized farming material is used. About 1/3 of the EAP is working outside the exploitation; Group 3: units of more than 11 ha, with commercial cultures (wheat and mostly barley) but also corn for family needs. Mechanized material is largely used. Nineteen percent of the EAP assume external income. The agricultural technical process of wheat, corn and barley were specified in the course of agronomical followings: for each culture, cultural processes do not depend upon the groups defined above. On agricultural or tepetate soil they do not differ; 1991 yields, generally higher than regional averages for wheat and

barley, are independent of the substratum (agricultural or tepetate soil). Corn yields, lightly lower than regional averages, are low on recently cultivated tepetate soil, but equal to those obtained from agricultural soil on tepetate soil cultivated since at last three years. The production cost calculations indicate that profitability of wheat and barley cultures is generally positive, but corn's one is frequently negative, specially on recently cultivated tepetate soils; net income by PU are still low, so outer incomes are necessary to assure a decent life level, and especially for financing agricultural reclamation works of tepetate soils. But increase of productivity, which will allow self-supporting farming, is possible.

Index words: Indurated volcanic soil, tepetate, agricultural production, production costs.

INTRODUCCION

En ciertas regiones con alta densidad poblacional, la rehabilitación de las tierras erosionadas no es sólo una respuesta ecológica a un proceso de deterioro, sino que se convierte en una necesidad económica. Este es el caso de las regiones semi-áridas (pluviosidad de 600 a 800 mm y estación seca de seis meses de duración) del eje neovolcánico de México, donde la densidad de población ha aumentado recientemente y los suelos se han erosionado dejando aflorar capas endurecidas estériles, conocidas localmente con el nombre de 'tepetate'.

La población indígena practicaba el cultivo en tales formaciones de manera tradicional, después de romper el tepetate, utilizando picos. Alrededor de los años setentas, se emprendió la reforestación de las zonas erosionadas, en el marco de proyectos parapúblicos que disponían de importantes medios técnicos. Poco a poco, debido a la presión de los campesinos, se emplearon esos medios también para el cultivo de especies anuales, en esas formaciones endurecidas roturadas y emparejadas. A menudo se ha mencionado la rentabilidad de esas operaciones, pero rara vez se la ha estudiado.

Entre 1989 y 1992, en el marco de un proyecto financiado en parte por la CEE y realizado conjuntamente por el Colegio de Postgraduados y el ORSTOM, se abordó el tema de la productividad de los tepetates. En una estación experimental se determinó la productividad potencial, una vez

preparado adecuadamente el terreno mediante subsoleo para romper la capa endurecida, una pasada de discos para romper los bloques gruesos y obtener una textura fina, aporte de materia orgánica y de abono. Diferentes pruebas de cultivo (Márquez *et al.*, 1992) mostraron que, con fertilización apropiada, los rendimientos del trigo y la veza eran aceptables en el primer año de cultivo del tepetate, mientras que los del frijol y del haba eran mediocres y los del maíz muy bajos, para mejorar a partir del tercero. Estos alentadores resultados no podían utilizarse para un cálculo de la rentabilidad de las operaciones de valorización del tepetate. Para ello había que determinar la productividad en el medio campesino al igual que los precios de costo en los principales cultivos. Tal estudio se realizó en 1991 en dos ejidos (colectividades rurales de cultivadores mexicanos, producto de la reforma agraria) en el estado de Tlaxcala.

METODOLOGIA

Los dos ejidos escogidos, San Indelfonso Hueyotlipan y Tlalpan, pertenecen al municipio de Hueyotlipan, distrito de Calpulalpan, localizado al oeste del estado de Tlaxcala (Figura 1).

En ambos ejidos se seleccionaron, para su estudio detallado, 26 explotaciones agrícolas familiares, llamadas 'unidades de producción' (UP). En el ejido de San Indelfonso Hueyotlipan se escogieron 10 UP, numeradas de 1 a 10, incluyendo a agricultores quienes

cultivaban a la vez parcelas de suelo normal y parcelas con tepetate rehabilitado algunos años atrás. En el ejido de Tlalpan se escogieron al azar 16 UP, numeradas de 11 a 26.

Cada UP fue caracterizada desde el punto de vista tanto de su superficie como de la maquinaria disponible, del ganado y de los cultivos en ella practicados. Se precisaron las actividades externas al sector agrícola, pero complementarias, con el fin de establecer el funcionamiento del sistema económico familiar.

Los seguimientos agrícolas efectuados en las parcelas de maíz, de trigo y de cebada de cada una de las UP (es decir 75 parcelas en total, de las cuales 28 fueron de maíz, 34 de trigo y 13 de cebada) permitieron establecer el calendario agrícola empleado y medir de manera exacta los rendimientos de los cultivos. Para cada práctica de cultivo se determinaron los costos de producción.

El costo total de producción de cada cultivo fue el resultado de la suma de los costos de cada modo de cultivo, de la preparación del suelo hasta la cosecha. Cada costo parcial es igual a la suma de los costos de los insumos (tales como semillas, abonos, etc.), de la mano de obra (en 1991 se pagaba al obrero agrícola 20 000 pesos día⁻¹) y de la tracción (40 000 a 100 000 pesos día⁻¹, mecánica o animal). La productividad del trabajo (Pt), para cada cultivo y por hectárea, se calculó: $Pt = VAN/\text{no. de días de trabajadores}$, en donde:

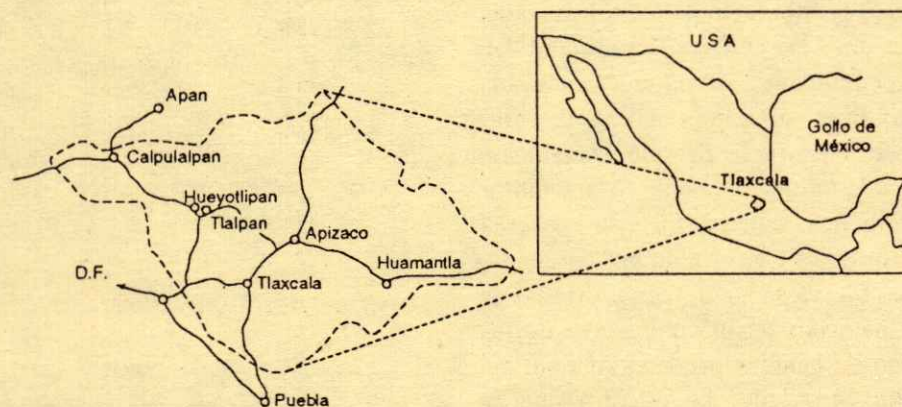


Figura 1. Mapa de localización.

VAN (valor agregado neto) = VAB (valor agregado bruto) - amortización

VAB = PB (producto bruto) - costos de producción

PB = Rendimiento * Precio de venta

Como en el presente caso no se tuvo en cuenta la amortización, VAN = VAB.

Los precios de venta de los diferentes productos se obtuvieron de los agricultores; en 1991 fueron de: maíz: 550 a 650 pesos kg^{-1} ; trigo: 530 a 680 pesos kg^{-1} ; cebada: 560 a 680 pesos kg^{-1} .

La relación valor de la producción/costo de producción permite una evaluación de la rentabilidad comparada de los diferentes cultivos en suelo agrícola y en tepetate.

Todos los precios están expresados en pesos antiguos y, en 1991, 1 US\$ equivalía a 3000 pesos.

El Medio Físico

El estado de Tlaxcala, de una superficie de 4017 km^2 , está situado a una altitud comprendida entre 2200 (valles) y 4461 metros (volcan La Malinche). El municipio de Hueyotlipán, al que pertenecen los dos ejidos estudiados, está localizado en una meseta semiseca, de pendientes generalmente inferiores a 15 por ciento, a una altitud promedio de 2600 metros.

El clima es tropical de altura (es decir templado con poca variación interanual de las temperaturas) con una estación lluviosa de mayo a octubre, un total de precipitaciones anuales cercano a 800 mm (en Tlalpan) y una temperatura anual promedio cercana a 13 °C. Durante la estación lluviosa, las temperaturas están comprendidas entre 14 y 16 °C. Sin embargo, esos promedios reflejan mal las limitaciones climáticas de la región en lo que respecta a los cultivos. La variabilidad interanual de las precipitaciones es, en efecto, elevada (Figura 2), lo que lleva al campesino a sembrar tardíamente a fin de asegurarse de que la estación lluviosa se haya instalado efectivamente, o a sembrar desde las primeras lluvias, aunque se deba volver a hacerlo si estas cesan. A esa incertidumbre en cuanto al inicio de la estación lluviosa, se agrega un riesgo de heladas tardías al momento de la emergencia de las plántulas y un riesgo de heladas precoces al final del ciclo vegetativo. Por otro lado, no es raro que se produzcan fuertes heladas a mediados del mes de septiembre y, según Velásquez (1986), la probabilidad de que se presente un periodo sin ese fenómeno durante 240 días es de apenas 0.5.

El año 1991, durante el cual se realizó el estudio, no fue marcado por la presencia de heladas tardías y las precipitaciones, aunque un tanto bajas con 652 mm, fueron suficientes a pesar de una disminución durante el mes de agosto (fenómeno frecuente).

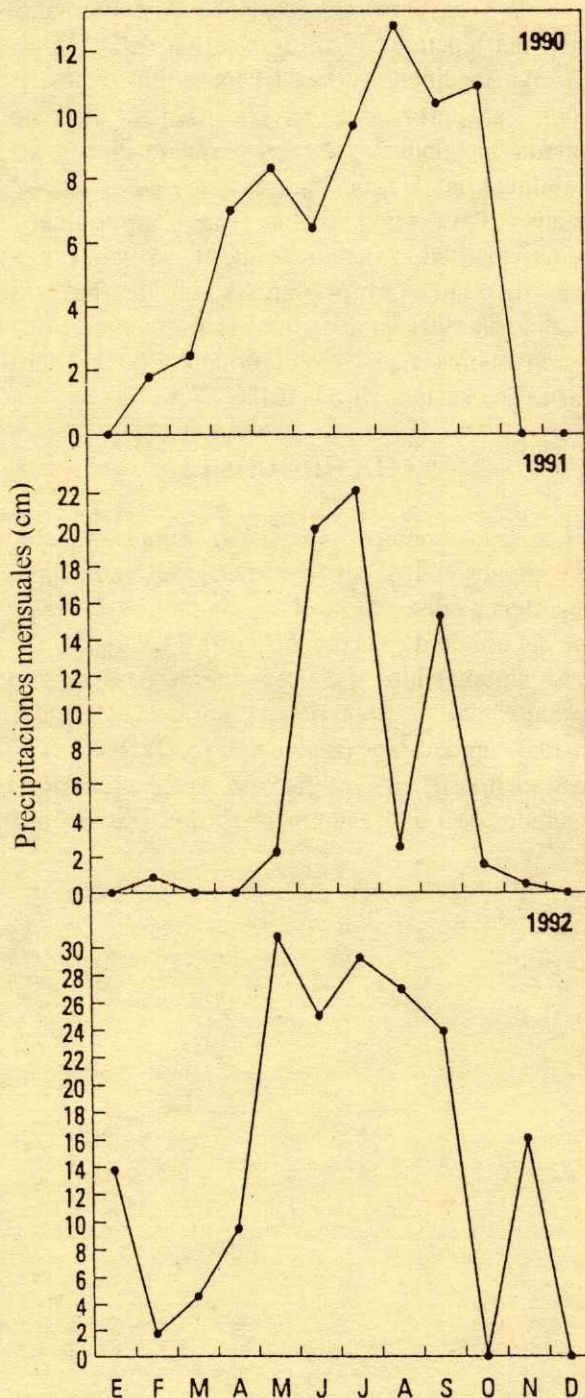


Figura 2. Distribución de las precipitaciones durante los años 1990 a 1992.

Los suelos de tepetate, producto de depósitos piroclásticos, presentan una sucesión característica de capas suaves y capas endurecidas (tepetates propiamente); que cubren 2175 km², es decir 54 % de la superficie del estado de Tlaxcala. En esas formaciones, los campesinos distinguen dos tipos de tepetate: los grises y los rojizos. Estos últimos forman parte de una serie de depósitos volcánicos piroclásticos (cenizas y tobas) antiguos, la misma que fue cubierta por otra, más reciente, que dio origen a los tepetates grises. Mientras mayor es la erosión, mayor es la cantidad de capas que se pierden. Ese proceso se detiene, en general, a nivel del horizonte endurecido que de esa forma queda en la superficie.

Estas formaciones endurecidas presentan ciertas características físicas y químicas poco propicias para los cultivos.

Si bien la porosidad, con valores superiores a 40 %, parece ser adecuada, la macroporosidad (poros > 10µ) es inferior a 10 e incluso a 5 % del volumen. De ahí que tienen un drenaje muy reducido y una deficiente aireación.

Los contenidos en carbono y nitrógeno son muy bajos (0.1 a 0.3 % de C y 0.02 a 0.04 % de N), no hay nitrógeno disponible para las plantas. Los contenidos en fósforo extraíble-Olsen son muy bajos (1 a 3 ppm), pero los de potasio intercambiable son lo suficientemente elevados (0.9 a 1.5 mé/100 g de suelo) como para que no haya necesidad de un aporte complementario de ese elemento mediante abono.

El problema de la erosión. En el estado de Tlaxcala, la erosión ha sido particularmente severa. En efecto, según los mapas edafológicos elaborados por Werner (1990), 598 km², es decir 27 % de las zonas que presentan ese tipo de suelo (tepetate), están actualmente erosionadas. El origen de la erosión es muy controvertido. Algunos autores como Williams (1972) y O'Hara *et al.* (1993) no vacilan en afirmar que data sobre todo de la época prehispánica. Otros, tales como González (1992) y Aliphath y Werner (1994), sin negar la existencia de erosión durante el periodo prehispánico, piensan que ésta fue importante principalmente después de la conquista y que se debió al sobrepastoreo con la introducción de ovejas por parte de los españoles y a la deforestación destinada a satisfacer las necesidades de madera al momento de la construcción de las ciudades. En el Ecuador, sin embargo, De Noni *et al.* (1992) piensan que la erosión, que dejó al desnudo la çangahua (equivalente local del tepetate), es más reciente y data

de la colonización de nuevas tierras debida a la explosión demográfica a partir de 1920. En México, sería posible igualmente que la reforma agraria (ley de 1915 modificada en 1937), que entregó tierras marginales y frágiles a los cultivos, haya provocado un recrudescimiento de la erosión.

En realidad, los autores contemplan periodos de erosión sucesivos a periodos de calma y relacionan densidad de población y erosión, pero también allí hay un desacuerdo. Así, Lauer, citado por Aliphath y Werner (1994), afirma que la erosión es máxima cuando la densidad poblacional es elevada y fuerte la presión sobre la tierra, mientras que para Williams (1972) la erosión coincidiría con los periodos de baja densidad de población, pero una fuerte presión sobre la tierra, debida al aumento de la población, forzaría a los campesinos a rehabilitar las tierras erosionadas. Para él, es lo que sucedería en México, en particular en la región de Tlaxcala en donde la rehabilitación de esas tierras es comun.

La rehabilitación de las zonas erosionadas. El método tradicional de cultivo del tepetate comprendía una roturación con pico seguida de un desmenuzamiento de los bloques mediante pasadas sucesivas de un madero tirado por un caballo (vigüeo). Desde hace aproximadamente 10 años se ha abandonado ese procedimiento para dar paso a métodos mecanizados. El tepetate es roturado mediante un potente bulldozer (D5, D7 ó D8) y un 'rooter', realizando un subsoleo a 80 cm de profundidad. Los bloques de tepetate que quedan en la superficie son rotos mediante diversos pasos de rastras de discos. La construcción de las terrazas, a fin de limitar la erosión, puede realizarse al mismo tiempo que el subsoleo, pero el campesino, para ahorrar, se contenta a menudo con el subsoleo y la construcción de bordes de tierra en contorno de su parcela.

En el estado de Tlaxcala, los tractores que realizaban el subsoleo eran propiedad de un organismo semi-público llamado MATET (Maquinaria para las Tierras del Estado de Tlaxcala) creado en 1983 para prestar ese tipo de servicios. La participación del agricultor en el precio de costo del trabajo no ha dejado de aumentar desde la creación de MATET y alcanza actualmente 90 % de dicho precio, lo que representa aproximadamente 5 millones de pesos por hectárea, incluida la nivelación (Cuadro 1).

Sin aplanado, el precio sigue siendo elevado. En efecto, una parcela de 2600 m² necesita 10 horas de

Cuadro 1. Precios de costo del subsolado y de la explanación, en 1991 (cifras proporcionadas por MATET).

| Tipo de tractor | Número de horas ha ⁻¹ , en condiciones | | Precio de costo en pesos | |
|-----------------|---|---------------|--------------------------|--------------------|
| | favorables | desfavorables | por hora | por hectárea |
| D5 | 45 | 60 | 95 000 | 4.5 a 5.7 millones |
| D7 | 30 | 35 | 220 000 | 6.6 a 7.7 millones |

D5 para ser únicamente subsolada, lo que representa un costo de 3.66 millones de pesos por hectárea (1220 US\$).

A pesar del elevado precio, los campesinos continúan incorporando a la producción las zonas crosionadas y endurecidas. Así, 14 % de las tierras de los agricultores del ejido de Tlalpan que estudiamos, son tepetates rehabilitados, y la mayoría lo han sido desde menos de seis años atrás.

La agricultura. Con el aporte de 68.3 % del PIB, la agricultura representaba la mayor actividad del estado de Tlaxcala. Los principales cultivos eran: el maíz, 51.5 % de la producción agrícola, cultivado en todo el estado; la cebada, 16.1 %, situada sobre todo en la región de Calpulalpan; la alfalfa, 10.8 %, cultivada esencialmente en las llanuras; la papa, 4.8 %, localizada en altura; el trigo, 4.5 %, cultivado entre Apan, Calpulalpan y Huamantla; el haba, 3 %, y el frijol, 2.4 %.

En el distrito de Calpulalpan, los principales cultivos eran el maíz, la cebada y el trigo (Figura 3).

El maíz, alimento básico de la familia, está destinado al autoconsumo. El trigo y la cebada son cultivos comerciales y el agricultor conserva sólo de 10 a 20 % de la producción para la alimentación del ganado y la siembra del año siguiente. Los rendimientos promedio, durante el período de 1985 a 1988, alcanzaron 1.6 t ha⁻¹ en el caso del maíz y el trigo y 1.65 t ha⁻¹ en el de la cebada.

Los cultivos secundarios eran el haba y el frijol, a menudo sembrados en superficies reducidas en asociación con el maíz y destinados al autoconsumo; la avena es utilizada para la alimentación del ganado.

Las superficies cultivadas casi se triplicaron entre 1940 y 1992. Las ocupadas por el trigo, mínimas hasta 1975, aumentaron a partir de esa fecha en detrimento de las cultivadas con cebada.

La superficie total agrícola, en el municipio de Hueyotlipan, es de 13 230 ha de las cuales la mitad (6740 ha) son tierras ejidales. El ejido de San Indelfonso Hueyotlipan fue creado en 1921, el de

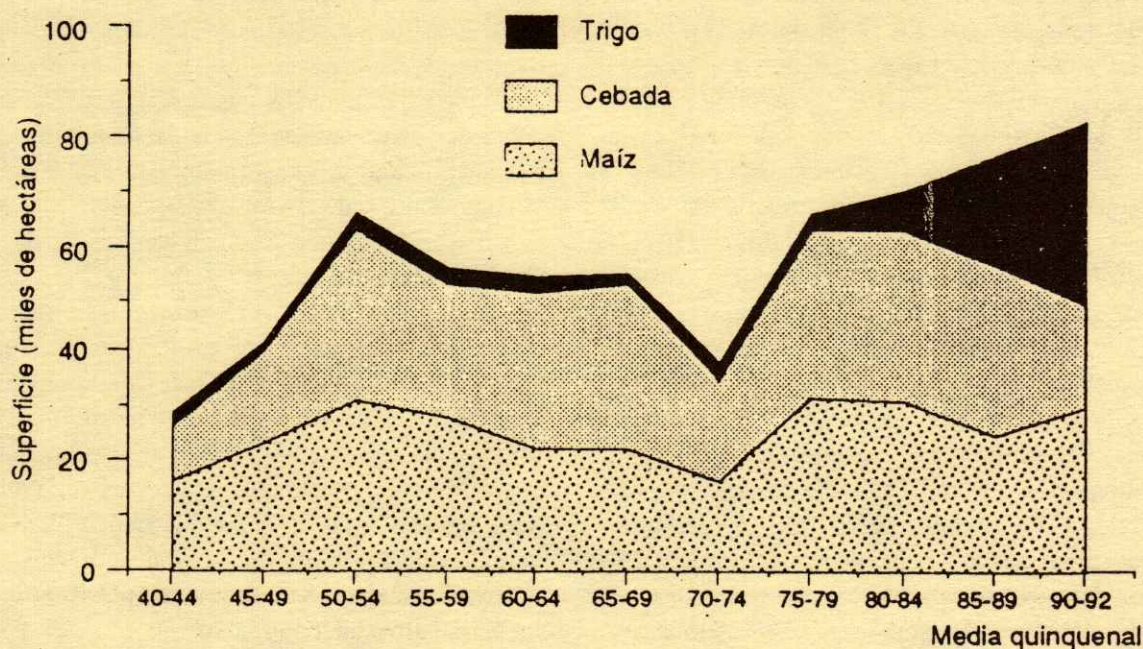


Figura 3. Evolución de la superficie de los cultivos en el distrito de Calpulalpan, de 1940 a 1992 (Mercado, 1992).

Tlalpan en 1930; se ampliaron en 1963 y 1937, respectivamente. La dotación por familia inicial era de 8 a 10 ha. Actualmente, ciertos ejidatarios no cultivan sus tierras sino que las arriendan; es el caso por ejemplo de 50 % de los propietarios en el ejido de Tlalpan. El precio de alquiler de las tierras está comprendido entre 300 000 y 400 000 pesos $ha^{-1} año^{-1}$, es decir el equivalente de un mes de salario mínimo (20 000 pesos $día^{-1}$). No obstante, los campesinos que arriendan una superficie importante, consiguen pagar un alquiler menor. Por ello, no es raro ver a un campesino que arrienda la totalidad de sus tierras ejidales (8 ha) por un precio de 150 000 pesos ha^{-1} .

Las Unidades de Producción

Caracterización

Superficies. Las superficies de las UP (Figura 4) estaban comprendidas entre 2 y 16 ha, pero una de ellas (no. 16) tenía 28 ha y otra (no. 10), escogida justamente por su gran tamaño, alcanzaba 300 ha. Cerca de las tres cuartas partes de las UP tenían una superficie que se aleja notablemente de las 8 a 10 ha que representaba la dotación ejidal original de cada familia.

Las UP de pequeño tamaño son el resultado ya sea de la división o del alquiler de una parte de las tierras, mientras que las de gran tamaño, superiores a 10 ha,

han aumentado su superficie alquilando tierras o comprándolas. Es así como la UP no. 16 tiene 8 ha de tierras ejidales y 20 ha de tierras alquiladas, y la UP no. 10 representaba un caso excepcional con 24 ha de tierras ejidales, 100 ha de tierras de propiedad privada y 176 ha de tierras alquiladas.

Las UP, con excepción de la no. 10, comprendían una a ocho parcelas, siendo cada una de ellas definida como un lote de tierra homogéneo, con suelo normal o tepetate rehabilitado, de una sola pieza, en el que se practicaba un solo cultivo o una asociación de cultivos. El tamaño de las parcelas estaba comprendido entre 0.2 y 10 ha (mediana = 2 ha). En general, el agricultor prefería sembrar maíz en parcelas de pequeño tamaño y conservar las más grandes, en las que la mecanización es más fácil, para el trigo y la cebada. **Naturaleza de las tierras.** Descartando las 10 UP del ejido de San Indelfonso Hueyotlipan cuyo criterio de selección fue la existencia de parcelas con tepetate, y tomando en cuenta sólo las 16 UP de Tlalpan escogidas al azar, se constató que los tepetates rehabilitados entran dentro de la composición de la tierra de 50 % de las UP (Figura 5a). Por otro lado, examinando en las dos comunidades la composición de las tierras de las UP en donde existe tepetate (Figura 5b), no parece haber relación entre el tamaño de la UP y la existencia de tepetate (al menos en el caso de las UP de superficie inferior o igual a 16 ha).

