

ISSN 0187-5779

# TERRA

JULIO - SEPTIEMBRE DE 2003 • VOLUMEN 21 • NÚMERO 3



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

# TERRA

## SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO A.C.

### MESA DIRECTIVA 2003-2005

Presidente  
Vicepresidente  
Secretario General  
Tesorero  
Secretario Técnico  
Secretaria de Relaciones Internacionales  
Vocales

Dra. Ma. Edna Alvarez Sánchez  
Dr. José A. Cueto Wong  
Ing. Andrés Espinosa Carmona  
Dr. Javier Z. Castellanos Ramos  
Dr. Enrique Salazar Sosa  
Dr. Rogelio Juárez González  
Dr. Ernesto Frías Ramírez  
Dra. Christina Siebe Grabach  
M.C. Jesús P. Amado Alvarez  
Dr. Juan Pedro Flores Marges  
Dra. Claudia Hidalgo Moreno  
Dr. David Cristóbal Acevedo

EDITOR  
EDITOR ADJUNTO  
EDITORES TECNICOS

Dr. Antonio Vázquez Alarcón  
Dr. Javier Z. Castellanos Ramos  
Dr. David Cristóbal Acevedo  
Dr. Juan José Peña Cabriales  
Dra. Ma. del Carmen González Chávez  
Dra. Edna Alvarez Sánchez  
Dr. Mateo Vargas Hernández  
Dra. Carmen Gutiérrez Castorena  
Dr. David Espinosa Victoria  
Dr. Manuel Sandoval Villa  
M.C. Jorge Alvarado López  
M.C. Langen Corlay Chee  
Ina Aalmers de Aguilar  
Diane Fumiko Miyoshi Udo

EDITORES DE ESTILO

EDITORA DE ESTILO  
EN INGLES

## 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.  
Órgano Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.  
Julio - Septiembre de 2003 Volumen 21 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, Estado de México, México.

Oficinas: Edificio del Departamento de Suelos  
Universidad Autónoma Chapingo  
56230 Chapingo, Estado de México.

Teléfono y Fax +01(595) 952 17 21  
e-mail: terra@correo.chapingo.mx

### EQUIPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

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

Diseño de portada

### EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

Dr. Manuel Anaya Garduño  
Dr. Jesús Caballero Mellado  
Dr. Lenom J. Cajuste  
Dr. Gabriel Alcántar González  
Dr. Ronald Ferrera Cerrato  
Dr. Benjamín Figueroa Sandoval  
Dr. Reggie J. Laird  
Dr. Angel Martínez Garza  
Dr. Roberto Núñez Escobar  
Dr. Carlos Ortiz Solorio  
Dr. Enrique Palacios Vélez  
Dr. Oscar L. Palacios Vélez  
Dr. Antonio Turrent Fernández  
Dr. Jorge D. Etchevers Barra

### 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. Hari 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. José Rodríguez	Chile
Dr. Karl Stahr	Alemania
Dr. Bernardo Van Raji	Brasil
Dr. Rafael Villegas	Cuba
Dr. José Aguilar Ruiz	España
Dr. Fernando Santibañez Quezada	Chile
Dr. Ramón A. Rossell	Argentina

# TERRA

## MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

### BOARD

President	Dra. Ma. Edna Alvarez Sánchez
Vicepresident	Dr. José A. Cueto Wong
Secretary	Ing. Andrés Espinosa Carmona
Treasurer	Dr. Javier Z. Castellanos Ramos
Technical Adviser	Dr. Enrique Salazar Sosa
International Relations	Dr. Rogelio Juárez González
Voters	Dr. Ernesto Frías Ramírez
	Dra. Christina Siebe Grabach
	M.C. Jesús P. Amado Alvarez
	Dr. Juan Pedro Flores Marges
	Dra. Claudia Hidalgo Moreno
	Dr. David Cristóbal Acevedo

### EDITOR

### ASSOCIATE EDITOR

### TECHNICAL EDITORS

### STYLE EDITORS

### ENGLISH EDITOR

Dr. Antonio Vázquez Alarcón
Dr. Javier Z. Castellanos Ramos
Dr. David Cristóbal Acevedo
Dr. Juan José Peña Cabriales
Dra. Ma. del Carmen González Chávez
Dra. Edna Alvarez Sánchez
Dr. Mateo Vargas Hernández
Dra. Carmen Gutiérrez Castorena
Dr. David Espinosa Victoria
M.C. Jorge Alvarado López
M.C. Langen Corlay Chee
Ina Aalmers de Aguilar
Diane Fumiko Miyoshi Udo

## 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 Assistance

TERRA Registration pending  
Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science  
July - September, 2003 Volume 21 Num. 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, Estado de México, México.

Office address: Edificio del Departamento de Suelos  
Universidad Autónoma Chapingo  
56230 Chapingo, Estado de México.

Telephone - Fax: +52 (595) 952 17 21  
e-mail: terra@correo.chapingo.mx

### EDITORIAL STAFF

### Cover design

### NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

Dr. Manuel Anaya Garduño
Dr. Jesús Caballero Mellado
Dr. Lenom J. Cajuste
Dr. Gabriel Alcántar González
Dr. Ronald Ferrera Cerrato
Dr. Benjamín Figueroa Sandoval
Dr. Reggie J. Laird
Dr. Angel Martínez Garza
Dr. Roberto Núñez Escobar
Dr. Carlos Ortiz Solorio
Dr. Enrique Palacios Vélez
Dr. Oscar L. Palacios Vélez
Dr. Antonio Turrent Fernández
Dr. Jorge D. Etchevers Barra

### 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. José Rodríguez	Chile
Dr. Karl Stahr	Germany
Dr. Bernardo Van Raij	Brazil
Dr. Rafael Villegas	Cuba
Dr. José Aguilar Ruiz	España
Dr. Fernando Santibañez Quezada	Chile
Dr. Ramón A. Rossell	Argentina

# TERRA

JULIO - SEPTIEMBRE DE 2003 • VOLUMEN 21 • NUMERO 3  
JULY - SEPTEMBER, 2003 • VOLUME 21 • NUMBER 3

## DIVISION I

- 301** Clave de fotointerpretación para la cartografía de tierras campesinas a escala regional.  
Photo-interpretation key for peasant land cartography at regional level.  
*Juan F. Martínez-Montoya, Carlos A. Ortiz-Solorio, David Pájaro-Huertas, Enrique Ojeda-Trejo y Eduardo Vargas-Pérez*
- 311** Ordenación de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, a lo largo de gradientes ambientales.  
Vegetation ordination along environmental gradients in the "Sierra de Catorce", San Luis Potosí, Mexico.  
*Arturo Sánchez-González y Diódoro Granados-Sánchez*
- 321** Clasificación fisonómica de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, a lo largo de un gradiente altitudinal.  
Physiognomic vegetation classification along an altitudinal gradient in the "Sierra de Catorce", San Luis Potosí, Mexico.  
*Diódoro Granados-Sánchez y Arturo Sánchez-González*
- 333** Macronutrientes en suelos de desierto con potencial agrícola.  
Macronutrients in desert soils with agricultural potential.  
*Raúl López-A., E. Villavicencio-Floriani, M. A. Real-Rosas, J. L. Ramírez-Barajas y B. Murillo-Amador*
- 341** Dinámica de hierro y zinc aplicados en soluciones ácidas a suelos calcáreos.  
Dynamics of iron and zinc applied in acid solutions to calcareous soils.  
*Patricio Rivera-Ortiz, Jorge D. Etchevers-Barra, Claudia Hidalgo-Moreno, Blanca I. Castro-Meza, Jorge Rodríguez-Alcázar y Ángel Martínez-Garza*
- 351** Solubilidad de cadmio y zinc en suelos agrícolas tratados con lodo residual enriquecido.  
Solubility of cadmium and zinc in agricultural soils treated with enriched sewage sludge.  
*Clarice de Oliveira, Nelson M. B. Amaral-Sobrinho, Nelson Mazur y Fabiana Soares-dos Santos*

## DIVISION II

- 365** Fertilización foliar específica para corregir deficiencias nutrimentales en tres tipos de suelo.  
Specific foliar fertilization to correct nutrient deficiencies in three soil types.

*Libia Iris Trejo-Téllez, Ma. de las Nieves Rodríguez-Mendoza, Gabriel Alcántar-González y Antonio Vázquez-Alarcón*

- 373** Evapotranspiración y calendarización del riego para cebolla con aguas residuales del río Apatlaco, Morelos, México.  
Scheduling irrigation and evapotranspiration on onion crop with wastewater from the Apatlaco river, Morelos, Mexico.

*Ernesto Cuenca-Adame, David Riestra-Díaz, Julián M. Pérez. Mangas y Alfredo Echegaray-Alemán*

## DIVISION III

- 381** Aplicación del modelo de simulación EPIC en la predicción del efecto de sistemas de labranza del suelo.  
Simulation EPIC model applied in the prediction of soil tillage systems effects.

*Bernardo Villar-Sánchez, Jaime López-Martínez, Joel Pérez-Nieto y Robertoni Camas-Gómez*

- 389** Estimación de escurrimiento superficial en la cuenca El Jihuite, México.

Runoff estimation in the watershed El Jihuite, Mexico.  
*H. E. Flores-López, H. Ramírez-Vega, K. F. Byerly-Murphy, J. A. Ruiz-Corral, J. A. Martínez-Sifuentes, P. Díaz-Mederos y V. Alemán-Martínez*

- 401** Fertilización nitrogenada y potásica del cocotero en Colima.  
Nitrogen and potassium fertilization in coconut palm in Colima, Mexico.

*Octavio Pérez-Zamora*

- 409** Evaluación de abonos verdes en asociación con maíz de temporal en los Valles Centrales de Oaxaca, México.  
Evaluation of green manure intercropped with rainfed maize in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico  
*Jaime Ruiz-Vega y Gil Loeza-Ramírez*
- 417** Encalado y fertilización fosfatada en el cultivo de papa en un Andosol de la Sierra Veracruzana.  
Liming and phosphate fertilization on potato in an Andosol of the Sierra Veracruzana.  
*José Luis Aguilar-Acuña, Rosalío López-Morgado, Roberto Núñez-Escobar y Abdul Khalil-Gardezi*
- 427** Estado actual y causas de la degradación de los agostaderos en el municipio de Yanhuitlán, Oaxaca.  
Present condition and causes of rangeland degradation in Yanhuitlán County, Oaxaca.  
*José Rafael Contreras-Hinojosa, Víctor Volke-Haller, José Luis Oropeza-Mota, Carlos Rodríguez-Franco, Tomás Martínez-Saldaña y Ángel Martínez-Garza*
- 437** Disponibilidad y uso de leña en el municipio de Yanhuitlán, Oaxaca.  
Availability and use of fuelwood in Yanhuitlán County, Oaxaca.  
*José Rafael Contreras-Hinojosa, Víctor Volke-Haller, José Luis Oropeza-Mota, Carlos Rodríguez-Franco, Tomás Martínez-Saldaña y Ángel Martínez-Garza*

Revisores y Editores Técnicos  
quienes participaron en este número  
Reviewers and Technical Editors  
who participated in this number

# CLAVE DE FOTOINTERPRETACIÓN PARA LA CARTOGRAFÍA DE TIERRAS CAMPESINAS A ESCALA REGIONAL

## Photo-Interpretation Key for Peasant Land Cartography at Regional Level

Juan F. Martínez-Montoya<sup>1</sup>, Carlos A. Ortiz-Solorio<sup>2</sup>, David Pájaro-Huertas<sup>2</sup>,  
Enrique Ojeda-Trejo<sup>2</sup> y Eduardo Vargas-Pérez<sup>4</sup>

### RESUMEN

En el presente trabajo, se generó una clave de fotointerpretación de tierras campesinas en una región semiárida que sirvió para cartografiar dichas tierras a escala regional y también se clasificaron taxonómicamente los perfiles representativos de cada tierra. Se emplearon fotografías aéreas, escala 1:30 000, las cuales se analizaron mediante el método inductivo. La clasificación taxonómica se hizo con base en los criterios de FAO/ISRIC/SICS y del Soil Survey Staff. Se seleccionaron cuatro áreas piloto que suman 1873.9 ha -Mexquitic de Carmona y Ahualulco, San Luis Potosí- para obtener la cartografía campesina del área agrícola, la clasificación taxonómica y generar la clave de fotointerpretación. El resto del área de estudio (7652 ha) se cartografió con base en la clave de fotointerpretación generada. El análisis estadístico se basó en la prueba de  $X^2$ . En campo, se detectó que los productores distinguen ocho tipos de tierras y una variante, y diferencian las tierras con base en el manejo, la productividad, la textura y la fertilidad. Se generó una clave de fotointerpretación para seis clases de tierras y la extrapolación se hizo con una precisión inicial de 60% para después de la verificación incrementarla a 90%. Se describieron y clasificaron taxonómicamente once perfiles. Los resultados indican que la cartografía en grandes áreas mediante la clave de fotointerpretación generada es muy confiable.

**Palabras clave:** *Etnoedafología, taxonomía de suelos, evaluación de tierras.*

<sup>1</sup> Campus San Luis Potosí, Iturbide 73, 78600 Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México. (jfmartinez@aragob.es) y Autor responsable.

<sup>2</sup> Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Texcoco, México.

<sup>3</sup> División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Texcoco, México.

Recibido: Febrero de 2001. Aceptado: Noviembre de 2002.  
Publicado en Terra 21: 301-309.

### SUMMARY

The objective of this work was to generate photo-interpretation keys, to map peasant lands in a semi-arid region, and to classify taxonomically the representative profiles of each land type. Aerial photographs, at scale of 1:30 000, were analyzed through the inductive method. Taxonomic classification was done using the methods of FAO/ISRIC/SICS and Soil Survey Staff. In order to map the peasant land, to generate the photo interpretation key -selective type- and to carry out taxonomic classification, four pilot areas (1873.9 ha of Mexquitic de Carmona and Ahualulco, San Luis Potosí) were selected. The cartography of the rest of the study area (7652 ha) was done using the generated photo-interpretation key. The statistical analysis was based on the  $X^2$  test. In the field, it was found that the peasants distinguish eight types of lands and one variation and that they identify the lands on the basis of management, productivity, texture, and fertility. A photo-interpretation key was generated for six classes of lands. Initially, extrapolation was achieved with 60% of accuracy; after verification, accuracy increased to 90%. Eleven representative profiles were described and taxonomically classified. According to the obtained results, it was concluded that the cartography of large areas through photo-interpretation keys is very reliable.

**Index words:** *Ethnoedaphology, soil taxonomy, land evaluation.*

### INTRODUCCIÓN

Los campesinos tienen conocimientos útiles respecto al uso apropiado, problemas, manejo y caracterización de cada tipo de tierra (Martínez y Ortiz, 1992; Cruz *et al.*, 1998; Zappacosta y Valverde, 1998). Dichos conocimientos buscan la armonía entre la actividad agrícola y su medio físico, tecnológico, económico y social (Martínez *et al.*, 1992). Sin embargo, a pesar de la importancia del conocimiento

agrícola tradicional, éste es menospreciado por técnicos, científicos, instituciones gubernamentales, educativas, de investigación y por la clase social que rige o detenta el poder (Hudson, citado por Bocco, 1990; Martínez y Ortiz, 1992; Martínez *et al.*, 1992). Por este motivo, es necesario rescatar y difundir los conocimientos empíricos generales para darles la importancia que se merecen y reutilizarlos en el manejo sustentable de los recursos naturales. El primero se logra con el método de Ortiz *et al.* (1990) y para el segundo hace falta una técnica para cartografiar tierras campesinas a escala regional y que sea la base para la difusión y extrapolación de los conocimientos tradicionales.

El uso de **claves de fotointerpretación (CFI)** permite ahorrar tiempo, dinero y recursos humanos en los estudios que impliquen la cartografía de los recursos naturales, así como extrapolar información a regiones con características geográficas similares a donde se generaron los conocimientos. Estes y Simoneth (1975), así como Lillesand y Kiefer (1987) comentaron que el proceso de fotointerpretación puede facilitarse mediante el uso de CFI; Moncayo *et al.* (1970) mencionaron que "una CFI es un auxiliar descriptivo básico mediante el cual se diferencian, califican y cuantifican una o varias características de los recursos representados en el modelo estereoscópico mediante los criterios fotográficos en correlación con su significación en el terreno". Estes y Simoneth (1975), Paine (1981) y Lillesand y Kiefer (1987) indicaron que hay dos tipos de claves: 1) **Selectiva**, en la cual el intérprete compara las características de la clave con los detalles que observa en la fotografía y selecciona la clave más adecuada y 2) **Dicotómica o de eliminación**, que es un procedimiento deductivo y elimina todas las características menos la identificada. Las fotografías aéreas se han utilizado principalmente en cuestiones forestales, por tal motivo las claves de interpretación que se han generado se relacionan principalmente con la vegetación (Masumy, 1984; Hartmann y Uebel, 1986; Edwards *et al.*, 1987; Neldner y Howitt, 1991). En cuestiones de suelo se han usado para: identificar el patrón de drenaje (Dematte y Demetrio, 1996); problemas especiales de manejo (Blackmer *et al.*, 1995); estudio de suelos aluviales (Lanczewska, 1984); discriminar suelos delgados de rocas (Naesset, 1995); uso y grado de humedecimiento de los suelos (Hrasko y Koleny, 1986); cartografía de tierras (Sen y Mann, 1977); su uso relacionado con el conocimiento campesino (Licona *et al.*, 1993) es muy escaso.

Con el propósito de contribuir en la generación de técnicas de cartografía de tierras campesinas en regiones áridas y semiáridas, y para difundir los conocimientos empíricos y propiciar su uso, se plantearon los siguientes objetivos: 1) Generar claves de fotointerpretación en áreas piloto que permitan la cartografía de tierras campesinas del área agrícola de una región, y 2) Efectuar la clasificación taxonómica del perfil típico de cada tipo de tierra campesina, que sirva como enlace entre campesino y técnico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio (9525.9 ha, Figura 1) se ubica en parte de los municipios de Ahualulco y Mexquitic de Carmona, San Luis Potosí, con coordenadas entre 22° 16' 37" y 22° 34' N, y 101° y 101° 20' O; con una altitud de 1800 a 2370 m; y predominancia de rocas sedimentarias (lutita, arenisca y caliza); la hidrología superficial está comprendida por corrientes superficiales intermitentes, siendo el principal el arroyo La Presa-Justino-Bocas (INEGI, 1972). El clima varía de seco a muy seco o árido (BWkw-BS1kw) con precipitación promedio anual de 299.2 a 409.0 mm y temperatura promedio anual de 17.3 a 17.5 °C (García, 1988).

La clave de fotointerpretación, CFI, se generó en áreas piloto (La Parada, San Juan de Coyotillos, Yerbabuena y Valle Umbroso, con una superficie agrícola de 617.1, 424.1, 550.1 y 282.6 ha, respectivamente), ubicadas considerando la variabilidad de las tierras a escala regional en cuanto a suelos, uso actual y geología (INEGI, 1972), útiles para la obtención de la CFI. La cartografía en las áreas piloto se realizó con base en el método de Ortiz *et al.*, (1990). De manera informal, se entrevistó a 30 productores, preguntándoles las tierras que reconocen en su ejido y las características con las cuales las identifican. El Comisario ejidal, un representante o la persona que mejor conocía el Ejido participó en la cartografía de las áreas piloto. Se describieron nueve clases de tierras y 11 perfiles. Los análisis físicos y químicos de las muestras de suelo (Cuadro 1) se hicieron de acuerdo con Van Reeuwijk (1999). La CFI (sólo se consideró la de tipo selectiva) se generó de acuerdo con Licona *et al.* (1993), utilizándose fotografías aéreas, escala 1:30 000. Con la clave obtenida se fotointerpretó toda el área de estudio. Para la verificación cartográfica en 75 sitios (6.25 ha sitio<sup>-1</sup>) se cotejaron las unidades cartográficas de gabinete con lo existente en campo; se anotó la



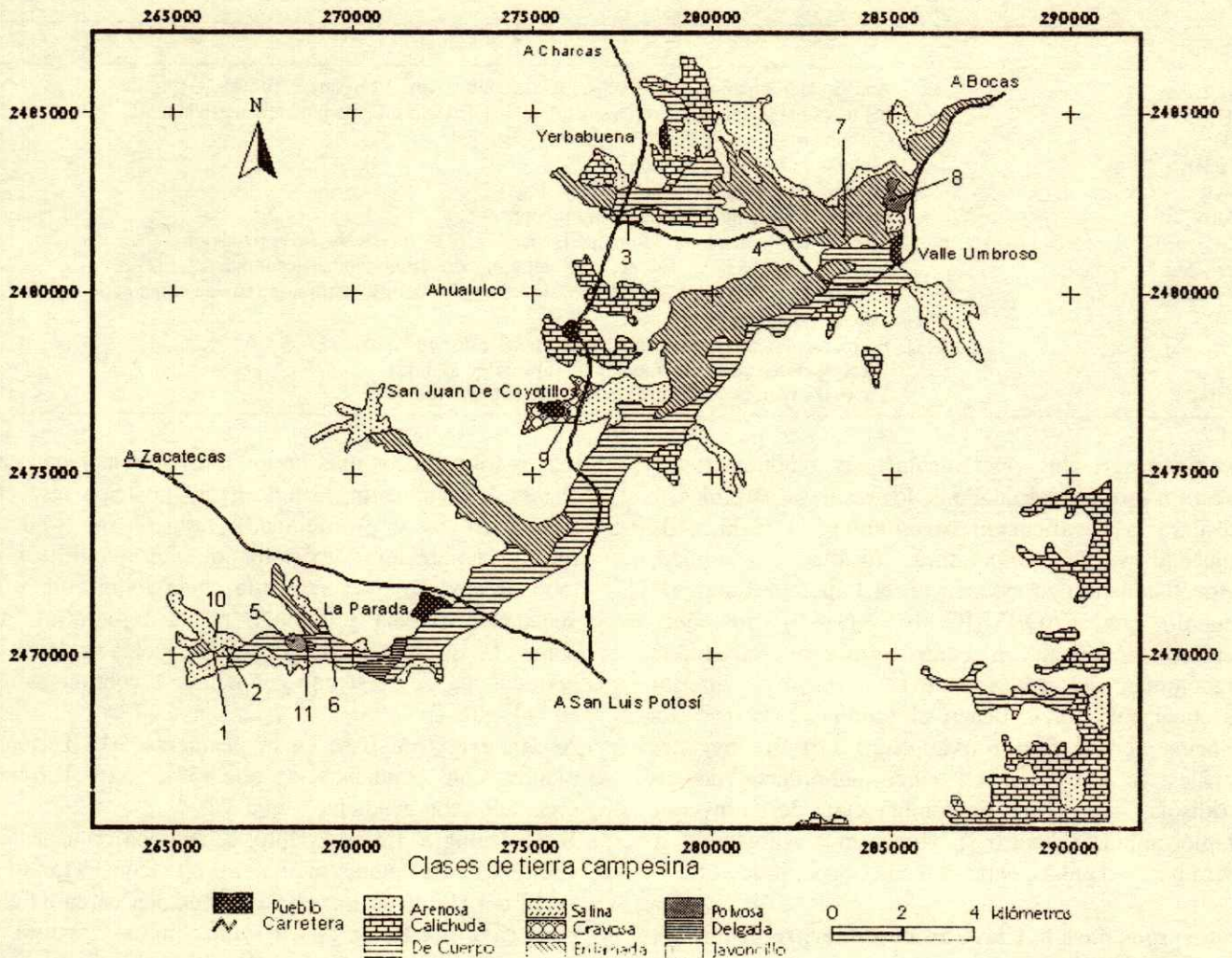


Figura 1. Mapa de tierras campesinas y localización de los perfiles representativos (1-11).

la palabra SI o NO y a qué unidad cartográfica correspondía en caso de que la respuesta fuera NO. Con estos resultados se aplicó la prueba estadística no paramétrica  $X^2$ . Con el propósito de hacer las correcciones pertinentes, se efectuó una nueva fotointerpretación, la cual permitió modificar linderos o los nombres de las unidades cartográficas.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los productores reconocen ocho clases de tierra, que en orden de importancia, en cuanto a superficie, son: "calichuda", "de cuerpo", "enlamada", "arenosa", "delgada", "salina", "polvosa", "jaboncillo" y la variante "arena con grava". Los campesinos las distinguen con base en el color, la textura, la profundidad, la productividad y el manejo

(Cuadro 2). De acuerdo con los productores, la mejor tierra en cuanto a productividad y manejo es la "enlamada", ya que en ella se producen más cultivos y se obtienen mayores rendimientos, le sigue en importancia la "de cuerpo" (Cuadro 2). El conocimiento sobre las tierras se ha acumulado de generación en generación y la discriminación en varias clases permite que los productores realicen la actividad agrícola con más éxito; asimismo, el conocer la calidad de la tierra (cultivo que más se adapta), sus problemas de manejo, y tener su ubicación mediante la cartografía, es muy útil tanto para el técnico, como para otros productores. El técnico puede basarse en ella para establecer programas de manejo o de apoyo en la investigación y enseñanza; mientras que los productores pueden tomar estos programas como ejemplo para mejorar sus

**Cuadro 1. Métodos de laboratorio utilizados en el análisis físico y químico de suelos (Van Reeuwijk, 1999).**

Análisis	Método
ATp	Análisis del tamaño de partículas. Las fracciones son: A (arena), L (limo), R (arcilla)
pH	pH medido en agua relación suelo/solución 1:1. Determinado potenciométricamente
CO	Carbono orgánico. Método de Walkley y Black
CaCO <sub>3</sub>	Método de Norton y Newson
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fósforo extractable en ácido cítrico a 1%
Dap	Densidad aparente. Método de la Probeta
CIC	Método de Sholleberg y Simon NH <sub>4</sub> Oac 1N, pH 7.0 en tubos de percolación
Ca y Mg	Extraídos con NH <sub>4</sub> Oac 1N, pH 7.0 y determinados complejométricamente con EDTA
K y Na	Extraídos con NH <sub>4</sub> Oac 1N, pH 7.0 y determinados por espectrofotometría de emisión de flama
PsB	Cálculo: suma de bases/CIC
CE	En extracto de saturación medido con puente de conductividad
Yeso	Precipitado en acetona y medido por absorción atómica
Color	En seco y húmedo utilizando la tabla de colores Munsell

prácticas agrícolas, incrementar sus rendimientos y hacer un uso más adecuado de los recursos naturales.