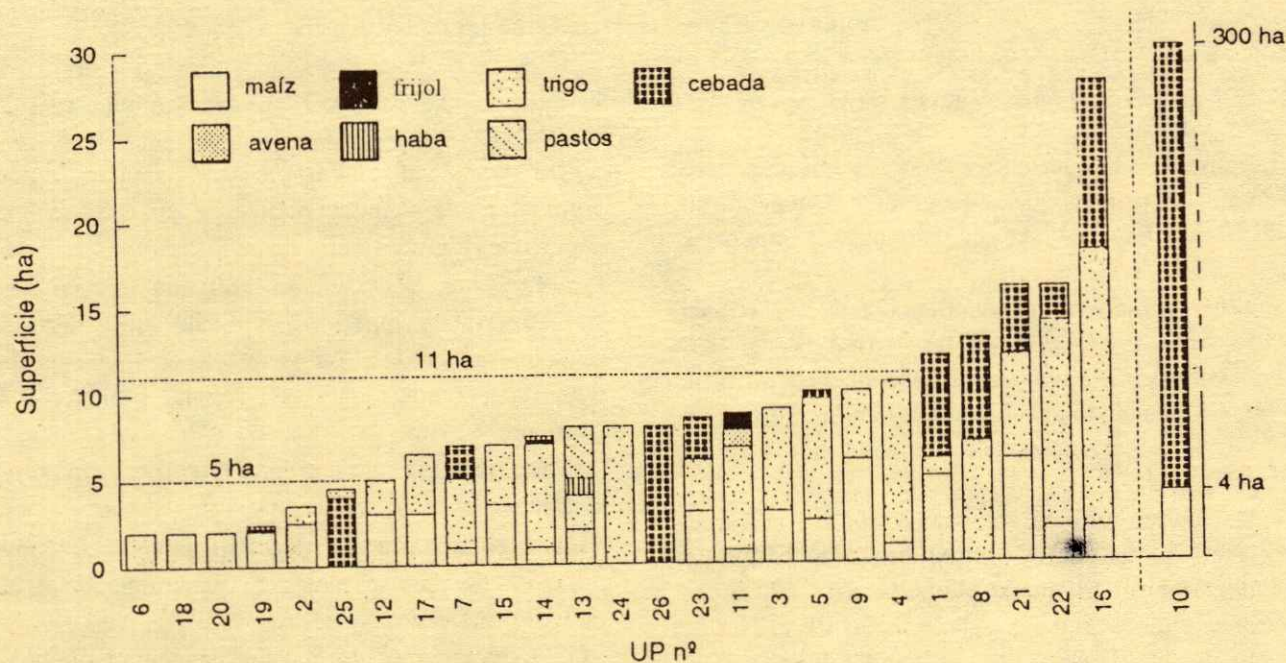


Figura 4. Superficies totales y de los cultivos en las unidades de producción estudiadas.

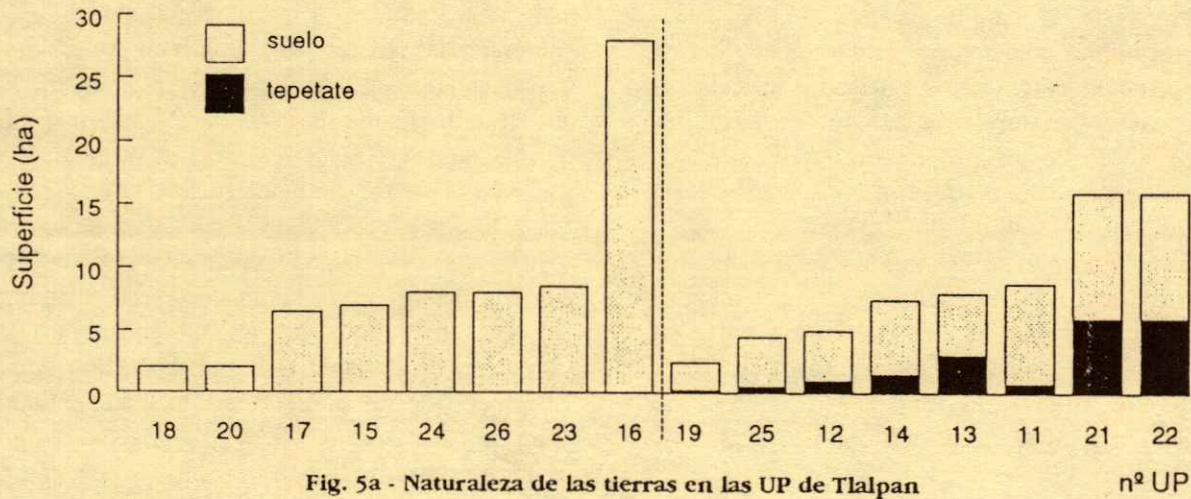


Fig. 5a - Naturaleza de las tierras en las UP de Tlalpan

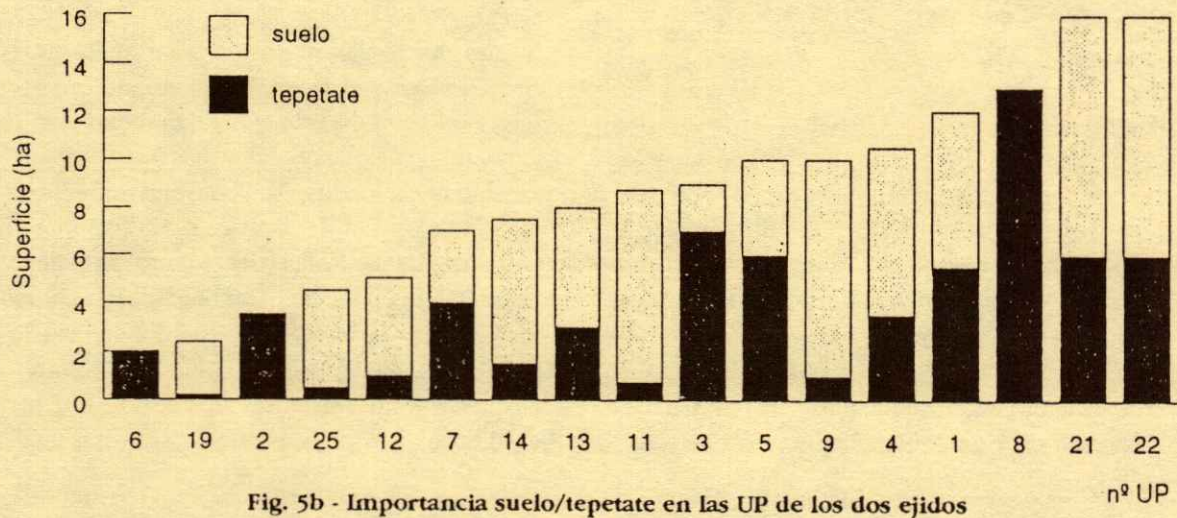


Fig. 5b - Importancia suelo/tepetate en las UP de los dos ejidos

Figura 5. Naturaleza de las tierras en las unidades de producción de Tlalpan y de San Indelfonso Hueyotlpan.

contrariamente a lo que fuera observado por Zahonero (1991), quién afirmara que la proporción de tepetate en la UP aumentaba a medida que disminuía la superficie de la misma.

Los cultivos practicados: clasificación de las UP en tres grupos. La totalidad de las tierras de las UP estaban cultivadas, salvo en el caso de una de ellas (UP no. 13 de una superficie de 8 ha) en la que casi un tercio de la superficie estaba ocupada por pastizal natural extensivo.

Los principales cultivos realizados en las UP eran representativos del contexto agrícola regional (distrito de Calpulalpan). El maíz ocupaba 26.2% de la superficie total, y el trigo y la cebada 49 y 21.3% respectivamente (Cuadro 2). El frijol, el haba y la avena no ocupaban sino superficies reducidas.

Se observó, sin embargo, una relación entre los cultivos predominantes realizados en cada UP y su superficie (Figura 4).

Generalmente, la cebada se cultivaba sólo en las UP con superficies superiores a 11 ha, mientras que el maíz lo era en todas, con excepción de 4, en superficies más o menos constantes, comprendidas entre 1 y 6 ha (mediana = 2 ha).

Así, fue posible clasificar las UP en tres grupos, según su tamaño:

- G1: explotaciones de pequeño tamaño (menos de 5 ha) en las que el maíz era generalmente el único cultivo practicado;
- G2: explotaciones de 5 a 11 ha con predominio de maíz y trigo;

Cuadro 2. Superficies ocupadas por los cultivos, en 1991.

| Cultivo | Maíz | Trigo | Cebada | Frijol | Haba | Avena |
|-----------------------|-------|-------|--------|--------|------|-------|
| Superficie (ha) | 55.25 | 103.5 | 45 | 1.45 | 1.45 | 1.5 |
| % de superficie total | 26.2 | 49 | 21.3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |

- G3: explotaciones de más de 11 ha en las que se cultivaba la cebada y el trigo para la venta y el maíz para subsistencia.

Capital de explotación.

Maquinaria agrícola. La existencia de maquinaria agrícola era, de manera general, poco frecuente entre los campesinos (Cuadro 3). Únicamente 50 % de las UP estudiadas poseían equipos. La naturaleza de la maquinaria agrícola está estrechamente ligada al tamaño de la explotación: así el arado común era característico de las UP de pequeño tamaño (grupos 1 y 2), el tractor, existente sólo en 4 UP del grupo 2, era más común en las del grupo 3, de las cuales las más grandes poseían también, una y hasta dos segadoras (Cuadro 3).

Animales. Se observó aquí también una clasificación bastante clara de las UP según los animales (Figura 6). La cantidad de explotaciones que poseían animales era mayor en las de pequeño tamaño (G1) que en las de gran tamaño (G3).

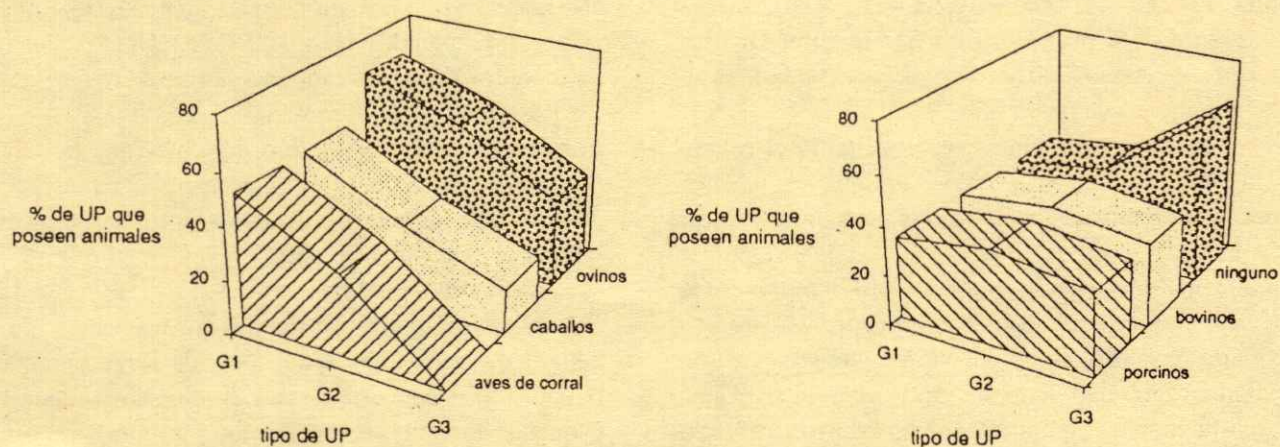
Esta tendencia es válida tanto para los equinos como para los ovinos y las aves de corral: la mitad de las UP del G1 poseían caballos frente a sólo 17 % de las de G3. Esta evolución de G1 a G3 en cuanto a los caballos era, evidentemente, inversamente proporcional a la correspondiente a los tractores; de la misma manera, la necesidad de las pequeñas explotaciones de obtener un

ingreso complementario explica el hecho de que la proporción de UP que poseen aves de corral y ovinos sea mayor en las UP de pequeño tamaño que en las grandes.

En cambio, en lo que respecta a los bovinos y porcinos, las UP no mostraron diferencia significativa ni desde el punto de vista de la proporción de UP que poseían animales (aproximadamente un tercio de cada grupo contaba con bovinos y porcinos), ni desde el punto de vista del número de animales por UP.

La mano de obra. La población total de cada UP era muy variable puesto que estaba comprendida por dos y 17 personas (con una mediana de 7 y un promedio de 7.46). La diferencia, muy reducida, entre los diversos grupos de UP no fue significativa. La mano de obra o población económicamente activa (PEA), es decir por definición de edad mayor que 14 años, varió, en función de las UP, entre dos y nueve personas (mediana = 3.5 y promedio = 3.92).

Sólo 42 % de la PEA trabajaba tiempo completo en la agricultura y 26 % tiempo parcial. El 32 % restante trabajaba permanentemente fuera de la UP y corresponde a 44.4 % de la PEA de las explotaciones inferiores a 5 ha (G1), a 31.5 % de la PEA de las explotaciones de 5 a 11 ha (G2) y a 19 % de la PEA del G3.


Figura 6. Importancia relativa de los animales en los tres grupos de unidades de producción.

Cuadro 3. Instrumentos agrícolas en las diferentes unidades de producción (UP).

| Superficie | Unidad de producción | Superficie | Arado | Camioneta | Tractor | Discos | Sembradora | Desgranadora | Segadora | 'Rooter' |
|------------|----------------------|------------|-------|-----------|---------|--------|------------|--------------|----------|----------|
| ha | | ha | | | | | | | | |
| | 18 | 2 | | 1 | | | | | | |
| < 5 | 20 | 2 | 1 | | | | | | | |
| (6 UP) | 2 | 3.5 | 1 | | | | | | | |
| | 25 | 4.5 | 1 | | | | | | | |
| | 7 | 7 | 1 | | | | | | | |
| | 13 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| 5-11 | 11 | 8.75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| (14 UP) | 3 | 9 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | |
| | 5 | 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| | 21 | 16 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | |
| > 11 | 22 | 16 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| (6 UP) | 16 | 28 | | 1 | 2 | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| | 10 | 300 | | 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 |

Cuadro 4. Ingresos generados por las diferentes actividades en pesos viejos.

| Actividad | Albañil | Obrero | Costurera | Comerciante | | Músico | Maquila durante tres meses |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|-----------|----------------------------|
| | | | | permanente | tiempo parcial | | |
| Ingresos semanales (miles) | 70 a 150 med. = 120 | 90 a 150 med. = 140 | 60 a 150 med. = 150 | 80 a 100 med. = 100 | 250 a 300 | 187 a 200 | |
| Ingresos anuales (millones) | 6.24 | 7.28 | 7.8 | 5.2 | 14.3 | 10.4 | 19.2 |

Maquila: prestación de servicios para el trabajo agrícola.

La naturaleza de las ocupaciones, el lugar en que se ejercen, al igual que los ingresos que generan (Cuadro 4) son muy variados.

Los trabajos de costura, esencialmente femeninos, así como el pequeño comercio de tienda, se practican en la comuna. En cambio, obreros, albañiles y carpinteros de obra ejercen su profesión sobre todo en el Distrito Federal. Los ingresos varían, según la actividad, entre 5.2 y 7.8 millones de pesos año⁻¹.

Los comerciantes ambulantes recorren tanto el estado de Tlaxcala como los estados vecinos; son ellos quienes comercializan las semillas, los fertilizantes, etc. Aunque ejercen su ocupación a tiempo parcial generalmente, sus ingresos anuales (14.3 millones de pesos) son mayores que los de las otras profesiones.

Una cierta proporción de la PEA ejercía a tiempo parcial una actividad llamada de tiempo libre. Unos cumplen la función (remunerada) de árbitro deportivo el domingo, otros forman parte de grupos musicales y animan las fiestas en los pueblos del estado de

Tlaxcala o incluso de los estados vecinos. Los ingresos anuales de estos últimos son de 10.4 millones de pesos. El personal de servicio (empleada doméstica, mayordomo) ejercen su ocupación casi siempre en el extranjero. Así, 21 % de la PEA de las UP encuestadas, que trabaja permanentemente fuera de las UP, son empleados en los Estados Unidos y envían ocasionalmente a sus familias sumas de dinero que no fue posible conocer durante las encuestas.

Los que disponen de equipo agrícola (que pertenecen por lo tanto al grupo 3) y pueden ofrecer prestaciones de servicios durante los trabajos agrícolas (cosechas, labranza) son quienes obtienen los mayores ingresos (19.2 millones de pesos).

Por UP, los ingresos anuales provenientes de las actividades exteriores están lejos de ser despreciables (Cuadro 5), siendo superiores en el caso de las UP de pequeño tamaño (G1) debido a una importante proporción de miembros que trabajan fuera de la UP. Pese a ello, los mayores ingresos son los obtenidos por

Cuadro 5. Ingresos anuales exteriores a la actividad agrícola
(en millones de pesos).

| Grupo | Mediana | Extremos |
|--------|---------|-------------|
| G1 | 14.85 | 3.60 - 29.7 |
| G2 | 7.10 | 2.16 - 15.6 |
| G3 (1) | 9.10 | 3.90 - 13.0 |
| G3 (2) | 28.3 | |

(1) Sin maquila. (2) Con maquila.

los miembros de las UP de gran tamaño, que realizan prestaciones de servicios.

La producción agrícola

La rotación de cultivos. La rotación bianual en una misma parcela de maíz y luego de trigo o cebada es frecuente. Sin embargo, no es sistemática y la practican solamente alrededor de la cuarta parte de los agricultores que poseen explotaciones de tamaño mediano. Aquellos que poseen menos de 5 ha tienden a cultivar maíz y luego maíz nuevamente y quienes tienen grandes explotaciones cultivan maíz de un año a otro en las mismas parcelas, practicando el monocultivo de trigo o cebada en las otras.

La sucesión de cultivos en los tepetates, durante los primeros años de su cultivo, es en cambio bien definida. En efecto, los agricultores, sabiendo que los rendimientos del maíz son bajos en los tepetates recientemente roturados, tienen la costumbre de sembrar trigo y cebada el primer año, reservando el maíz para los años subsiguientes, o asociándolo al frijol durante el primer año (Cuadro 6).

Las prácticas de cultivo.

El cultivo de maíz. Los seguimientos agronómicos realizados en el cultivo de maíz abarcaron 28 parcelas pertenecientes a 20 UP repartidas entre los tres grupos (Cuadro 7). Como las parcelas podían ser de suelo normal o de tepetate rehabilitado, fue posible comparar los modos de cultivo entre cada tipo de suelo, así como entre los grupos.

El seguimiento de esas parcelas permitió establecer el calendario agrícola del maíz (Figura 7).

La labranza comienza en noviembre y termina a más tardar durante los primeros días del mes de mayo. Se realiza utilizando un arado de discos en la mayor parte de los casos o un arado común en el caso de ciertos agricultores de los más pequeños (G1).

Es seguida generalmente de una - raras veces dos - rastra de discos. La segunda es necesaria en tepetate recientemente reincorporado a la agricultura, a fin de romper los bloques, pero cuando el agricultor tiene

Cuadro 6. Cultivos practicados en tepetates después de su roturación, en % de la superficie.

| Año | Trigo | Cebada | Maíz solo | Maíz asociado a | |
|---------|-------|--------|-----------|-----------------|------|
| | | | | frijol | haba |
| 1er año | 60 | 20 | - | 20 | - |
| 2o año | 35 | - | 35 | 15 | 15 |
| 3er año | 20 | - | 35 | 45 | - |

Cuadro 7. Repartición de las parcelas cultivadas con maíz, según el grupo y el substrato.

| Grupo | Cantidad de UP | Substrato | |
|-------|----------------|-----------|----------|
| | | suelo | tepetate |
| G1 | 5 | 5 | 2 |
| G2 | 11 | 7 | 6 |
| G3 | 4 | 5 | 3 |

pocos recursos, es reemplazada a menudo por un modo de cultivo llamado 'vigueo' que consiste en romper los bloques mediante una viga tirada por una yunta.

La aplicación de estiércol es poco frecuente. En efecto, la ganadería es poco común en la zona, el estiércol es escaso y costoso (150 000 pesos la tonelada en 1991). En ese año, el abono orgánico no fue aplicado sino en tres parcelas de maíz.

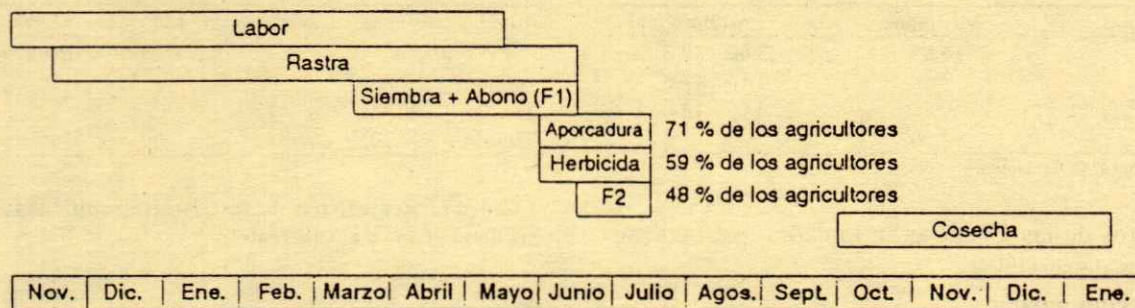
La siembra, con sembradora o manual, se practica en la depresión de surcos realizados ya sea con arado común o más frecuentemente con tractor, siendo el precio de costo el mismo en los dos casos (60 000 pesos ha⁻¹).

En suelo normal, la siembra se efectúa generalmente de 15 a 30 días antes (15 de marzo al 15 de junio) que en el tepetate (15 de abril a fines de junio). En efecto, el suelo normal retiene mejor el agua que el tepetate y puede ser por lo tanto sembrado antes, aprovechando las primeras lluvias. En cambio, la mayoría de campesinos esperan que la estación lluviosa esté bien instalada antes de sembrar el tepetate.

La cantidad de semilla que se emplea es cercana a los 20 kg ha⁻¹. Las variedades de maíz empleadas son generalmente 'criollas', provenientes de las cosechas del año anterior por selección de las mejores mazorcas, de las que el campesino conserva la parte central. Raras veces se cultivan algunos híbridos, de rendimiento apenas un poco más elevado, pero de menor resistencia y sabor. En efecto, no existe una variedad mejorada de alto rendimiento para el cultivo de maíz de temporal en esta región.

La aporcadura del maíz se practica normalmente en dos etapas. El primer trabajo (llamado 'escarda' o

En suelo normal



En tepetate

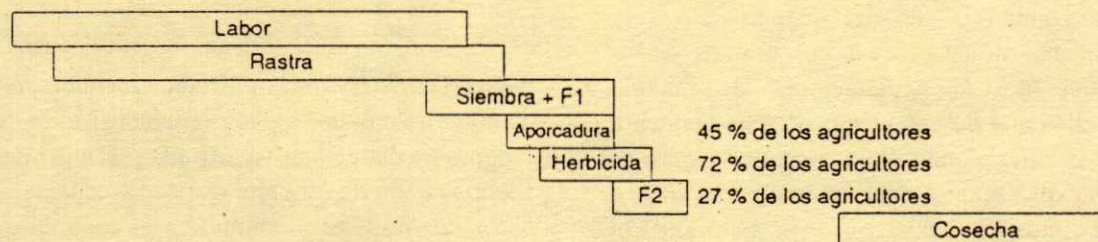


Figura 7. Calendario agrícola del maíz en suelo normal y en tepetate.

primera labor) tiene lugar cuando la plántula ha alcanzado 10 a 20 cm, es decir aproximadamente dos meses después de la siembra. Se realiza entonces, como esta última, un tanto más temprano en tepetate que en suelo normal. Para esta labor se recurre a mano de obra sobre todo familiar, a veces asalariada y se efectúa con azadón o con arado común. En 1991 fue realizado en suelo normal, apenas por un poco menos de la cuarta parte de los agricultores, y en tepetate apenas por 45 %. El segundo trabajo (llamado segunda labor), debido a malas condiciones climáticas de ese año y a la falta de tiempo de la mayoría de campesinos, fue realizado sólo por un agricultor.

La fertilización se realiza al mismo tiempo que la siembra. La efectúan todos los agricultores y consiste en la aplicación de nitrógeno, casi siempre de fósforo y nunca de potasio. Una segunda fertilización, únicamente con nitrógeno, es menos generalizada que la primera y, en 1991, sólo fue realizada por algo más de la mitad de los agricultores, entre ellos todos los del tercer grupo (pero el agricultor no. 1, perteneciente a ese grupo, aplicó nitrógeno en segunda fertilización, solamente en una de sus tres parcelas de maíz).

Los productores compraron la urea (46 unidades N/100 kg), el sulfato de amonio (20.5

unidades N/100 kg), un abono compuesto (18-46-0) y el superfosfato de calcio (46 unidades P 100/kg), de la entonces productora estatal FERTIMEX.

Las dosis aplicadas (Figura 8) eran muy variables en función de los agricultores (23 a 156 kg ha⁻¹ de N y 0 a 69 kg de P₂O₅ ha⁻¹). No se pudo establecer correlación alguna según los grupos a los que pertenecen los agricultores ni según el substrato (suelo o tepetate). Aunque en 1991, la mayor dosis de nitrógeno (156 kg ha⁻¹) fue aplicada a un maíz sembrado en un tepetate que acababa de ser roturado, generalmente el agricultor no aplica dosis más elevadas de abonos en los tepetates que en el suelo pese a su pobreza química. La aplicación de herbicida fue frecuente. El producto más utilizado era el GESAPRIN, con una dosis de 1 a 2 litros por hectárea, aplicada unos quince días después de la emergencia de las plántulas de maíz. No se pudo establecer relación alguna entre el grupo al que pertenece el campesino y la utilización de herbicidas: en cambio, la aplicación en maíz cultivado en tepetate pareció ser más frecuente que en el cultivado en suelo normal.

La cosecha comenzó en octubre, cuando el maíz (a menudo) no había concluido aún su maduración. Más que el inicio de la estación seca, es el temor de las primeras heladas lo que incita al campesino a cortar su

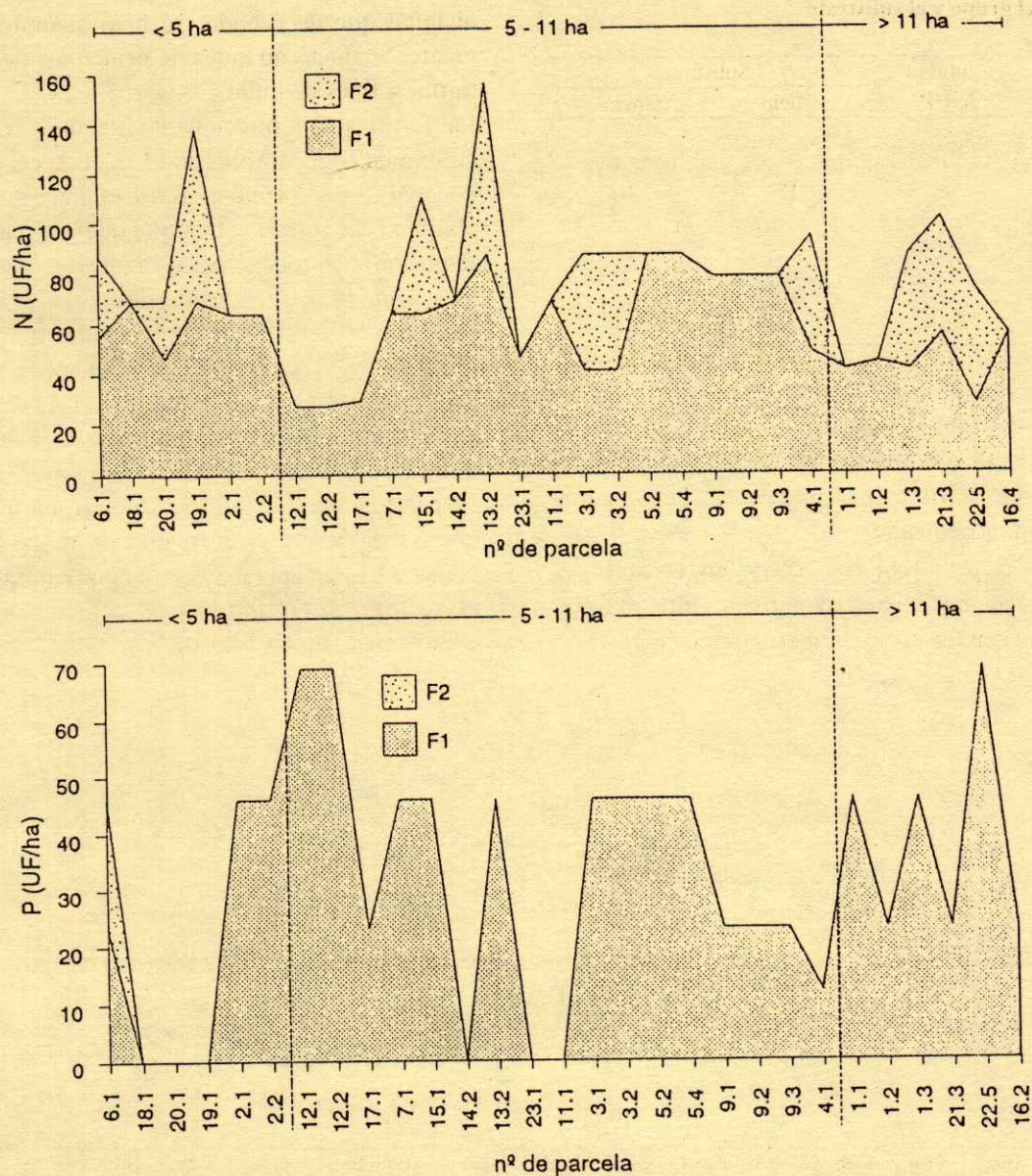


Figura 8. Dosis de abonos aplicadas al cultivo de maíz por los diferentes agricultores.

maíz y a "amogotarlo" (formar grandes pilas o gavillas de plantas) en donde, protegido de las heladas, concluye su maduración. La cosecha de mazorcas se realizó hasta el 15 de enero aproximadamente.

El cultivo de trigo y cebada. Los seguimientos agronómicos del trigo fueron realizados en 34 parcelas pertenecientes a 19 UP, y los de la cebada en 13 parcelas pertenecientes a 11 UP (Cuadro 8).

Estos dos cultivos se practican indistintamente en suelo o en tepetate. Sin embargo, la cebada, al ser cultivada por campesinos que disponen de cantidades suficientes

de tierra, es sembrada preferentemente en suelo agrícola. Los calendarios agrícolas son bastante similares en ambos casos (Figura 9) e idénticos en suelo y tepetate.

La labranza se inicia en noviembre y son seguidas generalmente de un rastreo con discos. Este trabajo de preparación del terreno concluye, según las explotaciones, en abril-mayo. Cuando se efectúa un segundo paso de rastra, los trabajos anteriores concluyen entre diciembre y febrero. Para ciertos agricultores, este segundo rastreo es primordial y no

Cuadro 8. Repartición de las parcelas cultivadas con trigo y cebada, según el grupo y el sustrato.

| Grupo | Cantidad de UP | Sustrato | |
|--------|----------------|----------|----------|
| | | suelo | tepetate |
| Trigo | | | |
| G1 | 1 | - | 1 |
| G2 | 13 | 15 | 10 |
| G3 | 5 | 5 | 3 |
| Cebada | | | |
| G1 | 1 | 1 | 1 |
| G2 | 4 | 3 | 1 |
| G3 | 6 | 5 | 2 |

podría suprimirse; fue efectuado por 20 a 37 % de los campesinos (según se tratara de cultivo de trigo o cebada, en suelo normal o en tepetate). Todos estos trabajos fueron mecanizados.

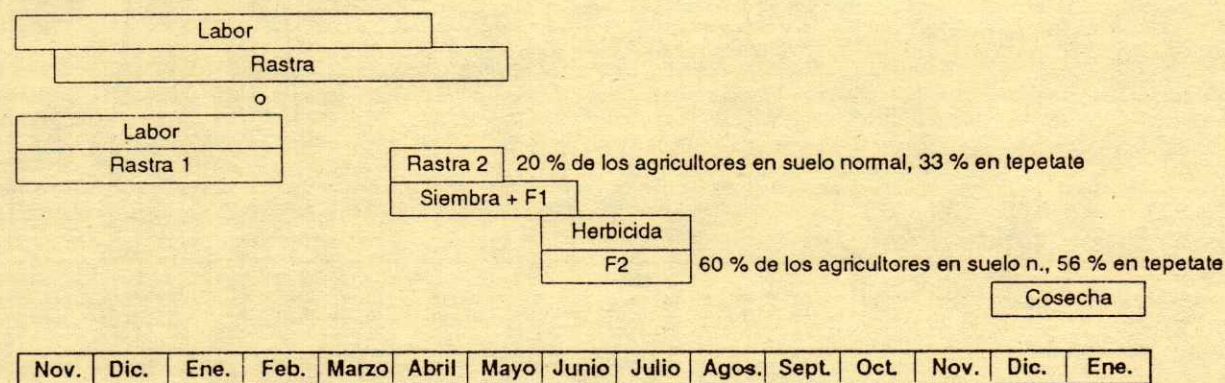
La aplicación de estiércol fue, como en el caso del maíz, poco frecuente. Una sola parcela cultivada con trigo y una con cebada recibieron ese abono en 1991.

La siembra, a razón de 150 kg ha⁻¹ de semilla de trigo al igual que de cebada, se hizo siempre mecanizada. Se inició no antes de principios de abril y a más tardar a fines de junio.

La fertilización fraccionada fue más frecuente en el cultivo de trigo, y sobre todo en el de cebada, que en el de maíz. La primera fertilización se efectuó con máquina al mismo tiempo que la siembra y fue realizada por todos los agricultores. La segunda, un mes a un mes y medio después, fue practicada en el trigo por 50 y 60 % de los agricultores y en la cebada por 75 y 87 %, en tepetate y en suelo, respectivamente. Todos los del grupo 3 la realizaron. Los abonos fueron aplicados manualmente, pudiendo la mano de obra ser familiar o asalariada.

Los fertilizantes empleados fueron los mismos que en el caso del maíz: el nitrógeno se aplicó esencialmente como urea, excepcionalmente como sulfato de amonio, el fósforo como fertilizante compuesto (18-46-0) o como super triple (0-46-0).

Trigo



Cebada

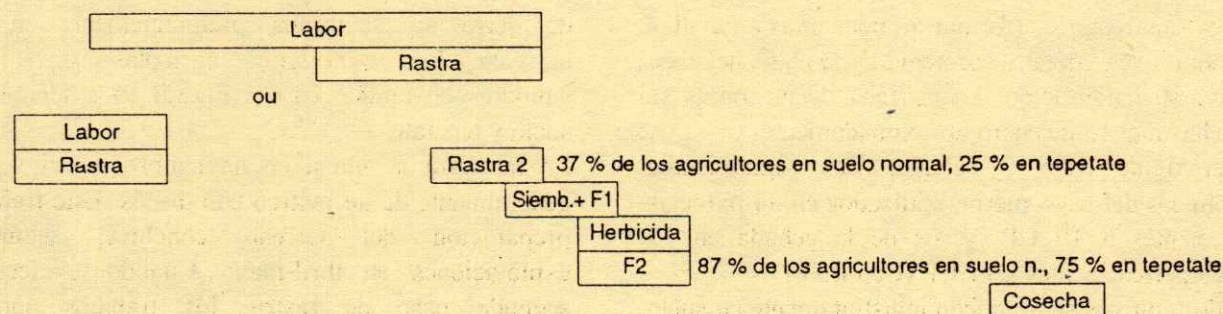


Figura 9. Calendarios agrícolas del trigo y de la cebada.

Las dosis aplicadas fueron muy variables (Figura 10), sobre todo en el caso del trigo para el cual las cantidades de nitrógeno variaron, según los productores, de 10 a 160 kg ha⁻¹, y las de fósforo de 0 a 110 kg ha⁻¹ de P₂O₅. No es raro que el campesino aplique en una segunda fertilización el resto de los productos utilizados en la primera. De allí aportes innecesarios de fósforo.

El empleo de herbicidas fue generalizado un mes después de la siembra; la aplicación de GESAPRIN, pero sobre todo de ESTERON 47, a razón de 1 a 2 L ha⁻¹ de producto diluido en 200 L de agua, se realizó mediante un pulverizador cargado a la espalda por un trabajador.

La aparición de roya en la cebada, poco importante en 1991, obligó sólo a dos agricultores a tratar sus cereales.

Los rendimientos. Los rendimientos registrados fueron extremadamente variables, en particular los del maíz, comprendidos entre 0.5 y 2 t ha⁻¹. En el caso del trigo, fluctuaron entre 1.2 y 3.7 t ha⁻¹ y en el de la cebada de 1.5 a 3.6 t ha⁻¹ (Cuadro 9). En estos dos últimos cultivos, los rendimientos fueron comparables, e incluso un tanto superiores a los promedios del distrito de Calpulalpan, para estos cultivos.

Se buscó la razón de tales fluctuaciones y se correlacionaron los rendimientos con diferentes factores capaces de influir en ellos.

Para un cultivo dado, no pareció haber correlación entre los rendimientos y el grupo al que pertenece el agricultor.

En cambio, si bien la naturaleza del sustrato (suelo o tepetate) no influyó en los rendimientos del trigo y la cebada, no fue ese el caso en el maíz, en donde los rendimientos fueron bajos en tepetate recientemente cultivado (lo que fue confirmado durante pruebas experimentales), medianos en tepetates cultivados desde tres a seis años atrás e iguales a los del suelo normal en los tepetates cultivados desde mucho tiempo atrás. Sin embargo, estos resultados deben considerarse con reserva, dado el bajo número de muestras y la gran variabilidad en cada caso considerado.

Las correlaciones entre aportes de fertilizantes y rendimientos no pudieron establecerse en tanto no se habían determinado los contenidos de nitrógeno y fósforo de todas las parcelas de los agricultores. Sin embargo, los dos bajos rendimientos, obtenidos en el maíz cultivado en suelo (500 y 900 kg ha⁻¹), pueden

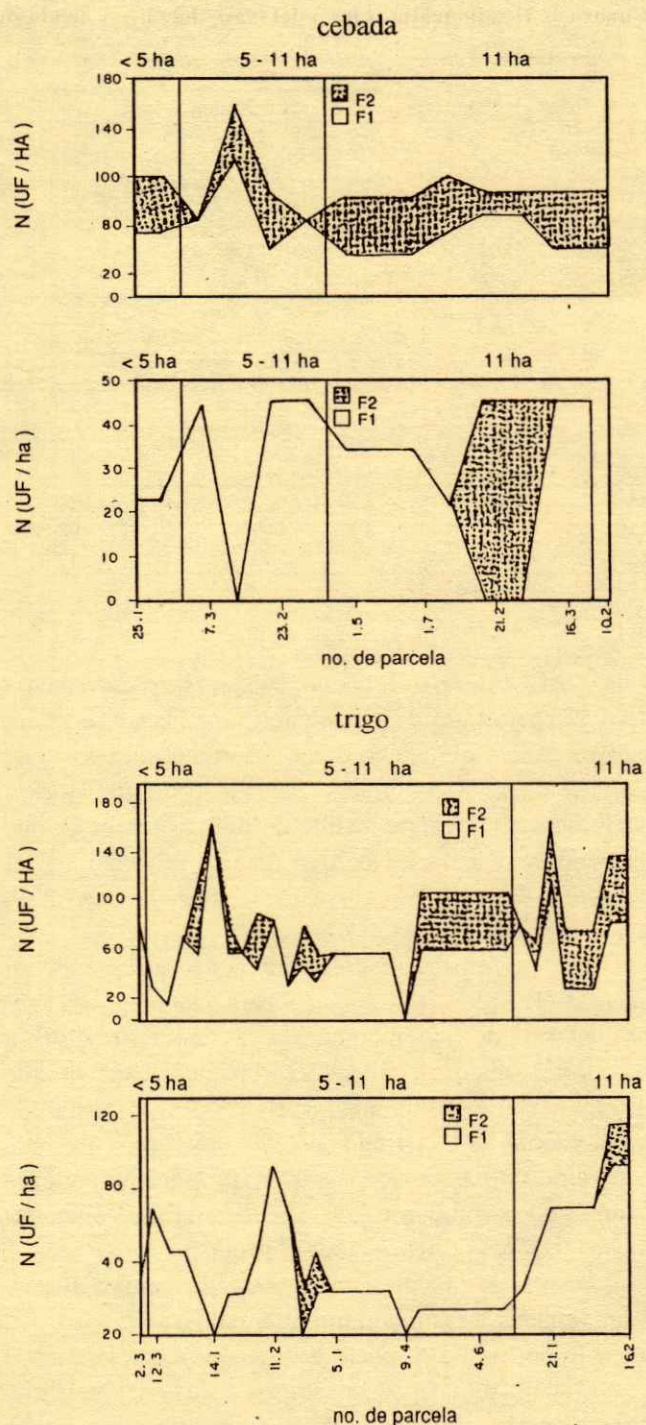


Figura 10. Dosis de abono aplicadas a los cultivos de trigo y cebada.

atribuirse a la aplicación de una cantidad insuficiente de abono nitrogenado; en efecto, los agricultores que obtuvieron esos rendimientos habían aportado dosis de nitrógeno de 27 y 38 kg ha⁻¹, claramente inferiores a los 64 kg ha⁻¹ recomendados para la zona.

Cuadro 9. Rendimientos ($t\ ha^{-1}$) del maíz, del trigo y de la cebada: influencia de la naturaleza del sustrato.

| | Tepetate | | | Suelo normal |
|--------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | 1 a 2 años | 3 a 6 años | > 25 años | |
| Maíz | 0.8* n = 2 | 0.9 - 1 - 1.7 n = 8 | 1.3 - 1.4 - 1.5 n = 2 | 0.5 - 1.4 - 2 n = 13 |
| Trigo | 1.2 - 2.5 - 2.7 n = 3 | 1.7 - 2.5 - 3.6 n = 8 | 1.8 - 2.3 - 3 n = 3 | 1.2 - 2.4 - 3.7 n = 17 |
| Cebada | 2.5 n = 1 | 1.5 n = 1 | 3.4 n = 1 | 1.5 - 2.5 - 3.6 n = 7 |

Cuadro 10. Costos de producción (en miles de pesos)/hectárea.

| | Aporte de MO | Preparación del suelo | Siembra | Fertilización | Herbicida fungicida | Aporcadura | Cosecha | Total (sin aporte de MO) |
|--------|--------------|-----------------------|---------|---------------|---------------------|------------|---------|--------------------------|
| Maíz | 1588.30 | 158.10 | 98.21 | 174.10 | 53.38 | 66.67 | 132.39 | 682.85 |
| Trigo | 115 | 153.48 | 247.58 | 198.70 | 41.25 | - | 113.94 | 754.95 |
| Cebada | - | 165.77 | 258.54 | 193.92 | 46.46 | - | 116.25 | 774.94 |

MO: Materia orgánica

Los costos de producción. No existió correlación entre el costo total de producción (por hectárea) de un cultivo dado y el tamaño de la UP, ni entre el costo de producción y la naturaleza del sustrato (tepetate o suelo normal). Esto no resultó sorprendente puesto que el campesino, para un cultivo dado y sea cual sea la superficie de su UP, cultiva de la misma manera sin tener en cuenta el tipo de suelo.

No obstante, los cálculos efectuados no toman en cuenta el hecho de que el campesino pueda ser propietario de su maquinaria agrícola (tractor o segadora-trilladora). Si se lo considera, habría que disminuir en aproximadamente 40 % los gastos de preparación del terreno y de cosecha, lo que equivaldría a rebajar los costos de producción para los campesinos propietarios de esa maquinaria, especialmente el de los pertenecientes al grupo 3.

Los costos de las diferentes fases de cultivo fueron relativamente similares para cada cultivo (Cuadro 10), excepto en lo que respecta a la siembra, en la cual el costo fue mucho menos elevado en el caso del maíz que en el del trigo y la cebada. Esta diferencia proviene del hecho de que, siendo el precio del kilo de semilla similar para los tres cultivos (alrededor de 1000 pesos kg^{-1}), la siembra del maíz necesita 15 a 30 $kg\ ha^{-1}$ de semilla, mientras que la cantidad que requieren el trigo y la cebada es de 100 a 200 $kg\ ha^{-1}$.

Ese costo relativamente bajo de la siembra del maíz hace que el costo total de producción de ese cultivo (682 850 pesos) sea un tanto menor que el

correspondiente al trigo y la cebada (754 950 y 774 940 pesos, respectivamente), pese a un costo mayor de la cosecha del maíz debido a la sucesión de numerosas operaciones manuales (corte, 'mogoteo', cosecha de las mazorcas). Todas esas operaciones contribuyen a aumentar el costo de la mano de obra en el cultivo del maíz, que representa cerca de 37 % del costo total de producción, mientras que no es sino 14 % en el caso del trigo y de la cebada (Cuadro 11).

Los abonos orgánicos, aplicados en cantidad suficiente, representan sumas extremadamente elevadas, casi siempre prohibitivas para el campesino, quien se contenta con aplicar abonos químicos. Sin embargo, los costos de fertilización particularmente altos deberían atraer la atención de los campesinos y llevarlos a una mayor racionalidad en la aplicación de los abonos.

La productividad del trabajo (Cuadro 12), inversamente proporcional al número de jornadas de trabajadores, fue más elevada en el caso del trigo y la cebada que en el del maíz. En este último, es mayor en suelo normal que en tepetate puesto que los rendimientos en el segundo, incluyendo los bajos rendimientos obtenidos en tepetate recientemente cultivado, fueron en promedio menores que en suelo normal. En el caso del trigo y de la cebada, es a la inversa: la productividad del trabajo así como el rendimiento promedio fueron mejores en tepetate que en suelo normal.

Cuadro 11. Costo de la mano de obra.

| | Número de días | Costo de la mano de obra | |
|--------|----------------|--------------------------|----------------------|
| | | en miles de pesos | en % del costo total |
| Maíz | 12.55 (9 a 16) | 251 | 36.75 |
| Trigo | 5.32 (4 a 9) | 106.4 | 14.09 |
| Cebada | 5.32 (4 a 7) | 106.4 | 13.73 |

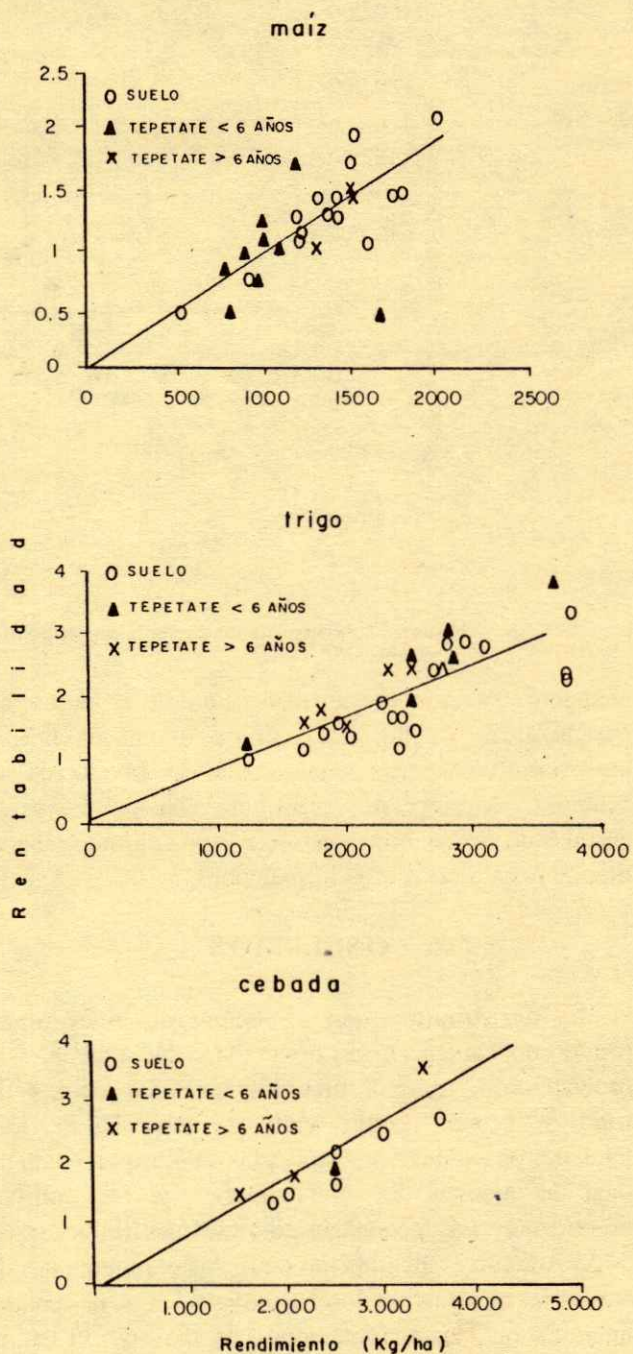
Cuadro 12. Productividad del trabajo para cada producto (miles de pesos/jornada de trabajador).

| | Maíz | Trigo | Cebada |
|--------------|-------|-------|--------|
| Suelo normal | 16.8 | 134 | 160 |
| Tepetate | -0.07 | 188.8 | 173.1 |

Rentabilidad. Los cálculos de rentabilidad efectuados por cultivo, incluyendo en los costos de producción la renta de la tierra así como los intereses del capital anticipado, pero sin incluir el costo de recuperación del tepetate, mostraron (Navarro y Zebrowski, 1994) que: para que el cultivo del maíz sea rentable, se necesita un rendimiento superior a 1.5 t ha^{-1} , lo cual no se logró sino en seis de 28 parcelas, de las cuales una era de tepetate de cuatro años y las otras de suelo normal; para que el cultivo del trigo o el de la cebada sea rentable, hace falta un rendimiento mínimo de 1.8 t ha^{-1} , lo cual fue alcanzado en la mayor parte de las parcelas, fuesen éstas de tepetate o de suelo normal. Sin embargo, los cálculos de rentabilidad más cercanos a los que podría efectuar el campesino, es decir, sin tener en cuenta la renta ni los intereses del capital, muestran (Figura 11) que la venta del trigo y de la cebada dejan un saldo positivo; este sólo es negativo en el caso del maíz cuando los rendimientos son inferiores a 1.2 t ha^{-1} , lo que es frecuente en los tepetates de edad inferior a 5-6 años. Sin embargo, los resultados de la experimentación agronómica muestran que se pueden obtener resultados mucho mejores y una cierta rentabilidad después de tres años de cultivo de los tepetates (Navarro y Zebrowski, 1994).