Para la **clasificación taxonómica**, el régimen de humedad y de temperatura, (arídico y térmico, respectivamente) se estimó con el Índice de Lang. De acuerdo con FAO/ISRIC/SICS (1999), los once perfiles se ubican en cuatro grupos, con amplio predominio del Fluvisol (8) y a nivel inferior prácticamente todos tienen el término calcárico. En relación con el Soil Survey Staff (1999), los once perfiles se clasifican en cinco subórdenes de los Aridisols, con la predominancia de Fluventic Haplocambids (Cuadro 3). Con esta clasificación, se logra hacer el enlace entre el técnico y el productor.

### Fotorasgos para la Clave de Fotointerpretación

Los primeros resultados de la fotointerpretación fueron los fotorasgos de cada tipo de tierra y, a partir de éstos, se creó la clave de fotointerpretación. Los

rasgos fotográficos más importantes se relacionan con el relieve (pendiente), la hidrología (posición respecto a los arroyos y profundidad), la geología (tipo de rocas), el parcelamiento (tamaño y agrupamiento), el tono, la textura, y el moteado en la fotografía, y la vegetación (forma y tamaño en la fotografía), así como la presencia de fase de suelos cálcica o petrocálcica; se presentan con detalle a continuación y en la Figura 2.

**A. Relieve.** Con base en la pendiente. **a1:** Terrenos planos con pendiente < que 3%; **a2:** Terrenos ondulados con pendiente > que 3%.

**B. Hidrología.** En este punto, se englobaron aspectos, como: **b1:** Río aguas arriba. Se está considerando el perfil del río como lo vería una persona cerca de él y observara hacia la parte alta (aguas arriba) o *viceversa*; **b2:** Cercanía al río. Se refiere a la distancia, en forma lateral, que hay desde un determinado punto hasta el río, el cual es importante por los posibles desbordamientos durante las lluvias

**Cuadro 2. Características principales utilizadas por los productores para diferenciar las tierras más importantes.**

Característica	Principales clases de tierra campesina				
	Cuerpo	Delgada	Arenosa	Enlamada	Calichuda
Textura	Chicluda <sup>1</sup>	Sin barro	Arenosa	Suave	Media
Profundidad	> 1.5 m	< 2 m	Varía	Varía	< 0.5 m
Grietas	Muchas	Ninguna	Ninguna	Poca	Ninguna
Consistencia	Muy dura en seco	Suave	Muy suave	Suave	Suave
Porosidad	Muy baja	Buena	Alta	Buena	Buena
Retención de agua	Muy buena	Mala	Muy mala	Muy buena	Media
Geología	Sin rocas	Sin rocas	Ígneas	Sin rocas	Caliche
Cultivos <sup>†</sup> más adaptados	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	2, 3, 4, 5, 8, 9	2, 4, 5, 8, 9, 10	Todos los cultivos	1, 2, 8, 10
"Trabajabilidad" <sup>§</sup>	"Rebelde"	"Dócil"	"Dócil"	"Dócil"	"Dócil"
Fertilidad	Alta	Mediana	Muy baja	Alta	Baja

<sup>†</sup> Chicluda ≈ arcillosa. <sup>1</sup> 1: Maíz, *Zea mays* L.; 2: Col, *Brassica oleracea* L. capitata; 3: Ajo, *Allium sativum* L.; 4: Zanahoria, *Daucus carota* L.; 5: Coliflor *Brassica oleracea* var. *Botrytis* L.; 6: Alfalfa, *Medicago sativa* L.; 7: Cebolla, *Allium cepa* L.; 8: Frijol, *Phaseolus vulgaris* L.; 9: Pepino, *cucumis sativus* L.; 10: Chile, *Capsicum annuum* L. <sup>§</sup> Facilidad de manejo con el tractor o la yunta.

**Cuadro 3. Clasificación taxonómica preliminar de los perfiles representativos (Figura 1).**

Perfil	Nombre campesino	FAO/ISRIC/SICS. (1999)	SSS (1999)
1	"Arena"	Fluvisol eútrico	Fluventic Haplocambids
2	"Salina"	Solonchak cálcico, sódico	Sodic Haplocalcids
3	"Calichuda"	Calcisol pétrico	Typic Petrocalcids
4	"Enlamada"	Fluvisol calcárico	Duric Petrocalcids
5	"Jaboncillo"	Fluvisol calcárico	Fluventic Haplocambids
6	"De cuerpo"	Fluvisol calcárico	Fluventic Haplocambids
7	"De Cuerpo"	Fluvisol calcárico	Fluventic Haplocambids
8	"Polvosa"	Fluvisol sódico, calcárico	Sodic Haplocambids
9	"Arena gravosa"	Fluvisol orticálcico	Fluventic Haplocalcids
10	"Arena gravosa"	Fluvisol calcárico	Fluventic Haplocambids
11	"Delgada"	Cambisol eútrico, calcárico	Typic Haplocambids

torrenciales, con probabilidad de originar tierras enlamadas (varía de 0 a 25 m en promedio) se usan términos cualitativos de preferencia; **b2.1:** Cercano al río. Colinda con el río; **b2.2:** Lejos del río. No colinda con el río; **b3:** Profundidad del cauce del río. Se refiere a la altura que existe de la base del terreno al fondo del río, en forma aproximada; **b3.1:** Cauce profundo. Mayor que 1.5 m o con barranco; **b3.2:** Cauce poco profundo. Menor que 1.5 m, este rasgo es importante porque a menor profundidad mayor probabilidad de desbordamiento y, por lo tanto, puede originar tierras enlamadas; **b4:** Represas y canales en los arroyos. Pueden verse sólo con los binoculares del estereoscopio; **b4.1:** Arroyo con represas y canales que conectan las represas con las tierras de cultivo; **b4.2:** Arroyo sin represas y sin canales; **b4.3:** Distancia a la boca de los canales de riego; **b4.3.1:** Cerca de la boca del canal, aproximadamente a 40 m; **b4.3.2:** Lejos de la boca de los canales.

**C. Geología.** Tipo de roca presente. Se auxilió en mapas (INEGI, 1972). **c1:** Rocas ígneas. Riolita, granito y toba; **c2:** Rocas sedimentarias; **c2.1:** Tepetate, fase petrocálcica o dúrica y verificación durante el trabajo de campo; **c2.2:** Otras rocas sedimentarias; lutita, brecha y caliza.

**D. Parcelas.** **d1:** Tamaño de parcelas; **d1.1:** Grandes. Mayores que 0.5 cm de ancho y más de 1.0 cm de largo; **d1.2:** Medianas. Menores que 0.5 cm de ancho y de 1.0 cm de largo o menos; **d1.3:** Pequeñas. Menores que 3 mm de ancho y de 5 mm de largo o menos; **d1.4:** Muy pequeñas. Menores que un milímetro cuadrado o rectangular y sólo pueden verse con los binoculares del estereoscopio; **d2:** Compacticidad de las parcelas. Se refiere a que sea un área grande dedicada a la agricultura (varias hectáreas) sin mezclarse con áreas sin desmontar; **d2.1:** Áreas compactas. No existen áreas con

vegetación natural; **d2.2:** Áreas no compactas. Se mezclan superficies agrícolas con vegetación natural.

**E. Tono.** Se refiere a las variaciones de gris que se logran identificar a simple vista; **e1:** Gris muy intenso; **e2:** Gris intenso; **e3:** Gris medio; **e4:** Gris tenue; **e5:** Gris muy tenue o blanquizco.

**F. Textura.** **f1:** Gruesa; **f2:** Media; **f3:** Fina o Lisa.

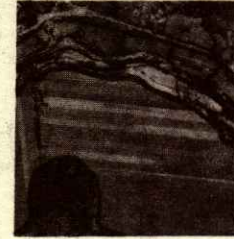
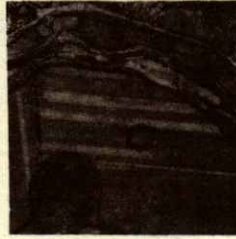
**G. Moteado.** **g1:** Moteado grueso, se distinguen a simple vista; **g2:** Moteado fino, rayado, con apariencia de terciopelo desgastado, se distinguen sólo con estereoscopio y el aspecto aterciopelado que le dan las rayas se logra detectar sólo con los binoculares del estereoscopio.

**H. Vegetación.** Se refiere a la vegetación encontrada en forma aislada, ya sea en los límites de parcelas, arroyos o área de agostadero. Por su tamaño, sólo se aprecian sus detalles con los binoculares del estereoscopio. **h1:** Tamaño. Se trata del tamaño de los puntos correspondientes a vegetación y el tamaño se menciona en forma aproximada. **h1.1:** Grandes.  $\geq 1.0$  mm; **h1.2:** Medianos de 0.5 mm a 1.0 mm; **h1.3:** Pequeños.  $< 0.5$  mm. **h2:** Relacionado con la forma de los árboles o arbustos aislados. Se refiere a la forma de los puntos fotográficos de los árboles aislados o en los límites de las parcelas; dichos puntos pueden ser menores que 3 mm de ancho y  $\leq$  que 5 mm de largo. **h2.1:** Algodonosa o irregular, pero abultado; **h2.2:** Forma de punto regular, ligeramente abultado; **h2.3:** Forma de punto irregular y plano.

#### Generación de la Clave de Fotointerpretación (CFI)

Con base en los fotorasgos del área agrícola, se generó la CFI (del tipo selectivo) para seis clases de tierra de un total de ocho y una variante. Licona *et al.* (1993), usando fotografías aéreas, escala 1:15 000, de

2a) Tierra "de cuerpo"



2b) Tierra "arenosa"



2c) Tierra "enlamada"



2d) Tierra "polvosa"



2e) Tierra "salina"



2f) Tierra "calichuda"



Figura 2. Pares estereoscópicos de las clases de tierra campesina con clave de fotointerpretación.

ocho clases identificaron a seis. La mayor escala les permitió apreciar y captar con más precisión los detalles de cada clase de tierra. En el presente estudio no se logró obtener una clave para las tierras campesinas "delgada" —por su gran parecido con la tierra arenosa y la enlamada—, no presentó rasgos fotográficos distintivos y se confunde con la tierra "de cuerpo" y la "arenosa". La tierra "jaboncillo" por comprender poca superficie (sólo en un cuarto de ha y son necesarias 6.75 ha para un área mínima cartografiada de 1 cm<sup>2</sup> y fotografías aéreas, escala 1:25 000), insuficiente para ser reconocida en la aerofoto e identificar sus rasgos característicos. Dichas CFI son (Figura 2):

**I. Tierras que se ubican en terrenos planos.** Pendiente < que 3%.

**I1. "De cuerpo".** Parcelas grandes, medianas y muy pequeñas parecidas a melgas; estas últimas vistas sólo con los binoculares del estereoscopio. Se ubican cerca de los arroyos profundos; con la presencia de puntos grandes y algodonosos en las cabeceras de las parcelas, tono gris intenso (Figura 2a).

**I2. "Arenosa".** Tierra que se localiza cerca o lejos de arroyos someros y sin canales que desvían el agua hacia las parcelas; ubicadas arroyo aguas arriba; presenta puntos pequeños a medianos en las cabeceras; motas aterciopeladas muy finas; tono de gris tenue a muy tenue; se le encuentra en la cercanía de áreas sin desmontar o mezclada con ella, las rocas son del tipo lutita o brecha (Figura 2b).

**I3. "Enlamada".** Esta tierra puede o no encontrarse a orillas de los arroyos profundos o someros, las parcelas son de tamaño grande a mediano; presenta abundantes motas aterciopeladas; los arroyos tienen represas y canales que desvían la escorrentía hacia las parcelas (Figura 2c).

**I4. "Polvosa".** Son parcelas grandes a medianas; se le puede encontrar bordeando los arroyos profundos; presenta tonalidades muy tenues con algunas motas grises; los puntos entre límites de parcelas son de tamaño medio (Figura 2d).

**I5. "Salina".** Las parcelas son grandes y alargadas; el tono varía de gris intenso a muy intenso; presenta ligero moteado aterciopelado de tono más gris que en las otras tierras (enlamada, salina); tiene puntos grandes algodonosos en las cabeceras de las parcelas (Figura 2e).

**II. Tierras ubicadas en laderas.** Pendiente mayor que 3%.

**II1. "Calichuda".** Áreas con parcelas pequeñas y muy delgadas dispuestas al contorno; se localizan en

las cercanías de zonas sin desmontar o están mezcladas con ellas; los puntos entre parcelas son pequeños, el tono es gris muy tenue y presenta motas de tono gris medio; la fase de suelos (INEGI, 1972) puede ser petrocálcica o dúrica (Figura 2f).

### Cartografía con Base en la Clave de Fotointerpretación

Con base en la CFI, se generó el mapa final de la Figura 1. Con la clase de tierra "enlamada" y "arenosa" se tuvo más problemas debido a que comparten rasgos fotográficos, i.e. aspecto de terciopelo, "aterciopelado", origen fluvial, etc. Cuando se presentó este problema, se optó por nombrar las unidades cartográficas como tierra "arenosa" o "enlamada. Estas superficies fueron las primeras en comprobarse en campo, dando como resultado que la mayor parte de ellas quedarán finalmente como tierras "enlamadas". Con base en la prueba estadística ( $X^2$ ,  $\alpha = 0.01$ ) se concluye que hay por lo menos una clase de tierra que cambia significativamente después de la verificación de campo, es decir, que al menos un tipo de tierra cambió de nombre en un número de unidades estadísticamente significativas, lo cual correspondió a las tierras "arenosa" y "enlamada". Por ejemplo, la tierra "arenosa" de 20 sitios pasó a seis, la "enlamada" se incrementó en 10 sitios; y la tierra "calichuda" se incrementó en tres sitios nombrados inicialmente como tierra "arenosa". Siendo necesario efectuar una nueva fotointerpretación corrigiéndose la nomenclatura y, en menor grado, los linderos.

Debido, principalmente, a la confusión entre la tierra "arenosa" y "enlamada", la precisión inicial fue de 60%; estas tierras comparten rasgos fotográficos (por ejemplo, el moteado "aterciopelado", posteriormente se comprobó que éste es más fuerte en la "enlamada") y origen, las dos tienen propiedades flúvicas —Fluvisoles— (Cuadro 2). También existió confusión porque no se detectaron represas en los arroyos (rasgo típico de las tierras "enlamadas") por ubicarse fuera de la superficie cubierta por las fotografías o estar ocultas por la vegetación. Por lo tanto, para detectar infraestructuras de riego, es recomendable considerar un área piloto mayor en las zonas donde existe posibilidad de que se presente este tipo de tecnología o hacer una inspección general por la región —o entrevistas a los productores— fuera del área agrícola, o para identificar otros posibles

fotorasgos, como los relacionados con la nivelación de tierras.

Con la elección correcta de la tierra "enlamada" y "arenosa", la precisión se incrementa a 90% (obtenida después de la verificación) y hubiera sido igual a la lograda por Licona *et al.* (1993). Para tener mejores resultados, se requiere de una detallada relación fotointerpretación-escala de la fotografía-clase de tierra-trabajo de campo, de tal manera que se logre identificar con precisión las características distintivas de cada tierra y sobre todo el rasgo que las identifica y que evita confusiones; siendo clave la selección del informante y el trabajo de campo. También es necesario contar con fotografías aéreas preferentemente de la época seca en la que se tiene una respuesta espectral principalmente del suelo (García y Muñoz, 1998) y, por lo tanto, el sensor capta con mayor detalle las características de las tierras. Otro factor importante es la escala, ya que a mayor escala, mejor es la captación de los detalles del suelo y Licona *et al.* (1993) recomendaron una escala mayor que 1:20 000 y utilizaron fotografías 1:15 000. De acuerdo con el tamaño de las superficies de las tierras encontradas, es aconsejable una escala igual o mayor que 1:10 000 en áreas similares a las del presente estudio; también pueden utilizarse las fotografías a color con información diferente a las blanco y negro (Naesset, 1995).

### CONCLUSIONES

- Se logró generar una clave de fotointerpretación a escala local -de ejido-, la cual es útil en la cartografía de tierras campesinas en otros ejidos de la región. La clave de fotointerpretación permitió realizar una cartografía de tierras campesinas en corto tiempo y con recursos económicos menores que los que se hubieran utilizado con la propia cartografía campesina; asimismo, permitió la extrapolación a otras áreas de la región con alto grado de confiabilidad (90%) y como ventaja adicional se tiene la factibilidad del uso de Claves de Fotointerpretación en regiones con características semiáridas similares a las del estudio.

- Los perfiles representativos de las nueve clases de tierras campesinas se agruparon en siete grupos de suelos (FAO/ISRIC/SICS, 1999) y cuatro subórdenes de los Aridisols (Soil Survey Staff, 1999).

### RECOMENDACIÓN

Para posteriores trabajos y con respecto a la tierra "enlamada" y "arenosa", es recomendable realizar un recorrido por la región para detectar estructuras (canales y represas) que permitan el desvío de las escorrentías, o en las entrevistas a los productores enfatizar el uso de esta tecnología. Asimismo, tratar de detectar y generar posibles fotorasgos relacionados con técnicas de aprovechamiento de agua de lluvia, como: nivelación de tierras y retranques. En relación con la tierra "calichuda", deben tomarse en cuenta las tonalidades claras en las áreas agrícolas con mayor pendiente, la geología de la región y tratar de utilizar fotografías aéreas a escalas mayores que 1:10 000.

### LITERATURA CITADA

- Blackmer, T.M., J.S. Schepers, G.E. Meyer y P.C. Robert (ed.), R.H. Rust y W.E. Larson. 1995. Remote sensing to detect nitrogen deficiency in corn. pp. 505-512. *In: Proceedings of Second International Conference, Minneapolis, MN, USA, March 27-30, 1994.*
- Bocco G., A.V. 1990. Gully erosion analysis using remote sensing and Geographical Information System. A case study in Central Mexico. PhD thesis. Amsterdam-Enschede, The Netherlands.
- Cruz B., R., V. Volke H., A. Turrent F. y D. Pájaro H. 1998. Clasificación de tierras campesinas para la generación y transferencia de tecnología agrícola entre pequeños productores: Caso del maíz en la región central de Veracruz. *Terra* 16: 1-10.
- Dematte, J.A.M. y V.A. Demetrio. 1996. Photointerpretation of drainage patterns in the characterization of basaltic soils of Parana State, using circular samples. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 20: 109-115.
- Edwards, G.J., B. Beasley, T. Carey y D.L. Goolsby. 1987. Grove management with computer aided photointerpretation. *Proc. Florida State Horticultural Society* 100: 95-99. CAB-Abstract.
- Estes E., J. y D.S. Simoneth. 1975. Chapter 14: Fundamentals of image interpretation. pp. 869-1076. *In: Reaves, R.G. (ed.). Manual of remote sensing. Am. Soc. of Photogrammetry. Falls Church, VA.*
- FAO/ISRIC/SICS. 1999. Base referencial mundial del recurso suelo. *Informes sobre recursos mundiales de suelos* 84. Roma, Italia.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (Para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. México. D.F.
- García R., M.P. y C. Muñoz L. 1998. Utilización de teledetección y sistemas de información geográfica en la cartografía de suelos. *Boletín Soc. Española Ciencia Suelo* 4: 95-105.
- Hartmann, G. y R. Uebel. 1986. Interpretation key for colour infrared aerial photographs for assessing damage to *Picea abies* in the Harz Mountains. *Forst. und Holzwirt.* 41(16): 438-441.

- Hrasko, J. y M. Koleny. 1986. A contribution to interpretation of the Earth's remote survey materials for soil mapping and agricultural purposes. *Pol'nohospodarstvo* 32(11): 945-951.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1972. Cartografía temática: Uso del suelo y vegetación, topográfica, geológica y edafológica escala 1:50 000, hoja F14-A-72. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. México, D.F.
- Lanczewska, E. 1984. The application of photointerpretation for recognizing and estimating alluvial soils beds in the area of Flysch in the Polish Carpathian Mts. *Bulletin Int. Assoc. Eng. Geol.* 29: 117-119.
- Licona V., A., C.A. Ortiz S. y D. Pájaro H. 1993. El uso de la fotointerpretación en la cartografía de clases de tierra campesina. *Revista de Geografía Agrícola* 18: 85-93.
- Lillesand, T.M. y R.W. Kiefer. 1987. Remote sensing and image interpretation. John Wiley. New York.
- Martínez M., J.F. y C.A. Ortiz S. 1992. Cartografía de tierras campesinas en Villa Hidalgo, Zacatecas y su comparación con la carta edafológica de INEGI. *Terra* 10: 140-150.
- Martínez D., D., E. Hernández X. y C.A. Ortiz S. 1992. Clases de tierras forestales del Municipio de Texcoco, Edo. de México. CUAHTLALLI. Etnoedafología Forestal. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Masumy, S.A. 1984. Interpretation key for evaluation of infrared-colour photographs for forest damage surveys. *Allgemeine Forstzeitschrift* 27: 687-689. CAB-Abstract.
- Moncayo R., F., F. Estrada C. y C. Pérez R. 1970. Manual para uso de fotografías aéreas en Dasonomía. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Inventario Forestal. México.
- Naesset, E. 1995. Photo interpretation of areas with thin soil cover and bedrock outcrops within forest stands. *Scandinavian J. Forest Res.* 10: 82-89.
- Neldner, V.J. y C.J. Howitt. 1991. Comparison of an intuitive mapping classification and numerical classifications of vegetation in south-east Queensland, Australia. *Vegetatio* 94(2): 141-152.
- Ortiz S., C.A., D. Pájaro H. y V. Ordaz Ch. 1990. Manual para la cartografía de tierras campesinas. Cuadernos de Edafología 15. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Paine, P.D. 1981. Aerial photography and image interpretation for resource management. John Wiley. New York.
- Sen, A.K. y H.S. Mann (eds.). 1977. Land use mapping by aerial photointerpretation technique. pp. 85-100. *In: Desert ecosystem and its improvement. Monograph 1. Central Arid Zone Research Institute, CAZRI. Rajasthan, India.*
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C.
- Van Reeuwijk, L.P. (ed.). 1999. Procedimientos para el análisis de suelos. Versión 1995. Trad. al español por Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena, Carlos Arturo Tavarez Espinosa y Carlos Alberto Ortiz Solorio. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Zappacosta, M. y J. Valverde. 1998. Socio-cultural frameworks and production based on peasant knowledge. *Rev. For. Centroamericana* 7(23): 22-28.