Los ingresos por UP, obtenidos sin tener en cuenta los ingresos exteriores no agrícolas, son más o menos proporcionales a la superficie de la UP. Se observa (Figura 12) que únicamente las UP de una superficie mayor que 10-11 ha tienen un ingreso neto superior a un salario mínimo anual de un obrero en 1991, calculado sobre la base de 20 000 pesos día⁻¹.

Aunque esta comparación de ingresos no es muy realista, pues no se puede comparar el ingreso de un campesino que se autoabastece con el de un obrero


Figura 11. Rentabilidad de los diferentes cultivos.

asalariado, parece difícil que el campesino que vive en una propiedad de superficie limitada pueda amortizar el costo de rehabilitación del tepetate ($1200 \text{ US\$ ha}^{-1}$). Según Zahonero (1990), se requerirían de ocho años. Pero el campesino no efectúa este tipo de cálculos antes de emprender el cultivo en tepetate. La posibilidad de financiar los trabajos de roturación

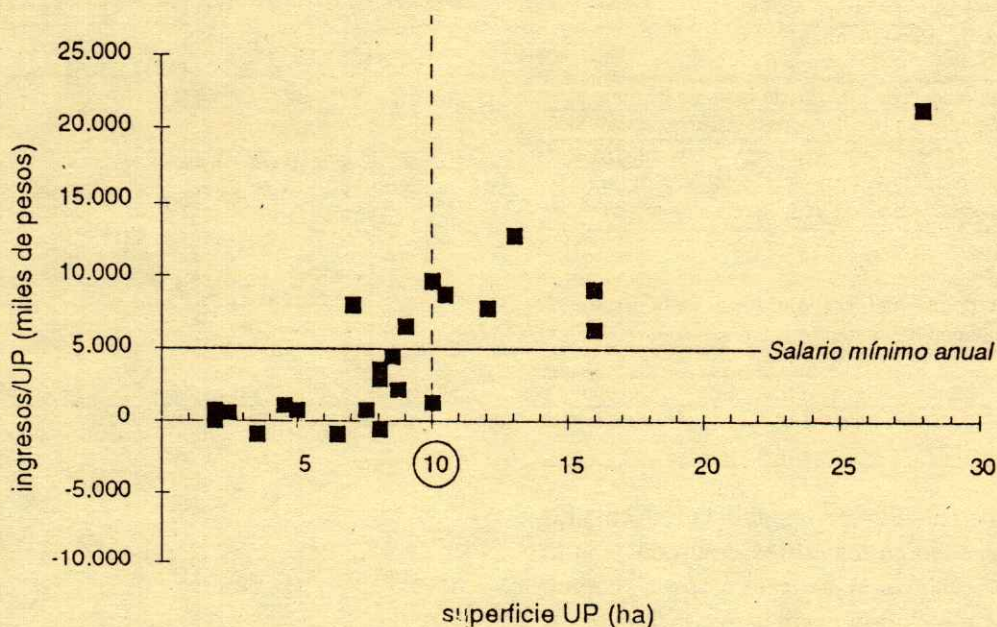


Figura 12. Ingreso neto agrícola anual de las diferentes unidades de producción (excepto la no. 10).

mediante ingresos no agrícolas, unida al deseo de garantizar a sus hijos un capital mayor de tierras agrícolas (tanto más cuanto que el precio de la hectarea de tepetate aumenta considerablemente después de su rehabilitación) hace que continúe rehabilitando poco a poco esas formaciones.

CONCLUSION

La agricultura en el municipio de Hueyotlipán (estado de Tlaxcala) está orientada esencialmente a la producción de maíz destinado al consumo local, y de trigo y cebada como cultivos comerciales. Las unidades de producción estudiadas se agrupan bastante bien en función de su tamaño y de los cultivos practicados. Las pequeñas explotaciones (inferiores a 5 ha) cultivan esencialmente maíz, las explotaciones de 5 a 11 ha agregan a ello el trigo y a veces la cebada, mientras que las explotaciones de más de 11 ha, al tiempo que mantienen un mínimo de maíz para el autoconsumo, cultivan sobre todo la cebada y accesoriamente el trigo como producción de renta.

Los agricultores, sea cual sea el tamaño de su explotación y sabiendo que los rendimientos en tepetate pueden alcanzar, e incluso superar, a los del suelo normal, invierten fuertes sumas para la rehabilitación del tepetate pero lo cultivan sin tener en cuenta sus particularidades. Aunque la mayoría sabe que los rendimientos del maíz son muy bajos el primer año,

algunos continúan practicando ese cultivo el año mismo de la roturación. Los modos de cultivo son, para un cultivo dado, muy similares en suelo normal y en tepetate, pese a las particularidades físico-químicas del segundo, de modo que los costos de producción son sensiblemente los mismos. Siendo los rendimientos en sí similares en suelo normal y en tepetate (tres años después en el caso del maíz), la rentabilidad de los diferentes cultivos es independiente del substrato.

En realidad, los cultivos de trigo y cebada, aunque con una rentabilidad ligeramente superior a la del maíz, no garantizan al campesino un nivel de vida suficiente, de modo que este último debe asegurarse ingresos complementarios a través de la crianza de animales en pequeña escala y sobre todo mediante actividades exteriores a la explotación agrícola. Esos ingresos son tanto más necesarios cuanto menor sea el tamaño de la unidad de producción. Son indispensables en las unidades de producción inferiores a 10 ha y con mayor razón en las inferiores a 5 ha que consumen toda su producción.

Los precios preferenciales que garantizaba el gobierno en 1991 (cerca de 600 pesos kg^{-1} tanto para el maíz como para el trigo y la cebada) eran muy superiores a los precios internacionales (322 pesos para el maíz, 475 pesos para el trigo y 225 pesos para la cebada). Esta situación no podía durar, de hecho en 1997 se ha invertido. Sólo un incremento de los rendimientos permitiría al campesino mantener, si no

aumentar, su nivel de vida. La productividad debe mejorar mediante la búsqueda de prácticas de cultivo más eficientes, en particular mediante el empleo y la divulgación de métodos de fertilización mejor adaptados a las necesidades reales de las plantas, al igual que mediante la adopción de prácticas simples que permitan un mejor manejo del agua, en particular en las formaciones endurecidas rehabilitadas. En efecto, mediciones de la productividad efectuadas en años anteriores entre diversos campesinos, mostraron que los rendimientos del maíz iban, según el cuidado aportado por el campesino a su cultivo, de 0.5 a 3.4 t ha⁻¹. Sin embargo, un campesino que cultiva maíz en tepetate de ocho años obtenía rendimientos de 5.5 t ha⁻¹ aportando un cuidado poco común al cultivo: subsoleo del tepetate cada cinco años para mantener un suelo profundo, compartimentación de los surcos ('contreo') a fin de disminuir la erosión y sobre todo de facilitar la retención del agua, fertilización adecuada y fraccionada en el caso del nitrógeno y deshierbas frecuentes. Con tales rendimientos, probablemente mejorables gracias a la elección de variedades más productivas, la agricultura en las mesetas mexicanas es viable.

LITERATURA CITADA

- Aliphath, M. y G. Werner. 1994. The tepetate of the Central Mexican Highlands: prehispanic and modern impact of agriculture and water management. pp. 528-540. *In:*
- Memorias del 15 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, Acapulco, México.
- De Noni, G., G. Trujillo y M. Viennot. 1992. Análisis histórico, social y económico de la cangahua en Ecuador. *In:* Suelos volcánicos endurecidos. Terra 10: 503-514.
- González Jácome, A. 1992. Manejo del agua en condiciones de secano en Tlaxcala, Mexico. *In:* Suelos volcánicos endurecidos. Terra 10: 494-502.
- Márquez, A., C. Zebrowski y H. Navarro. 1992. Alternativas agronómicas para la recuperación de tepetates. *In:* Suelos volcánicos endurecidos. Terra 10: 465-473.
- Mercado-Mondregón, J. 1992. Estrategias de reproducción campesinas y cambio en el patrón de cultivos, estudio de caso: Hueyotlipan, Tlaxcala. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Navarro, H. y C. Zebrowski. 1994. La réhabilitation agricole des sols volcaniques indurés et érodés en Equateur et au Mexique. pp. 592-610. *In:* Memorias del 15 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, Acapulco, México. Vol. 6^o.
- O'Hara Sarah, L., F. Street-Perrott, Alayne y P. Burt Timothy. 1993. Accelerated soil erosion around a Mexican highland lake caused by prehispanic agriculture. Nature: 362.
- Quantin, P. *et al.* 1993. Tepetates de México: caracterización y habilitación para la agricultura (informe científico final del proyecto TS2-A212-C-CEE/ORSTOM), Terra 11, 72 p.
- Velásquez, J. 1986. Estudio agroclimatológico del Distrito de Calpulalpan. INIFAP, México.
- Werner, G. 1990. Mapa edafológico del Estado de Tlaxcala, escala: 1:100 000.
- Williams, B.J. 1972. Tepetate in the valley of Mexico, Annals of the Association of American Geographers: 62-4.
- Zahonero, P. 1990. Informe de pasantía, ISTOM, Francia.
- Zahonero, P. 1991. Des lits de pierre sur l'altiplano. Contribution à l'analyse de la mise en valeur des tepetates. Informe de fin de estudios, ISTOM.

PRODUCCION DE MANZANO EN FUNCION DE LA FERTILIZACION FOSFATADA AL SUELO

Apple Production as a Function of P Fertilization

Jesús Pilar Amado Alvarez¹ y Pedro Ortíz Franco

RESUMEN

El fósforo se usa en cantidades muy variables para producir manzano (*Malus pumila* Mill) en la Sierra de Chihuahua. Así por ejemplo en el municipio de Guerrero se encontró que 38 % de los huertos son sobrefertilizados de acuerdo con el análisis foliar, mientras que 58 % mostró una concentración normal, y el cuatro por ciento restante tenía deficiencias de fósforo. Por tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo: estudiar el efecto del fósforo sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del manzano, así como la dosis de mantenimiento para la fertilización adecuada de este frutal. En febrero de 1985 se inició un estudio de campo, el cual se concluyó en diciembre de 1988, en un huerto de manzano cv. Golden Delicious/Franco, de 21 años de edad plantado en Marco Real a 7 metros. El trabajo consideró cuatro dosis de P, arregladas en un diseño experimental completamente al azar con cuatro observaciones por tratamiento. Los resultados obtenidos indicaron que el mejor crecimiento, desarrollo y rendimiento del manzano se obtuvo con 50 kg ha⁻¹ de P. El rendimiento promedio del árbol fue de 1708 frutos año⁻¹, lo que equivale a un rendimiento de 28 t ha⁻¹, cantidad que supera en 136 % a la producción media regional.

Palabras clave: Nutrición fosfatada al suelo, componentes de rendimiento en manzano, dosis de mantenimiento.

SUMMARY

In the Sierra de Chihuahua region, phosphorous is used in diverse forms to produce apples (*Malus pumila* Mill). The Guerrero county has the biggest deviation in phosphorous use. In this area, 38 % of the

¹ Campo Experimental Sierra de Chihuahua, CIRNOC-INIFAP, Apartado Postal 554, Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua.

Aceptado: Septiembre de 1997.

orchards are fertilized in excess, 58 % are in a normal range, while only 4 % of the orchards had deficiencies of this nutrient. The objective of this research was to study the effects of phosphorous on the growth, development and yield of apple fruits as well as to find the phosphorous rate to establish an apple fertilization program. The results indicate that 50 kg ha⁻¹ of P₂O₅ resulted in the best tree growth, development and yield. With a fertilizer rate of 60-50-0, in this four year study, the trees produced an average of 1708 apples per tree, or 28.3 t ha⁻¹, 135 % higher than the average production for this region.

Index words: Soil phosphorous nutrition, apple yield components maintenance rate.

INTRODUCCION

El fósforo tiene una función importante en las plantas, está implicado en la transferencia de energía dentro de las células, como componente de los ácidos nucleicos, coenzimas, fosfolípidos y del ácido fitico (Stiles, 1994).

En el cultivo del manzano en la Sierra de Chihuahua, el fósforo es utilizado en cantidades muy variables. Amado (1989) reportó que en el municipio de Guerrero se presentó la mayor variación, debido a que 38 % de los huertos están sobrefertilizados (0.45 % de P en las hojas), 58 % mostró una concentración normal de P (0.27 %) y 4 % de los huertos restantes tuvo deficiencias, con una concentración media de 0.13 %. Además, 46 % de los huertos, presentó deficiencias de Mg.

En Bachíniva, 24.3 % de los huertos presento concentraciones menores de lo normal (0.12 %), lo que ocasiona una reducción en el crecimiento vegetativo apical, hojas color púrpura, disminución en la floración y producción de frutos. Sin embargo, en este municipio 73 % de las plantaciones no presentó deficiencias de P, y solamente en 2.7 % de los huertos se encontró una concentración de P mayor respecto al

nivel normal que es de 0.37 % en la hoja (Shear y Faust, 1980).

En el municipio de Cuauhtémoc, 75 % de los huertos registró una concentración normal (0.22 % P), 15 % resultó con excesos y 10 % restante fue deficiente, con concentraciones medias de 0.40 y 0.12 % de P, respectivamente.

Namiquipa fue el municipio con menos desviaciones, 95 % de los huertos reportó niveles normales con una media de 0.15 % de P y solamente 5 % de los huertos tuvo concentraciones arriba de lo normal, es decir mayor que 0.27 % de P.

Las cantidades de P requeridas por la mayoría de los árboles frutales son pequeñas, y según Stiles (1994) estas varían de 5.6 a 22.4 kg ha⁻¹ año⁻¹. De estas cantidades totales, alrededor de la mitad puede ser removida permanentemente del suelo, ya sea a través de fruto o por la incorporación en formas no disponibles dentro del árbol, mientras que el restante es reciclado dentro del sistema.

Chekan (1988), trabajando con manzano, reportó que el mejor rendimiento para el cultivar Jonathan se obtuvo con aplicaciones periódicas al suelo de N-P₂O₅-K₂O, en dosis de 120-60-90 kg ha⁻¹ respectivamente, combinado con aplicaciones foliares de ZnSO₄, MnSO₄ y de H₃BO₃ a concentraciones de 0.05 % c/u. Azad *et al.* (1988), al estudiar el efecto del fósforo en dosis de 175 y 350 g de P₂O₅ sobre la producción de manzano durante cuatro años en tres localidades, encontraron que el rendimiento dependió del contenido de P en el suelo. La producción promedio de los cuatro años fue de 24.4, 14.6 y 10.3 t ha⁻¹ para las localidades de Sasahan, Kumarsan y Chopal, respectivamente en la India.

Cripps (1988) condujo un experimento en Australia durante 1973 a 1982 para determinar la dosis óptima de fertilización en manzano Granny Smith/MM.104 y HiEarly Red Delicious/MM.104, plantados en suelos deficientes de P. El superfosfato de calcio aplicado en dosis de 5 a 8 kg árbol⁻¹, incrementó consistentemente el cuajado de fruto, con una variación amplia entre años del orden de 8 a 91 %. El rendimiento promedio de los árboles que recibieron 5 kg de superfosfato, se incrementó de 22.9 t ha⁻¹ en 1973 a 32.9 t ha⁻¹ en 1982.

Catzeflisy y Ryser (1987) estudiaron la respuesta del manzano al fósforo en dos lugares de Francia. En Toloche naz árboles de manzano Royal Gala/M.9,

plantados en un suelo de textura areno arcilloso de pH 6.7, recibieron 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ cada otoño, y en Epines el cultivar Jonagold/M.26, plantado en un suelo de textura arenosa y pH 8.2, fueron fertilizados con 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ antes de la plantación y 70 kg ha⁻¹ aplicados anualmente en el otoño. Los resultados indicaron que, en Toloche naz, los árboles sin fertilización fosfatada durante los nueve años de estudio no mostraron ningún efecto negativo, mientras que en Epines los árboles tratados durante siete años no evidenciaron respuesta al fósforo aplicado.

En la región frutícola del noroeste de Chihuahua, no hay literatura respecto a la respuesta del manzano al fósforo, por lo que el objetivo principal del presente trabajo fue estudiar los efectos del fósforo sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del manzano, así como la dosis de fertilización que permita hacer un uso eficiente de este elemento.

MATERIALES Y METODOS

En marzo de 1985 se inició el trabajo de campo que concluyó en diciembre de 1988; en un huerto de manzano, cultivar Golden Delicious sobre portainjerto franco de 21 años de edad, plantado en marco real a 7 metros. El suelo del huerto es de textura de franco arenosa a franco arcillo-limoso, perteneciente a San José Bachíniva, Municipio de Bachíniva, Chihuahua, ubicado a 2020 msnm entre el paralelo 28°48' latitud norte y el meridiano 107°15' longitud oeste del meridiano de Greenwich. El clima, según la clasificación de Köppen modificada por García (1973), es semi-seco frío (Bs, Kw); con una precipitación media anual de 594.5 mm.

El estudio comprendió cuatro dosis de P₂O₅: 0, 50, 100 y 150 kg ha⁻¹, con una dosis fija de 60 kg N ha⁻¹ y sin aplicación de potasio. El diseño experimental empleado fue completamente al azar con cuatro observaciones por tratamiento. El tamaño de la parcela experimental fue de 18 árboles en tres hileras, de seis árboles cada una, la parcela útil fueron los cuatro árboles centrales de la hilera de en medio. Las fuentes de fertilizante para N y P fueron la urea (46 % N), y el superfosfato de calcio triple (46 % P₂O₅), respectivamente.

Las aplicaciones de los fertilizantes se realizaron durante el mes de marzo de cada año, distribuyendo los nutrimentos en forma manual en la zona

correspondiente de cada árbol; posteriormente con un paso de rastra se incorporó al suelo para que estuviese disponible. El resto de las prácticas de manejo dentro del huerto fueron realizadas por parte del productor.

Al suelo se hizo un muestreo cada año durante el verano de la siguiente manera: se hicieron tres pozos de 90 cm de profundidad y 35 cm de diámetro por tratamiento en zig-zag, distribuidos dentro de la parcela experimental. Posteriormente, se tomó una muestra compuesta de cada uno de ellos a las tres profundidades, de 0 a 30, 30 a 60 y 60 a 90 cm, en seguida se enviaron al laboratorio de PRONAPA para su análisis, donde se les determinó: a) textura, usando el método del hidrómetro de Bouyoucos (1962), b) nitrógeno, en forma de NO_3 , mediante el método del ácido fenoldisulfónico de Bremner (1965) y c) fósforo, por el método de Olsen *et al.* (1954).

Los resultados de textura, nitrógeno y fósforo en el suelo fueron interpretados de acuerdo con los valores establecidos por Tavera (1985).

El análisis foliar se hizo anualmente durante el mes de julio, tomando las muestras de acuerdo con la metodología de Amado (1986), determinando los siguientes elementos: a) nitrógeno total por el método microkjeldahl Bremner, (1965), y b) fósforo por el método Olsen *et al.* (1954). La interpretación de los resultados, para ambos elementos, se basó en los valores reportados por Shear y Faust (1980).

Variables Evaluadas

Incremento en la circunferencia del tronco. Esta variable se midió en los cuatro árboles de la parcela útil de cada tratamiento en dos fechas por ciclo. La primera en el mes de marzo y la segunda después de la cosecha. La medición se hizo a 20 cm arriba del nivel del suelo, usando una cinta de sastre con una longitud de 1.5 m y aproximación al milímetro.

Crecimiento vegetativo. Para la medición de esta variable se etiquetaron ocho brotes del año en cada uno de los 16 árboles de los cuatro tratamientos, usando la misma cinta métrica arriba mencionada.

Número, diámetro y peso de los frutos. La cosecha se hizo anualmente durante el mes de septiembre en forma manual. Después de contar los frutos, se pesaron con una báscula de reloj de 10 kg de capacidad y aproximación a 25 g. El diámetro del fruto se evaluó en una muestra representativa de ocho

manzanas por tratamiento, con un vernier de 12 cm de capacidad y aproximación a un milímetro.

Análisis estadístico. Las variables valuadas durante 1985, 1986, 1987 y 1988 se analizaron bajo el diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro observaciones por tratamiento; haciendo un análisis de varianza combinado de acuerdo con la metodología de Martínez (1988), y se consideraron los cuatro años de estudio. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de rango múltiple (DMS), a 5 % de probabilidad, para tratamientos, años e interacción cuando fue necesario de acuerdo con la metodología propuesta por Little y Hills (1981).

RESULTADOS Y DISCUSION

Incremento en la Circunferencia del Tronco

En el Cuadro 1 se puede observar que no hubo diferencias significativas entre dosis de fósforo. No obstante, se observó que con 50 kg ha^{-1} tendió a incrementar más la circunferencia del tronco.

Un estudio realizado por Reinken, citado por Boynton y Oberly (1966), indica que el incremento en la circunferencia del tronco en árboles de manzano con la aplicación de diferentes fuentes de fósforo fue mínimo con apatita y fósforo tricálcico, se mejoró con fosfato de hierro y de aluminio, se obtuvo un crecimiento normal con fosfato monocálcico y fosfato dicálcico y fue mayor con fosfato dimagnésico. Aunque en el presente estudio no se evaluaron fuentes, los valores obtenidos coinciden con los reportados por estos autores.

Respecto a la respuesta de la dosis de fósforo a través del tiempo, el año de 1987 fue el más sobresaliente con una media de 2.51 cm; sin embargo,

Cuadro 1. Incremento en la circunferencia del tronco (cm), del manzano cv. Golden Delicious/Franco de acuerdo con la dosis de fósforo durante cuatro años.

| Año | Dosis de P_2O_5 (kg ha^{-1}) | | | | Promedio | DMS (0.05) |
|----------|---|------|------|------|----------|---------------|
| | 0 | 50 | 100 | 150 | | |
| 1985 | 0.78 | 0.88 | 1.20 | 0.43 | 0.82 | b |
| 1986 | 0.33 | 0.88 | 0.28 | 0.38 | 0.46 | b |
| 1987 | 2.58 | 3.00 | 1.85 | 2.60 | 2.51 | a |
| 1988 | 0.45 | 0.65 | 0.43 | 0.53 | 0.51 | b |
| Promedio | 1.03 | 1.35 | 0.94 | 0.98 | 1.075 | |

Fc trat. = 2.0417 NS; Fc años = 35.0117**; Fc años * trat. = 1.35 NS;

CV = 48.7 %

DMS (0.05): para años = 0.31

se debe recordar que durante este año se obtuvo uno de los menores rendimientos.

Crecimiento Vegetativo

La longitud mayor de las ramillas, que fue de 17.7 cm anuales, se obtuvo con la dosis de 150 kg ha⁻¹ (cuyo efecto fue estadísticamente igual a la de 100 kg ha⁻¹) pero diferente a la de las otras dos dosis, las cuales produjeron crecimientos vegetativos de 14.8 y 13.7 cm, respectivamente (Cuadro 2).

Estos resultados coinciden con los de Lilleland *et al.* citados por Boynton y Oberly (1966), quienes indicaron que manzanos recién plantados respondieron a las aplicaciones de fósforo en suelos muy deficientes. En este estudio, el suelo de la parcela experimental con la dosis 150 kg ha⁻¹ contenía 13.3 ppm de P₂O₅, a la profundidad de 30 a 60 cm, donde se localizó 53 % de las raíces absorbentes (Amado, 1985). La concentración media de fósforo en el follaje para este tratamiento fue de 0.18 %, la cual es suficiente para lograr el crecimiento vegetativo arriba mencionado, si se considera que 0.088 % de P es el nivel mínimo que requieren los manzanos Golden Delicious para un crecimiento normal (Benson y Covey, 1979).

Al igual que la variable anterior, en 1987 se obtuvo el mayor crecimiento vegetativo que fue de 22.2 cm; sin embargo, como ya se mencionó antes, 1987 fue también el año cuando se produjo la menor cantidad de frutos, lo cual indica el antagonismo entre el vigor de la planta y la producción de frutos. Esto se reflejó claramente al detectarse un efecto altamente significativo para la interacción tratamientos por año, donde las mejores combinaciones se reportaron para 1987 en las dosis 50 y 150 kg ha⁻¹ de fósforo con 28.6 y 25.4 cm de crecimiento vegetativo respectivamente,

Cuadro 2. Crecimiento vegetativo en cm, del manzano cv. Golden Delicious/Franco, de acuerdo con las dosis de fósforo durante cuatro años.

| Año | Dosis de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) | | | | Promedio | DMS (0.05) |
|----------|---|-------|--------|--------|----------|---------------|
| | 0 | 50 | 100 | 150 | | |
| 1985 | 16.2 | 12.5 | 17.8 | 16.9 | 15.9 | b |
| 1986 | 12.2 | 8.30 | 15.5 | 14.3 | 12.6 | c |
| 1987 | 14.0 | 28.6a | 20.9b | 25.4ab | 22.2 | a |
| 1988 | 12.4 | 9.9 | 12.7 | 14.0 | 12.3 | c |
| Promedio | 13.7c | 14.8c | 16.7ab | 17.7a | 15.7 | |

Fc años = 6.878 **; Fc trat. = 3.1428 *; Fc años * trat. = 3.9644 **;
CV = 24.85 %.

DMS (0.05) para: trat. = 1.5; años = 2.1; interacción = 4.6.

las cuales superaron hasta en 225 % al dato reportado para 1986 en la dosis de 50 kg ha⁻¹ que fue sólo de 8.3 cm, que aunado a 1988, fueron los años donde los crecimientos vegetativos se redujeron considerablemente con medias de 12.6 y 12.3 cm, respectivamente.

Número de Frutos

Según Alvarez (1974), el fósforo tiene una posición central en el metabolismo vegetal y determina una buena floración y el amarre del fruto. En el presente trabajo, aún cuando no hubo diferencias significativas entre las dosis estudiadas (Cuadro 3), se puede observar que los árboles tratados con la dosis de 50 kg ha⁻¹ fueron los que tendieron a producir la mayor cantidad de frutos que fue de 1708 árbol⁻¹.

Otro de los aspectos importantes que se registraron es que la producción de manzana a través del tiempo fue alternante: el análisis indica que hubo diferencias estadísticas altamente significativas, donde en el segundo año de estudio se produjo la mayor cantidad de frutos/árbol (2500); mientras que en el primer año de estudio se recolectó la menor cantidad de frutos/árbol (496). De acuerdo con el análisis, la interacción años por tratamientos resultó estadísticamente significativa y la mejor combinación se registró para 1986 en la dosis de 50 kg ha⁻¹ de fósforo con 3773 manzanas por árbol. En general, los valores más bajos se reportaron en 1985 y 1988, con lo cual se da la alternancia ya señalada. La alternancia se produjo por el manejo del productor (no desahijó) por lo que en algunos años la producción fue en abundancia y en otros casi nula.

Diámetro Ecuatorial de las Manzanas

De acuerdo con Alvarez (1974), el fósforo favorece la maduración, el tamaño y el sabor del

Cuadro 3. Número de frutos cosechados en árboles de manzano cv. Golden Delicious/Franco, de acuerdo con las dosis de fósforo durante cuatro años.

| Año | Dosis de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) | | | | Promedio | DMS (0.05) |
|----------|---|-------|-------|------|----------|---------------|
| | 0 | 50 | 100 | 150 | | |
| 1985 | 469 | 581 | 269 | 666 | 496 | d |
| 1986 | 2083b | 3773a | 2632b | 1510 | 2500 | a |
| 1987 | 1270 | 369 | 872 | 1324 | 958 | c |
| 1988 | 2167b | 2110b | 1518 | 804 | 1650 | b |
| Promedio | 1497 | 1708 | 1323 | 1076 | 1401 | |

Fc trat. = 1.8731 NS; Fc años = 15.0361 **; Fc años * trat. = 2.7650 *;
CV = 55.89 %.

DMS (0.05), para : años = 413.8; trat. x años = 925.2.

fruto. En el presente trabajo se encontraron diferencias significativas entre las dosis de fósforo. Los frutos de los árboles tratados con la dosis de 100 y 150 kg ha⁻¹ fueron los que tuvieron los frutos más grandes en comparación con los otros dos tratamientos (Cuadro 4). Sin embargo, el efecto no se debe estrictamente a la dosis de fósforo, sino más bien al número de frutos por árbol, ya que los manzanos con las dosis de 100 y 150 kg ha⁻¹ tuvieron menor cantidad de frutos por árbol (1323 y 1076, respectivamente).

El análisis de varianza indicó que no hubo diferencias significativas entre años, ni debido a la interacción años por dosis de fósforo. No obstante la respuesta a la aplicación de fósforo, el tamaño mayor del fruto estuvo por abajo del tamaño deseado, debido principalmente a que el productor no tiene la capacidad de regar de acuerdo con el uso consuntivo del manzano, por lo que tan sólo aplicó 65 % de las necesidades hídricas del árbol, según Amado (1992), se sugiere un mínimo de 90 cm evapotranspirados para producir frutos de buen tamaño, es decir, con un diámetro de 7 centímetros.

Peso del Fruto

La aplicación de fósforo no tuvo un efecto significativo sobre el peso del fruto (Cuadro 5). Sin embargo, la dosis de 50 kg ha⁻¹ tendió a producir más, la falta de la respuesta al fósforo puede estar relacionada con la carencia de K, pues Amado (1994), con 50 kg de P₂O₅ más 50 kg de K₂O ha⁻¹, obtuvo un rendimiento de 174.1 kg árbol⁻¹, lo cual equivale a una producción de 35.5 t ha⁻¹.

Al relacionar la producción de los árboles tratados con 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ con la cantidad de fósforo utilizado, se obtuvo un cociente de 0.565 kg de P₂O₅ por cada tonelada de fruto producido, el cual se

Cuadro 4. Diámetro ecuatorial de manzanas (cm) cv. Golden Delicious/Franco de acuerdo con las dosis de fósforo durante cuatro años.

| Año | Dosis de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) | | | | Promedio | DMS (0.05) |
|----------|---|-------|-------|--------|----------|------------|
| | 0 | 50 | 100 | 150 | | |
| 1985 | 6.15 | 6.20 | 6.50 | 6.45 | 6.33 | NS |
| 1986 | 6.00 | 5.93 | 6.25 | 5.90 | 6.02 | NS |
| 1987 | 6.08 | 6.55 | 6.38 | 6.18 | 6.29 | NS |
| 1988 | 5.98 | 6.20 | 6.45 | 6.80 | 6.36 | NS |
| Promedio | 6.05c | 6.22b | 6.39a | 6.33ab | 6.25 | |

Fc trat. = 4.0643*; Fc años = 2.5342 NS; Fc años * trat = 2.0158 NS; CV = 4.79 %.

DMS (0.05) para trat. = 0.11.

Cuadro 5. Rendimiento de fruto (kg árbol⁻¹) cv. Golden Delicious/Franco, de acuerdo con las dosis de fósforo durante cuatro años.

| Año | Dosis de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) | | | | Promedio | DMS (0.05) |
|-----------|---|---------|---------|--------|----------|------------|
| | 0 | 50 | 100 | 150 | | |
| 1985 | 51.2 | 55.8 | 30.9 | 74.2 | 53.0 | c |
| 1986 | 159.8b | 257.0a | 200.0ab | 145.6b | 190.6 | a |
| 1987 | 123.9 | 45.6 | 94.3 | 141.6b | 101.3 | b |
| 1988 | 178.4b | 195.5ab | 150.3b | 97.3 | 155.4 | a |
| Pro-medio | 128.3 | 138.5 | 118.9 | 114.7 | 125.1 | |

Fc trat. = 0.527 NS; Fc años = 9.0366 **; Fc años * trat = 2.3337 *; CV = 46.68 %.

DMS (0.05) para: años = 30.9; trat. x años = 69.

considera bajo al compararlo con el cociente reportado por el National Plant Food Institute (1988) que es de 1.009 kg de P₂O₅ por tonelada de fruto producido. Reafirmando lo anterior, 50 kg ha⁻¹ de P resulta una cantidad muy baja al compararla con el estudio hecho por Potter y Percival, citado por Boynton y Oberly (1996), quienes indican que en un huerto de manzano en New Hampshire, al fertilizar cada árbol con 11 kg de superfosfato simple, se incrementó la producción de manera significativa. Con respecto al año, el análisis indicó diferencias altamente significativas, y la mayor producción de fruto se obtuvo en el segundo año de estudio y hubo alternancia en la producción, situación que se presenta debido a la presencia de heladas en la época de floración hasta el amarre del fruto.

CONCLUSIONES

- Se logró el objetivo establecido en el presente trabajo, consignando que los mejores efectos del fósforo sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del manzano se produjeron con 50 kg de fósforo por hectárea.
- De los parámetros de vigor, el incremento en la circunferencia del tronco fue el que mostró la mejor respuesta a la dosis de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅; reportó el valor más alto (1.35 cm) promedio de los cuatro años de estudio.
- Al evaluar los parámetros de rendimiento entre los tratamientos establecidos, por su valor, sobresale la fórmula 60-50-0, con la cual los árboles rindieron 1708 frutos, equivalentes a 28.3 t ha⁻¹.

LITERATURA CITADA

- Alvarez R., S. 1974. El manzano. 3a Ed. Madrid, Publicaciones de Extensión Agraria. Madrid España.

- Amado A., J.P. 1985. Nutrición en manzano para la Sierra de Chihuahua. Informe de investigación. CAESICH-CIAN-INIFAP SARH. Cd. Cuauhtémoc, Chih. (sin publicar).
- Amado A., J.P. 1986. Diagnóstico nutrimental en manzano por medio del análisis foliar. Folleto Misceláneo # 1. CAESICH-CIAN-INIFAP-SARH. Cd. Cuauhtémoc, Chih.
- Amado A., J.P. 1989. Levantamiento nutrimental del manzano (*Malus domestica*) en la Sierra de Chihuahua. *Terra* 7: 116-124.
- Amado A., J.P. 1992. Respuesta del manzano (*Malus pumila* Mill) a diferentes niveles de humedad en el suelo. *Terra* 10: 174-183.
- Amado A., J.P. 1994. Efecto de la fertilización potásica al suelo sobre la producción del manzano (*Malus pumila* Mill). *Terra* 12: 362-369.
- Azad, K.C., R.P. Sharma y R.S. Thakur. 1988. Effect of phosphorous application on yield, leaf P content and fruit quality of Red Delicious apple. *Indian J. of Hort.* 45: 1-2, 34-38
- Benson, N.R. y R.P. Covey. 1979. Phosphorous nutrition of young Golden Delicious apple trees growing in gravel culture. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 682-685.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agron. J.* 54: 464-465
- Boynton, D. y G. H. Oberly. 1966. Apple nutrition. pp. 1-38. In: N.F. Childers (ed.). Nutrition of fruit crops. Tropical, subtropical, temperate. Tree and small fruits. Horticultural Publications. Rutgers the State University. New Brunswick, New Jersey, USA.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. pp. 1149-1178. In: C.A. Black (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Amer. Soc. of Agron. Madison, Wisconsin.
- Catzellisy, J. y J. P. Ryser. 1987. Apple trees: 9 y 7 years without phosphate fertilizer. *Revue-Suisse de Viticulture. - dd Arboriculture - ed - d Horticulture.* 19: 4, 249-251.
- Cripps, J. 1988. Response of apple trees to soil applications of phosphorous. Nitrogen and potassium. *Australian J. of Exp. Agric* 27: 909-914.
- Chekan, A. S. 1988. The effect of annual and periodic (alternate year) application of macro and micronutrient fertilizer on the physiological state and productivity of apple trees. VI inyanie udobrenii naobmen veshchestv i produktivnost! *Rast enii* : 128-138. 10 ref Kishinev, Moldavian SSR. Russian.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen; para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 2a ed UNAM. Instituto de Geografía, México, D.F.
- Little, T. M. y F. J. Hills. 1981. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Traducción al Español por Anatolio de Paula Crespo. Editorial Trillas, México, D.F.
- Martínez G., A. 1988. Diseños experimentales, métodos y elementos de teoría. Editorial Trillas, México, D.F.
- National Plant Food Institute. 1988. Manual de fertilizantes. Traducción al Español por el Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional. 8a Reimpresión. Editorial Limusa, S.A de C.V. México, D.F. pp: 66-67.
- 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. Cir. 939-943.
- Ortiz., F.P., M. Berzoza M., F. Orozco V. y N. Chávez S. 1994. Determinación del potencial productivo de especies vegetales. Proyecto 022. CESICH-CIRNOC-INIFAP Cd Cuauhtémoc, Chih. Informe de investigación. (sin publicar).
- Shear, B.C. y M. Faust. 1980. Nutritional ranges in deciduous tree fruits and nuts. *Hort. Reviews* 2: 142-163.
- Stiles, W.C. 1994. Phosphorous, potassium, magnesium and sulfur soil management. pp. 63-70. In: Peterson, B.A. and R.G. Stevens (eds). Tree fruit nutrition shortcourse proceeding. First Printing Good Fruit Grower, a division of Washington State Fruit Commission, 1005 Tieton Drive, Yakima Washington 98902, USA.
- Tavera y S.G., G. 1985. Criterios para interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para las áreas de asistencia técnica. pp. 3-8. In: Publicación #3 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. Delegación Laguna. Torreón, Coahuila, México.

RESPUESTA DEL MANZANO A LAS DOSIS DE NITROGENO APLICADO AL SUELO, DURANTE DIEZ AÑOS

Response of Mature Apple Trees to Nitrogen Rates Applied to Soil During Ten Years

Jesús Pilar Amado¹ Alvarez y Pedro Ortíz Franco

RESUMEN

En la región frutícola del noroeste Chihuahuense, el *status* nutrimental del manzano (*Malus Pumila* Mill) en cuanto a nitrógeno es muy variable. En los municipios de Cuauhtémoc y Bachiniva respectivamente, 63 y 16 % de los huertos presentaron altos contenidos de este elemento; mientras que en el de Namiquipa solamente 5 % de los huertos tuvo deficiencias de N. Por tal motivo, el presente trabajo tuvo como objetivo, conocer y registrar los efectos del N sobre el crecimiento y rendimiento del manzano, así como determinar la dosis de N para mantenimiento y con ello definir los programas de fertilización en la región. En febrero de 1979 se inició una evaluación de campo, la cual concluyó en diciembre de 1988; en un huerto de manzano cv. Golden Delicious/Franco de 12 años de edad, plantado en marco real a 7.0 m, el cual nunca había sido fertilizado. Se estudiaron cinco niveles de N: 0, 30, 60, 90 y 120 kg ha⁻¹, bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Se registró la fertilidad del suelo y la concentración mineral de las hojas, también se evaluaron tres parámetros de vigor y tres de rendimiento, los cuales se analizaron bajo el diseño experimental señalado. Los mejores efectos de N se registraron en los árboles tratados con 60 y 90 kg ha⁻¹; la última dosis tuvo un efecto significativo sobre el vigor del árbol, incrementando la circunferencia del tronco en 2.3 cm, con un crecimiento vegetativo de 17.3 cm y 39.8 m³ de volumen en la copa del árbol. En la producción de frutos, las mejores dosis fueron 120 y 60 kg de N ha⁻¹ con 1255 y 1032 frutos árbol⁻¹, y diámetro del fruto de 6.6 y 6.1 cm, respectivamente. El mayor rendimiento total del fruto fue de 89.4 kg árbol⁻¹, equivalente a 18.2 t ha⁻¹, y se obtuvo con la

dosis de 60 kg de N ha⁻¹, cuyo valor supera en 150 % a la producción media de la región.

Palabras clave: Fertilización nitrogenada al suelo, parámetros de crecimiento y rendimiento del manzano, dosis de mantenimiento.

SUMMARY

At the fruit growing region of northwest Chihuahua, apple growers use diverse nitrogen (N) rates. In Cuauhtémoc county, 63 % of the apple (*Malus Pumila* Mill) orchards had high nitrogen concentration, in Namiquipa 5 % showed N deficiency levels and in Bachiniva only 18 % were excessively fertilized with N. The objective of this research was to study and record the effects of N on apple tree growth and yield parameters so to establish an apple tree fertilization program. This study was initiated in February 1979 and ended in December 1988, in a 12-year old Golden Delicious apple orchard, with standard rootstock that had not been fertilized before and planted to 7 x 7 m on a square planting design. A completely randomized block design with four replications and five treatments: a) 0-0-0, b) 30-0-0, c) 60-0-0, d) 90-0-0, e) 120-0-0, was used. The fertility and nutritional concentration of the foliage were analyzed under the same experimental design. Three vigor and three yield parameters were analyzed. The best results were obtained when 60 and 90 kg ha⁻¹ N were applied. The best statistically treatment 90 kg ha⁻¹ increased trunk circumferences by 2.3 cm, apical growth by 17.3 cm and canopy volume by 39.8 m³. With respect to yield, the best statistically N treatments were 60-0-0 and 120-0-0 kg ha⁻¹ which increased apple yield by 1032 and 1255 fruit tree⁻¹ and fruit diameter 6.1 and 6.6 cm, respectively. For fruit quality, the best statistically yield was 89.4 kg tree⁻¹ equivalent to 18.2 t ha⁻¹, with the fertilizer rate of 60-0-0. This yield is 150 % higher than the average yield in this region.

¹ Campo Experimental Sierra de Chihuahua, CIRNOC-INIFAP, Apartado postal 554, Cd. Cuauhtémoc, Chih.

Aceptado: Septiembre de 1997.

Index words: *Soil nitrogen fertilization, apple yield, growth parameters, maintenance rate.*

INTRODUCCION

Un buen entendimiento de la relación general entre el nitrógeno y la respuesta del manzano se fundamenta en el manejo de este elemento. El crecimiento de los árboles, la floración, el cuajado, crecimiento y calidad del fruto se ven influenciados por el estado nutricional de los árboles en cuanto a nitrógeno (Stiles, 1994). En la región frutícola del noroeste de Chihuahua, el manejo de N por los productores de manzano es muy variable, por ejemplo, en el municipio de Cuauhtémoc, 63 % de los huertos presentaron altas concentraciones de este elemento (3.1 %), mientras que en el de Namiquipa 25 % de los huertos fueron sobrefertilizados, 70 % registraron niveles normales y el 5 % restante reportaron deficiencias de N. En el municipio de Guerrero, 21 % de los huertos muestreados resultaron sobrefertilizados con N, 75 % presentaron concentraciones normales y el 4 % restante reportó una concentración considerada como deficiente. Finalmente en el municipio de Bachiniva, sólo 16 % de los huertos resultó sobrefertilizado, 78 % se encontró en condiciones normales y el 6 % restante tenía deficiencias (Amado, 1989).

Stiles (1994) menciona que, para elaborar un buen programa de fertilización general nitrogenada en manzano, es importante considerar: a) la variedad, debido a que un incremento de 0.1 % de N en las hojas se asocia con una reducción de 5 a 7 % en el color del fruto; b) el portainjerto, pues un árbol absorbe aproximadamente 112 kg de N ha⁻¹ año⁻¹; c) la edad y el vigor del árbol; ya que es necesario controlar la fertilización con N para evitar efectos indeseables sobre la calidad del fruto; y d) la capacidad del suelo para suministrar N, que varía con la textura y con la tasa de mineralización, la cual fluctúa de 34 a 90 kg ha⁻¹ año⁻¹. En general, las necesidades de N para el manzano varían de 13.4 a 144.8 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Estudios realizados por la Universidad de California (1991) indican que el N puede ser aplicado al manzano, cada año. Para los huertos de California la dosis general de mantenimiento aplicada al suelo, fluctúa de 56 a 112 kg ha⁻¹.

Cripps (1988), en Manjimup, ubicado al oeste de Australia, trabajó de 1973 a 1982 para determinar la dosis óptima de fertilizantes del cultivar Hi Early Red

Delicious/MM.104, sus resultados permitieron establecer aplicaciones de NH₄NO₃ en dosis de 4 kg árbol⁻¹, con la cual se logró un aumento de 11 % en el peso del fruto y pequeños incrementos en el crecimiento vegetativo.

Vasileva y Doichev (1989) en Kyustendil, Bulgaria; con la variedad Golden Delicious/MM.106, encontraron que las dosis de 90 y 180 kg ha⁻¹ de N, bajo condiciones de riego y acolchado, condujeron a un nivel óptimo (2.43 a 2.62 % N), mientras que la dosis de 360 kg ha⁻¹ produjo una concentración muy alta de N en las hojas.

Gospodinova *et al.* (1987), al aplicar N en forma de NH₄NO₃ a una dosis de 0.381 kg árbol⁻¹ y P como H₃PO₄ a 0.095 kg árbol⁻¹, en el riego por goteo, concluyeron que la aplicación debe ser en tres partes, cada 30 días.

Pacholak (1986), al estudiar los factores agua y nutrientes (NPK) en manzano A2 sobre portainjerto M.26 en una densidad de plantación de 2125 árboles ha⁻¹, aplicando los fertilizantes de manera simple (N, P₂O₅, K₂O) a 65-40-95 kg ha⁻¹, doble 130-80-190 kg ha⁻¹ y triple 190-120-185 kg ha⁻¹, más el testigo donde no se fertilizó, encontró que las dosificaciones altas sin riego redujeron significativamente el rendimiento; la fertilización no tuvo efecto sobre la calidad del fruto, y el riego incrementó el peso y tamaño del fruto, pero redujo el contenido de sólidos solubles.

En el noroeste chihuahuense no hay información al respecto, por lo que se estableció como objetivo principal del presente trabajo estudiar los efectos del nitrógeno sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad del manzano, así como determinar la dosis de mantenimiento que permita orientar los programas de fertilización para una nutrición adecuada del manzano.

MATERIALES Y METODOS

De febrero de 1979 a diciembre de 1988 se desarrolló el trabajo de campo en un huerto de manzano cv. Golden Delicious sobre portainjerto franco de 12 años de edad, plantado en marco real a 7.0 m. El suelo es de textura migajón arcillo-arenoso con un pH que fluctúa de 6.8 a 7.4, libre de sales, pobre en materia orgánica, con muy bajos contenidos de carbonatos de calcio y cantidades suficientes de fósforo. El huerto que nunca había sido fertilizado se encuentra ubicado en San José, municipio de

Bachiniva, Chihuahua, a una altitud de 2020 m, paralelo 28° 48' latitud norte y el meridiano 107° 15' longitud oeste del meridiano de Greenwich. El clima, según la clasificación de Köppen modificada por Garcia (1973), es semiseco frío (Bs,Kw); con una precipitación media anual de 486 mm (Ortiz *et al.*, 1994).