# ORDENACIÓN DE LA VEGETACIÓN DE LA SIERRA DE CATORCE, SAN LUIS POTOSÍ, A LO LARGO DE GRADIENTES AMBIENTALES

## Vegetation Ordination Along Environmental Gradients in the "Sierra de Catorce", San Luis Potosí, Mexico

Arturo Sánchez-González<sup>1</sup> y Diódoro Granados-Sánchez<sup>1‡</sup>

### RESUMEN

El término ordenación, en ecología vegetal, abarca una serie de técnicas estadísticas que permiten simplificar un conjunto complejo de datos, el modelo resultante indica las posibles relaciones entre las especies, así como entre la vegetación y el ambiente. El objetivo de esta investigación fue identificar los patrones en la estructura y distribución de la vegetación en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México a lo largo de gradientes ambientales. Se eligieron 16 sitios de muestreo, en un intervalo altitudinal que comprendió desde 1780 hasta 2850 m; en cada sitio, se determinó la estructura vertical y horizontal de la vegetación, las características principales de los suelos y del medio. Los resultados indican que gradientes físicos indirectos como altitud, porosidad del suelo, topografía y orientación, estrechamente relacionados con la humedad ambiental, son las variables que mejor explican los patrones de distribución de la vegetación en la zona estudiada.

**Palabras clave:** Comunidades vegetales, gradientes ambientales, zonas áridas

### SUMMARY

In plant ecology, the concept of ordering includes several statistical techniques allowing the analysis of complex groups of data, providing a model of possible relationships among the species, plant communities and the environment. The objective of this research was to identify the structure and distribution of plant communities along environmental gradients in the Sierra de Catorce, San Luis Potosí, Mexico. Sixteen sampling sites were selected going from 1780 to

2850 m above sea level. In each site, the vertical and horizontal structure of plant communities, and principal environment and soil characteristics were described. The results show that gradients of altitude, soil porosity, topography, and aspect, closely related to water availability, are the primary variables influencing distribution patterns of plant communities. Water availability is the ultimate driving force that defines the structure and distribution of plant communities in the study area.

**Index words:** Plant communities, environmental gradients, arid regions.

### INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas pueden definirse como ecosistemas donde el potencial de evapotranspiración excede a la precipitación anual, que generalmente es baja, por lo cual hay poca disponibilidad de agua. Las comunidades vegetales de estas zonas tienen patrones de distribución espaciales y temporales característicos; el clima y la topografía crean estos patrones al limitar la productividad primaria, la densidad y la composición de especies. El suelo y la vegetación están estrechamente integrados, afectando el ciclo de nutrientes y la adecuación de los organismos (Reynolds *et al.*, 2000). La escasa precipitación resulta en una baja cobertura vegetal; por ello, el suelo en las partes altas queda descubierto, mientras que en las pendientes suaves y prolongadas se acumula como producto del intemperismo y, por el acarreo de materiales hacia las partes bajas en las planicies, se presenta un sustrato arenoso y una prolongada área de aluvión. Es principalmente a través de este gradiente que se generan los patrones espaciales de distribución de la vegetación (Marroquín *et al.*, 1981).

En México, aproximadamente de 50 a 70 % del territorio está cubierto por extensas regiones áridas y semiáridas; en estas regiones existe una gran riqueza florística y faunística, la cual está favorecida por la

<sup>1</sup> División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. 56230 Chapingo, estado de México. (artsag@hotmail.com; didorog@latinmail.com)

<sup>‡</sup> Autor responsable.



variedad de subtipos climáticos (Hernández y García, 1997).

Una de las zonas áridas de mayor extensión es el desierto de Chihuahua, que es una planicie localizada en la parte norcentral del país, entre la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Occidental, y se prolonga hasta el sur de los Estados Unidos, comprende áreas en Nuevo México y Texas, porciones bajas de los estados de Chihuahua y Coahuila, partes de Durango, Zacatecas, Nuevo León y San Luis Potosí. Tiene una altitud media de 1070 m y una precipitación pluvial de 70 a 500 mm, de la cual de 70 a 80 % cae de mediados de junio a mediados de septiembre (Hernández, 1992).

La Sierra de Catorce, localizada en la parte norte del estado de San Luis Potosí, es una zona semiárida particularmente interesante para estudiar la estructura y distribución de la vegetación a lo largo de gradientes ambientales debido a su topografía, condiciones edáficas y escaso deterioro que ha tenido la vegetación natural.

### Ordenación

El vocablo ordenación se utiliza para describir el estudio de las agrupaciones vegetales y se refiere usualmente a un análisis en el cual los objetos son muestras de vegetación en los sitios de estudio (Zavala, 1986). El caso más común consiste en el análisis de una matriz de datos con atributos cualitativos (presencia-ausencia) o cuantitativos (densidad, biomasa, cobertura, valor de importancia) de especies en cada muestra y el objetivo es encontrar un patrón sistemático de relaciones entre las muestras basado en las co-ocurrencias de sus especies componentes (ordenación indirecta). El modelo resultante puede después relacionarse con factores ambientales (Palmer, 1993). Cuando además de muestras de vegetación se tienen datos de variables ambientales como los nutrimentos del suelo, la altitud, la pendiente y otros, es posible encontrar una combinación de atributos que puedan sugerir una causa fundamental para un patrón de distribución de las muestras (ordenación directa).

Existe un debate histórico en Ecología sobre la extensión en que las especies vegetales están asociadas en las comunidades. Por un lado, existe la teoría según la cual la vegetación resulta de la relación de unidades bien definidas, discretas e integradas, que pueden ser combinadas para formar clases o tipos abstractos que reflejan las unidades naturales del

mundo real; esta escuela centra su objetivo en la búsqueda y definición de estas unidades (Whittaker, 1970). Por otra parte, se encuentran aquellas escuelas que plantean que los cambios en la vegetación son graduales, por lo cual la clasificación de la misma es en mayor o menor grado arbitraria. Sin embargo, aceptan la utilidad de la clasificación para la delimitación de unidades lógicas de estudio (Zavala, 1986).

En la actualidad, muy pocos ecólogos defienden la aparente contradicción de estas dos escuelas en su forma original, pues con el transcurso de los años el debate ha perdido fuerza. Muchos investigadores reconocen que, aunque las comunidades vegetales pueden variar en un intervalo de unidades discretas a continuas, el punto de vista del "continuo" provee una mejor descripción de los cambios de la vegetación a lo largo de gradientes del medio (Austin, 1987; Auerbach y Shmida, 1993).

La utilidad de las técnicas de ordenación es simplificar un conjunto complejo de datos de vegetación, el modelo resultante trata de indicar las relaciones existentes entre las especies, así como entre la vegetación y el ambiente (James y McCulloch, 1990; Gosz, 1992).

El objetivo de este trabajo fue identificar los factores ambientales que determinan los patrones en la estructura y distribución de la vegetación en la Sierra de Catorce, utilizando técnicas de ordenación.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, ubicada entre 23° 24' y 23° 47' N y 100° 46' y 100° 57' O. Esta zona forma parte de las sierras inferiores de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, en la zona noreste del altiplano potosino-zacatecano, y ocupa una franja que cubre de norte a sur el municipio de Real de Catorce (CETENAL, 1970). El intervalo altitudinal varía de 1800 a 3110 m (Figura 1).

El clima se clasifica, según el sistema de Köppen, modificado por García *et al.* (1985), como BS<sub>1</sub>kw(x')(e); es decir, semiárido, templado, con régimen de lluvias en verano, con alto porcentaje de precipitación invernal (más de 30 mm.) y extremo, con oscilación de las temperaturas medias mensuales entre 7 y 14 °C. La precipitación media anual en la zona es de 306.4 mm.

En general, los suelos son jóvenes, de poca profundidad, en las partes bajas donde el drenaje es

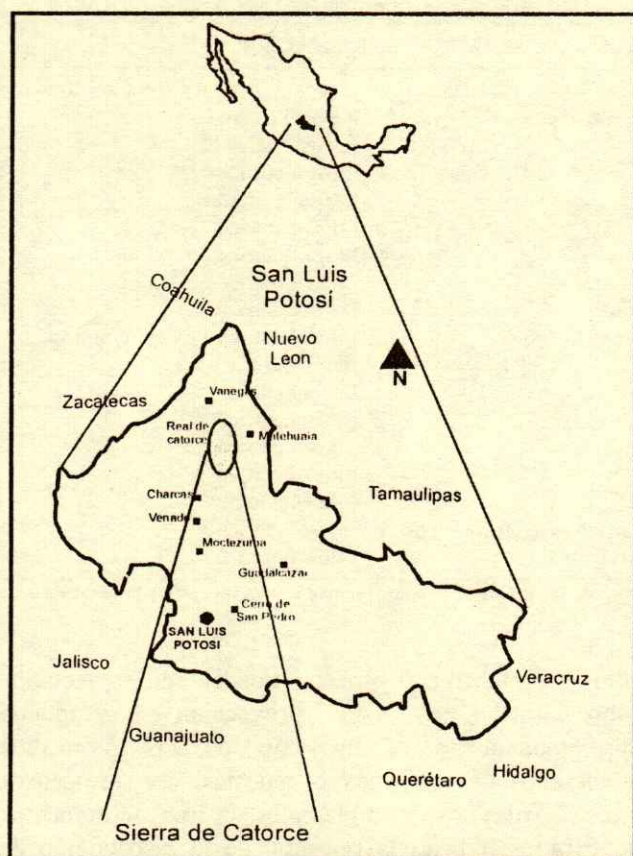


Figura 1. Zona de estudio.

deficiente, debido al drenaje endorreico y a la acumulación de material arcilloso. Predominan los Xerosoles sin procesos de lixiviación de los perfiles. Otro tipo de suelos importantes son los Litosoles con fase petrocálcica, que se encuentran relacionados estrechamente con elevaciones, donde el material rocoso está cerca de la superficie o se encuentra aflorando (Hernández, 1988).

### Trabajo de Campo y Laboratorio

La zona de estudio se caracterizó por medio de cartografía (escala 1:50 000), fotografía aérea (escala 1:75 000) y recorridos de campo. Se estudiaron un total de 16 sitios de muestreo, elegidos sistemáticamente con base en el reconocimiento de tipos de vegetación en un intervalo altitudinal que comprendió desde 1780 hasta 2850 m. Se utilizó el método de área, con cuatro cuadros de 4 x 4 m, elegidos al azar dentro de cada sitio de muestreo. Se determinó la estructura vertical y horizontal de la vegetación, composición de especies, características

generales de los suelos (porosidad, pH, textura, color y materia orgánica) para los primeros 30 cm, altitud, pendiente y exposición. La ordenación de la vegetación fue de dos tipos: ordenación indirecta mediante el Análisis de Correspondencia (AC) y ordenación directa utilizando el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), con datos de Valor de Importancia Relativa (VIR) de las especies, para ello se utilizó el programa de computación ANACOM (Cruz, 1991).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El AC y el ACC permitieron detectar 10 comunidades vegetales, con base en el VIR de las especies (155 especies), desde el piso del valle hasta las partes más altas (Cuadro 1).

El AC es un método de ordenación indirecta que reduce el espacio multidimensional, preservando las distancias entre los objetos (en este caso muestras de vegetación). Este permite evaluar la proximidad estructural o correspondencia entre las columnas (sitios de muestreo) y renglones (especies) de la matriz de datos (Cruz, 1991).

Los valores mostrados a continuación indican una alta correspondencia entre las especies y los sitios de muestreo para los tres primeros ejes de ordenación.

#### Valores de las primeras tres raíces propias

Eje	I	II	III
Raíz propia	0.755	0.605	0.564

En la Figura 2, se puede observar que los Sitios de muestreo 2 y 4 están ubicados cerca, indicando con ello un gran número de especies comunes; de la misma forma, otros sitios de muestreo, también cercanos entre sí, son los Sitios 5, 9, 6, 7, 8 y 10; los Sitios 13, 14 y 16 se presentan como un tercer grupo bien definido.

Por otro lado, el Sitio de muestreo 15 aparece separado de los demás en el espacio de ordenación; de la misma manera que el Sitio 11 y el Sitio 12 en el otro extremo. Del análisis anterior puede detectarse la presencia de tres grupos principales, que representan el mismo número de unidades de vegetación fisonómicamente identificadas.

Los otros ejes de la ordenación (Ejes I y III) muestran un patrón espacial semejante al diagrama anterior. Estos diagramas de ordenación concuerdan

**Cuadro 1. Principales asociaciones vegetales presentes en la Sierra de Catorce**

Sitio	Altitud m	Tipo de vegetación	Unidad de suelo
1	1780	Matorral desértico micrófilo-matorral espinoso	Xerosol cálcico
2	1800	Matorral desértico micrófilo	Xerosol cálcico
3	1850	Matorral desértico micrófilo-matorral desértico rosetófilo	Litosol eútrico
4	1930	Matorral desértico micrófilo	Litosol eútrico
5	2070	Matorral desértico rosetófilo	Litosol eútrico
6	2190	Matorral desértico rosetófilo	Litosol eútrico
7	2250	Matorral desértico rosetófilo-chaparral	Litosol eútrico
8	2260	Matorral desértico rosetófilo-piñonar	Litosol eútrico
9	2270	Matorral desértico rosetófilo-chaparral	Litosol eútrico-Luvisol crómico-Rendzina
10	2300	Matorral desértico rosetófilo-piñonar	Litosol eútrico
11	2400	Matorral desértico rosetófilo-piñonar	Litosol eútrico
12	2410	Matorral desértico rosetófilo-chaparral	Litosol eútrico
13	2520	Encinar arbustivo-piñonar	Litosol eútrico
14	2550	Piñonar-encinar arbustivo	Litosol eútrico
15	2630	Matorral crasicaule-matorral desértico rosetófilo-chaparral	Litosol eútrico
16	2700	Piñonar-encinar arbustivo-chaparral	Litosol eútrico

Los números de la primera columna representan los sitios de muestreo y aparecen también en el Cuadro 3 como referencia para interpretar los diagramas de ordenación (Figuras 2 y 3).

con los tipos de comunidades vegetales observadas durante el trabajo de campo, ya que visualmente es posible detectar agrupaciones similares, las cuales podrían ser agrupaciones naturales.

El Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), como técnica de ordenación directa, permite detectar los patrones de variación de los descriptores; en este caso, sitios de muestreo o especies, que pueden ser explicados de mejor manera tomando como base los descriptores independientes de la segunda matriz: los parámetros ambientales.

El diagrama de ordenación del ACC muestra sitios (o especies) y variables ambientales. A los puntos con un número, que representan los sitios de muestreo, se les da la misma interpretación que en el AC, es decir, indican la variación en la composición de especies. Las variables ambientales están representadas con flechas, una flecha para una determinada variable ambiental apunta en la dirección del máximo cambio de esa variable ambiental a través del diagrama y su longitud es proporcional a la tasa de cambio en esta dirección. Las variables ambientales con flechas más largas están más fuertemente correlacionadas con los ejes de ordenación que aquellas que presentan flechas cortas y, por lo tanto, están más estrechamente relacionadas con el patrón de variación de las comunidades mostrado en el diagrama de ordenación (Figura 3).

Cada flecha que representa una variable ambiental determina una dirección o eje en el diagrama, los

sitios de muestreo o especies pueden ser proyectados sobre este eje, esta proyección corresponde aproximadamente al intervalo de los promedios ponderados de los sitios o especies, con respecto a estas variables ambientales. Los promedios ponderados indican la posición de la distribución de los sitios o especies a lo largo de una variable ambiental (Ter Braak, 1987).

La Figura 3 (Eje I vs. Eje II) y los datos en el Cuadro 2 indican que hay una buena separación entre las comunidades vegetales (valores de las raíces propias) y que aquellos factores ambientales más importantes en cuanto a la explicación de los patrones espaciales que presentan los sitios de muestreo son, en orden de importancia: la altitud, la porosidad del suelo, la pendiente, el contenido de materia orgánica, el pH y, por último, la profundidad del suelo.

La altitud y la porosidad del suelo son las variables más relacionadas con los ejes de la ordenación. El diagrama ubica a los sitios de muestreo en conglomerados que siguen un patrón de menor a mayor altitud: los Sitios 3, 2, 1 y 4 en menor altitud; los Sitios 5, 6, 7, 8 y 9 le siguen en altitud, junto con el Sitio 15, después aparecen los Sitios 10, 12, 13, 11, 14 y en la mayor altitud el Sitio 16. Con relación a la porosidad del suelo, el patrón observado es similar al descrito para la altitud. Los Sitios de muestreo 1, 2, 3 y 4 forman un grupo con menor porosidad que los Sitios 5, 6, 7, 8, 9 y 15, y los Sitios 10, 12, 13, 11, 14 y 16 presentan mayor porosidad.

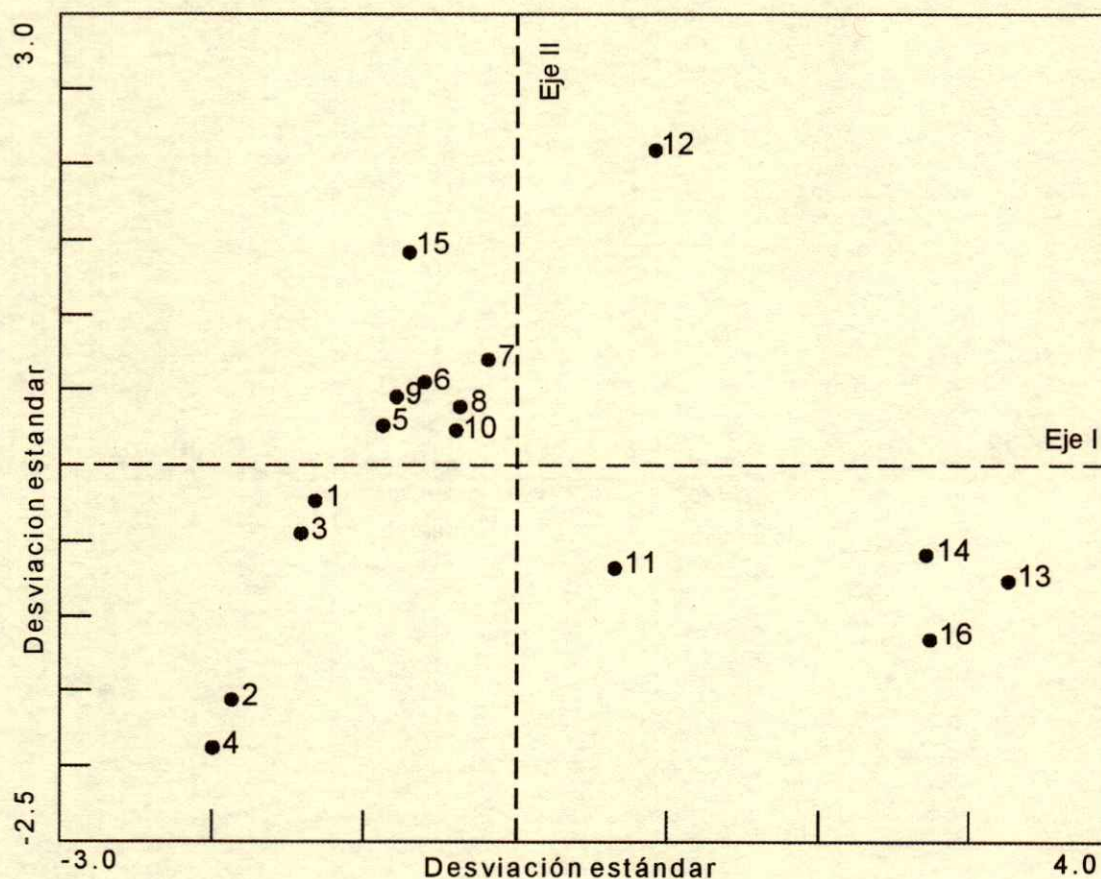


Figura 2. Diagrama de ordenación indirecta (los puntos junto a cada número indican la ubicación de los sitios de muestreo en el espacio de ordenación).

Es importante aclarar que los sitios de muestreo representan al mismo tiempo una determinada constitución de especies y, por lo tanto, una distribución de especies a lo largo de gradientes ambientales (Cuadro 3). Lo anterior sugiere (con respecto a la altitud) que los Sitios de muestreo 1, 2, 3 y 4 presentan una composición de especies cuya distribución está restringida a bajas altitudes, las especies de los Sitios de muestreo 5, 6, 7, 8, 9 y 15 tienen un intervalo de distribución de mayor elevación sobre el nivel del mar y las especies de los Sitios de muestreo 10, 11, 12, 13, 14 y 16 se presentan en las partes más altas de la sierra (Figura 4).

El razonamiento anterior no implica que todas las especies de un sitio de muestreo determinado estén restringidas a un solo intervalo o posición en cuanto al gradiente de altitud o de porosidad del suelo, pero sí que algunas especies poseen determinadas

preferencias ambientales. Los otros ejes de la ordenación (Ejes I y III) muestran un patrón espacial muy semejante al diagrama anterior.

En zonas áridas y semiáridas, la disponibilidad de agua es uno de los factores primarios en el control de la distribución y abundancia de las especies; consecuentemente, la variación en los factores físicos que influyen dicha disponibilidad puede explicar la heterogeneidad en los patrones de distribución de la vegetación (Tueller *et al.*, 1991; Patten y Ellis, 1995; Pavón *et al.*, 2000; Reynolds *et al.*, 2000).

En una región semiárida como la Sierra de Catorce es razonable pensar que el principal factor que controla la distribución de las plantas es la humedad ambiental. Factores como la altitud, las características del suelo (porosidad), la pendiente y la orientación, son muy importantes en cuanto a la ordenación de la vegetación en la zona estudiada.

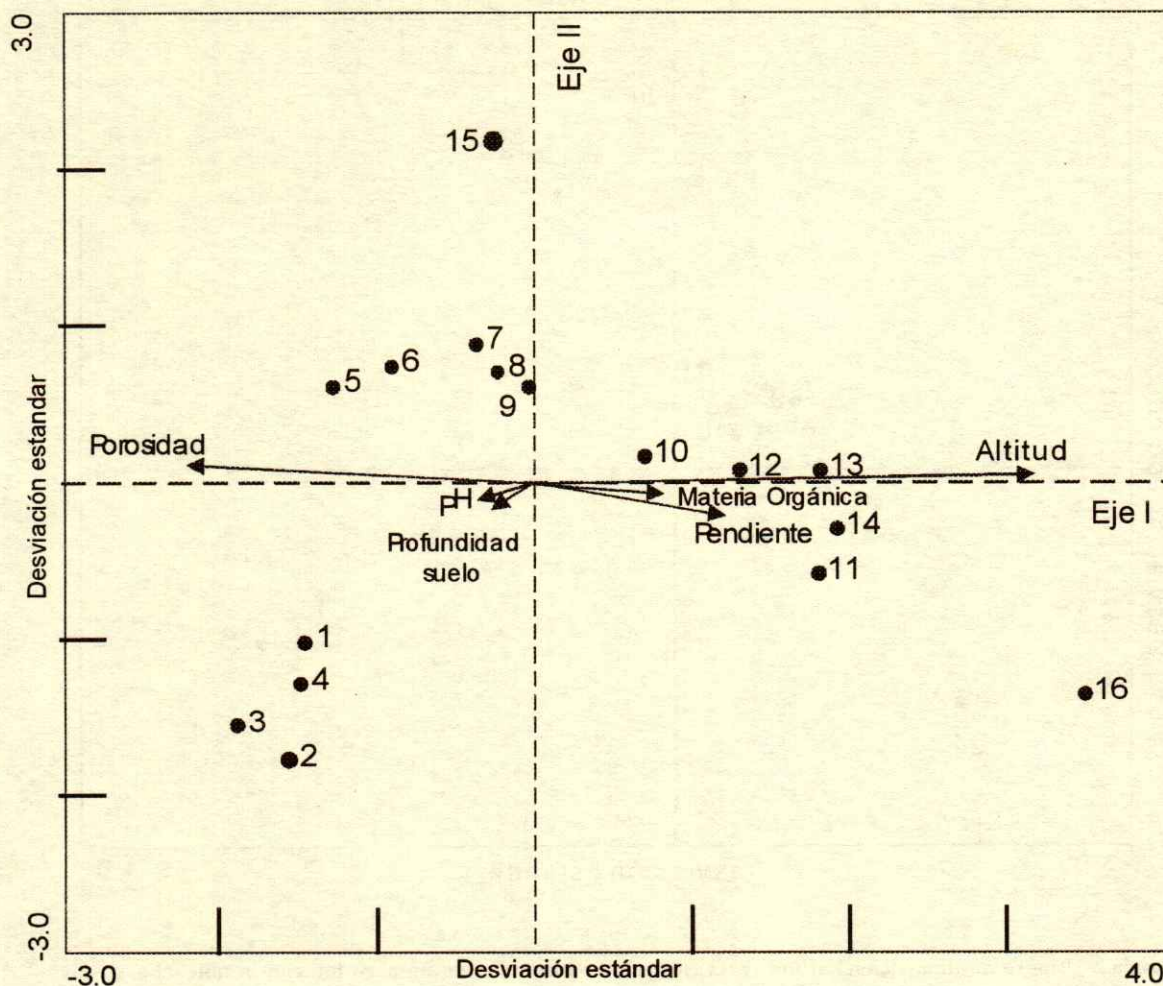


Figura 3. Diagrama de ordenación directa (los puntos junto a cada número indican la ubicación de los sitios de muestreo en el espacio de ordenación).

Los resultados obtenidos con el AC y el ACC permiten establecer hipótesis sobre las causas fundamentales de la estructura y distribución de las comunidades vegetales. La precipitación total anual en la Sierra de Catorce está correlacionada significativamente con la altitud, por lo que es factible decir que la precipitación como componente principal en la entrada total de agua al sistema, crea fuentes de agua superficial y recarga los mantos acuíferos. Una vez que el agua está en el sistema, su disponibilidad para las plantas es influenciada por el tipo de suelo y el relieve topográfico (Figura 4). La porosidad del suelo es importante, pues influye en la provisión de agua y oxígeno para el crecimiento de las raíces, y la movilidad del agua en el suelo está relacionada con la

Cuadro 2. Grado de correspondencia entre los componentes (sitios de muestreo y factores ambientales) y los ejes de la ordenación.

Componente	Eje		
	I	II	III
Raíces propias	0.698	0.548	0.482
Coefficientes parámetros:			
Altitud (m)	0.478	0.185	-0.709
Porosidad (%)	-0.351	0.463	-0.210
Pendiente (%)	0.183	-0.229	1.031
Materia orgánica (%)	0.116	-0.003	-0.210
Potencial de hidrógeno (pH)	-0.065	-0.050	0.026
Profundidad del suelo (cm)	-0.057	-0.214	0.088
Correlación múltiple	0.980	0.979	0.955

**Cuadro 3. Especies con mayor valor de importancia relativa, presentes en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México.**  
Sólo se presentan las cuatro especies con mayor valor de importancia relativa para cada sitio de muestreo.

Sitio de muestreo	Valor de importancia relativa (%)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Altitud (m)	1780	1800	1850	1930	2070	2190	2250	2260	2270	2300	2400	2410	2520	2550	2630	2700
Especie																
<i>Larrea tridentata</i>	14	21	20	24												
<i>Salvia ballotaeflora</i>	9.3					6.2										
<i>Carex polystachya</i>	8.9															
<i>Piqueria trinervia</i>	7.6															
<i>Flourensia cernua</i>		12		7.0												
<i>Opuntia leptocaulis</i>		7.9														
<i>Parthenium incanum</i>		5.7	4.6	7.8												
<i>Agave lechuguilla</i>			34		42	49	33	20	41	29	21	9.2			9.2	
<i>Euphorbia antisyphilitica</i>			7.0													
<i>Zaluzania triloba</i>				23												
<i>Yucca carnerosana</i>					7.0					16						
<i>Opuntia imbricata</i>					6.0											
<i>Ephedra aspera</i>					5.6											
<i>Dasyllirion cedrosanum</i>						4.6	11					7.0	4.9			
<i>Opuntia leptocaulis</i>						4.3										
<i>Juniperus monticola</i>							10									
<i>Calia secundiflora</i>							7.1								22	
<i>Pinus cembroides</i>								16		20	16			18		8.9
<i>Yucca filifera</i>								5.3								
<i>Bouteloua scorpioides</i>								4.7								
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>									5.0							
<i>Opuntia rastrera</i>									4.7							
<i>Lamourouxia lasiantha</i>									4.3							
<i>Ferocactus pringlei</i>										6.7						
<i>Agave striata</i>											16	9.4				
<i>Chrysactinia truncata</i>											6.8					
<i>Agave macroculmis</i>												18				
<i>Quercus deserticola</i>														32		
<i>Chrysactinia mexicana</i>													18			
<i>Quercus pringlei</i>													5.0	20		8.0
<i>Rhus andreuxi</i>														9.2		
<i>Quercus eduardii</i>														6.9		
<i>Agave salmiana</i>															16	
<i>Opuntia tunicata</i>															9.7	
<i>Ceanothus greggii</i>																16
<i>Quercus hypoxantha</i>																12

cantidad y el tamaño de los poros del mismo (Aguilera, 1989). El contenido de arcilla, limo y arena, así como la forma, el tamaño y la estabilidad del agrupamiento de las partículas minerales y la materia orgánica (estructura), influyen sobre la tasa de infiltración y la capacidad de las plantas para tomar esta agua. La variación topográfica puede redistribuir la humedad de tal forma que algunos sitios reciban una cantidad de agua mayor que la aportada únicamente por la precipitación.

Se ha sugerido que el efecto de exposición es otro factor importante en cuanto a la distribución y abundancia de las comunidades vegetales, dado que

afecta en forma considerable la disponibilidad de agua y la temperatura, variable altamente relacionada con la distribución y abundancia de diversas cactáceas (Pavón *et al.*, 2000). En hábitat de pendientes pronunciadas y latitudes medias, se espera que los efectos de orientación sean acentuados con respecto a la humedad y la temperatura. En el Hemisferio Norte, las laderas orientadas al sur permanecen durante más tiempo expuestas al sol y, por ello, sus temperaturas son mayores y la humedad es menor que las laderas orientadas al norte, debido a ello las diferencias climáticas entre laderas con distinta exposición provocan cambios notables en la vegetación.

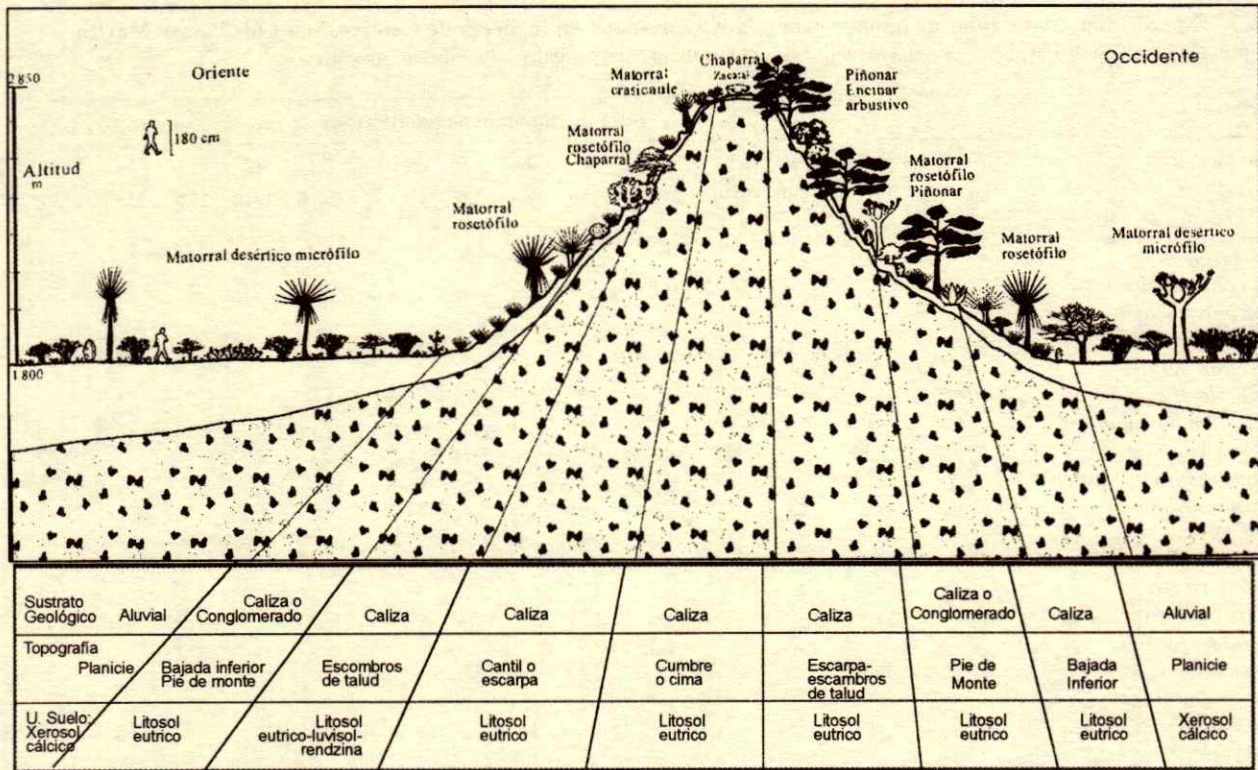


Figura 4. Perfil fisonómico fisiográfico de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí.

El efecto de orientación de ladera se debe a la sombra orográfica generada por la Sierra de Catorce y otras pequeñas sierras como las de Guadalcázar y Álvarez, con dirección norte-sur, que se interponen al paso de los vientos húmedos del Golfo de México, provocando condiciones diferenciales de aridez en uno y otro lado de la sierra.

Los diagramas de ordenación separan claramente los sitios de muestreo de acuerdo con la posición (oriental u occidental) que ocupan en la Sierra de Catorce. Las condiciones ambientales son diferentes en ambos lados de la sierra. En la parte occidental, en los sitios de mayor altitud, se presentan condiciones propicias para el establecimiento y desarrollo de las comunidades vegetales que requieren mayor humedad, como es el caso de las comunidades de encinar-arbustivo y de pino piñonero (Figura 4).

Whittaker (1970) desarrolló el concepto de "patrón de clímax", que establece que las comunidades son el resultado de patrones de respuesta de las poblaciones individuales a gradientes ambientales, creando una gradación continua del patrón de clímax a lo largo del paisaje. Debido a que los gradientes físicos relacionados con la humedad

pueden ser el control primario de la distribución de especies en la Sierra de Catorce, la idea de patrón de clímax podría constituir una descripción adecuada del mosaico vegetacional observado.

Aunque la distribución de las poblaciones indica un patrón de cambio continuo, es posible definir comunidades tipo dentro del mismo. Las especies con tolerancias ambientales similares deben agruparse juntas en ambientes semejantes, el patrón del paisaje resultante sería entonces una mezcla de comunidades definibles que se matizan sin límites discretos. La forma como distinguir los límites de las comunidades estaría en función de la tasa de cambio de los gradientes físicos (Auerbach y Shmida, 1993; Patten y Ellis, 1995).

A causa del significado de la altitud, tipo de suelo, pendiente y efecto de exposición en la Sierra de Catorce, la distribución y abundancia de las especies cambia a lo largo de gradientes en dichos factores. Cabe aclarar, sin embargo, que el análisis de ordenación directa indica que la altitud y la porosidad del suelo son los dos factores ambientales que mejor explican la distribución de la vegetación en la zona estudiada.

## CONCLUSIONES

- El uso del valor de importancia relativa de 155 especies en la ordenación permitió detectar 10 comunidades vegetales a lo largo del gradiente ambiental estudiado.
- En la Sierra de Catorce, los factores del medio que se relacionan con la disponibilidad de agua para las plantas son los más importantes en cuanto a la explicación de la estructura y distribución de la vegetación. Factores físicos como altitud, porosidad del suelo, pendiente y orientación, son muy relevantes.
- Los resultados del AC y el ACC indicaron que la altitud y la porosidad del suelo fueron los gradientes ambientales que mejor explicaron la distribución de las especies. Ambos factores se consideran gradientes indirectos que se manifiestan a través de variables como la temperatura y la humedad, las cuales tienen un efecto directo sobre el crecimiento vegetal y están en estrecha correlación sitio-específica.
- Los métodos de análisis multivariable son recomendables para postular hipótesis sobre las relaciones entre la distribución de las comunidades vegetales y los factores ambientales. Aunque es necesario el desarrollo de experimentos para complementar la información sobre las causas y consecuencias de dichas relaciones.

## LITERATURA CITADA

- Aguilera N., H. 1989. Tratado de edafología (Tomo I). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Auerbach, M. y A. Shmida. 1993. Vegetation change along an altitudinal gradient on Mt. Hermon, Israel no evidence for discrete communities. *J. Ecol.* 81: 25-33.
- Austin, M.P. 1987. Models for the analysis of species' response to environmental gradients. *Vegetatio* 69: 35-45.
- CETENAL. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. 1970. Secretaría de la Presidencia. Cartas: topográfica, geológica, edafológica, uso potencial, de vegetación y de uso del suelo: F14 A24. México, D.F.
- Cruz de la G., A. 1991. Sistema para el Análisis de Comunidades (ANACOM) Versión 3. Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida. Apdo. Postal 73 - Cordemex; Mérida, Yucatán, México.
- García, E., R. Vidal y M.E. Hernández C. 1985. Aspectos climáticos de las zonas áridas del norte de la altiplanicie mexicana. *Bol. Inst. Geogr.* 15: 41-74.
- Gosz, R.J. 1992. Gradient analysis of ecological change in time and space: Implications for forest management. *Ecol. Applic.* 2: 248-261.
- Hernández, S. 1988. Caracterización de suelos y aguas y sus posibles usos en el área del Salado, Estados de Zacatecas y San Luis Potosí. *Geogr. Des.* 2: 19-26.
- Hernández C., M.E. 1992. Las zonas áridas de México. Tesis Doctorado en Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Hernández C., M.E. y E. García. 1997. Condiciones climáticas de las zonas áridas de México. *Geogr. Des.* 15: 5-16.
- James, C.F. y E.C. McCulloch. 1990. Multivariate analysis in ecology and systematics: Panacea or Pandora's Box?. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 21: 129-66.
- Marroquin, J.S., G. Borja, R. Velázquez y J.A. de la Cruz. 1981. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. Publicación Especial 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D.F.
- Palmer, W.M. 1993. Putting things in even better order: The advantages of canonical correspondence analysis. *Ecology* 74: 2215-2230.
- Patten, R.S. y J.E. Ellis. 1995. Patterns of species and community distributions related to environmental gradients in an arid tropical ecosystem. *Vegetatio* 117: 69-79.
- Pavón N., P., H. Hernández T. y V. Rico G. 2000. Distribution of plant life forms along altitudinal gradient in the semi-arid valley of Zapotitlán, México. *J. Veg. Sci.* 11: 39-42.
- Reynolds, J.F., P.R. Kemp y J.D. Tenhunen. 2000. Effects of long-term variability on evapotranspiration and soil water distribution in the Chihuahuan Desert: A modeling analysis. *Plant Ecol.* 150: 145-159.
- Ter Braak, C.J.F. 1987. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio* 69: 69-77.
- Tueller, P.T., R.J. Tausch y V. Bostick. 1991. Species and plant community distribution in a Mojave-Great Basin desert transition. *Vegetatio*. 92: 133-150.
- Whittaker, R.H. 1970. *Communities and ecosystems*. MacMillan. New York.
- Zavala H., J.A. 1986. Introducción al enfoque multivariado en estudios de vegetación. Cuadernos de Divulgación 26. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Jalapa, Veracruz, México.



# CLASIFICACIÓN FISONÓMICA DE LA VEGETACIÓN DE LA SIERRA DE CATORCE, SAN LUIS POTOSÍ, A LO LARGO DE UN GRADIENTE ALTITUDINAL

Physiognomic Vegetation Classification Along an Altitudinal Gradient in the "Sierra de Catorce", San Luis Potosí, Mexico

Diódoro Granados-Sánchez<sup>1‡</sup> y Arturo Sánchez-González<sup>1</sup>

## RESUMEN

Aproximadamente 50% del territorio de México está cubierto por zonas secas y muy secas, que contienen una gran riqueza de especies y comunidades vegetales. El conocimiento ecológico de la vegetación de estas zonas es escaso y el impacto de las actividades humanas va en aumento. Debido a ello, el objetivo de esta investigación fue contribuir al conocimiento de la fisonomía de la vegetación en la Sierra de Catorce, localizada en San Luis Potosí, México, una región poco explorada ecológicamente y es de importancia económica. Se realizó una clasificación fisonómica de la vegetación en 16 sitios de muestreo, elegidos de acuerdo con un gradiente de altitud que abarco de 1780 a 2850 m. En cada sitio, se determinó la estructura vertical y horizontal de la vegetación, el perfil y las características generales del suelo, y algunos factores del medio. Se identificaron 10 tipos principales de comunidades vegetales, que presentaron un patrón de cambio continuo en la composición de especies a lo largo del gradiente estudiado, por lo que no hubo evidencia de la existencia de comunidades discretas. Los resultados indican que la fisonomía y composición de la vegetación están controladas principalmente por el gradiente de altitud (precipitación y temperatura) y, en menor grado, por las condiciones de cada sitio (exposición, pendiente y características del suelo).

**Palabras clave:** Comunidades vegetales, zonas secas, gradientes.

## SUMMARY

Approximately 50% of the Mexican territory corresponds to very dry or dry regions. Such areas

contain a broad diversity of species and plant communities. The ecological knowledge of vegetation in these zones is scarce, and the detrimental impact of human activities is growing. Because of this, the objective of this research was to contribute to the knowledge of the physiognomy of the vegetation of the Sierra de Catorce, San Luis Potosí, Mexico. This region has been scarcely explored from an ecological point of view, and it has economic relevance. A physiognomic classification of vegetation was carried out at 16 sampling sites, chosen according to an altitudinal gradient (1780 m to 2850 m). In each site, the vertical and horizontal structure of vegetation, a profile and general soil characteristics were determined, plus some environmental factors. Ten main plant communities across the studied gradient were identified. The species composition exhibited a continuous change across the studied gradient. There was no evidence of discrete communities. Results indicate that physiognomy and composition of vegetation are controlled mostly by the altitudinal gradient (precipitation and temperature), but also by the conditions of each site (aspect, slope, and soil characteristics).

**Index words:** Plant communities, dry zones, gradients.

## INTRODUCCIÓN

La heterogeneidad del territorio mexicano, producto de su situación geográfica y accidentada orografía, lo hace poseedor de una gran diversidad biológica y de sistemas naturales. Un ejemplo de ello lo constituyen los matorrales xerófilos y pastizales que cubren aproximadamente 50% del territorio nacional. Para estos tipos de vegetación se calcula una riqueza florística de alrededor de 6000 especies, además de que contienen la mayor cantidad de especies endémicas de México (Rzedowski, 1992).

México ocupa uno de los primeros lugares en el mundo en cuanto a tasa de deforestación; es necesario

<sup>1</sup>División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México- Texcoco. 56230 Chapingo, estado de México (didorog@latinmail.com; artsag@hotmail.com)

<sup>‡</sup>Autor responsable.

Recibido: Octubre de 2001. Aceptado: Noviembre de 2002.

Publicado en Terra 21: 321-332.

conocer más sobre su diversidad biológica, pues una gran parte de ella podría desaparecer en poco tiempo si no hay cambios significativos en esta tendencia (SARH, 1994; SEMARNAP, 1998).

Por otra parte, la vegetación se ha clasificado sobre muchas bases, incluyendo la fisonomía, las características del medio, la composición de especies o grupos de especies y otras jerarquías taxonómicas. Se ha puesto énfasis ya sea en las especies dominantes, subordinadas, individuales, grupos de especies características o en toda la composición botánica (Woodall, 1978). La clasificación fisonómica de la vegetación ha sido la más utilizada, debido a que toma en cuenta características y elementos del paisaje que permiten definir con mayor sencillez los tipos de vegetación (Whittaker, 1970).

En el norte de México, existe información sobre la composición florística de un gran número de ecosistemas, pero la estructura fisonómica de la vegetación es poco conocida. Debido a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue contribuir al conocimiento de la fisonomía de la vegetación del país en una zona poco explorada. La Sierra de Catorce, que se encuentra en la parte norte del estado de San Luis Potosí, es en particular adecuada para estudiar el cambio en la fisonomía de la vegetación a lo largo de un gradiente altitudinal, debido a su topografía, condiciones edáficas y al escaso deterioro de la vegetación natural (Sánchez, 1998).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se encuentra al noreste del Altiplano Potosino-Zacatecano, forma parte de las sierras inferiores de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y ocupa una franja que cubre de norte a sur al municipio de Real de Catorce (Figura 1). El intervalo altitudinal en la zona varía de 1800 a 3110 m (CETENAL, 1970). El clima se clasifica según Köppen, modificado por García (1971) y por García *et al.* (1985), como  $BS_1 kw (x') (e)$ , es decir, semiseco o semiárido ( $BS_1$ ), templado (k), concentración de lluvias en verano, con alto porcentaje de precipitación invernal  $w(x')$  y extremo (e), con oscilación de las temperaturas medias mensuales entre 7 y 14 °C. El área se compone de serranías alargadas en el sentido norte-sur, separadas por cuencas endorreicas y valles de contornos irregulares. Estas serranías y cuencas presentan un paisaje en donde abundan las calizas; los valles están cubiertos por una capa de aluvión, formado

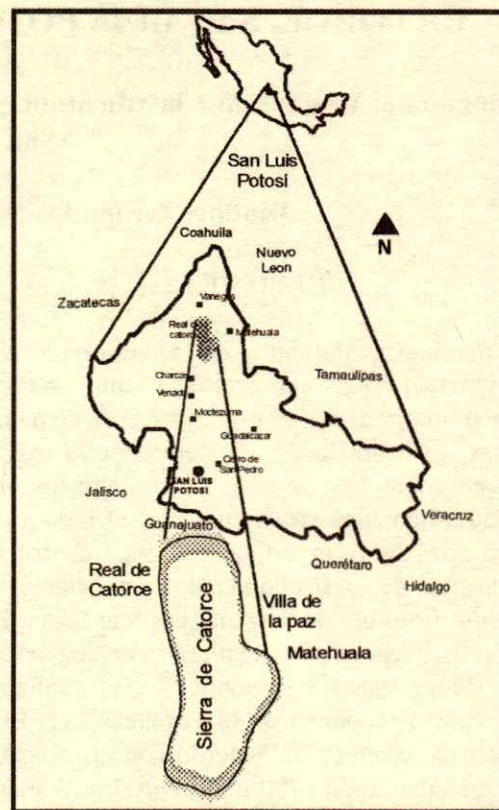


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

principalmente por gravas, arenas y arcillas (Sánchez, 1998).

Como resultado de los procesos de intemperización, arrastre y sedimentación, los suelos son, en general, someros. Los perfiles más desarrollados son los del grupo de los Xerosoles, que se presentan en las partes bajas de las cuencas, donde el drenaje endorreico y la acumulación de material arcilloso provocan el drenaje deficiente e impiden la lixiviación de los perfiles, lo que favorece la acumulación de sales. Otro tipo de suelos importantes por su extensión son los Litosoles con fase petrocálcica, relacionados estrechamente a elevaciones, donde el material rocoso está cerca de la superficie o aflorando; la característica principal es su poca profundidad. Ambos son de textura media (Hernández, 1988).

## Trabajo en Campo y Laboratorio

El trabajo de campo se llevó a cabo entre junio de 1997 y agosto de 1998. La zona de estudio se delimitó por medio de cartografía, fotografía aérea y recorridos

de campo; el muestreo fue preferencial (Matteucci y Colma, 1982); se eligieron 16 sitios con base en el reconocimiento de la variación fisonómica de la vegetación en un intervalo altitudinal de 1780 a 2850 m. Las técnicas de muestreo utilizadas para la caracterización horizontal de la vegetación fueron: área (cuadros de 4 x 4 m) y punto cuadrante (Greig-Smith, 1983). En cada sitio (unidad de muestreo), se obtuvieron tres parámetros para las formas de vida arbóreas, arbustivas y herbáceas: densidad relativa (DR), frecuencia relativa (FR) y cobertura relativa (CR), que se combinaron en el valor de importancia relativa (VIR) mediante la fórmula:

$$VIR = \frac{1}{3}(DR + FR + CR)$$

Debido a que la información generada en esta investigación fue parte de un proyecto más amplio, el uso de los datos del VIR de las especies se utilizó sólo para hacer más precisa la caracterización vertical y horizontal de la vegetación, y como referencia para representar a las especies con mayor VIR en los diagramas de bloques y de perfil fisonómico semirealista de Richards (Granados y Tapia, 1990).