Se estudiaron cinco dosis de N: 0, 30, 60, 90 y 120 kg ha⁻¹ de N, bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro observaciones por tratamiento. El tamaño de la parcela experimental fue de 18 árboles en tres hileras de seis árboles cada una, y la parcela útil quedó constituida por los cuatro árboles centrales de la hilera de en medio. Como fuente de nitrógeno se usó la urea (46 % de nitrógeno).

La aplicación del nitrógeno se realizó en el mes de marzo de cada año, distribuyendo la urea al voleo en forma manual en el área correspondiente a cada árbol, e incorporándolo en seguida con un paso de rastra.

Durante el verano de cada año se tomaron las muestras de suelo de la siguiente manera: se hicieron tres pozos de 90 cm de profundidad y 35 cm de diámetro por tratamiento en zig-zag, distribuidos dentro de la parcela experimental de cada tratamiento. Posteriormente se tomó una muestra compuesta de cada uno de estos a tres profundidades 0 a 30; 30 a 60 y 60 a 90 cm, luego se enviaron al laboratorio de PRONAPA para su análisis, donde se les determinó la textura por el método del hidrómetro de Boyoucos (1962). El nitrógeno en forma de NO₃, mediante el método de ácido fenoldisulfónico de Bremner (1965).

Las muestras de follaje se hicieron anualmente durante el mes de julio de acuerdo con la metodología propuesta por Amado (1986), luego se enviaron al laboratorio de PRONAPA donde se determinó el nitrógeno total por el método microkjeldahl de Bremner (1965).

Variables Evaluadas

Incremento en la circunferencia del tronco. Esta variable se midió en los cuatro árboles de la parcela útil de cada tratamiento, haciendo dos lecturas por ciclo durante los diez años de estudio; la primera lectura se realizaba antes de la fertilización y la segunda después de la cosecha, para lo cual se pintó una franja en el tronco de los árboles a 20 cm arriba del nivel del suelo, usando una cinta de sastre de 1.5 m de longitud y aproximación a un milímetro.

Crecimiento vegetativo. Esta variable se midió de 1982 a 1988, para lo cual se etiquetaron ocho brotes del año en cada uno de los 20 árboles de los cinco tratamientos, usando la misma cinta métrica para medir la circunferencia del tronco.

Volumen de la copa del árbol. Se tomaron tres lecturas de la altura y del diámetro de la copa del árbol, usando un estadal de 4 m y aproximación a 1 cm en los 20 árboles de las parcelas útiles de 1983 a 1988. Con estos datos se calculó el volumen de la copa del árbol mediante la fórmula: $V=1/6*3.1416*D^3$, considerando que la forma de la copa del árbol se asemeja al de una esfera.

Peso, número y diámetro de los frutos. La cosecha de cada año se realizó durante el mes de septiembre en forma manual. En todos los años (de 1979 a 1988) se registró el peso de los frutos y en el periodo de 1983 a 1988 se registró además el número de frutos de cada tratamiento. El peso de los frutos se obtuvo en una báscula de reloj con una capacidad de 10 kg y una aproximación de 25 gramos. El diámetro del fruto se evaluó en el periodo de 1982 a 1988, en una muestra representativa de ocho frutos por tratamiento, usando un vernier de 12 cm de longitud y aproximación a un milímetro.

El efecto de los tratamientos sobre las variables arriba mencionadas se evaluó mediante un análisis de varianza combinado de acuerdo con la metodología de Martinez (1988), considerando los años de estudio como un factor adicional. La comparación de medias se hizo mediante la prueba de rango múltiple (DMS) a 5 % de probabilidad para tratamientos, años e interacción de acuerdo con Little y Hills (1981).

RESULTADOS Y DISCUSION

Incremento en la Circunferencia del Tronco

El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas entre dosis de nitrógeno. Los valores más altos de 2.41 y 2.27 cm correspondieron a las dosis más altas de N (120 y 90 kg ha⁻¹, respectivamente), que fueron diferentes a las tres dosis restantes (Cuadro 1).

Respecto al año también se encontraron diferencias altamente significativas, sobresaliendo 1979, lo cual debe estar relacionado con la respuesta rápida de las aplicaciones de N a árboles que no se habían fertilizado desde su plantación (12 años).

Cuadro 1. Incremento en la circunferencia del tronco (cm) en árboles de manzano cv. Golden Delicious/Franco, en función de las dosis de nitrógeno.

| Año | Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹) | | | | | Pro-medio | DMS (0.05) |
|-----------|---|-------|-------|-------|-------|-----------|------------|
| | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | | |
| 1979 | 2.0 | 2.6 | 4.2a | 3.9a | 3.9a | 3.3 | a |
| 1980 | 1.5 | 1.6 | 2.2 | 2.8 | 3.0 | 2.2 | c |
| 1981 | 1.0 | 2.3 | 2.8 | 3.4 | 4.0a | 2.7 | b |
| 1982 | 0.8 | 2.3 | 1.1 | 1.4 | 2.1 | 1.5 | e |
| 1983 | 1.2 | 1.1 | 1.4 | 2.5 | 3.3 | 1.9 | d |
| 1984 | 1.0 | 2.7 | 3.0 | 4.0a | 3.4 | 2.8 | b |
| 1985 | 0.3 | 0.6 | 0.8 | 0.8 | 0.3 | 0.6 | f |
| 1986 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 1.2 | 0.6 | 0.5 | f |
| 1987 | 2.1 | 2.3 | 2.6 | 2.2 | 2.8 | 2.4 | bc |
| 1988 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.4 | f |
| Pro-medio | 1.03d | 1.59c | 1.89b | 2.27a | 2.41a | 1.84 | |

Fc años = 57.8173**; Fc trat. = 88.1490**; Fc años * trat. = 8.1701**;

C.V. = 20.4 %.

D.M.S. % = 0.14 para dosis de N; 0.20 para años y 0.44 para la interacción.

En 1986 y 1988 se registraron los menores incrementos en la circunferencia del tronco: 0.5 y 0.4 cm, y a la vez las mayores producciones de fruto por árbol en cantidades de 147.2 y 132.5 kg, respectivamente. Esto resultó de que la energía del árbol se concentró en la formación de frutos repercutiendo en una mayor producción del árbol y menor crecimiento del tronco, lo cual concuerda con lo reportado por Boynton y Oberly (1966), para el cv. McIntosh, estudiado con tres niveles de fertilización durante seis años. Se considera que esto es una situación que el productor ha inducido (alternancia) debido a que no "aclarea" los frutos provocando alternancia, es decir, que algunos años produce mucha fruta y en el siguiente casi nada. Además, se reportó efecto altamente significativo para la interacción tratamiento por año, en donde, aunque con igual significancia estadística al de algunas interacciones, destacaron consistentemente los niveles 60, 90 y 120 kg de N en 1979, cuya explicación se asocia con lo expuesto anteriormente.

Crecimiento vegetativo apical. El análisis muestra que hubo diferencias altamente significativas entre dosis de nitrógeno, la de 90 kg de N ha⁻¹, con brotes de 17.3 cm de longitud promedio en los siete años de estudio, fue superior a las cuatro dosis restantes (Cuadro 2). Los árboles con mayor crecimiento vegetativo también tuvieron hojas grandes y de color verde oscuro, y éstas se mantuvieron durante más tiempo en el árbol. Por ejemplo, al compararlos con los árboles sin aplicación de N para el 15 de octubre normalmente ya no tenían ninguna hoja, mientras que

Cuadro 2. Crecimiento vegetativo apical (cm) en árboles de manzano cv. Golden Delicious/Franco, en función de las dosis de nitrógeno.

| Año | Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹) | | | | | Pro-medio | DMS (0.05) |
|-----------|---|--------|-------|-------|-------|-----------|------------|
| | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | | |
| 1982 | 5.4 | 9.4 | 13.6 | 17.8b | 17.5b | 12.7 | b |
| 1983 | 7.3 | 10.5 | 9.9 | 14.4 | 13.5 | 11.1 | c |
| 1984 | 3.4 | 4.8 | 5.7 | 11.5 | 8.9 | 6.9 | d |
| 1985 | 6.7 | 13.4 | 16.2c | 15.7 | 15.4 | 13.5 | b |
| 1986 | 6.1 | 10.9 | 12.2 | 19.4b | 13.3 | 12.4 | bc |
| 1987 | 8.1 | 18.4b | 14.0 | 24.1a | 19.9b | 16.9 | a |
| 1988 | 4.8 | 9.7 | 12.4 | 18.4b | 11.3 | 11.3 | c |
| Pro-medio | 5.98d | 10.98c | 12.0c | 17.3a | 14.3b | 12.1 | |

Fc años = 20.9602**; Fc trat. = 60.667**; Fc años * trat. = 1.9393*;

C.V. = 23.56 %.

D.M.S. % = para dosis de N = 1.27; para años = 1.50 y para la interacción = 3.36.

los árboles con las dosis altas, para el 20 de noviembre aún conservaban 100 % de las hojas. Los árboles sin N se caracterizaron por mostrar hojas marcadamente amarillás debido a la pérdida de clorofila, de tamaño menor al normal, delgadas y frágiles con caída prematura. En general estos árboles fueron poco vigorosos y con escaso follaje registrando abscisión de flores, el número de frutos fue menor, así como también su tamaño; coincidiendo con lo descrito por Stiles (1994).

También se encontraron diferencias altamente significativas entre los años de estudio. En 1987 se obtuvo el crecimiento más largo (16.9 cm), el cual superó en 145 % a los brotes del ciclo 1984. Esta respuesta se debió a la presencia de fuertes heladas durante el mes de abril de 1983, que afectaron drásticamente la producción de frutos durante abril de 1983, por lo que el productor desatendió completamente el manejo del huerto, limitándolo principalmente a la aplicación del agua de riego. La interacción 90 kg de N ha⁻¹ en 1987 con crecimiento de 24.1 cm fue el valor más alto de esta variable, que resultó estadísticamente superior al resto de las combinaciones.

Volumen de la copa del árbol. Los resultados indican que hubo diferencias altamente significativas entre dosis de nitrógeno, sobresaliendo la de 120 kg ha⁻¹ con 55.3 m³, la cual superó en 170 % a la de los árboles sin aplicación de N, donde el crecimiento fue tan débil (20.5 m³) (Cuadro 3).

El tamaño de los árboles con la dosis más alta de N fue contrastante, sobre todo con respecto al promedio de la región; por ejemplo Parra y Guerrero (1994) estudiaron el manzano Blushing Golden/franco,

Cuadro 3. Evaluación del volumen de la copa (m^3) en árboles de manzano cv. Golden Delicious/Franco, en función de las dosis de nitrógeno.

| Año | Dosis de nitrógeno ($kg\ ha^{-1}$) | | | | | Pro-medio | DMS (0.05) |
|-----------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|------------|
| | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | | |
| 1983 | 20.8 | 22.8 | 24.1 | 29.9 | 46.0 | 28.7 | ns |
| 1984 | 20.4 | 26.7 | 30.9 | 38.9 | 54.9 | 34.4 | ns |
| 1985 | 20.3 | 21.5 | 25.8 | 32.6 | 49.7 | 29.9 | ns |
| 1986 | 16.6 | 25.3 | 31.8 | 42.0 | 56.1 | 34.4 | ns |
| 1987 | 20.4 | 26.7 | 30.9 | 38.9 | 54.9 | 34.4 | ns |
| 1988 | 24.5 | 37.1 | 42.0 | 51.3 | 70.1 | 44.9 | ns |
| Pro-medio | 20.5d | 26.6c | 30.9c | 38.9b | 55.3a | 34.4 | |

Fc años = 2.12ns; Fc trat = 52.30**; Fc años* trat = 0.4371ns; CV = 26.4 %. D.M.S._{5%} para dosis de N = 4.38.

registrando copas de $28.7\ m^3$. Una desventaja que presentan los árboles tratados con la dosis de $120\ kg\ de\ N\ ha^{-1}$ es la disminución en la producción de frutos debido al vigor excesivo; también los árboles testigo sufrieron mermas en la producción de frutos por su débil crecimiento vegetativo. El efecto de años y la interacción con dosis de N no fueron significativos. El volumen de copa promedio anual fue de $34.4\ m^3$.

Número de frutos. La dosis de nitrógeno afectó significativamente a esta variable (Cuadro 4). El mayor número de frutos árbol⁻¹ (1255) se obtuvo con la dosis más alta, la cual resultó ser estadísticamente igual que donde se aplicaron $60\ kg\ de\ N\ ha^{-1}$ y diferente al resto de las dosis estudiadas.

Es oportuno señalar que aunque la dosis más alta de N logró la mayor cantidad de frutos árbol⁻¹, no es conveniente aplicar $120\ kg\ ha^{-1}$ de N durante 10 años consecutivos, ya que el color del fruto se mantuvo verde, y se retrasó la época de cosecha y, por lo tanto, la entrada al mercado; además disminuyó la vida de anaquel del fruto. Resultados similares han sido registrados por Williams y Billingsley (1974).

Los árboles testigo produjeron en promedio tan sólo 473 frutos por árbol, cantidad que los hace ser estadísticamente diferentes al resto de los tratamientos. Las principales características de los frutos producidos en los árboles donde no se aplicó N, es que son de color amarillo claro, con una porción de color púrpura, especialmente donde están más expuestos al sol.

En cinco meses de evaluación dentro del frigorífico, los frutos de los árboles testigo mostraron 4 % más consistencia que los frutos originados en los árboles fertilizados con $120\ kg\ de\ N\ ha^{-1}$. Con respecto al efecto de años, se registraron diferencias altamente significativas, sobresaliendo 1986 con 1882 frutos

Cuadro 4. Número de frutos cosechados en árboles de manzano cv. Golden Delicious/Franco, en función de la dosis de nitrógeno.

| Año | Dosis de nitrógeno ($kg\ ha^{-1}$) | | | | | Pro-medio | DMS (0.05) |
|-----------|--------------------------------------|-------|--------|-------|-------|-----------|------------|
| | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | | |
| 1983 | 38 | 3 | 42 | 40 | 87 | 42 | e |
| 1984 | 63 | 120 | 160 | 562 | 765 | 334 | d |
| 1985 | 245 | 380 | 469 | 1343 | 1348 | 767 | c |
| 1986 | 1419 | 1770b | 2083b | 1387 | 2751a | 1882 | a |
| 1987 | 233 | 589 | 1270 | 939 | 1031 | 812 | c |
| 1988 | 838 | 1593b | 2167b | 752 | 1547 | 1379 | b |
| Pro-medio | 473d | 742c | 1032ab | 837bc | 1255a | 868 | |

Fc años = 22.0366**; Fc trat = 8.8031**; Fc años* trat = 2.3358 **; C.V. 56.25 %.

DMS._{5%} para: dosis de nitrógeno = 235.1; años = 257.6; interacción = 575.9.

árbol⁻¹. La respuesta además de la fertilización nitrogenada se vio influenciada por los elementos de clima, principalmente el agua de lluvia. El peor año fue durante 1983 con tan sólo 42 frutos por árbol debido a la presencia de heladas en la época de floración. Estadísticamente la mejor interacción se obtuvo en la dosis de $120\ kg\ de\ N\ ha^{-1}$ en 1986, con 2751 frutos por árbol.

Diámetro ecuatorial del fruto. De acuerdo con Stiles (1994), la relación entre el N y los factores de calidad del fruto es compleja. El tamaño del fruto se favorece con la aplicación de este nutrimento si es que algún otro factor no es limitativo y el cuajado de fruto no es excesivo. En este trabajo se encontraron diferencias altamente significativas entre dosis de N (Cuadro 5).

El tamaño del fruto se incrementó con la dosis de nitrógeno hasta $120\ kg\ ha^{-1}$. Una limitativa, que se presentó en este trabajo, fue la falta de agua. De acuerdo con Ortiz *et al.* (1994), con precipitación pluvial promedio de 1979 a 1988 de 486.3 mm, más el agua de riego que el productor aplicó cada año, se estima que el árbol solamente satisfizo 65 % de sus necesidades hídricas, ya que para producir frutos con un diámetro de 7.0 cm se requiere un mínimo de 900 mm de agua evapotranspirados (Amadó, 1992).

También se tuvo efecto significativo de años, con los valores más altos en 1986 y 1987, que superaron en 10 % el tamaño de los frutos producidos durante 1983. Esto se debió a la menor precipitación en este ciclo que fue de 400.3 mm (Ortiz *et al.*, 1994). La interacción tuvo efecto significativo resultando la mejor combinación el tratamiento $120\ kg\ de\ N\ ha^{-1}$ en 1986 con 7.7 cm que fue significativamente superior al resto de las interacciones.

Cuadro 5. Diámetro ecuatorial del fruto (mm) en árboles de manzano cv. Golden Delicious/Franco, en función de las dosis de nitrógeno.

| Año | Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹) | | | | | Promedio | DMS (0.05) |
|-----------|---|------|------|------|------|----------|------------|
| | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | | |
| 1982 | 6.5 | 5.8 | 6.1 | 6.3 | 6.4 | 6.2 | b |
| 1983 | 5.7 | 5.7 | 5.7 | 5.7 | 6.1 | 5.8 | c |
| 1984 | 5.8 | 6.1 | 6.4 | 6.5 | 6.5 | 6.2 | b |
| 1985 | 5.9 | 6.1 | 6.1 | 6.3 | 6.3 | 6.1 | b |
| 1986 | 5.0 | 6.6 | 6.0 | 6.8b | 7.7a | 6.4 | a |
| 1987 | 7.0 | 6.4 | 6.1 | 6.3 | 6.5 | 6.4 | a |
| 1988 | 6.3 | 6.1 | 5.9 | 6.6 | 6.5 | 6.3 | a |
| Pro-medio | 6.0c | 6.1c | 6.1c | 6.4b | 6.6a | 6.2 | |

Fc años = 6.5162**; Fc trat = 6.8357**; Fc años*trat = 6.8357**.

C.V. = 5.1 %.

D.M.S. para : Nitrógeno = 0.14; Años = 0.17; interacción = 0.37.

Peso de la fruta cosechada. En el Cuadro 6 se puede observar que la producción de fruto se incrementó de manera directa con la dosis de N. La mayor cantidad de fruto (119.4 kg árbol⁻¹, equivalente a 24.4 t ha⁻¹) se obtuvo con la dosis de 120 kg ha⁻¹ de N, sin embargo, esto no es lo más recomendable puesto que la calidad del fruto no fue la deseada, ya que redujo la vida de anaquel, y el color fue verde oscuro. Además está bien documentado que dosis altas de N provean antagonismo con el Ca y B, lo cual da lugar a desórdenes fisiológicos como bitter pit, tejido corchoso y sin esencia (Stiles, 1994).

Las dosis de 60 y 90 kg de N ha⁻¹ en promedio durante los 10 años de estudio produjeron 89.4 y 86.5 kg de fruto árbol⁻¹, equivalentes a 18.2 y 17.6 t ha⁻¹ respectivamente. Estos rendimientos superan en 150 % la producción media de la región, la cual es similar al rendimiento obtenido sin la aplicación de N. Cabe mencionar que en 1983 y 1984 se registraron deficiencias de Ca, Mg, Fe, Zn, B y Cu, por lo que se procedió a aplicar las cantidades necesarias para cubrir las necesidades de los árboles. La aplicación de elementos menores se hizo cada tres años, mientras que para los elementos mayores fue anual. Al respecto Monin (1986) ha indicado que un huerto de manzano con árboles adultos que producen 40 t ha⁻¹ año⁻¹ en un suelo fértil, requieren la aplicación de la fórmula 50-20-100-100 (kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, respectivamente). La interacción más importante se registró con el tratamiento 120 kg de N ha⁻¹ en 1987 con 259.3 kg ha⁻¹ árbol⁻¹.

También se tuvo efecto significativo del año, la máxima producción (174.3 kg árbol⁻¹, equivalente a

Cuadro 6. Rendimiento anual de fruto (kg árbol⁻¹) en árboles de manzano, cv. Golden Delicious/Franco en función de las dosis de nitrógeno.

| Año | Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹) | | | | | Pro-medio | DMS (0.05) |
|-----------|---|-------|--------|--------|--------|-----------|------------|
| | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | | |
| 1979 | 6.3 | 33.8 | 29.5 | 10.0 | 73.3 | 30.6 | g |
| 1980 | 22.8 | 50.2 | 52.8 | 72.3 | 81.5 | 55.9 | f |
| 1981 | 41.0 | 52.0 | 82.0 | 53.0 | 69.0 | 59.4 | f |
| 1982 | 48.9 | 175.2 | 200.0b | 187.9b | 259.3a | 174.3 | a |
| 1983 | 3.1 | 0.2 | 2.9 | 3.1 | 8.3 | 3.5 | h |
| 1984 | 3.9 | 9.4 | 13.1 | 58.5 | 76.7 | 32.3 | g |
| 1985 | 27.1 | 39.9 | 50.1 | 137.5 | 134.9 | 78.1 | de |
| 1986 | 91.9 | 130.0 | 159.8 | 138.9 | 215.3b | 147.2 | b |
| 1987 | 24.7 | 62.4 | 123.9 | 108.3 | 112.8 | 86.4 | d |
| 1988 | 83.2 | 142.4 | 178.4 | 95.7 | 163.1 | 132.5 | bc |
| Pro-medio | 35.3d | 69.6c | 89.4b | 86.5b | 119.4a | 80.0 | |

Fc años = 31.4945**; Fc trat = 41.1792**; Fc años*trat = 3.6057**; C.V. = 37.92 %.

D.M.S. para: Nitrógeno = 11.30; años = 15.9; interacción = 35.6.

35.6 t ha⁻¹) correspondió al cuarto año de haber iniciado el estudio. Una explicación a esta respuesta es que además de la aplicación de N y de la cantidad de agua de riego que normalmente aplicó el productor: el año anterior (1981) fue excelente en lo que a lluvia respecta, puesto que en el periodo de diferenciación de yemas florales (fines de verano) se presentaron 266.7 mm, mientras que al final del ciclo sumaron 594.5 mm, lo cual, de acuerdo con Ortiz *et al.* (1994), sobrepasó en 25 % la precipitación media, además no hubo presencia de heladas, situación que favoreció el amarre de frutos en 1982. El peor de los años fue 1983, y el factor que influyó para disminuir la producción fue la presencia de heladas, pues del 5 al 15 de abril se registraron ocho días con bajas temperaturas que fluctuaron de -1 a -5 °C. En este período 43 % de la floración se encontraba en el estadio "punta rosa", por lo cual la producción del manzano se vio afectada severamente.

CONCLUSIONES

- De acuerdo con las variables evaluadas, las dosis de N de 60 y 90 kg ha⁻¹ fueron las mejores. En cuanto al vigor del árbol, con 90 kg ha de N logró el mayor incremento en el diámetro del tronco que fue 2.3 cm, un crecimiento vegetativo de 17.3 cm y 39.8 m³ de volumen de la copa del árbol.

- En los parámetros de rendimiento se registraron diferencias estadísticas altamente significativas entre las dosis evaluadas; respecto al número de frutos los árboles tratados con 120 y 60 kg ha⁻¹ de N produjeron 1255 y 1032, respectivamente; el diámetro de las

manzanas fue de 6.6 y 6.4 cm producidos con 120 y 90 kg ha⁻¹ de N, respectivamente; el rendimiento total sobresaliente fue de 89.4 kg árbol⁻¹ producido con la dosis 60-0-0, sobre todo considerando la calidad del fruto.

LITERATURA CITADA

- Amado A., J.P. 1986. Diagnostico nutrimental en manzano por medio del análisis foliar. Folleto Misceláneo No. 1. CAESICH-CIAN-INIFAP-SARH. Cd. Cuauhtémoc, Chih.
- Amado A., J.P. 1989. Levantamiento nutrimental del manzano *Malus doméstica* en la Sierra de Chihuahua. Terra 7: 116-124.
- Amado A., J.P. 1992. Respuesta del manzano *Malus pumila* Mill a diferentes niveles de humedad en el suelo. Terra 10 : 174-183.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J. 54: 464-465.
- Boynton, D. y G.H. Oberly. 1966. Apple nutrition. In: N.F. Childers (ed.). Nutrition of fruit crops. Tropical, subtropical, temperate. Tree and small fruits. Horticultural publications. Rutgers the State University. New Brunswick, New Jersey USA.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. pp. 1145-1178. In: C.A. Black (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Amer. Soc. Agron. Madison. Wisconsin.
- Cripps, J. 1988. Response of apple trees to soil applications of phosphorous, nitrogen and potassium. Australian J. Exp. Agric. 27: 909-914.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen; para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 2a ed. UNAM, Instituto de Geografía, México D.F.
- Gospodinova M., D. Dochev y G. Stoilov 1987. Nitrogen, phosphorous and potassium distribution in drip-irrigated apple orchard soil. Rasteniev "dni-nauki. 24: 88-97.
- Little, T.M. y F.J. Hills. 1981. Métodos estadísticos para investigación en la agricultura. Trad. al Español por Anatolio De Paula Crespo. Editorial Trillas, México, D.F.
- Martínez G., A. 1988. Diseños Experimentales. Métodos y elementos de teoría. Editorial Trillas, México, D.F.
- Monin, A. 1986. La fertilisation appliquée aux cultures fruitiers. Annales-de-Gembloux 92: 3, 269-274.
- Ortiz F., P., M. Berzoza M., F. Orozco V. y N. Chavez S. 1994. Determinación del potencial productivo de especies vegetales. Proyecto 022. CESICH-CIRNOC-INIFAP. Cd. Cuauhtémoc, Chih. Informe de Investigación (sin publicar)
- Pacholak, E. 1986. Wplyw nawozenia i nawadniania na wzrost i plonowanie jabloni odmiany James Grieve. Roczniki-Akademii-Rolniczej-w-Poznaniu, -Rozprawy-Naukowe. #160.
- Parra Q., R.A. y V.M. Guerero P. 1994. Influencia de portainjertos clonales para manzano sobre comportamiento, dimensiones y producción del árbol. Folleto científico No.2. CESICH-CIRNOC-INIFAP. Cd. Cuauhtémoc, Chih.
- Stiles, W.C. 1994. Nitrogen management in the orchard. pp. 41-50. In: B.A. Peterson and R.G. Stevens (eds). "Tree Fruit Nutrition Shortcourse Proceedings Good Fruit Grower Yakima, Washington.
- University of California. 1991. Integrated pest management for apples & pears. Statewide integrated pest management project division of agriculture and natural resources. 6701 San Pablo Av. Oakland California 94608-1239. Publication # 3340.
- Vasileva, J. y K. Doichev. 1988. Effect of different irrigation regimes and rates of nitrogen fertilization on the content of macroelements in the leaves of Golden Delicious apple cultivar. Pochvoznanie-i-Agrokimiya 24: 43-49
- Williams, M.W. y H.D. Billingsley. 1974. Effect of nitrogen fertilizer on yield, size, and color of Golden Delicious apple. Amer. Soc. Hort. Sci. 99: 144-145.

UTILIZACION DE DESECHOS DE LA INDUSTRIA CITRICA EN EL MEJORAMIENTO DE SUELOS SALINOS

Use of Citric Waste for the Amelioration of Saline Soils

J. G. López Aguirre^{1†}, J. Molina Ochoa, J. Farias Larios, S. Guzmán González y A. Michel Rosales

RESUMEN

Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el grado de mejoramiento de un suelo salino con desechos de la industria citrica y de esta manera presentar nuevas alternativas. El experimento se realizó en el campo, sobre un suelo con textura de arcillo-limoso. Los volúmenes de desecho aplicado fueron $T_0=0$, $T_1=3200$, $T_2=6400$ y $T_3=9600$ m^3 ha^{-1} , a T_0 sólo se le aplicó agua de riego. El desecho tiene una conductividad eléctrica de 2.7 dS m^{-1} . Después de la aplicación se tomaron muestras cada 20 cm, hasta 1 m de profundidad y se determinaron algunas características químicas. En todos los casos la conductividad eléctrica disminuyó con respecto al tratamiento T_0 y a su valor antes de la aplicación. La mayor disminución se encontró en el Tratamiento T_3 . El pH generalmente disminuyó en las capas superficiales y presentó tendencia a mantenerse sin cambios en las capas inferiores. Las concentraciones de HCO_3^- y CO_3^{2-} disminuyeron de acuerdo con la profundidad del suelo. La materia orgánica aumentó en todo el perfil de T_1 , mientras que en los Tratamientos T_2 y T_3 se mantuvo sin cambios. Con base en estos resultados se sugiere que los desechos de la industria citrica pueden ser utilizados como mejoradores de suelos salinos.

Palabras clave: Salinidad, desechos industriales, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica.

SUMMARY

This research was conducted to evaluate the reclamation of saline soils using residual wastes of the citric industry. The experiment was carried out under field conditions, and the soil texture is silty

¹ Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Apartado Postal 36, 28100 Tecomán, Colima, México.

† Autor para correspondencia.

Aceptado: Septiembre de 1997.

clay. Waste volumes applied were $T_0=0$, $T_1=3200$, $T_2=6400$ y $T_3=9600$ m^3 ha^{-1} , to the treatment T_0 just irrigation water was applied. The waste has an electric conductivity of 2.7 dS m^{-1} . After waste applications soil samples were taken at each 20 cm up to 80 cm depth, and some chemical characteristics were determined. In all the treatments the electrical conductivity decreased with respect to T_0 and to the soil before application. The largest decrease was found in Treatment T_3 . In general, the pH decreased in the top layers and showed a tendency to remain unchanged in the bottom layers. HCO_3^- and CO_3^{2-} concentrations decreased according to soil depth. Organic matter increased in Treatment T_1 , while in Treatments T_2 and T_3 it did not change. Based on the results, we suggest that the waste studied can be used for the amelioration of saline soils.

Index words: Salinity, industry waste, pH, organic matter, electric conductivity.

INTRODUCCION

La acumulación de sales en la capa arable de los suelos causa una pérdida parcial o completa de la productividad de los suelos. Este es un fenómeno a nivel mundial, las causas son múltiples y pueden ser de origen antropogénico o natural (Gupta y Abrol, 1990). Los problemas de la salinidad en los suelos son muy comunes en las regiones áridas y semiáridas, pero los suelos afectados por sales también pueden estar presentes en las zonas con clima húmedo, especialmente en las costas (Abrol, 1986; Harris, 1990; Zekri y Parsons, 1992). De acuerdo con Flowers *et al.*, citados por Pessarakli (1991a), más de 400 millones de hectáreas de tierras arables en el mundo están afectadas por la presencia excesiva de sales solubles en los suelos. En México, los suelos afectados con este tipo de problemas alcanzan una superficie de aproximada al 40 % del total del área cultivable (Zapata y Rodríguez, 1994).

Aunque las condiciones necesarias para el desarrollo de los suelos afectados por sales son esencialmente las mismas, generalmente están relacionadas con la calidad de agua de riego y las propiedades del suelo, aunque el tipo y la intensidad de los efectos pueden variar de acuerdo con el clima, el manejo del agua y del suelo y con los cultivos (Pla, 1988).

La mayoría de los métodos para el mejoramiento o recuperación de suelos salinos están basados en el desplazamiento vertical de las sales acumuladas (Pessarakli, 1991b). Sin embargo, el agua que se utiliza en estos trabajos no siempre es de buena calidad, por lo que debe usarse un mayor volumen que el requerido (Minhas y Khosla, 1987), y además causan la pérdida de nutrimentos. Por lo anterior, es conveniente encaminar los esfuerzos a la búsqueda de nuevos métodos que contribuyan al mejoramiento de suelos con problemas de sales, tal como los propuestos por Levy *et al.* (1985), cuyo trabajo fue hecho con la finalidad de equilibrar la sodicidad en suelos con aguas residuales urbanas, y Jones *et al.* (1993) quienes usaron suero de queso cottage para la recuperación de suelos sódicos, utilizando los recursos propios del área donde se encontraban este tipo de suelos. Dubey y Mondal (1993) utilizaron desechos orgánicos para mejorar un suelo sódico cuyos resultados muestran que tanto la conductividad eléctrica como el pH disminuyeron con la aplicación; a los mismos resultados llegaron Orlov *et al.* (1989) utilizando desechos industriales. Valentine *et al.* (1990) y Ross *et al.* (1989) sugieren en sus estudios de impacto ambiental de los desechos agrícolas industriales que éstos pueden ser usados en el mejoramiento de suelos.

En las regiones con agroindustria, los desechos llegan a causar un cierto grado de contaminación, generalmente eólica, o sea, al realizarse la descomposición de los desechos, se desprenden gases de olor desagradable para el ser humano. Sin embargo, la mayoría de las aguas que se utilizan en los procesos industriales de este tipo y los desechos tienen características que hacen posible que sean utilizados como mejoradores de suelos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los residuos no deseados de la industria cítrica como mejoradores de suelos salinos, aprovechando que se cuenta con grandes volúmenes en la zona, aproximadamente $150 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ durante los meses de marzo a septiembre que son los de mayor producción.

MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se realizó en el rancho "La Ceiba", situado en el km 15 de la carretera Tecomán-Lázaro Cárdenas, localizado geográficamente a los $18^{\circ}48'$ latitud norte y $103^{\circ}47'$ longitud oeste, contando con una precipitación anual media de 750 mm y una temperatura media anual de 25°C , y altitud de 22 m. El tipo de suelo es arcillo-limoso, con una conductividad eléctrica (CE) de 9.08 dS m^{-1} , y pH de 7.88, así como 2.74 % de materia orgánica.

Los volúmenes que se aplicaron fueron: $T_0=0$, $T_1=3200$, $T_2=6400$ y $T_3=9600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de desecho, los que fueron establecidos con base en pruebas de laboratorio tomando en cuenta la disminución del pH y de la CE. Al tratamiento T_0 solamente se le aplicó agua de riego ($\text{CE}=2.5 \text{ dS m}^{-1}$). Las aplicaciones del residual se hicieron en volúmenes de $3200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, en los tratamientos con múltiplos de esta cantidad fue necesario esperar el tiempo suficiente, hasta que la aplicación anterior se hubiera infiltrado para realizar la siguiente aplicación (30 a 45 días entre aplicaciones) debido a que, por la textura del suelo utilizado, no se permitía la rápida infiltración del desecho. La forma de aplicación fue directa, es decir, una vez que el desecho salía del proceso de industrialización se transportaba al campo y se arrojaba al suelo, directamente del transporte, sin ninguna modificación. El depósito en que fue transportado es de 8 m^3 de capacidad.

El desecho utilizado es un subproducto del proceso de obtención del aceite esencial de limón, durante el cual sólo se utilizan cantidades mínimas de agua. Este desecho tiene una CE de 2.7 dS m^{-1} , pH de 3 a 4.2, y 35 % de material orgánico de fácil descomposición, principalmente material de semilla cocida, cáscara y semilla de limón. Los datos siguientes son los resultados del análisis químico del desecho: $\text{CO}_3^{2-}=0$, $\text{HCO}_3^{-}=22.42$, $\text{Cl}^{-}=11.75$, $\text{SO}_4^{2-}=21.24$, $\text{Ca}^{2+}=14.2$, $\text{Mg}^{2+}=317.18$ y $\text{Na}^{+}=3.14$, todos en meq L^{-1} .

En el campo se trazaron parcelas de $5 \times 5 \text{ m}$, donde se tomaron muestras antes (AA) y después de las aplicaciones, hasta 80 cm de profundidad con divisiones de 20 cm, las que fueron secadas al aire, tamizadas en malla de 2 mm y posteriormente se les realizaron los siguientes análisis químicos: pH (potenciométricamente), CE (puente de Wheastone), Aniones y cationes solubles: carbonatos y bicarbonatos, por titulación con ácido sulfúrico; sulfatos, por turbidez con cloruro de bario; cloruros,

por titulación con nitrato de plata; calcio y magnesio, por titulación con EDTA, todos ellos por los métodos propuestos por Richards (1954); sodio, por flamometría. Estas determinaciones se hicieron en una relación suelo-agua 1:5 (p/v). Materia orgánica (MO), por el método de Walkley-Black (1934).

Los tratamientos fueron distribuidos bajo un diseño de bloques al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y la comparación de medias fue realizada con la prueba de Duncan al 0.01 de probabilidad a través del paquete estadístico SAS (SAS, 1987).

RESULTADOS Y DISCUSION

Materia Orgánica

De acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 1) se observa que la aplicación de agua en el tratamiento T_0 hizo que las cantidades de MO encontradas antes de la aplicación fueran menores que las que se determinaron después de la aplicación, lo que demuestra que al realizar el lavado se arrastran no solamente sales. El volumen aplicado al Tratamiento T_1 influyó para que se registrara un incremento de MO en el perfil del suelo, esto se debe a que el material utilizado contiene grandes cantidades de material orgánico en suspensión y de fácil descomposición y ayuda a que rápidamente se incorpore en los horizontes del suelo. En los otros tratamientos, en la capa superficial no se registraron cambios, mientras que en las de 20 hasta 80 cm hubo una disminución; lo anterior indica que el volumen utilizado arrastró a otras capas más profundas la MO existente antes de la aplicación. Sin embargo, en la superficie de todos los tratamientos quedó una capa de aproximadamente 5 cm de grosor de material orgánico que con las labores de cultivo puede ser mezclado en el suelo e incrementar las cantidades de MO en poco tiempo. Los resultados y conclusiones aquí obtenidos son similares a los reportados por Levy *et al.* (1985) al usar aguas residuales urbanas con un alto contenido de material orgánico. Se puede descartar un probable incremento en los niveles de MO en una determinada dirección, ya que el análisis de varianza, para ésta y otras variables, mostró un contenido similar ($P > 0.05$) entre las diferentes repeticiones.

pH

Los resultados obtenidos indican que el pH del residual tuvo influencia en la solubilización de sales precipitadas como el CaCO_3 , por lo que este parámetro sólo tuvo cambios en la profundidad de 0 a 20 cm, especialmente en el Tratamiento T_1 , en el que la disminución fue desde un valor de 7.88 antes de la aplicación hasta un final de 5.97; en el Tratamiento T_2 , la disminución fue menos marcada en esta misma profundidad mientras que en el T_3 se registró una disminución hasta 6.41. En la capa de 20 a 40 cm, los cambios fueron menos drásticos en el T_2 y T_3 , pues en ambos disminuyó en 0.19 unidades mientras que se tuvo un incremento de 0.32 unidades en el T_1 . En T_0 no se registraron cambios significativos estadísticamente.

Conductividad Eléctrica

En todos los tratamientos la CE descendió en las capas superficiales y, a excepción del Tratamiento T_1 , se registraron ligeros incrementos en las capas más profundas, sin embargo, en el T_0 , la CE se incrementó en la capa superficial y se mantuvo sin cambios en las demás profundidades. Lo anterior indica que los volúmenes utilizados realizaron un lavado de las sales depositadas en la superficie, hasta 40 cm, con decremento de hasta 5.45 dS m^{-1} (Tratamiento T_3), lo que posibilita la implantación de cultivos con desarrollo radicular corto en caso de utilizar T_1 , pero con el Tratamiento T_3 , es posible utilizar, después de la aplicación, cultivos con desarrollo radicular largo aunque tolerantes a la salinidad pues las cantidades de sales que se acumulan después de 40 cm podrían afectarlos. Con respecto al Tratamiento T_0 , la disminución es muy marcada en el T_3 (Figura 1).

Aniones

Los resultados de estas variables se muestran en la Figura 2. La presencia de sulfatos en los perfiles de los tratamientos es de una tendencia a la disminución en las tres primeras capas (desde 0 hasta 60 cm) con un aumento en la profundidad de 60 a 80 en el Tratamiento T_2 , sin embargo, en los Tratamientos T_1 y T_3 , las concentraciones tienden a disminuir. El comportamiento de los cloruros es similar en todos los tratamientos, con excepción del testigo, esto es, de 0 a

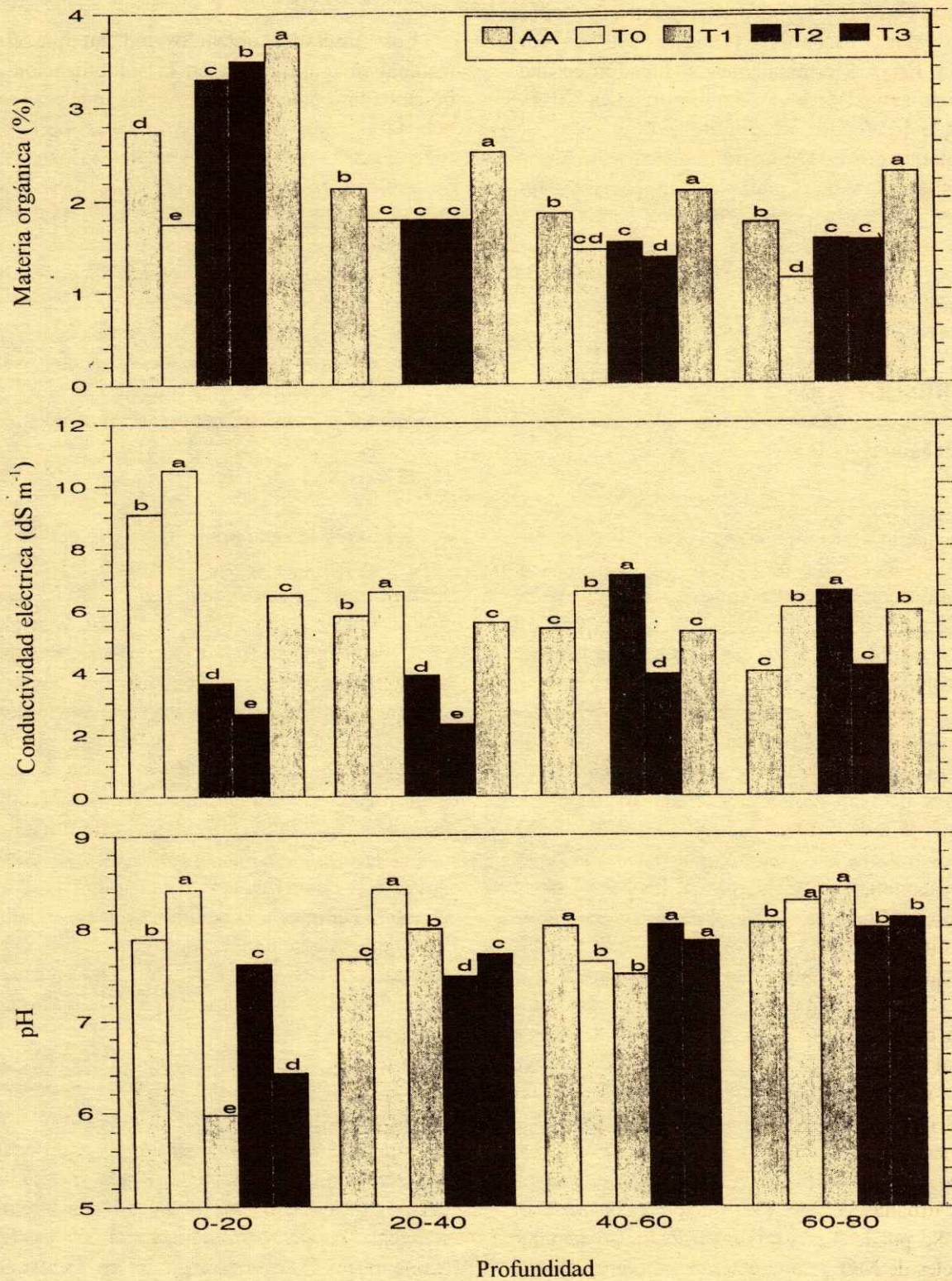


Figura 1. Efecto de la aplicación de desechos de la industria cítrica sobre la materia orgánica, pH y conductividad eléctrica, medidos en extracto 1:5, de un suelo salino. Letras iguales en la misma profundidad, no son diferentes estadísticamente ($p > 0.01$).

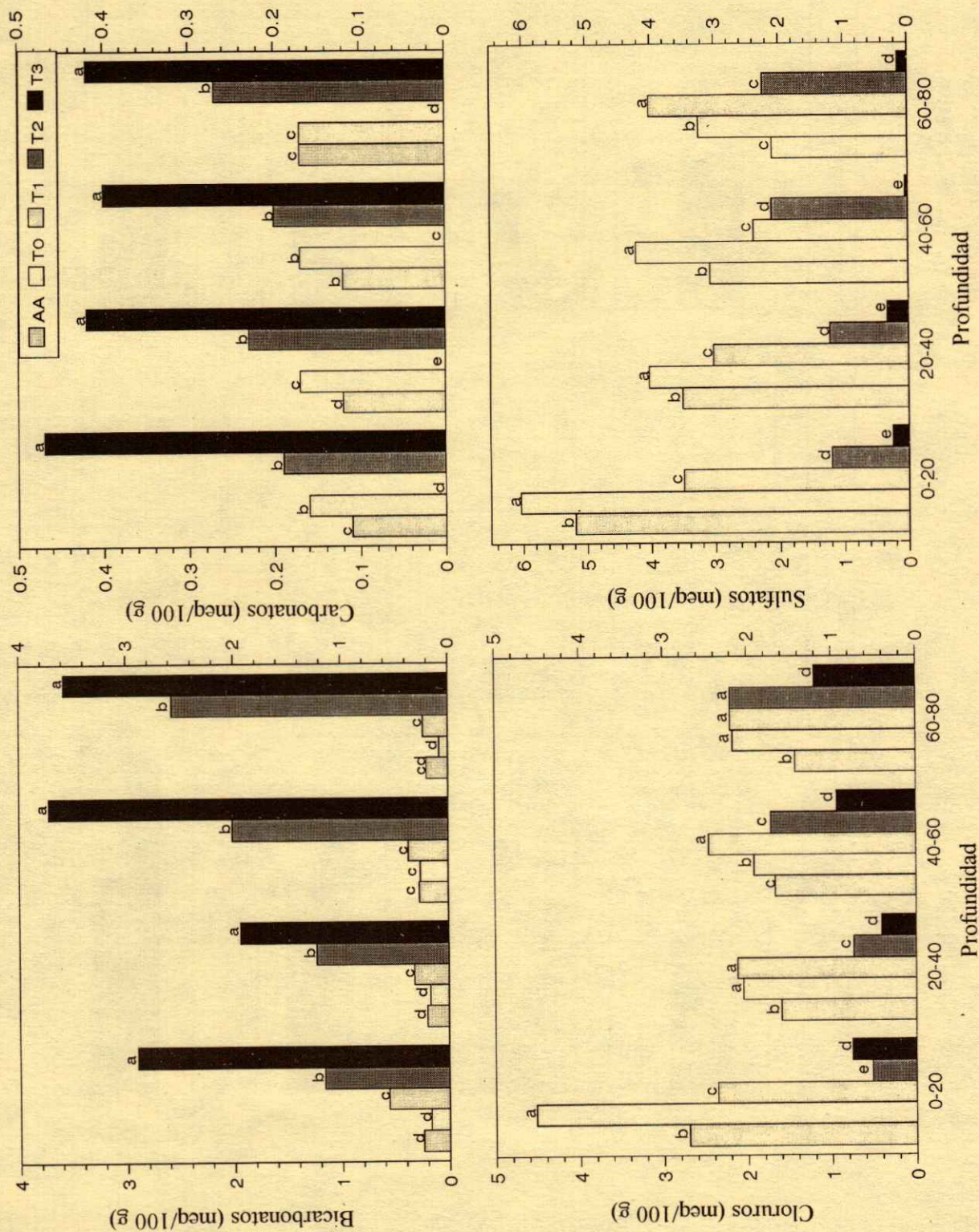


Figura 2. Efecto de la aplicación de desechos de la industria cítrica sobre los aniones de un suelo salino. Letras iguales en la misma profundidad, no son diferentes estadísticamente ($p > 0.01$).