Las comunidades vegetales se definieron con base en la clasificación propuesta por Rzedowski (1965, 1978) para el estado de San Luis Potosí. Las plantas colectadas se identificaron y se depositaron en el Herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. En cada sitio de muestreo, se determinó: altitud (m), pendiente (%), exposición (grados) y pedregosidad (%); así como los perfiles y características generales de los suelos: color, potencial de hidrógeno (pH), materia orgánica, textura, densidad real y densidad aparente, con base en las técnicas descritas por Aguilera (1989).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detectaron 10 comunidades vegetales (Cuadro 1), con base en la fisonomía de las especies, desde el piso del valle hasta las partes más altas:

### Matorral Desértico Micrófilo y sus Variantes

**Matorral desértico micrófilo-matorral espinoso (Sitio 1).** Se encuentra al noroeste de la Sierra de Catorce (2 km al norte de Estación Wadley), es uno de los lugares de menor altitud en la zona de estudio (1780 m), con topografía relativamente uniforme, constituye una llanura con pendientes menores que 2%, la pedregosidad es de alrededor de 35%. Los mapas geológico y edáfico indican para esta zona suelos de origen aluvial, de tipo Xerosol cálcico, de textura media, con un horizonte petrocálcico profundo de entre 50 y 100 cm, se desarrollan en terreno plano con pendientes menores que 8%.

La temperatura promedio anual es de 16.6 °C y la precipitación media anual de 304.5 a 311 mm. Datos calculados a partir de los reportes de las estaciones meteorológicas Vanegas y La Maroma, entre los años 1951-1993 (CNA, 1996).

Las especies vegetales que caracterizan esta comunidad son: *Larrea tridentata*, *Salvia ballotaeflora*, *Carex polystachya*, *Piqueria trinervia*, *Haplopappus venetus*, *Stipa ichu*, *Mimosa aculeaticarpa*, *Ptelea trifoliata*, *Yucca carnerosana*, *Coryphanta radians* (D.C.) Britton at Rose, *Berberis trifoliolata*, *Mimosa biuncifera*, *Baccharis ramulosa*, *Prosopis laevigata*, *Flourensia cernua* y otras menos importantes (Figura 2).

Cuadro 1. Comunidades vegetales presentes a lo largo del gradiente altitudinal.

Sitio	Tipo de agrupamiento vegetal	No. de agrupamiento
1	Matorral desértico micrófilo- matorral espinoso	1
2, 4	Matorral desértico micrófilo	2
3	Matorral desértico micrófilo-matorral desértico rosetófilo	3
5, 6	Matorral desértico rosetófilo	4
7, 9 y 12	Matorral desértico rosetófilo-chaparral	5
8, 10 y 11	Matorral desértico rosetófilo-piñonar	6
13	Encinar arbustivo-piñonar	7
14	Piñonar-encinar arbustivo	8
15	Matorral crasicaule- matorral desértico rosetófilo- chaparral	9
16	Piñonar-encinar arbustivo- chaparral	10

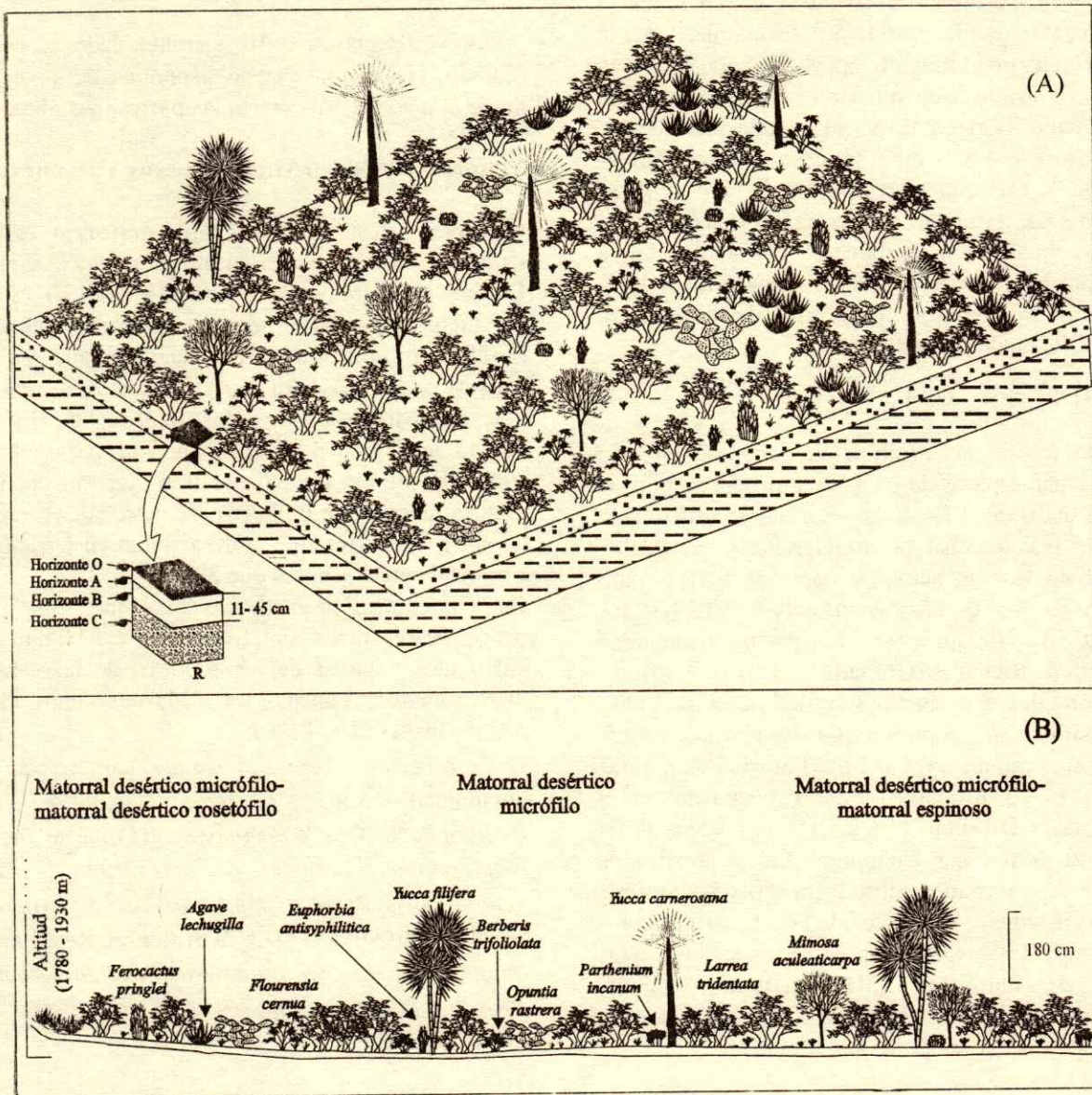


Figura 2. Matorral desértico micrófilo y sus variantes. (A) Diagrama de bloques donde se establece en forma tridimensional la topografía, el perfil del suelo, la distribución vertical y horizontal de las formas vitales, la densidad y cobertura de la vegetación. (B) Diagrama de perfil semirealista que describe la estratificación y composición de especies.

La profundidad del suelo es de 80 cm, el horizonte A mide de 0 a 11 cm y el horizonte B de 12 a 45 cm, descansa sobre una capa de caliche (horizonte C). El color predominante en los primeros 30 cm es el café claro (en seco 6/4 YR) y café oscuro (en húmedo 4/2 YR), la textura es media, tipo franco-arenosa, el pH de 7.88 y la materia orgánica de 4.42%.

**Matorral desértico micrófilo (Sitios 2 y 4).** Está ubicado en la parte noreste de la Sierra de Catorce

(camino a Real de Catorce), en sitios perturbados, de fácil acceso. La altitud es de 1800 a 1930 m, con topografía relativamente uniforme (semiplanicies con pendientes de 0 y 6%), la pedregosidad es de 45 a 50%. La cartografía indica para esta zona suelos de origen aluvial, de tipo Litosol eútrico, de textura media, que poseen un horizonte petrocálcico a menos de 50 cm de profundidad; se desarrollan en terreno plano con pendientes menores que 8%. La

temperatura promedio anual es de 17.6 a 19.9 °C y la precipitación media anual es de 452.77 a 476.76 mm. Datos obtenidos con base en los reportes de las estaciones meteorológicas Matehuala (entre los años 1950 y 1993) y Normal del Desierto (entre los años 1979 y 1993) (CNA, 1996).

Las especies vegetales que caracterizan esta comunidad son: *Larrea tridentata*, *Flourensia cernua*, *Opuntia leptocaulis*, *Parthenium incanum*, *Agave lechuguilla*, *Atriplex canescens*, *Krameria parviflora*, *Viguiera stenoloba*, *Dalea bicolor*, *Dalea frutescens*, *Mimosa zygophylla*, *Jatropha dioica*, *Agave scabra*, *Yucca carnerosana*, *Zaluzania triloba*, *Zinnia acerosa*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Ferocactus pringlei*, *Bahia pringlei* y *Echinocereus conglomeratus*, entre otras de menor importancia (Figura 2).

El perfil del suelo presenta una profundidad de 45 a 100 cm, el horizonte A mide de 0 a 10 cm, el horizonte B de 11 a 25 (35) cm, descansa sobre una capa de caliche (horizonte C) con una profundidad variable de 30 a 100 cm. El color predominante en el horizonte A es el gris rosáceo (6/2 a 6/4 YR) en seco y de café (5/2 YR) a café oscuro (4/2 YR) en húmedo. La textura es media: franco-arenosa, el pH de 8.11 a 8.29 y el contenido de materia orgánica de 2.55 a 2.76%.

**Matorral desértico micrófilo-matorral desértico rosetófilo (Sitio 3).** Se encuentra al noreste de la Sierra de Catorce, a una altitud de 1850 m, la topografía es uniforme (semiplanicie con pendientes de 0 y 6%), la pedregosidad es de cerca de 50%. El sustrato geológico es de tipo aluvial y el suelo Litosol eútrico, de textura media con un horizonte petrocálcico a menos de 50 cm de profundidad, se desarrolla en terreno plano con pendientes menores que 8%. La temperatura promedio anual va de 17.6 a 19.9 °C y la precipitación de 452.77 a 476.76 mm. Datos calculados a partir de los reportes de las estaciones meteorológicas Matehuala (entre 1950 y 1993) y Normal del Desierto (entre 1979 y 1993) (CNA, 1996).

Las especies vegetales que caracterizan esta comunidad son, en orden de importancia: *Larrea tridentata*, *Agave lechuguilla*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Parthenium incanum*, *Dyssodia greggi*, *Atriplex canescens*, *Opuntia leptocaulis*, *Agave striata*, *Krameria parviflora*, *Jatropha dioica*, *Yucca carnerosana*, *Lophopora williamsii* y *Opuntia microdasys*, entre otras (Figura 2).

El horizonte A mide de 0 a 10 cm, el horizonte B de 11 a 25 (35) cm, y el horizonte C se presenta de 26 (36) hasta 50 cm o más, el color predominante en el horizonte A es el gris rosáceo en seco (6/2 YR) y café oscuro en húmedo (4/4 YR), la textura es media de tipo franco-arenosa, con pH de alrededor de 8.11 y la cantidad de materia orgánica de 2.55%.

En concordancia con los resultados anteriores, Rzedowski (1965, 1978) reportó que el matorral desértico micrófilo se distingue por la predominancia de elementos arbustivos de hoja pequeña y es propia de terrenos planos y de las partes inferiores de los cerros de una gran zona del altiplano. El estrato arbustivo es el dominante e incluye casi siempre a *Larrea tridentata* y con frecuencia a *Flourensia cernua*. Marroquín *et al.* (1981) mencionaron que son pocas las variantes de importancia que tiene este tipo de vegetación y las zonas de transición con otras comunidades son, a veces, tan paulatinas, que impiden una delimitación precisa.

#### Matorral Desértico Rosetófilo y sus Variantes

**Matorral desértico rosetófilo (Sitios 5 y 6).** Se encuentra al noreste de la Sierra de Catorce, a una altitud de 2070 a 2190 m. El terreno es escarpado, ubicado en ladera, tiene una pendiente de 30 a 40%, la pedregosidad es de 55 a 70%. La cartografía indica para esta zona un sustrato geológico de conglomerado, el suelo es tipo Litosol eútrico, de textura media, con un horizonte petrocálcico a menos de 50 cm de profundidad, se desarrollan en terreno plano con pendientes menores que 8%, en lomeríos y terreno montuoso con pendientes entre 8 y 20%. La temperatura promedio anual es de 17.6 a 19.9 °C y la precipitación varía de 452.77 a 476.76 mm. Datos calculados a partir de los reportes de las estaciones meteorológicas Matehuala (entre 1950 y 1993) y Normal del Desierto (entre 1979 y 1993) (CNA, 1996).

Las especies vegetales que caracterizan esta comunidad son: *Agave lechuguilla*, *Agave striata*, *Yucca carnerosana*, *Opuntia imbricata*, *Ephedra aspera*, *Menodora longiflora*, *Jatropha dioica*, *Echinocactus visnaga*, *Andropogon cirratus*, *Ferocactus pringlei*, *Calia secundiflora*, *Dasyliirion cedrosanum*, *Opuntia leptocaulis*, *Opuntia rastrera*, *Opuntia tunicata*, *Mimosa zygophylla*, *Salvia ballotaeflora*, *Berberis trifoliolata*, *Gutierrezia microcephala*, *Forestiera angustifolia*, *Lamourouxia*

*lasiantha* y *Larrea tridentata*, principalmente (Figura 3).

El suelo es muy superficial y la profundidad variable, el horizonte A mide 0 a 7 cm, el horizonte B aparece aproximadamente entre 6 y 20 cm, más abajo abunda un sustrato rocoso, mezclado con suelo en proceso de formación (horizonte C) y raíces abundantes, sobre todo las de tamaño pequeño y mediano, el color predominante en el horizonte A es el gris rosáceo en seco (6/2 YR) y café oscuro en húmedo (3/2 YR), la textura es media, de tipo franco-arenosa, el valor de pH es de 8.06 y el porcentaje de materia orgánica de 3.93.

**Matorral desértico rosetófilo-chaparral (Sitios 7, 9 y 12).** Ubicado al noreste (Sitios 7 y 9) y oeste (Sitio 12) de la Sierra de Catorce, en un intervalo de altitud de 2250 a 2410 m, sobre laderas con pendientes de 38 a 45%, y pedregosidad de 30 y 60%. La cartografía indica para esta zona un sustrato geológico de caliza, suelos de tipo Litosol eútrico, Luvisol crómico y Rendzina de textura media, se desarrollan desde lomeríos a terrenos montañosos con pendientes mayores que 8%. La temperatura promedio anual es de 15.1 a 16.3 °C y la precipitación es de 452.77 a 476.76 mm. Datos calculados a partir de los reportes de las estaciones meteorológicas Matehuala (entre 1950 y 1993), Normal del Desierto (entre 1979 y 1993), La Cardoncita (entre 1980 y 1995) y San José Coronados (entre 1980 y 1993) (CNA, 1996).

Las especies vegetales más importantes son: *Agave lechuguilla*, *Dasyliirion cedrosanum*, *Juniperus monticola*, *Calia secundiflora*, *Yucca carnerosana*, *Berberis trifoliolata*, *Opuntia rastrera*, *Linum aristatum*, *Opuntia microdasys*, *Mammillaria potsii*, *Stevia salicifolia*, *Mimosa zygophylla*, *Lamourouxia lasiantha*, *Dyssodya greggii*, *Menodora scoporia*, *Viguiera stonoloba*, *Brickellia veronicifolia*, *Chrysactinia mexicana*, *Lantana involucrata*, *Ephedra aspera*, *Rhus microphylla*, *Jatropha dioica*, *Agave salmiana* var. *crassispina*, *Agave funkiana*, *Agave striata*, *Echinocactus visnaga*, *Prosopis laevigata*, *Muhlenbergia villosa*, *Muhlenbergia capillans*, *Stipa tenuissima*, *Bouteloua scorpiodes*, *Eupatorium espinosarum*, *Eupatorium schaffneri*, *Arenaria lycopodioides*, *Ageratum corymbosum*, *Piqueria trinervia*, *Quercus deserticola*, *Crusea diversifolia* y otras de menor importancia (Figura 3).

El suelo es de profundidad variable, el horizonte A mide de 0 a 8 (18) cm, el horizonte B mide de 19 a 40 cm y descansa sobre una capa de caliche (horizonte C). El color predominante en el horizonte

A es el café (5/2 YR) y el gris rosáceo (6/2 YR) en seco, y café oscuro en húmedo (3/2 y 4/2 YR), de textura media tipo franco-arenosa, el pH es de 8.22 y la cantidad de materia orgánica de 3.60 a 5.52%.

**Matorral desértico rosetófilo-piñonar (Sitios 8, 10 y 11).** Se ubica al oeste y suroeste de la Sierra de Catorce (rumbo a la mina de San José Coronados) a una altitud entre 2260 y 2400 m. El terreno es escarpado, ubicado en laderas y cimas con pendientes de 35 a 60%, la pedregosidad es elevada debido al arrastre de material (60 a 65%).

La cartografía indica para esta zona un sustrato geológico de caliza, suelos de tipo Litosol eútrico, textura media; que se desarrollan en terrenos con disección severa a montañosa con pendientes mayores que 20%. La temperatura promedio anual es de 15.1 a 16.3 °C y la precipitación de 266.46 a 310.84 mm. Datos calculados a partir de los reportes de las estaciones meteorológicas La Cardoncita (entre 1980 y 1995) y San José Coronados (entre 1980 y 1993) (CNA, 1996).

Las especies vegetales que caracterizan esta comunidad son: *Agave lechuguilla*, *Pinus cembroides*, *Yucca carnerosana*, *Yucca filifera*, *Linum aristatum*, *Jatropha dioica*, *Forestiera angustifolia*, *Coryphanta macromeris*, *Brickellia veronicifolia*, *Opuntia rastrera*, *Carex polystachya*, *Menodora scoporia*, *Calia secundiflora*, *Ferocactus pringlei*, *Ptelea trifoliata*, *Dodonaea viscosa*, *Opuntia cantabrigiensis*, *Berberis trifoliolata*, *Fraxinus greggi*, *Agave striata*, *Chrysactinia truncata*, *Gilia rigidula*, *Dasyliirion cedrosanum*, *Loeselia coerulea*, *Ceanothus greggii*, *Ephedra compacta*, *Muhlenbergia pusilla*, *Muhlenbergia tenuifolia*, *Bouteloua scorpioides*, *Nama palmeri*, *Choisya katherinae* y *Chaetopappa belloides*, entre otras (Figura 3).

El suelo es somero, de profundidad variable, el horizonte A mide 0 a 15 (25) cm y descansa sobre una capa de caliche y suelo (horizonte C). El color predominante en el horizonte A es el gris rosáceo en seco (5/2, 6/2 YR), y de café oscuro (3/2, 4/2 YR) a muy oscuro (2/2 YR), en húmedo. La textura es media, de tipo franco-arenosa, el valor de pH va de 8.18 a 8.22 y el porcentaje de materia orgánica de 3.60 a 5.80.

**Matorral crasicale-matorral desértico rosetófilo-chaparral (Sitio 15).** Se encuentra al noreste de la Sierra de Catorce (junto al túnel de Ogarrío) a una altitud de 2630 m, en una ladera muy escarpada y en la cima de cerro, la pendiente es de 55 a 60%. La pedregosidad es de alrededor de 50%. El sustrato

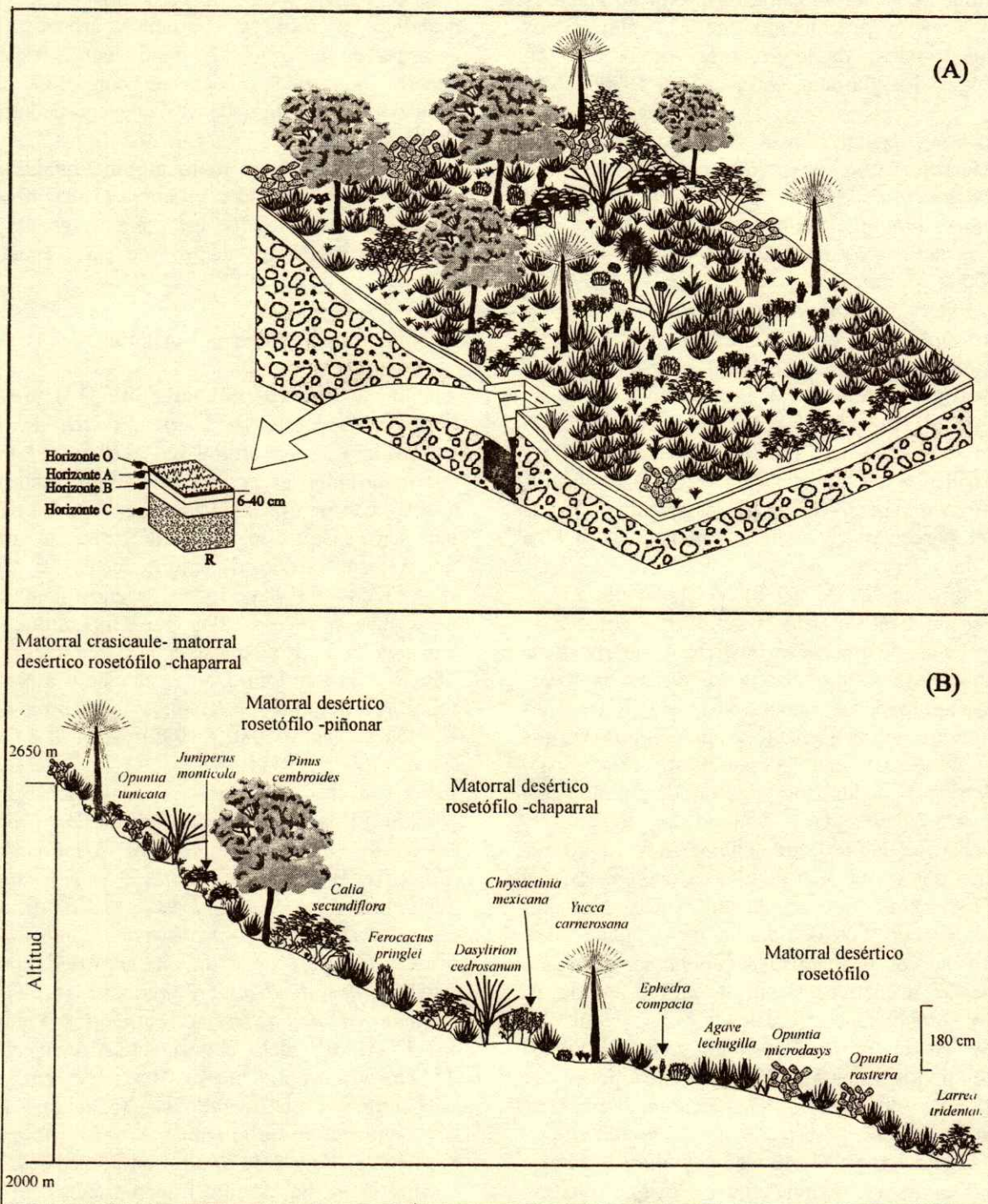


Figura 3. Matorral desértico rosetófilo y sus variantes. (A) Diagrama de bloques donde se establece en forma tridimensional la topografía, el perfil del suelo, la distribución vertical y horizontal de las formas vitales, densidad y cobertura de la vegetación. (B) Diagrama de perfil semirealista que describe la estratificación y composición de especies.

geológico es de caliza, con suelo Litosol eútrico, de textura media, se desarrolla en terrenos con disección severa y terrenos montañosos, con pendientes mayores que 20%. La temperatura promedio anual es de 16.6 °C y la precipitación de 311 mm. Datos calculados a partir de los reportes de la estación meteorológica La Maroma, entre 1951 y 1993 (CNA, 1996).

Las especies vegetales más importantes en esta comunidad son: *Calia secundiflora*, *Agave salmiana*, *Opuntia tunicata*, *Agave lechuguilla*, *Baccharis pteronioides*, *Opuntia rastrera*, *Mimosa biuncifera*, *Yucca carnerosana*, *Salvia penelli*, *Forestiera angustifolia*, *Bouvardia ternifolia*, *Brickellia veronicifolia*, *Stevia salicifolia*, *Opuntia microdasys* y *Ptelea trifoliata*, entre otras (Figura 3).

El horizonte A con un espesor de 0 a 20 cm descansa sobre una capa de caliche (horizonte C) que se presenta a 21(30) cm. El color predominante en el horizonte A es café muy pálido, en seco (8/4 YR) y café amarillento, en húmedo (5/4 YR), la textura es media, tipo arena-franca. El pH es de alrededor de 8.03 y el porcentaje de materia orgánica de 0.97 a 1.60.

Para Rzedowski (1965, 1978) y Marroquín *et al.* (1981), el matorral desértico rosetófilo se caracteriza por la presencia de especies arbustivas o subarbustivas de hojas gruesas, alargadas y estrechas; a veces espinosas, agrupadas a manera de roseta. Entre estas plantas, se encuentran esencialmente dos tipos: las que poseen un tallo alargado y manifiesto (*Yucca* sp., *Dasyliirion* sp.), y las que carecen de tallo visible (*Agave* sp., *Hechtia* sp.). Cubren los lomeríos y serranías calizas del desierto chihuahuense, ya sea que se mezclen dos o más especies, o en manchones casi puros. Este tipo de vegetación suele presentar transiciones con otros tipos de comunidades, especialmente con el matorral submontano, el zacatal y el encinar arbustivo, según la altitud, grado de aridez y condiciones edáficas. Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que la vegetación de los Sitios 5, 6, 7, 8, y 9 corresponde con lo que Rzedowski (1965, 1978) denominó matorral desértico rosetófilo; la especie que caracteriza este tipo de vegetación es el *Agave lechuguilla*, aunque hay zonas en las que domina *Agave striata*, o bien, se presentan ambas especies. En algunos sitios de la Sierra de Catorce, se distinguen zonas de transición entre el matorral desértico rosetófilo y otras comunidades. Los Sitios de muestreo 7, 8, 9, 10 y 15 presentan elementos que se podrían llamar vegetación

de chaparral; especies como *Juniperus monticola* y *Calia secundiflora* son comunes.

Otra variante que ha sido descrita por Rzedowski (1965, 1978) como un ecótono, es el matorral desértico rosetófilo y el encinar arbustivo, que se presenta en el Sitio 12, donde varias especies del género *Quercus* sp. coexisten con otros elementos arbustivos. Otro tipo de variante se encontró en los Sitios de muestreo 10 y 11, donde *Agave lechuguilla* y *Agave striata* crecen junto al pino piñonero (*Pinus cembroides*). Hernández y García (1985) han descrito también la presencia de estos elementos del matorral desértico rosetófilo dentro de la vegetación de piñonar.

### Encinar Arbustivo y sus Variantes

**Encinar arbustivo-piñonar (Sitio 13).** Se ubica al oeste de la Sierra de Catorce (cerca de San José Coronados) a una altitud de 2520 m. El terreno es escarpado, ubicado en una ladera con pendiente de 35 a 40%, con una pedregosidad de 30%. La cartografía indica un sustrato geológico de caliza, el suelo es de tipo Litosol eútrico, de textura media, se desarrollan en terrenos de lomerío a terreno montañoso con pendientes entre 8 y 20%. La temperatura promedio anual es de 15.1 a 16.3 °C y la precipitación varía de 266.46 a 310.84 mm. Datos calculados a partir de los reportes de las estaciones meteorológicas La Cardoncita (entre 1980 y 1995) y San José Coronados (entre 1980 y 1993) (CNA, 1996).

Las especies vegetales que representan esta comunidad son: *Quercus deserticola*, *Chrysactinia mexicana*, *Quercus pringlei*, *Dasyliirion cedrosanum*, *Salvia regla*, *Pinus cembroides*, *Salvia microphylla*, *Lindleyella mespiloides*, *Eupatorium calaminthifolium*, *Arctostaphylos pungens*, *Rhus virens*, *Quercus eduardii*, *Aster subulatum*, *Salvia penelli*, *Phoradendrom brachystachyum*, *Chrysactinia truncata* y *Dalea frutescens*, entre otras (Figura 4).

En el perfil del suelo, el horizonte A mide cerca de 0 a 15 cm y el horizonte B, 16 a 45 cm, abajo se encuentra el horizonte C (caliche). El color predominante en el horizonte A es el gris rosáceo, en seco (6/2 YR) y café oscuro, en húmedo (4/2 YR), la textura es media, de tipo franco-arenosa. El pH es de alrededor de 8.20 y la cantidad de materia orgánica de 3.6%.

El encinar arbustivo se caracteriza por la predominancia de especies arbustivas del género *Quercus*, su hábitat más frecuente es sobre laderas de



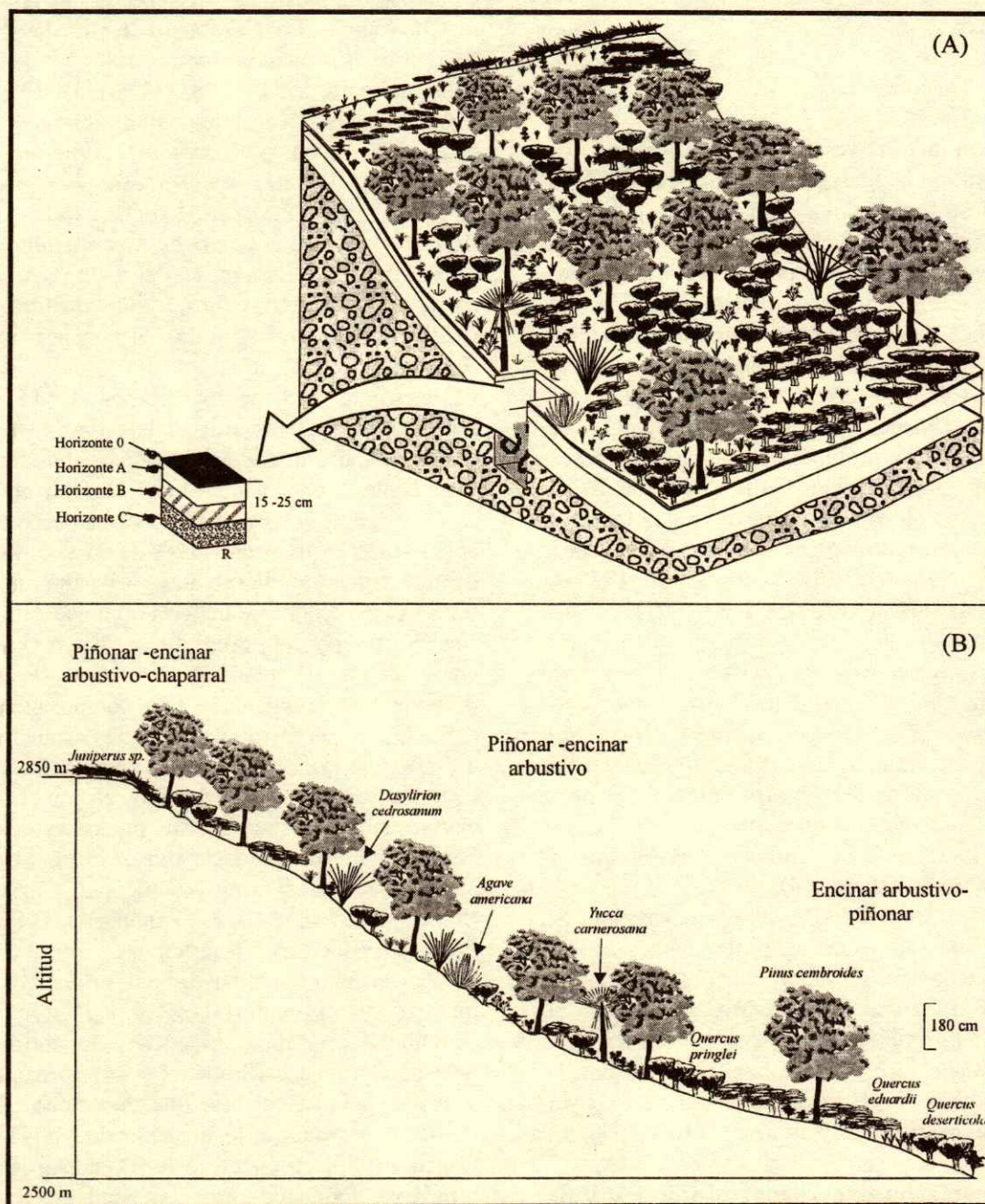


Figura 4. Encinar arbustivo, piñonar y sus variantes. (A) diagrama de bloques donde se establece en forma tridimensional la topografía, el perfil del suelo, la distribución vertical y horizontal de las formas vitales, densidad y cobertura de la vegetación, (B) diagrama de perfil semirealista que describe la estratificación y composición de especies.

cerros; se diferencian dos tipos generales de encinar, con base en el tipo de substrato en que se desarrollan, ya sea de suelo derivado de roca ígnea o caliza (Rzedowski, 1965, 1978). En la Sierra de Catorce, el encinar arbustivo se desarrolla principalmente sobre

substrato calizo, como un matorral bajo y muy denso, a menudo presente en masas puras, aunque en algunas zonas se encuentra junto con otros elementos arbustivos (Rzedowski, 1978). En los Sitios 12, 13, 14 y 16 se encontraron especies de encino, pero sólo el

Sitio de muestreo 13 se consideró, por su fisonomía y composición de especies, como una comunidad de encinar arbustivo.

### Piñonar y sus Variantes

**Piñonar-encinar arbustivo (Sitio 14).** Localizado en la parte suroeste de la Sierra de Catorce (arriba de la mina de San José Coronados), a una altitud que va de 2550 a 2850 m. La topografía del terreno es muy escarpada, en una ladera con pendiente de alrededor de 70%, la pedregosidad es de alrededor de 60%. La cartografía indica para esta zona un sustrato geológico de caliza, el suelo es de tipo Litosol eútrico, textura media, se desarrollan en terrenos con disección severa y terrenos montañosos, en pendientes mayores que 20%. La temperatura promedio anual es de 15.1 a 17.7 °C y la precipitación varía de 266.46 a 343.40 mm. Datos calculados a partir de los reportes de las estaciones meteorológicas La Cardoncita (entre 1980 y 1995), San José Coronados (entre 1980 y 1993) y La Maroma (entre 1951 y 1993) (CNA, 1996).

Las especies vegetales características de esta comunidad son: *Quercus pringlei*, *Pinus cembroides*, *Rhus andrieuxii*, *Quercus eduardii*, *Dasylium cedrosanum*, *Ceanothus coeruleus*, *Gutierrezia microcephala*, *Zinnia juniperifolia*, *Carex polystachya*, *Chrysactinia mexicana*, *Salvia regla*, *Lindleyella mespiloides*, *Linum aristatum* y *Mandevilla karwinskii* (Figura 4).

Se presenta un horizonte A, con un espesor de alrededor de 20 a 25 cm, con abundantes raíces delgadas y medianas; el horizonte C (caliche) se presenta de 23 a 25 cm. El color predominante en el horizonte A es el gris rosáceo, en seco (6/2 YR) y café oscuro, en húmedo (4/2 YR), la textura es media, de tipo franco-arenosa, el pH es de alrededor de 8.22. El porcentaje de materia orgánica en este suelo es de 5.80.

**Piñonar-encinar arbustivo-chaparral (Sitio 16).** Se localiza cerca de la mina de San José Coronados, a una altitud inicial de 2700 m. El terreno es muy escarpado, ubicado en una ladera y en la cima del monte (2850 m), la pendiente es alrededor de 70%. La pedregosidad es de alrededor de 55%. En esta zona, se presenta un sustrato geológico sedimentario; el suelo es de tipo Litosol eútrico de textura media, se desarrolla en terrenos con disección severa y terrenos montañosos, en pendientes mayores que 20%. La temperatura promedio anual es de 15.1 a 17.7 °C y la

precipitación varía de 266.46 a 343.40 mm. Datos calculados a partir de los reportes de las estaciones meteorológicas La Cardoncita (entre 1980 y 1993), San José Coronados (entre 1980 y 1993) y La Maroma (entre 1951 y 1993) (CNA, 1996).

Las especies vegetales que caracterizan esta comunidad son: *Ceanothus greggii*, *Quercus hypoxantha*, *Pinus cembroides*, *Quercus pringlei*, *Juniperus* sp., *Ephedra aspera*, *Rhus andrieuxii*, *Agave striata*, *Dasylium cedrosanum*, *Yucca carnerosana*, *Rhamnus serrata*, *Chrysactinia mexicana*, *Rhus virens*, *Bouvardia ternifolia*, *Calibanus hookeri* y otras de menor importancia (Figura 4).

El horizonte A tiene un espesor de 15 a 20 cm, presenta abundantes raíces delgadas y medianas, y descansa sobre una capa de caliche (horizonte C) que llega hasta alrededor de 40 cm, el color predominante en el horizonte A es el café oscuro en seco (4/4 YR) y café oscuro en húmedo (3/2 YR), la textura es media, de tipo franco-arcillo-arenoso. El valor de pH es de 6.66 y el porcentaje de materia orgánica de 4.48.

Los Sitios de muestreo 14 y 16 se consideraron comunidades de piñonar, este tipo de vegetación presenta una fisonomía y una composición florística definida, se desarrolla en suelos someros y bien drenados de las laderas de los cerros. En la Sierra de Catorce, es un poco distinto en su fisonomía y composición florística a otros piñonares del estado de San Luis Potosí, se desarrolla sobre calizas, es más abierto y los arbustos ocupan más espacio (Rzedowski, 1965, 1978; Hernández y García, 1985). Pueden observarse transiciones entre el piñonar, piñonar-encinar, piñonar-encinar arbustivo y entre el piñonar y el matorral desértico rosetófilo. Las comunidades de pino piñonero encontradas en San José de Coronados (Sitios 14 y 16) corresponden a la variante piñonar-encinar que mencionó Rzedowski, (1965) y corroboran lo mencionado por Hernández y García (1985) en cuanto a la presencia de un estrato arbustivo dominado principalmente por especies del género *Quercus* y otros elementos arbustivos.

### Discusión General

La gran mayoría de estudios sobre cambio en la estructura de la vegetación a lo largo de gradientes de altitud no han encontrado evidencia de la existencia de comunidades discretas; en ausencia de una discontinuidad edáfica severa, el cambio a lo largo de dichos gradientes parece ser un proceso sutil y

continuo (Austin, 1987; Auerbach y Shmida, 1993). Los resultados obtenidos indicaron que en la Sierra de Catorce pueden reconocerse fisonómicamente distintas comunidades vegetales a lo largo del gradiente altitudinal, pero no hay evidencia de que existan comunidades discretas. Los "límites" de las comunidades, que determinan los ecótonos, o zonas de transición, están generalmente muy pobremente definidos. Mientras que las especies dominantes (*Larrea tridentata*, *Flourensia cernua*, *Agave lechuguilla*, *Agave striata*, *Calia secundiflora*, *Juniperus monticola*, *Quercus* spp., *Pinus cembroides*, *Ceanothus greggii*, entre otras) cambian en el ecótono, la distribución y abundancia de muchos otros miembros de las comunidades extienden la zona de transición, pues algunas especies (*Yucca carnerosana*, *Ferocactus pringlei*, *Agave lechuguilla*, *Opuntia rastrera*, *Opuntia microdasys*, *Dasyllirion cedrosanum*, entre otras) se presentan en prácticamente todas las comunidades estudiadas.

Los factores climáticos juegan un papel muy importante en la distribución de las comunidades vegetales (Rüdiger *et al.*, 2001). En regiones secas, la composición florística y la estructura de la vegetación están determinadas principalmente por la cantidad de agua disponible para las plantas, por lo cual se asume que éste es el principal factor limitativo en estas regiones (Tueller *et al.*, 1991; Patten y Ellis, 1995; Paruelo *et al.*, 2000). La disponibilidad de agua para las plantas está directamente relacionada con la precipitación anual, pero también con factores como la topografía y las características del suelo (Reynolds *et al.*, 2000).

La altitud representa una combinación compleja de variables climáticas a las cuales tienen que ajustarse las especies y se considera un factor del medio que afecta la estructura y organización de las comunidades (Pavón *et al.*, 2000; Rüdiger *et al.*, 2001). Los datos de temperatura promedio anual y precipitación total anual calculados a partir de la información de las estaciones meteorológicas cercanas a la Sierra de Catorce indicaron que la precipitación y la temperatura están correlacionadas de manera significativa con la altitud (Sánchez, 1998).

El patrón topográfico en la Sierra de Catorce es característico, en las partes de mayor altitud se presentan pendientes muy abruptas, los sitios de altitud intermedia tienen pendientes menos inclinadas, y los sitios de menor altitud constituyen las planicies o lugares de pendiente muy ligera. La variación topográfica (longitud, forma e inclinación de la

pendiente) debe redistribuir la humedad de tal forma que algunos sitios reciban una cantidad de agua mayor que la aportada únicamente por la precipitación.

El efecto de exposición es también un factor importante en cuanto a la fisonomía y distribución de las comunidades vegetales, dado que afecta, en forma considerable, a la disponibilidad de agua y la temperatura. El efecto de orientación de ladera debido a la sombra orográfica generada por la Sierra de Catorce y otras pequeñas sierras como las de Guadalcazar y Álvarez, con dirección norte-sur, respectivamente, que se interponen al paso de los vientos húmedos del Golfo de México, generan condiciones diferenciales de sequedad en uno y otro lado de la sierra. La "sombra pluvial" en las laderas de la vertiente oriental provoca un cambio en las condiciones del medio propicias para las comunidades de encino y piñonar, que se ve reflejado en la composición y fisonomía de la vegetación; de hecho, la vegetación se compone de matorrales xerófilos en esta dirección.

En la Sierra de Catorce, el clima y, en particular, la temperatura y precipitación pluvial, son las principales variables que influyen en la composición y fisonomía de la vegetación a lo largo del gradiente altitudinal estudiado. Otros factores, como el efecto de exposición, la topografía y las características del suelo, tienen menor influencia sobre la vegetación debido a que las condiciones del medio a escala local son menos contrastantes entre sitios.

## CONCLUSIONES

- En concordancia con la mayoría de estudios sobre cambio en la estructura de la vegetación a lo largo de gradientes de altitud, no se encontró evidencia de la existencia de comunidades discretas. Aunque la clasificación fisonómica permitió definir diez comunidades vegetales a lo largo del gradiente estudiado; algunas de estas comunidades representaban sitios de transición en los que el cambio en la composición de especies fue gradual. La Sierra de Catorce tiene características ecológicas importantes y, por su posición latitudinal, altitud, orientación y fisiografía, posee casi todas las variantes de vegetación del desierto Chihuahuense.

- Dado que en zonas secas los factores más críticos son aquellos relacionados con la disponibilidad de agua, la composición y fisonomía de las comunidades vegetales presentes en los sitios estudiados cambió a través de un gradiente principal de aridez,

determinado por la altitud (humedad y temperatura) y, en menor grado, por las condiciones de cada sitio (exposición, pendiente y características del suelo).

- En la Sierra de Catorce existen recursos naturales importantes; hay una lista extensa de especies vegetales que son utilizadas a escala local y regional. El conocimiento de la composición y fisonomía de las comunidades vegetales, y su relación con los factores del medio, es uno de los pilares para fundamentar cualquier programa de conservación y aprovechamiento de estos recursos naturales.

### AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional del Agua (CNA) del estado de San Luis Potosí, por las facilidades en los datos climatológicos. Al señor Francisco Ramos por la identificación de las especies. A Daniel Muñoz y Francisco López por facilitar la determinación de las características de los suelos en el Laboratorio de Edafología de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala (ENEPI).

### LITERATURA CITADA

- Aguilera H., N. 1989. Tratado de edafología (Tomo I). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Auerbach, M. y A. Shmida. 1993. Vegetation change along an altitudinal gradient on Mt. Hermon, Israel no evidence for discrete communities. *J. Ecol.* 81: 25-33.
- Austin, M.P. 1987. Models for the analysis of species' response to environmental gradients. *Vegetatio* 69: 35-45.
- CETENAL Comisión de Estudios del Territorio Nacional. 1970. Secretaría de la Presidencia. Cartas: Topográfica, geológica, edafológica, de uso potencial, de vegetación y de uso del suelo F14 A24. México, D.F.
- CNA. Comisión Nacional del Agua. 1996. Datos de temperatura media y lluvia total en las estaciones meteorológicas cercanas a la Sierra de Catorce: Gerencia en el estado de San Luis Potosí. Subgerencia de Administración del Agua. Especialidad Hidráulica en Aguas Superficiales. San Luis Potosí, México.
- García E., R. Vidal y M.E. Hernández C. 1985. Aspectos climáticos de las zonas áridas del norte de la altiplanicie mexicana. *Bol. Inst. Geogr.* 15: 41-74.
- García M., E. 1971. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Granados S., D. y R. Tapia V. 1990. Comunidades vegetales. Primera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Greig-Smith, P. 1983. Quantitative plant ecology. Series Studies in Ecology. Third Edition. University of California Press. Berkeley, CA.
- Hernández, S. 1988. Caracterización de suelos y aguas y sus posibles usos en el área del Salado, Estados de Zacatecas y San Luis Potosí. *Geogr. Des.* 2: 19-26.
- Hernández R., A. y E. García M. 1985. Análisis estructural de los pifonares del Altiplano Potosino. *Agrociencia* 62: 7-20.
- Marroquín S., J., G. Borja L., R. Velázquez C. y J.A. de la Cruz C. 1981. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. Publicación Especial 2. Segunda edición. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D.F.
- Matteucci, S.D. y A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C.
- Paruelo, J.M., O.E. Sala y A.B. Beltrán. 2000. Long-term dynamics of water and carbon in semi-arid ecosystems: A gradient analysis in the Patagonian steppe. *Plant Ecol.* 150: 133-143.
- Patten, R.S. y J.E. Ellis. 1995. Patterns of species and community distributions related to environmental gradients in an arid tropical ecosystem. *Vegetatio* 117: 69-79.
- Pavón N., P., H. Hernández T. y V. Rico G. 2000. Distribution of plant life forms along altitudinal gradient in the semi-arid valley of Zapotitlán, Mexico. *J. Veg. Sci.* 11: 39-42.
- Podani, J. 1989. Comparison of ordinations and classifications of vegetation data. *Vegetatio*. 83: 11-128.
- Reynolds, J.F., P.R. Kemp y J.D. Tenhunen. 2000. Effects of long-term variability on evapotranspiration and soil water distribution in the Chihuahuan Desert: A modeling analysis. *Plant Ecol.* 150: 145-159.
- Rüdiger, O., J.M. Fernández-Palacios y B.O. Krüsi. 2001. Variation in species composition and vegetation structure of succulent scrub on Tenerife in relation to environmental variation. *J. Veg. Sci.* 12: 237-248.
- Rzedowski, J. 1965. Vegetación del Estado de San Luis Potosí. *Act. Cient. Pot.* 1,2: 5-291.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D.F.
- Rzedowski, J. 1992. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Ciencias* 6: 47-56.
- Sánchez G., A. 1998. Clasificación y ordenación de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico (1992-1994). Memoria Nacional. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. México, D. F.
- SEMARNAP. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 1998. Diagnóstico de la deforestación en México. Subsecretaría de Recursos Naturales. Dirección General Forestal. México, D.F.
- Tueller, P.T., R.J. Tausch y V. Bostick. 1991. Species and plant community distribution in a Mojave-Great Basin desert transition. *Vegetatio* 92: 133-150.
- Whittaker, R. H. 1967. Gradient analysis of vegetation. *Biol. Rev.* 49: 207-264.
- Whittaker, R.H. 1970. Communities and ecosystems. MacMillan. New York.
- Whittaker, R.H. 1978. Approaches to classifying vegetation. pp. 3-19. In: Whittaker, R.H. (ed.). Classification of plant communities. Dr. W. Junk Publishers. The Hague, The Netherlands.
- Woodall, W.D. 1978. Numerical classification. pp. 249-283. In: Whittaker, R.H. (ed.). Classification of plant communities. Dr. W. Junk Publishers. The Hague, The Netherlands.