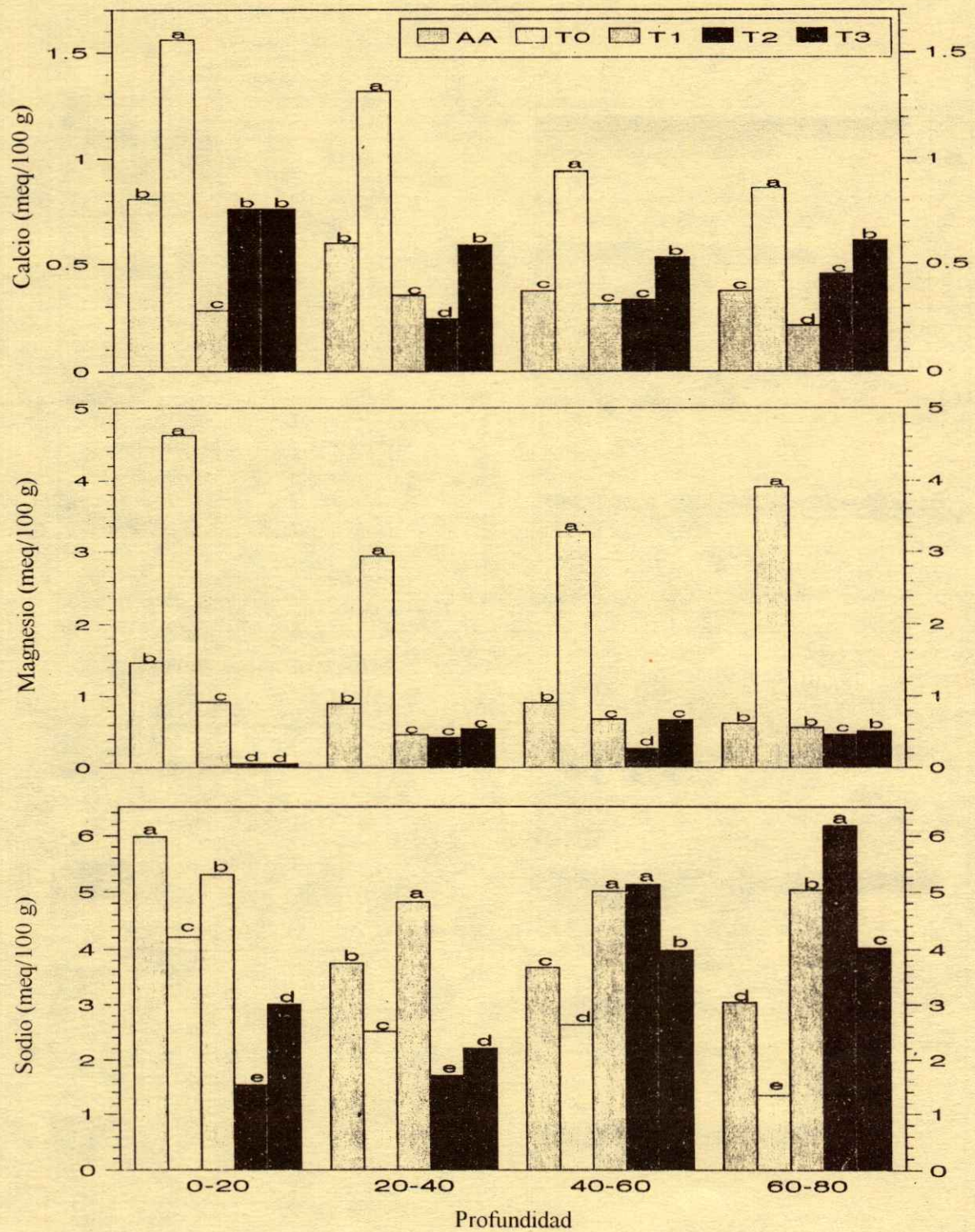


Figura 3. Efecto de la aplicación de desechos de la industria cítrica sobre los cationes de un suelo salino. Letras iguales en la misma profundidad, no son diferentes estadísticamente ($p > 0.01$).

60 cm existe una disminución y un ligero incremento en la profundidad de 60 a 80 cm. En los aniones CO_3^{2-} y HCO_3^- se registraron mayores valores después de la aplicación del residual, pero en el Tratamiento T₁ únicamente los iones HCO_3^- aumentaron sus concentraciones con respecto a las detectadas antes de las aplicaciones. Estos incrementos pueden ser debidos a la alta acidez del residual que solubilizó sales precipitadas que contenían este tipo de aniones. Estas mismas consideraciones hacen Robbins y Lehrs (1992) al aplicar suero de queso cottage, con un pH similar al del residual utilizado en el presente trabajo.

Cationes

Los resultados obtenidos en los análisis de los cationes se muestran en la Figura 3. El calcio tuvo un ligero incremento en todos los casos, lo que indica que muy probablemente la sal que se disolvió principalmente fue CaCO_3 . Los incrementos observados en las concentraciones de Mg^{2+} pueden ser debidos a que el material utilizado contenía altas cantidades de este catión, sin embargo, las cantidades encontradas después de la aplicación no son tan altas como eran esperadas; esto puede atribuirse a que los volúmenes utilizados fueron altos y permitieron su lixiviación. El Na^+ , de una manera general, disminuyó en las dos primeras capas y aumentó en las tres más profundas. Estos resultados son similares a los reportados por Jones *et al.* (1993). Los valores, tanto para aniones como para cationes, permiten clarificar los de CE pues tienen cambios en los mismos sentidos, tal y como lo reportaron Minhas y Khosla (1987).

Levy *et al.* (1985) y Robbins y Lehrs (1992) también estudiaron los efectos de la aplicación de residuales en el mejoramiento de suelos con problemas de sales, y ambos coinciden en afirmar que es necesario recurrir a fuentes de estos desechos como lo son las aguas residuales de las industrias. En los resultados de ambos trabajos se observa que hubo un mejoramiento de los suelos salinos con la aplicación de los desechos, al igual que en el presente estudio.

CONCLUSIONES

El desecho de la industria cítrica mostró tener características para ser utilizado como un mejorador de suelos con problemas de sales. La acidez del desecho, así como el material orgánico que contiene,

contribuyen a la recuperación y mejoramiento del suelo. Es conveniente realizar un estudio a largo plazo para observar los posibles efectos residuales que tenga la aplicación de estos materiales, tanto en suelo como en planta.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por la Universidad de Colima y la Asociación de Industrias Cítricas de Colima. Los autores desean agradecer al Lic. Fernando Moreno (Rector) y al Ing. Lorenzo Hernández Arreguín (Secretario General de la Universidad de Colima) por las facilidades prestadas para el desarrollo del mismo.

LITERATURA CITADA

- Abrol, I.P. 1986. Salt-affected soils: problem and prospects in developing countries. pp. 283-305. In: M.S. Sinaminathan y S.K. Sinha (eds). Natural Resources and the Environment Series, International Rice Research Institute (IRRI), London.
- Dubey, S.K. y R.C. Mondal. 1993. Sodic soil reclamation with saline water in conjunction with organic and inorganic amendments. *Arid Soil Res. and Rehabil.* 7: 219-231.
- Gupta, R.K. e I.P. Abrol. 1990. Salt-affected soils: Their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Sci.* 11: 223-288.
- Harris, S.A., 1990. Dynamics and origin of saline soils on the Slims river delta, Kluane National Park, Yukon Territory. *Arctic* 43: 159-175.
- Jones, S.B., C.W. Robbins y C.L. Hansen. 1993. Sodic soil reclamation using cottage cheese (acid) whey. *Arid Soil Res. and Rehabil.* 7: 51-61.
- Levy, R., P. Fine y A. Feigin. 1985. Sodicity of soil equilibrated with wastewater. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 35-39.
- Minhas, P.S. y B.K. Khosla. 1987. Leaching of salts by the method of water application and atmospheric evaporation under shallow and saline water-table conditions. *J. Agric. Sci.* 109: 415-419.
- Orlov, D.S., I.A. Luganskaya e I.N. Lozanovskaya. 1989. Chemical reclamation of saline-sodic soils of the lower Don floodplain by some industrial wastes. *Soviet Soil Sci.* 3: 78-89.
- Pessarakli, M. 1991a. Formation of saline and saline sodic soils and their reclamation. *J. Environ. Sci. and Health A26:* 1303-1320.
- Pessarakli, M. 1991b. Water utilization and soil salinity control in arid-zone agriculture. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis* 22: 1787-1796.
- Pla, I. 1988. Riego y desarrollo de suelos afectados por sales en condiciones tropicales. *Soil Technol.* 1: 13-35.
- Richards, A.L. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U.S. Salinity Laboratory Staff, Agriculture Handbook No. 60. USDA. Washington, D.C.

- Robbins, C.W. y G.A. Lehrs. 1992. Effects of acidic cottage cheese whey on chemical and physical properties of sodic soil. *Arid Soil Res. Rehabil.* 6: 127-134.
- Ross, Ch.C., S.R. Harper y G.E. Valentine. 1989. Agricultural wastes. *Res. J. WPCF* 61(6): 863-872.
- SAS Institute. 1987. SAS/STAT Guide for personal computers. Version 6 Edition. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- Valentine, G.E. Ch.C. Ross y S.R. Harper. 1990. Agricultural wastes. *Res. J. WPCF* 62(4): 467-473.
- Walkley, A.L. y C.A. Black. 1934. An examination of the method for determination of soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Zapata, R.R. y F. Rodríguez C. 1994. Study of the salinity for the Nextlalpan Municipality. State of Mexico. Vol. 3b, p. 318. *In: Resúmenes del 15° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo.*
- Zekri, M. y L.R. Parsons. 1992. Salinity tolerance of citrus rootstocks: Effect of salt on root and leaf mineral concentration. *Plant Soil* 147: 171-181.

MINERAL NUTRITION AND FERTILIZER MANAGEMENT IN CITRUS ORCHARDS

Nutrición Mineral y Manejo de Fertilizantes en Huertas de Cítricos

Dariusz Swietlik¹

RESUMEN

Las huertas de cítricos comúnmente son fuertemente fertilizadas con nitrógeno y otros nutrimentos minerales. El público incrementa su preocupación por la contaminación potencial del agua subterránea por diversos productos agroquímicos, incluyendo a los nitratos. La fertigación mediante un sistema de micro-irrigación es un nuevo método que promete un uso eficiente de los fertilizantes porque coloca a los nutrimentos minerales solamente en las zonas mojadas donde las raíces son más activas. Bajo esta condición las fertigaciones son, ya sea, más o igualmente efectivas para incrementar los rendimientos de los árboles de cítricos en comparación con las aplicaciones tradicionales al voleo. Sin embargo, en climas más húmedos una parte considerable del sistema radical puede estar fuera de las zonas humedecidas. Cuando sólo una pequeña porción de todo el sistema radical se fertiliza, la cantidad de nutrimentos absorbidos podría ser insuficiente para mantener el nivel nutrimental y el rendimiento óptimos de los árboles. El modelo de absorción de compensación de De Wit se usa para explicar porque puede ser así. El modelo y algunos datos disponibles sobre absorción del nitrógeno disponible para cítricos indican que aproximadamente 50 % del sistema radical de una huerta de cítricos maduros debe estar fertilizado para asegurar su nivel de N y rendimientos óptimos. Los datos experimentales obtenidos bajo condiciones húmedas respaldan esta conclusión. Los estudios también demostraron que la aplicación de fertilizantes nitrogenados mediante un sistema de micro-irrigación es una herramienta potencialmente útil para minimizar la lixiviación del fertilizante nitrogenados.

Palabras clave: Fertigación, contaminación de mantos freáticos.

¹Texas A&M University-Kingsville Citrus Center. P.O. Box 1150, Weslaco, Texas 78599, USA. Professor.

Aceptado: Julio de 1997.

SUMMARY

Citrus orchards commonly are heavily fertilized with nitrogen and other mineral nutrients. The public is increasingly concerned with a potential ground water pollution involving a variety of agricultural chemicals, nitrates included. Fertigation through a microirrigation system is a promising new method of efficient use of fertilizer materials because it places mineral nutrients only in the wetted zones where roots are most active. This method of fertilization proved particularly effective in arid zones where roots are largely confined to the wetted zones. Under this condition fertigations are either more or equally effective in increasing citrus tree yields compared to traditional broadcast applications. In more humid climates, however, a considerable part of the root system may be present outside the wetted zones. When only a small portion of the entire root system is fertilized then the amount of nutrients absorbed may not be sufficient to maintain the trees' optimal nutrient status and yield. The De Wit's compensation uptake model is used to explain why this may be the case. The model and some of the available nitrogen uptake data for citrus trees indicate that approximately 50 % of the root system must be fertilized in a mature citrus orchard to assure optimal N status and yields. The experimental data obtained under humid conditions support this conclusion. Studies also showed that applying nitrogen fertilizers through a microirrigation system is a potentially powerful tool in minimizing N fertilizer leaching.

Index words: Fertigation, ground water pollution.

INTRODUCTION

Efficient utilization of agricultural chemicals, fertilizers included, is becoming increasingly important among citrus growers the world over. The two major reasons are: 1) globalization of individual countries economies resulting in fierce international competition, and 2) ever rising concerns over environmental

degradation often linked with agricultural chemical pollution.

Due to the time constraints only one topic related to citrus tree nutrition will be addressed in this presentation. Fertigation, or applying nutrients with irrigation water, is becoming a popular method of applying fertilizers in many horticultural crops. Fertigation through a microirrigation system (drip, microsprayers) is often perceived as a promising new method of efficient use of fertilizer materials because it places mineral nutrients only in the wetted zones where roots are most active. Although this method carries a promise of high efficiency, many questions concerning managing fertigations remain unanswered, e.g., the proportion of the orchard floor that must be fertigated to maximize yield, identification of optimal concentrations of nutrients in irrigation water, and frequency of fertilizer applications.

GROUND COVERAGE

One of the most frequently asked questions by citrus growers is what portion of the root system must receive fertilizer in order to assure optimum nutrient uptake and tree yield. No definite answer can be given at this time, but available experimental data and some theoretical developments dating back to 1953 may provide some guidelines (De Wit, 1953).

When availability of a nutrient, e.g., nitrogen, is improved by fertilizer placement in only a part of a rooted volume of soil (as under fertigation with microirrigation) and the identical improvement in nutrient availability is accomplished in the whole rooted soil volume (broadcast application) then

$$U_s/U_b > X_s/X_b,$$

where

U_s and U_b represent the uptake of nutrients placed in a part and the entire rooted volume, respectively.

X_s and X_b are partial and entire root volumes that received fertilizers, respectively.

The above relationship indicates that fertilizers applied to a part of the root system are utilized more efficiently than those broadcast over the entire rooted volume. This phenomenon is known as compensation uptake, and was first described by De Wit (1953). He offered the following mathematical formula to describe this relationship:

$$U_s/U_b = (X_s/X_b)^{0.44}$$

This formula allows one to calculate the uptake from the fertilizer enriched part of the rooted soil volume provided the uptake from the equally enriched entire rooted soil volume is known. Although, measurements of nutrient uptake by fully grown citrus trees are difficult and data on the subject are scarce, some estimations of N uptake from the fertilizer enriched portion of the root system is still possible.

According to Feigenbaum *et al.* (1987) the uptake efficiency from 140 and 400 kg N ha⁻¹ fertigated to mature orange trees in Israel could be approximated at 57 % and 40 %, respectively. Hence, the trees could utilize 80 and 160 kg N ha⁻¹ from N fertilizers applied at 140 and 400 kg N ha⁻¹. As this experiment was conducted under an arid climate, it is assumed that the root system was confined to the wetted zones and thus most of roots received fertilizer N. Let's now assume that identical fertigations were applied in a humid climate but only half of the root system received fertilizer N because under this condition roots easily grow outside the wetted zones (Huguet and Furcade, 1980; Koo and Smajstrala, 1985; Swietlik, 1992). Using the uptake efficiencies given above and the De Wit's compensation uptake model one can calculate that at 140 kg N ha⁻¹:

$$U_s = (X_s/X_b)^{0.44}/U_b = (0.5)^{0.44}/(140 \times 0.57) = 0.737 \times 80 = 59 \text{ kg N ha}^{-1}$$

and at 400 kg N ha⁻¹

$$U_s = (X_s/X_b)^{0.44}/U_b = (0.5)^{0.44}/(400 \times 0.40) = 0.737 \times 160 = 118 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Only at the higher application rate would the calculated uptake of 118 kg ha⁻¹ be sufficient to sustain high tree yields (Dasberg *et al.*, 1984). If, however, the same 400 kg N ha⁻¹ rate enriched only 30 % of the root system then the U_s would be:

$$U_s = (0.3)^{0.44} \times (400 \times 0.40) = 21 \text{ kg N ha}^{-1}$$

The calculated uptake is obviously insufficient to sustain the optimal trees' performance.

The above calculations explain why in humid climates where roots easily proliferate outside the wetted zones application of water and nutrients to only

a small fraction of the entire rooted soil volume often leads to poor tree performance. For example, the results of fertigation studies conducted by Koo (1980, 1984) in Florida indicated that fertigations covering 40 % to 60 % of the ground in a mature 'Valencia' orange orchard had higher fruit production than when the ground coverage was less extensive. These results are in good agreement with the theoretical calculations presented above.

The ground coverage as extensive as 40 to 60 %, however, may not be necessary in young orchards whose root system is much less developed. For example, Swietlik (1992) reported equally good results with fertigations covering 6 % of the ground compared to fertilizer applications covering 32 % of the ground in a 4-year-old 'Ray Ruby' grapefruit orchard in Texas.

In contrast with humid regions, the extend of ground coverage with fertigation seems to be less important in arid climates as indicated by the results of Bravdo *et al.* (1992) and Bielorai *et al.* (1981). In the latter study, ground coverage of 35 % produced equal or higher yields of 'Shamouti' orange trees than 70 % or 90 % ground coverage. In arid zones the extend of ground coverage with fertigation may be less important simply because roots are largely confined to areas under the drippers or microsprayers (Bielorai, 1985; Levin *et al.*, 1980; Morshet *et al.*, 1989; Roth and Gardner, 1985).

FREQUENCY OF APPLICATION

Although there are many claims that frequent light applications of fertilizers can increase uptake efficiency, there is no conclusive scientific evidence to support this contention. Swietlik (1992) in Texas found that frequent N fertigations provided no benefits over two split-soil broadcast applications. Similarly, increased fertigation frequency was not beneficial compared to less frequent fertigations or applications of dry fertilizer in experiments conducted in Florida (Koo, 1980; 1984; Willis *et al.*, 1990, 1991). However, type of soil and rootstock may interact with the application frequency. On a flatwood type of soil in Florida, 'Hamlin' orange trees budded to 'Carrizo' rootstock grew better when fertigated 30 times a year as compared to 10 fertigations or five applications of a dry fertilizer (Willis *et al.*, 1990).

Under the arid climate of Israel, the differences between continuous fertigations from March to August and broadcasting dry fertilizer once or twice a year in a 'Shamouti' orange orchard were not conclusive (Dasberg *et al.*, 1988). In one year, however, fertigations were more efficient than broadcasting in terms of yield when the rate of N was 160 kg ha⁻¹ but not 280 kg ha⁻¹.

RATE OF APPLICATION

In most of the experiments, the rate of nitrogen required to maximize tree responses in terms of growth and/or yield were similar for fertigations and broadcast applications (Dasberg *et al.*, 1988; Swietlik, 1992; Willis *et al.*, 1990, 1991).

FERTILIZER CONCENTRATION IN IRRIGATION WATER

Unfortunately, many authors do not specify concentrations of mineral nutrients injected into irrigation lines. In reports where such information is included, final N concentrations in irrigation water ranged from 200 ppm (Swietlik, 1992) to 100 ppm (Bravdo *et al.*, 1992) and 60 ppm (Dasberg *et al.*, 1983). In neither of these studies were tree injuries reported. Field observations indicate, however, (Swietlik, unpublished) that excessive concentrations of mineral nutrients in irrigation water, well above those cited, may lead to serious tree damages.

NITRATE LEACHING

Willis *et al.*, (1990) reported that at the same nitrogen rate, there was less nitrate leaching in a young Florida orange orchard with 10 or 30 fertigations per year vs. traditional five annual dry fertilizer applications.

Swietlik (1995) studied recovery of fertilizer N in the form of nitrates in the top 3 m of soil in a young grapefruit orchard four years after different nitrogen rates and irrigation treatments were initiated. Nitrogen was injected from January to July or August into the trickle lines or, under flood, was applied beneath the trees in two split applications per year. The net amount of fertilizer N recovery was 45 % under trickle irrigation scheduled by tensiometers (TTEN). This

amount was four times higher than those found under flood irrigation (FLOOD) or trickle irrigation scheduled based on estimated evapotranspiration (TPAN) calculated as 0.7 (first three years) and 0.5 (4th season) of Class A pan evaporation. In the TTEN treatment, the amount of irrigation water calculated on a per wetted surface area basis constituted only 40 % of the amounts used in the TPAN or FLOOD treatments which explains the decreased leaching potential in TTEN. Although the reduction in NO_3 leaching in TTEN was due to reduced irrigation amounts, the trees' growth and yield were similar between all irrigation treatments.

REFERENCES

- Bielorai, H. 1985. Moisture, salinity, and root distribution of drip irrigated grapefruit. Proc. Third Intl. Drip/Trickle Irr. Congr. 2: 579-586.
- Bielorai, H., S. Dasberg, Y. Erner, and M. Braum. 1981. The effect of various soil moisture regimes and fertilizer levels on citrus yield response under partial wetting of the root zone. Proc. Int. Soc. Citriculture 2: 585-589.
- Bravdo, B., E. Salomon, Y. Erner, D. Saada, E. Shufman, and Y. Oren. 1992. Effect of drip and microsprinkler fertigation on citrus yield and quality. Proc. Int. Soc. Citriculture 2: 646-648.
- Dasberg S., A. Bar-Akiva, S. Spazisky, and A. Cohen. 1988. Fertigation versus broadcasting in an orange grove. Fertilizer Research 15: 147-154.
- Dasberg S., H. Bielorai, and J. Erner. 1983. Nitrogen fertigation of 'Shamouti' oranges. Plant Soil. 75: 41-49.
- Dasberg S., Y. Erner, and H. Bielorai. 1984. Nitrogen balance in a citrus orchard. J. Environ. Qual. 13: 353-356.
- De Wit, C.T. 1953. A physical theory on placement of fertilizers. Agric. Res. Rep. 59(4).
- Feigenbaum, S., H. Bielorai, Y. Erner, and S. Dasberg. 1987. The fate of ^{15}N labeled nitrogen applied to mature citrus trees. Plant Soil 97: 179-187.
- Huguet, J.G. and P. Furcade. 1980. Apple root distribution in relation to the position of drip irrigation nozzles. pp. 59-67. In: K. Slowik, D. Swietlik, and K. Sitton (eds.) Proc. Symp. Drip Irr. Hort., Skierniewice, Poland, 30 Sept. - 4 Oct.
- Koo, R.C.J. 1980. Results of citrus fertigation studies. Proc. Fla. Hort. Soc. 93: 33-36.
- Koo, R.C.J. 1984. The importance of ground coverage by fertigation for citrus on sandy soils. Fertilizer Issues 1(2): 75-78.
- Koo, R.C.J. and A.G. Smajstrla. 1985. Trickle irrigation of citrus on sandy soils and in a humid region. Proc. Third Intl. Drip/Trickle Irr. Congr. 1: 212-219.
- Levin, I., R. Assaf, and B. Bravdo. 1980. Irrigation, water status and nutrient uptake in an apple orchard. pp. 255-264. In: D. Atkinson, I.E. Jackson, R.O. Sharples, and W.M. Waller (eds.) Mineral nutrition of fruit trees. Butterworths, London.
- Morshet, S., Y. Cohen, and M. Fuchs, 1989. Water use and yield of mature 'Shamouti' orange orchard submitted to root volume restriction and intensive canopy pruning. 1988 Proc. Intl. Soc. Citricult. 2: 739-746.
- Roth, R.L. and B.R. Gardner. 1985. Root distribution of mature orange trees irrigated by pressurized systems. Proc. Third Intl. Drip/Trickle Irr. Congr. 2: 579-586.
- Swietlik, D. 1992. Yield, growth, and mineral nutrition of young 'Ray Ruby' grapefruit trees under trickle or flood irrigation and various nitrogen rates. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117: 22-27.
- Swietlik, D. 1995. Minimizing nitrate leaching in citrus orchards with low volume irrigation. Proc. 5th Intl. Microirrigation Cong. 955-960. April 2-6. Orlando, Florida.
- Willis, L.E., F.S. Davies, and D.A. Graetz. 1990. Fertilization, nitrogen leaching and growth of young 'Hamlin' orange trees on two rootstock. Proc. Fla. State Hort. Soc. 103: 30-37.
- Willis, L.E., F.S. Davies, and D.A. Graetz. 1991. Fertigation and growth of young 'Hamlin' orange trees in Florida. HortSci. 26: 106-109.