# MACRONUTRIMENTOS EN SUELOS DE DESIERTO CON POTENCIAL AGRÍCOLA

## Macronutrients in Desert Soils with Agricultural Potential

Raúl López-A<sup>1</sup>, E. Villavicencio-Floriani<sup>1</sup>, M.A. Real-Rosas<sup>1</sup>, J. L. Ramírez-Barajas<sup>1</sup> y B. Murillo-Amador<sup>2†</sup>

### RESUMEN

La necesidad de producir una mayor cantidad de alimentos ha causado que la agricultura se extienda hacia regiones anteriormente consideradas sin potencial agrícola, como son las zonas desérticas. Sin embargo, la fragilidad natural de estos ecosistemas obliga a que las prácticas agronómicas que se utilicen en su explotación agrícola sean las adecuadas para estas zonas con el fin de evitar el deterioro de recursos naturales, como suelo y agua. Por esta razón, en el presente estudio, se evaluó la situación de los macronutrientes en terrenos áridos localizados en el desierto de Vizcaíno, Baja California Sur, México, con la finalidad de generar información que ayude en la recomendación de tipos de fertilizantes y cantidades de nutrientes. Los resultados indican que las concentraciones de fósforo, potasio, calcio y magnesio pueden considerarse altas para obtener respuesta por parte de los cultivos. El elemento que limita el crecimiento adecuado de las plantas es el nitrógeno, por lo cual, la fertilización de los cultivos debe ser realizada con base en este nutriente. Sin embargo, para la adecuada interpretación de estos análisis químicos es fundamental realizar calibraciones a través de experimentos de invernadero o de campo, en los cuales se incluyan distintos suelos y cultivos de interés para la zona. Por otro lado, el alto contenido de sales ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{NaHCO}_3$ ) del agua de riego ( $\text{CE} > 2.5 \text{ dS m}^{-1}$ ) está ocasionando un incremento gradual en el pH de los suelos, y cada vez es más común encontrar suelos afectados por sales. Este fenómeno provoca que en algunos sitios se presenten

síntomas visibles de daños por sales y coloraciones típicas de deficiencias de potasio, calcio y magnesio en los cultivos.

*Palabras clave:* Zonas áridas, respuesta de cultivos, desierto de Vizcaíno, Baja California Sur.

### SUMMARY

The need to produce more food has caused the expansion of agriculture into areas previously considered unsuitable for agricultural use, such as dry lands. However, the natural fragility of the arid ecosystems oblige the use of suitable agricultural methods in arid areas to prevent chemical degradation of natural resources, such as soil and irrigation water. For this reason, in the present study the macronutrient status in arid lands of the Vizcaino desert in Baja California, Mexico, was evaluated. The purpose was to obtain information in order to help in the recommendation of fertilizer types and nutrient supply for crops in these areas. The results obtained through conventional methods for soil analysis indicate high extractable levels of phosphorus, potassium, calcium and magnesium, which, until now, can be considered high enough to obtain plant response when crops are supplied with these nutrients. On the other hand, nitrogen is considered the nutrient that would restrict plant growth and, consequently, crop nutrition in these areas should be done mainly with nitrogen fertilizer. However, to interpret this analysis adequately, it is necessary have calibrations, which are obtained through the execution of greenhouse or field experiments using different agriculturally important soils and crops within the zone. Furthermore, the high salt contents ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , and  $\text{NaHCO}_3$ ) in the irrigation water are increasing soil pH, and recently salt-affected lands are commonly found. In some sites, it seems that the high soil pH and  $\text{Na}^+$  content cause crops to exhibit typical symptoms of salt damage and potassium, calcium, and magnesium deficiencies.

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Independencia y Paseo de Eucalipto s/n, Col. Centro, 23940 Guerrero Negro, Baja California Sur, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Mar Bermejo 195, Col. Playa Palo de Santa Rita, 23090 La Paz, Baja California Sur, México. †(bmurillo@cibnor.mx) y Autor responsable.

**Index words:** *Arid zones, crop response, Vizcaíno Desert, Baja California Sur.*

## INTRODUCCIÓN

En México, existen alrededor de 10 millones de hectáreas agrícolas consideradas como improductivas por su grado extremo de aridez (Molina-Galán, 1991). Sin embargo, la necesidad creciente de producir alimentos para una población en constante aumento ha provocado la expansión de la agricultura hacia diversas regiones áridas y semiáridas del noroeste del país. En éstas, se requiere hacer uso de fertilizantes inorgánicos si se desea obtener rendimientos económicamente atractivos. Sin embargo, el conocimiento de las relaciones suelo-planta en estas áreas es aún escaso, por lo que es preciso conocer la fertilidad de los suelos para establecer un manejo racional de los fertilizantes, tanto desde el punto de vista económico, como ambiental. El uso racional de estos productos permite ahorrar fertilizantes, evitar desórdenes nutricionales en los cultivos y prevenir la contaminación de los mantos acuíferos y la salinización de los suelos.

La vegetación raquílica existente en la zona, producto de la escasa precipitación, es la causa de la reducida cantidad de materia orgánica en esos suelos; la mayoría de los suelos de las zonas áridas y semiáridas contienen de 1 a 3% de materia orgánica (Hagin y Tucker, 1982). Por esta razón, el elemento que principalmente limita a los cultivos es el nitrógeno. En estudios realizados con betabel y repollo en los suelos de Guerrero Negro, Baja California Sur, México, se ha mostrado que éstos poseen un alto contenido de P y K<sup>+</sup> extractables, pero el contenido de N total es muy bajo (Yamanouchi, 1991; Fujiyama *et al.*, 1993a).

Los suelos del desierto de Vizcaíno, Baja California Sur, México, en su mayoría son calcáreos y ricos en Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, sin embargo, el pH elevado de los suelos limita su disponibilidad para los cultivos (Endo *et al.*, 2000b). Además, el contenido alto de Na<sup>+</sup> inhibe la absorción de Ca<sup>2+</sup> por los cultivos (Grieve y Fujiyama, 1987).

Para recomendar fertilizaciones, es indispensable conocer las concentraciones y formas en que se encuentran los nutrientes en los suelos. Sin embargo, en muchas zonas áridas y semiáridas incorporadas a la actividad agrícola, los estudios que permitan un mejor manejo agronómico de los suelos son escasos. Por lo tanto, en el presente trabajo se

planteó como objetivo evaluar la situación de los macronutrientes en diversos sitios localizados dentro del Desierto de Vizcaíno, Baja California Sur, México, zona que recientemente ha alcanzado gran importancia agrícola en el noroeste de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en diversos sitios ubicados dentro del desierto de Vizcaíno, Baja California Sur, México, el cual se ubica en la parte central de la península de Baja California, región que pertenece al desierto sonorense. Es un desierto neblinoso cuya formación se debe al surgimiento de aguas frías del fondo del mar y a la corriente marina fría de California que se desplaza de norte a sur paralelamente a la costa del Océano Pacífico, con la consiguiente formación de una capa de inversión de temperatura de 700 m de espesor, sobre la cual se forman nubes estratificadas de las que no se desprende ninguna precipitación (García y Mosiño, 1968). Los suelos del Desierto de Vizcaíno se clasifican en su mayoría como Aridosoles (Endo *et al.*, 2000a), pero también existen áreas con rocas de granito erosionadas, dunas de arena, y terrenos de aluvión. En los dos primeros se limita la vegetación, pero en las áreas de suelos de aluvión hay poblaciones de cactáceas, leguminosas, compositas y quenopodiáceas, características de los desiertos y que, a pesar de la poca lluvia anual, se mantienen con vida. La característica principal de esta zona es la escasez de agua, presentándose una precipitación baja (promedio anual de 80 mm) y un potencial alto de evaporación. En una escala global, se considera que diversas áreas del desierto de Vizcaíno poseen suelos sin potencial agrícola. Sin embargo, a la fecha no existen estudios que puedan sustentar esto último.

Se colectaron muestras de suelo en seis sitios: área de Guerrero Negro y los ejidos Morelos, Jesús María, Benito Juárez, Gustavo Díaz Ordáz y Emiliano Zapata (Figura 1). El muestreo fue sistemático en zig-zag y se obtuvieron muestras compuestas (10 submuestras/muestra compuesta) representativas a una profundidad de 0 a 40 cm. Las muestras se secaron al aire y se tamizaron con una malla de 2 mm de diámetro para remover los fragmentos gruesos y, posteriormente, se almacenaron hasta el momento de su análisis químico.

La materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black (Walkley y Black, 1934). El N en forma de amonio se estimó por el método azul de indofenol y el N en forma de nitrato se midió por

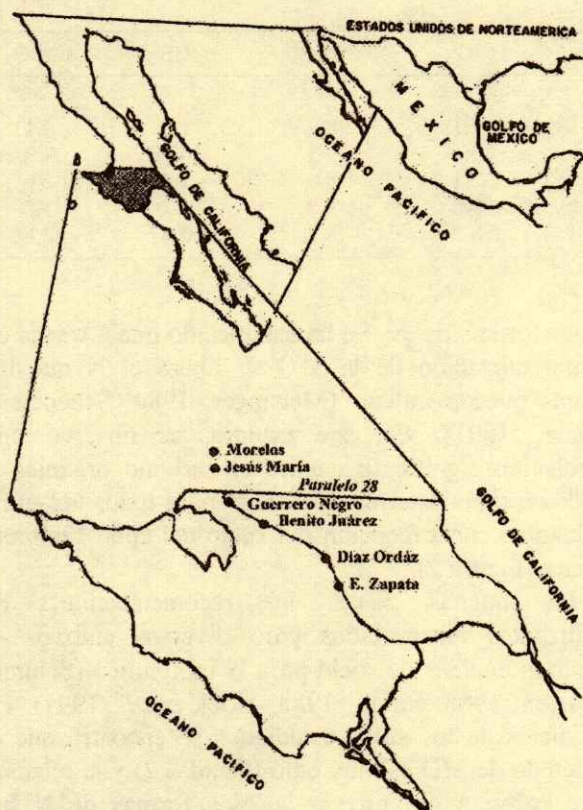


Figura 1. Localización de los sitios evaluados dentro del desierto de Vizcaíno, Baja California Sur, México.

cromatografía de iones después del extracto con agua en proporción 1:5 (p/v). El P disponible se determinó por el método propuesto por Olsen *et al.* (1954), el cual utiliza como solución extractora el bicarbonato de sodio 0.5 M ajustada a un pH de 8.5. Los cationes solubles en agua se extrajeron con una solución suelo:agua en proporción 1:5, mientras que para la determinación de los cationes intercambiables primeramente se eliminaron los cationes solubles y posteriormente las muestras se extrajeron con una solución de acetato de sodio con pH de 8.2 (Bower *et al.*, 1952). Los cationes se determinaron por espectroscopía de absorción atómica. También se determinaron el pH y la conductividad eléctrica del suelo en extractos acuosos en proporciones 1:2.5 y 1:5, respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH de los suelos se ubicó en el rango de 7.82 a 9.18, observándose el valor más alto en el suelo del ejido Morelos y el más bajo en el ejido Benito Juárez.

La capacidad de intercambio catiónico de los suelos se incrementó conforme aumentó el contenido de arcilla. Los suelos del desierto de Vizcaíno Baja California Sur, México, presentaron acumulación de sales sobre la superficie, principalmente en sitios donde el riego se ha utilizado por un periodo prolongado de años. El fenómeno de salinización gradual que está ocurriendo se atribuye a la baja calidad del agua de riego (Endo *et al.*, 2000b). Aunque el agua de riego que se aplica contiene concentraciones elevadas de sal, el rendimiento que se obtiene es económicamente atractivo en cultivos de hortalizas (tomate, chile, fresa, nopal, col y lechuga), granos (maíz y sorgo), forraje (alfalfa), frutales (naranja, limón e higuera). El desarrollo de las plantas y la obtención de un alto rendimiento posiblemente se han favorecido por la textura arenosa que presentan la mayoría de los sitios, la cual permite que las sales se lixivien a capas inferiores impidiendo su acumulación en la zona radicular. Sin embargo, debido a la mala calidad del agua, el volumen de riego aportado debe ser sólo lo suficiente para satisfacer los requerimientos de los cultivos sin ocasionar la acumulación de sales (Endo *et al.*, 2000b). Los resultados de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos de los sitios evaluados se muestran en el Cuadro 1.

En el Cuadro 2, se muestra el contenido de materia orgánica (MO) y las dos formas de N inorgánico más importantes desde el punto de vista de nutrición vegetal. El contenido de MO en todos los sitios evaluados, se clasificó como muy bajo, lo cual es característico de zonas áridas y semiáridas, siendo la precipitación uno de los factores fundamentales que condicionan de manera natural el contenido de MO de estos suelos (Hagin y Tucker, 1982). En el desierto de Vizcaíno, México, el promedio de precipitación anual es de 80 mm (datos no publicados, registrados en la estación climatológica CIBNOR-Guerrero Negro, B.C.S.), lo que ocasiona que no se satisfagan los requerimientos de los vegetales para su desarrollo, impidiendo la finalización de su ciclo de vida y su incorporación natural al sistema del suelo para pasar a ser la fuente principal de MO.

Los suelos se consideran ricos en N cuando contienen más de 0.22% y pobres cuando su contenido está por debajo de 0.032% de N total (Vázquez, 1997). En este sentido y debido a que los suelos áridos son extremadamente pobres en MO y las tasas de mineralización (Hagin y Tucker, 1982) y nitrificación son muy bajas, la suma de N-NO<sub>3</sub> y N-NH<sub>4</sub> podrían considerarse como índices de

**Cuadro 1. Algunas propiedades físicas y químicas de los suelos de los sitios evaluados.**

Sitio	Muestra	Textura	Arcilla	CIC <sup>†</sup>	pH	CE <sup>‡</sup>	CaCO <sub>3</sub>
			%	cmol kg <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O	dS m <sup>-1</sup>	%
Guerrero Negro	36	Arenosa	4	2.1	8.9	1.32	4.1
Ejido Morelos	32	Franco-Limosa	29	25.1	9.1	4.78	2.9
Ejido Jesús María	32	Franco-Limosa	32	32.1	8.6	1.47	2.6
Ejido Benito Juárez	36	Franco-Arenosa	18	9.8	7.8	2.26	3.2
Ejido G. Díaz Ordaz	28	Franco-Arenosa	16	8.9	8.2	2.47	2.8

<sup>†</sup> CIC = capacidad de intercambio catiónico; <sup>‡</sup> CE = conductividad eléctrica.

disponibilidad de N, ya que son las formas dominantes de N inorgánico en los suelos del desierto de Vizcaíno al igual que otros diversos ecosistemas áridos y semiáridos (Schimel y Parton, 1986; Hook *et al.*, 1991). Sumando las concentraciones de N-NO<sub>3</sub> y N-NH<sub>4</sub> y de acuerdo con los criterios de Vázquez (1997), los suelos del desierto de Vizcaíno se consideran muy pobres en N, ya que se encuentran en un intervalo de 0.002% a 0.007%. Sin embargo, los análisis de suelo son índices de disponibilidad y no las verdaderas cantidades disponibles de un elemento (Westerman, 1990). Por consiguiente, para la interpretación adecuada de estos análisis, es fundamental realizar calibraciones a través de experimentos de campo que, de manera rigurosa, deberán realizarse para cada cultivo y tipo de suelo, sin embargo, éstos son escasos en México (Etchevers, 1999). Yamanouchi (1991) y Fujiyama *et al.* (1993a), empleando la técnica del elemento faltante, encontraron que el N en los suelos de la zona de Guerrero Negro, es el nutrimento que limita el desarrollo adecuado de melón, betabel y repollo.

Considerando todos los sitios evaluados, el contenido de N-NO<sub>3</sub> se encontró en un intervalo de 3.4 a 74.6 mg kg<sup>-1</sup> y el N-NH<sub>4</sub> de 3.7 a 32.4 mg kg<sup>-1</sup>, siendo el sitio de Guerrero Negro, B.C.S. donde se determinó el promedio más bajo y en el ejido Jesús María donde se registraron los valores más altos en

ambas formas de N. Se ha establecido que a través de la mineralización de la MO se libera el N que las plantas pueden utilizar (Meisinger, 1984; Schepers y Mosier, 1991). En este estudio, se observó una correlación significativa entre el carbono orgánico y las dos formas determinadas de N para todos los sitios evaluados, con excepción del suelo del ejido Emiliano Zapata (Figura 2).

En muchas zonas, las recomendaciones de fertilizantes nitrogenados para diversos cultivos se basan en análisis de suelo para N inorgánico (Schimel y Parton, 1986; Smith, 1988; Hook *et al.*, 1991). En los suelos de los sitios estudiados se encontró que el contenido de MO es muy bajo (Cuadro 2) y la relación entre carbono orgánico y las dos formas de N fue significativa (Figura 2). Por consiguiente, en estos suelos, la estimación de estas dos formas de N podría utilizarse para la recomendación de aplicaciones de N, sin embargo, debe completarse mediante experimentos de calibración en invernadero o campo y comprender las posibilidades y limitaciones y de la forma cómo ciertos factores pueden afectar la calidad del análisis químico (Etchevers, 1985).

En los suelos de las regiones áridas y semiáridas, el carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) es un componente abundante, como se determinó en el presente estudio (Cuadro 1). En estos suelos, los fosfatos son adsorbidos sobre la superficie de los carbonatos de

**Cuadro 2. Materia orgánica y formas de nitrógeno inorgánico en suelos de sitios localizados en el desierto de Vizcaíno, Baja California Sur, México.**

Sitio	Muestra	Materia orgánica		N-NO <sub>3</sub>		N-NH <sub>4</sub>	
		Media	Intervalo	Media	Intervalo	Media	Intervalo
	(n)	----- % -----		----- mg kg <sup>-1</sup> -----		----- mg kg <sup>-1</sup> -----	
Guerrero Negro	36	0.22	0.10 - 0.31	12.4	3.42 - 18.2	8.1	3.71 - 14.8
Ejido Morelos	32	0.48	0.26 - 0.59	48.2	25.7 - 62.9	17.5	11.2 - 25.6
Ejido Jesús María	32	0.68	0.35 - 0.87	51.7	24.2 - 74.6	20.3	10.9 - 32.4
Ejido Benito Juárez	36	0.31	0.12 - 0.48	28.3	16.5 - 40.4	15.3	7.82 - 21.7
Ejido G. Díaz Ordaz	28	0.36	0.11 - 0.52	23.4	9.22 - 39.6	10.7	3.76 - 17.4
Ejido Emiliano Zapata	24	0.28	0.14 - 0.36	26.5	11.9 - 38.7	17.8	9.89 - 28.2



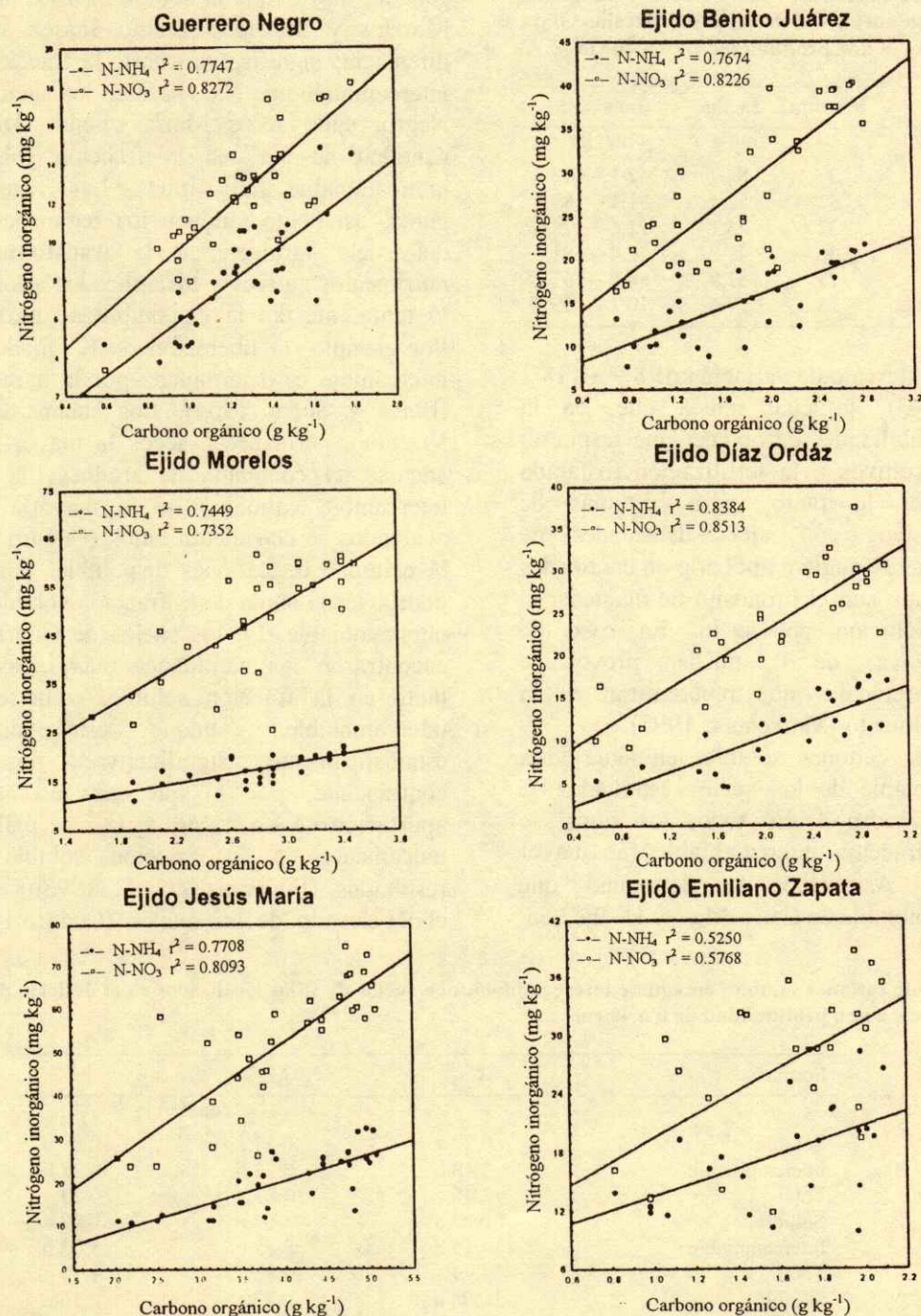


Figura 2. Relación entre carbono orgánico y dos principales formas de nitrógeno inorgánico en suelos del desierto de Vizcaino.

calcio (Endo *et al.*, 2000a), por lo que en el momento de hacer recomendaciones de fertilizaciones fosfóricas debe considerarse este factor, ya que estos suelos, de modo general, presentan cantidades altas de P extractable Olsen. Se establece que por valores superiores a 30 mg P kg<sup>-1</sup> de suelo extractado con el

método Olsen no existen probabilidades de respuesta a la fertilización fosfatada por parte de los cultivos (Mehlich, 1972), aunque esto puede variar en sistemas de producción intensivos donde se utilice la fertirrigación (Fujiyama *et al.*, 1993a). La media general de los suelos en el presente estudio fue de

**Cuadro 3. Número de muestras, valor medio y rango de valores de P Olsen en suelos del desierto de Vizcaíno, Baja California Sur, México, a una profundidad de 0 a 40 cm.**

Sitio	Muestra	Media	Intervalo
		mg g <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Guerrero Negro	36	84.7	42.1 - 118.2
Ejido Morelos	32	52.4	31.1 - 85.8
Ejido Jesús María	32	43.1	11.6 - 78.6
Ejido Benito Juárez	36	48.2	22.4 - 81.6
Ejido G. Díaz Ordaz	28	32.9	8.9 - 67.2
Ejido Emiliano Zapata	24	27.3	10.1 - 59.7

48.1 mg kg<sup>-1</sup> y su intervalo de variación de 8.9 a 118.2 mg kg<sup>-1</sup> (Cuadro 3), lo cual indica que, en la actualidad, las posibilidades de obtener una respuesta por parte de los cultivos a la fertilización fosfatada son mínimas. Por lo tanto, para sistemas de producción intensivos con altas densidades de población de plantas se sugiere aplicarlo en cantidades reducidas únicamente con el propósito de mantener el P lábil en la solución del suelo. En caso de aplicaciones excesivas de P, pueden provocarse desequilibrios nutricionales que repercutirán en la reducción del rendimiento (Marschner, 1995).

La cantidad de cationes solubles en agua y la fracción intercambiable de los suelos estudiados se presentan en el Cuadro 4. En todos los sitios, se encontró que la fracción intercambiable fue mayor que la soluble. Asimismo, se determinó que la fracción intercambiable de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> fue, en

general, mayor que la soluble. En los suelos del ejido Morelos y del ejido Benito Juárez se encontraron diferencias significativas entre la fracción soluble y la intercambiable de Na<sup>+</sup>, pero en los suelos de Guerrero Negro, ejido Jesús María y ejido Díaz Ordaz, la cantidad de Na<sup>+</sup> en la fracción soluble y en la intercambiable fue similar. Las variaciones en el clima, así como también los regímenes de humedad del suelo influyen en la transformación de los nutrimentos nativos y los aplicados a los suelos y, por lo tanto, afectan la disponibilidad para los cultivos. Por ejemplo, la liberación de K<sup>+</sup> fijado a la fase de intercambio es determinada por la humedad del suelo (Bates y Scott, 1964). Los suelos del desierto de Vizcaíno, permanecen secos la mayor parte del año, además, el contenido de arcilla y la capacidad de intercambio catiónico de la mayoría de los sitios evaluados se consideran bajos (Cuadro 1), por lo que la cantidad de cationes disponibles para los cultivos podría ser la suma de la fracción soluble y la fracción intercambiable. En los suelos de Guerrero Negro, se encontraron las cantidades más bajas de cationes, tanto en la fracción soluble, como en la fracción intercambiable. Aunque esta diferencia fue estadísticamente significativa, fue la menos contrastante, por lo que las recomendaciones de aportación de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> se realizan con base únicamente en la fracción soluble con buenos resultados (Fujiyama *et al.*, 1993b). Sin embargo, el pH elevado de los suelos (Cuadro 1) ocasiona la

**Cuadro 4. Cantidad de cationes solubles en agua e intercambiables en suelos de sitios localizados en el desierto de Vizcaíno, Baja California Sur, México, a una profundidad de 0 a 40 cm.**

Sitio	Forma	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
		cmol(+) kg <sup>-1</sup>			
Guerrero Negro	Soluble	0.27 a <sup>†</sup>	0.11 a	0.09 a	0.37 a
	Intercambiable	3.18 b	0.72 b	0.31 b	0.43 a
	Total	3.45	0.83	0.40	0.80
Ejido Morelos	Soluble	0.83 a	1.07 a	0.72 a	3.93 a
	Intercambiable	14.16 b	9.75 b	4.03 b	8.02 b
	Total	14.99	10.82	4.75	11.95
Ejido Jesús María	Soluble	0.96 a	0.73 a	0.16 a	1.98 a
	Intercambiable	17.22 b	8.44 b	3.17 b	2.35 b
	Total	18.18	9.17	3.33	4.33
Ejido Benito Juárez	Soluble	0.64 a	0.46 a	0.52 a	1.83 a
	Intercambiable	4.02 b	4.08 b	1.88 b	5.21 b
	Total	4.66	4.54	2.40	7.04
Ejido G. Díaz Ordaz	Soluble	0.43 a	0.67 a	0.51 a	0.67 a
	Intercambiable	3.57 b	2.72 b	0.87 a	1.06 a
	Total	4.00	3.39	1.38	1.73

<sup>†</sup> Diferentes letras indican diferencias significativas entre la fracción soluble y la intercambiable para cada catión y cada sitio (P < 0.05, prueba de Duncan de rango múltiple).

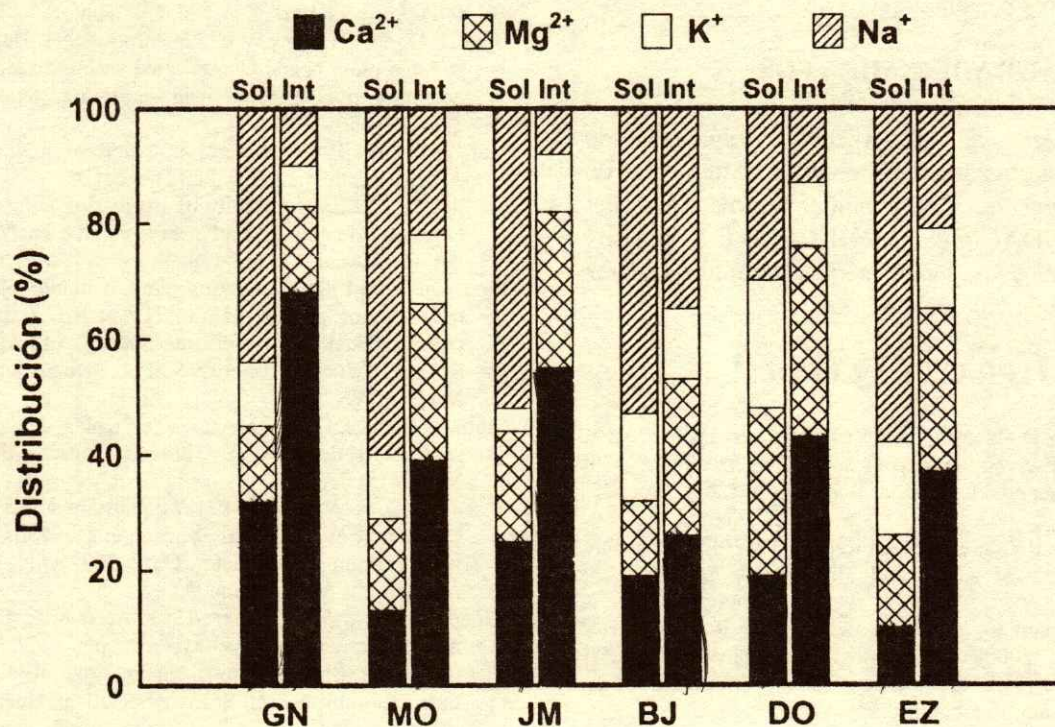


Figura 3. Distribución de cationes solubles (Sol) e intercambiables (Int) en suelos de Guerrero Negro (GN) y los ejidos Morelos (MO), Jesús María (JM), Benito Juárez (BJ), G. Días Ordáz (DO) y Emiliano Zapata (EZ), localizados en el desierto de Vizcaíno, Baja California Sur, México.

precipitación de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  a compuestos insolubles y esta reacción influye de manera notable en la disponibilidad de estos elementos para los cultivos. Endo *et al.* (2000a) encontraron una correlación significativa entre  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  y la distribución de sulfato en algunos sitios del desierto de Vizcaíno, lo que sugiere la formación de yeso y dolomita que son compuestos de baja solubilidad.

La distribución de cationes solubles e intercambiables se muestra en la Figura 3. En todos los suelos se encontró que el  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  fueron los cationes dominantes, tanto en la fracción soluble como en la intercambiable, mientras que el  $\text{Na}^{+}$  lo fue en la fracción soluble y no en la fracción intercambiable. El  $\text{K}^{+}$  intercambiable fue mayor que el  $\text{K}^{+}$  soluble sólo en los ejidos Morelos y Jesús María. Probablemente, esto sea resultado de un contenido mayor de arcilla, mientras que en el suelo de Guerrero Negro, se observó una cantidad menor de  $\text{K}^{+}$  intercambiable y también de arcilla (Cuadro 1). Para la interpretación adecuada del análisis químico de

estos suelos, se requiere realizar experimentos de calibración para determinar la respuesta de los principales cultivos de interés en la zona a los diferentes nutrientes.

## CONCLUSIONES

- Para los suelos estudiados, el N presentó los índices de disponibilidad más bajos, lo cual podría estar limitando el crecimiento adecuado de los cultivos en los sitios evaluados.
- Aunque se determinaron índices de disponibilidad altos en P, K, Ca y Mg, algunas características, como la alcalinidad y las concentraciones altas de  $\text{Na}^{+}$  soluble, podrían inhibir la capacidad de absorción de los cultivos para estos nutrientes.
- Los resultados del análisis químico de los suelos sugieren que la nutrición de los cultivos en estos sitios debe realizarse con base en fertilizantes nitrogenados con reacción acidificante, pero para la interpretación adecuada de los análisis es necesario realizar

calibraciones a través de experimentos de invernadero o campo, en los cuales se incluyan distintos suelos y cultivos de interés para la zona.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Agencia Española de Cooperación Internacional-Comunidad Autónoma de Murcia, Agencia de Cooperación Internacional del Japón y a FUNDACIÓN PRODUCE, B.C.S. por sus apoyos económicos y técnicos que permiten realizar investigación en el Noroeste de México.

### LITERATURA CITADA

- Bates, T.E. y A.D. Scott. 1964. Changes in exchangeable potassium observed on drying soils after treatment with organic compounds: I. Release. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 769-772.
- Bower, C.A., R.F. Reitemeyer y M. Fireman. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci.* 73: 251-262.
- Endo, T., S. Yamamoto, T. Honna, K. Iimura, R. López A. y M. Benson R. 2000a. Morphological and physico-chemical properties of soils in the middle of Baja California, Mexico. *Japan J. Soil Sci. Plant Nutr.* 71: 9-17.
- Endo, T., S. Yamamoto, T. Honna, M. Takashina, K. Iimura, R. López A. y M. Benson. 2000b. Behavior and distribution of salts under irrigated agriculture in the middle of Baja California, Mexico. *Japan J. Soil Sci. Plant Nutr.* 71: 18-26.
- Etchevers B., J.D. 1985. Análisis químico de suelos: El porqué de sus fallas. Serie Cuadernos de Edafología 4. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Etchevers B., J.D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra* 17: 209-219.
- Fujiyama, H., M. Benson y M. Yamanouchi. 1993a. Fertility of three major nutrients of field soil in Guerrero Negro. *J. Fac. Agric. Tottori Univ.* 29: 25-29.
- Fujiyama, H., M. Benson, R. López A. y M. Yamanouchi. 1993b. Is calcium application necessary for crop cultivation in Guerrero Negro? *J. Fac. Agric. Tottori Univ.* 29: 31-36.
- García, E. y P. Mosiño. 1968. Los climas de la Baja California. Memoria 1966-67. Comité Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Grieve, C.M. y H. Fujiyama. 1987. The response of two rice cultivars to external Na/Ca ratio. *Plant Soil* 103: 245-250.
- Hagin, J. y B. Tucker. 1982. Fertilization of dry land and irrigated soils. Springer Verlag. Berlin, Germany.
- Hook, P.B., I.C. Burke y W.K. Lauenroth. 1991. Heterogeneity of soil and plant N and C associated with individual plants and openings in North American shortgrass steppe. *Plant Soil* 138: 247-256.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> edition. Academic Press. San Diego, CA.
- Mehlich, A. 1972. Uniformity of expressing soil test results. A case for calculating results on a volume basis. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 61: 113-128.
- Meisinger, J.J. 1984. Evaluating plant available nitrogen in soil-crop systems. pp. 391-416. *In: Hauck, R.D. (ed.) Nitrogen in crop production.* American Society of Agronomy-Crop Science Society of America-Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Molina-Galán, J. 1991. Recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México. Talleres Gráficos de la Nación. México, D.F.
- Olsen, S.R., C.V. Cole, F. Watanabe y L.A. Dean. 1954. Estimation of availability phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *Circ.* 939. US Department of Agriculture. Washington, D.C.
- Schepers, J.S. y A.R. Mosier. 1991. Accounting for nitrogen in nonequilibrium soil-crop systems. pp. 125-138. *In: Follet, R.F. (ed.) Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability.* Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Schimel, D.S. y W.J. Parton. 1986. Microclimatic controls of nitrogen mineralization and nitrification in shortgrass steppe soils. *Plant Soil* 93: 347-357.
- Smith, C.M. 1988. Scope and possibilities of soil testing for nitrogen. pp. 122-133. *In: Soil and Plant Testing and Analysis.* Soil Bulletin 38/1. Food and Agricultural Organization. Roma, Italy.
- Vázquez A., A. 1997. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. Segunda edición Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Walkley, A. y T.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Westerman, R.L. 1990. Soil testing and plant analysis. Third ed. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Yamanouchi, M. 1991. Present situation and some technical problems of vegetable cultivation on sand soil in Guerrero Negro, B.C.S., México. *Sand Dune Res.* 38: 10-35.

# DINÁMICA DE HIERRO Y ZINC APLICADOS EN SOLUCIONES ÁCIDAS A SUELOS CALCÁREOS

## Dynamics of Iron and Zinc Applied in Acid Solutions to Calcareous Soils

Patricio Rivera-Ortiz<sup>1‡</sup>, Jorge D. Etchevers-Barra<sup>2</sup>, Claudia Hidalgo-Moreno<sup>2</sup>, Blanca I. Castro-Meza<sup>1</sup>, Jorge Rodríguez-Alcázar<sup>2</sup> y Ángel Martínez-Garza<sup>3</sup>

### RESUMEN

La baja solubilidad de Fe y Zn en los suelos calcáreos provoca bajos rendimientos en la mayoría de los cultivos establecidos en ellos. El problema es causado principalmente por el pH alcalino y por la presencia de altas concentraciones de carbonatos alcalinotérreos. La solubilidad de ambos metales podría incrementarse con la acidificación del medio por lo que, en este trabajo, se analiza el efecto de la acidez de soluciones de Fe y Zn sobre el pH del suelo y sobre la retención de estos elementos por el suelo, al término de diversos periodos de incubación. Se trataron muestras de 10 g de dos suelos calcáreos con soluciones acuosas de FeSO<sub>4</sub> y ZnSO<sub>4</sub>, acidificadas con ácido sulfúrico y sin acidificar. Las soluciones ácidas contenían H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en concentraciones equivalentes a 3, 6 y 12% de la alcalinidad total del suelo. Las cantidades de Fe y Zn adicionadas fueron 0, 470 y 940 mg kg<sup>-1</sup> de suelo y 0, 100 y 250 mg kg<sup>-1</sup> de suelo, respectivamente. El pH del suelo disminuyó a menos de 7.0, pero parte de su alcalinidad se restableció con el transcurso del tiempo. El Fe y el Zn adicionados con y sin ácido fueron retenidos por el suelo en mayor proporción durante las primeras 3 h de incubación. Al término de ese periodo, la proporción de retención fue cada vez menor y después de 24 h se mantuvo casi constante. Este efecto fue función del contenido de caliza activa en el suelo. El Fe se fijó aproximadamente en 95% y el Zn entre 40 y 60%. La retención del Fe se redujo a 80% cuando éste se aplicó en soluciones de alta acidez; equivalente a 12% de la alcalinidad del suelo, mientras que la retención de Zn no fue afectada por la acidez de las soluciones.

*Palabras clave:* Carbonato, ácido sulfúrico, acidificación.

### SUMMARY

The low solubility of iron and zinc in calcareous soils generally results in low yields of the major crops established on these soils. The problem is caused mainly by alkaline pH and by high contents of carbonates. For this reason, in the present work the effect of the acidity of solutions that contain Fe and Zn on soil pH and on the retention of Fe and Zn by the soil after several incubation periods was studied. Samples of 10 g of two calcareous soils were treated by adding FeSO<sub>4</sub> and ZnSO<sub>4</sub> dissolved in water and acid solutions. Acid solutions contained H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> equivalent to 3, 6, and 12% of total alkalinity of the soil. The quantities of Fe and Zn added to samples were 0, 470, and 940 mg kg<sup>-1</sup> soil and 0, 100 and 250 mg kg<sup>-1</sup> soil, respectively. The soil pH decreased to less than 7.0, but after some time the alkalinity was partially reestablished. Fe and Zn with added acid and without acid were retained by the soil principally during the first 3 h of incubation. After this period, the rate of retention of both elements was less, but after 24 h it remained almost constant. This effect was caused by the content of active carbonate in the soil. 95% of the Fe applied without acid was retained and between 50 and 60% of Zn was incorporated. The retention of Fe by the soil was reduced to 80% when the acid solution applied was

*Index words:* Carbonate, sulfuric acid, acidification.

### INTRODUCCIÓN

La solubilidad de Fe y Zn en los suelos calcáreos es baja. Ello se debe al pH elevado y a los altos porcentajes de carbonatos alcalinotérreos. Estos últimos inducen alcalinidad y son responsables de una alta concentración de iones calcio y bicarbonato en el suelo, condiciones que causan baja disponibilidad de Fe y Zn para los cultivos. El bajo abastecimiento de

<sup>1</sup> U. A. M. Agronomía y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Adolfo López Mateos. Apartado Postal 337, 87149 Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. <sup>‡</sup> (privera@uat.edu.mx) y Autor responsable.

<sup>2</sup> Instituto de Recursos Naturales, <sup>3</sup> Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, estado de México, México.

los micronutrientes se manifiesta por la clorosis en las hojas, pobre crecimiento de las plantas y bajo rendimiento de frutos. El problema tiene gran importancia, ya que aproximadamente la mitad del territorio mexicano posee características que pueden provocar clorosis en muchos cultivos (Lee *et al.*, 1998). La incorporación directa de Fe y Zn al suelo en tales circunstancias no es recomendable porque precipitarían, pero su solubilidad podría aumentarse si se aplicaran dichos elementos disueltos en soluciones acidificadas. Esta práctica se ha utilizado para disminuir la alcalinidad de los suelos y para mejorar la absorción de éstos y otros elementos por los cultivos (Miyamoto *et al.*, 1975; Ryan *et al.*, 1975; Ryan y Stroehlein, 1979; Lee *et al.*, 1998). Sin embargo, la aplicación de los micronutrientes mezclados con soluciones acidificadas en la superficie del suelo, podría disolver grandes cantidades de carbonatos alcalinotérricos que generarían problemas de salinidad además de que esta actividad no es garantía de que los elementos mencionados puedan mantenerse solubles durante el tiempo suficiente para que sean aprovechados por los cultivos. Por lo anterior, dicha práctica debe ser evaluada.

Los carbonatos alcalinotérricos tienen una fuerte influencia en diversas propiedades químicas del suelo como el pH, la solubilidad de Fe, Zn y otros nutrientes, así como en la retención de cationes y aniones (Loeppert, 1986; Obreza *et al.*, 1993). Este efecto de los carbonatos se debe a su elevada solubilidad (Langmuir, 1968), alcalinidad y capacidad tampón (Duchafour, 1987). La mineralogía, el tamaño de las partículas y el área superficial de los carbonatos se relacionan también con la reactividad de éstos y con el pH de la solución del suelo (Hartwig y Loeppert, 1991). Como resultado de ello, el pH de los suelos calcáreos oscila entre 7.5 y 8.5 (Loeppert, 1988). El carbonato más común en los suelos de regiones áridas y semiáridas es la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ); menos frecuentes son la calcita magnésica [ $\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}(\text{CO}_3)$ ], la dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], la aragonita ( $\text{CaCO}_3$ ) y la siderita ( $\text{FeCO}_3$ ) (Doner y Lynn, 1989). Los suelos calcáreos pueden tener alta concentración de Fe total pero en forma no disponible para las plantas (Obreza *et al.*, 1993). La presencia de carbonatos y la alcalinidad asociada con estos compuestos en el suelo son las principales causas de la baja solubilidad del Fe, ya que éste se precipita en tales condiciones (Loeppert, 1986). Situación parecida ocurre con el Zn. Orabi *et al.* (1985) encontraron que el contenido total de carbonato de calcio en el suelo

disminuyó de manera significativa la absorción de Zn en plantas de maíz, así como la translocación del elemento de la raíz hasta los brotes. Además observaron que el valor de Zn en los cultivos establecidos en suelos calcáreos correlacionó negativamente con el contenido de  $\text{CaCO}_3$ , debido a la competencia entre los iones  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en la superficie de la raíz.

La solubilidad del Fe está controlada en gran parte por la solubilidad de los óxidos de  $\text{Fe}^{3+}$ , en particular por el óxido de Fe más soluble presente, así como por el pH. Las condiciones de alcalinidad en las que se encuentran los suelos calcáreos debido al elevado contenido de carbonatos alcalinotérricos favorecen la precipitación del Fe como hidróxido (Trocmé y Gras, 1979) o como óxido de muy baja solubilidad (Schwertmann y Taylor, 1989). Cuando el pH del suelo varía entre 7 y 8, la concentración de Fe puede alcanzar valores tan bajos como  $10^{-18}$  moles  $\text{L}^{-1}$  (Mozafar y Oertli, 1986), lo cual significa que la actividad de los iones Fe, producto de la disolución de los óxidos en estos suelos, es extremadamente baja e insuficiente para cubrir las necesidades de las plantas (Lindsay, 1979). Sin embargo, algo de estos minerales puede disolverse y liberar cantidades importantes de Fe hacia la solución mediante la adición de ácido al suelo (Schwertmann, 1991). El comportamiento químico del Zn en el suelo es similar, pero más simple que el del Fe debido a que sólo posee una valencia,  $\text{Zn}^{2+}$  (Krauskopf, 1983). Al igual que el Fe, su solubilidad es altamente dependiente del pH por lo que su disponibilidad para las plantas en suelos alcalinos es baja (Lindsay, 1972) y las aplicaciones del micronutriente son, en general, inefectivas (Obreza *et al.*, 1993). Para disminuir el pH y aumentar la solubilidad de Fe y Zn en los suelos calcáreos se ha utilizado la incorporación de ácido sulfúrico a los mismos, aunque este efecto es, en general, temporal (Miyamoto *et al.*, 1975; Ryan *et al.*, 1975; Yahia *et al.*, 1975; Lee *et al.*, 1998). Según Loeppert (1986), la acidificación del suelo tiene diversos efectos: i) disminución del pH del suelo, ii) neutralización del bicarbonato, iii) reducción de la superficie reactiva de los carbonatos, iv) disolución de los óxidos de Fe cristalinos y formación de óxidos de Fe poco cristalinos los cuales son más solubles. De acuerdo con Obreza *et al.* (1993), la dosis de ácido necesaria para que la planta responda favorablemente a la acidificación del suelo depende del contenido de  $\text{CaCO}_3$  del suelo. Si la cantidad de  $\text{CaCO}_3$  es elevada, se requieren dosis altas y aplicaciones repetidas de

ácido; además, se necesita un tiempo prolongado para observar resultados en los cultivos. Debido a que no es común la respuesta de la planta a la aplicación de ácido, esta práctica no se recomienda en suelos muy calcáreos (Obreza *et al.*, 1993); al contrario, en suelos con pequeñas cantidades de  $\text{CaCO}_3$  se requieren dosis bajas de ácido y la respuesta de la planta es rápida por lo que la acidificación es factible. En el presente trabajo, se evaluó el efecto del grado de acidez de las soluciones utilizadas como vehículo para aplicar el Fe y el Zn a suelos calcáreos, sobre el pH de los mismos y la retención de los elementos por dichos suelos, después de diversos periodos de incubación.

### MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación, se utilizaron dos suelos calcáreos, ubicados en Padilla, Tamaulipas, y en Río Verde, San Luis Potosí, México. El suelo del sitio Padilla mostró en la capa arable (0 a 35 cm) una textura arcillosa, contenido elevado de carbonatos totales (Allison y Moodie, 1965) 42%  $\text{CaCO}_3$  y de caliza activa (Duchaufour, 1987) 343 mg  $\text{CaCO}_3 \text{ kg}^{-1}$ . Además, presentó pH alcalino (8.0), medido con potenciómetro en suspensión suelo:solución 1:2, y concentraciones bajas de Fe y Zn extraídos con DTPA, 2.7 mg Fe  $\text{kg}^{-1}$  y 1.0 mg Zn  $\text{kg}^{-1}$  (Lindsay y Norvell, 1978). El contenido de Fe en forma de óxidos, cristalinos y no cristalinos, extraídos con citrato bicarbonato ditionito (Mehra y Jackson, 1960) fue 7.01%, mientras que la concentración de Fe presente como óxidos amorfos, extraíbles con oxalato de amonio (Schwertmann, 1973) fue 1286 mg  $\text{kg}^{-1}$ . El suelo Río Verde, analizado con los métodos señalados, presentó en la capa superficial (0 a 25 cm) textura franco-limosa, alto contenido de carbonatos totales (48%  $\text{CaCO}_3$ ) y de caliza activa (600 mg  $\text{CaCO}_3 \text{ kg}^{-1}$ ), pH alcalino (8.1), así como valores bajos de Fe-DTPA (0.80 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) y de Zn-DTPA (0.62 mg  $\text{kg}^{-1}$ ). La cantidad de Fe en forma de óxidos cristalinos y no cristalinos (Fe libre) extraídos con citrato bicarbonato ditionito fue 0.01%, mientras que la concentración de Fe del tipo de óxidos amorfos extraíbles con oxalato de amonio fue 297 mg  $\text{kg}^{-1}$ . Estos valores indican características calcáreas más intensas y contenidos de Fe y Zn más bajos en el suelo Río Verde.

El experimento, en una primera etapa, consistió en adicionar soluciones de ácido sulfúrico a los suelos Padilla y Río Verde en dosis equivalentes a 0, 3, 6 y 12% de la alcalinidad total de los mismos. Miyamoto

*et al.* (1973) y Ryan y Stroehlein (1979) llamaron basicidad titulable con ácido (ATB) a esta alcalinidad y la definieron como el número de moles (+p) de ácido necesarios para neutralizar la capacidad amortiguadora del suelo. Dicha alcalinidad está constituida principalmente por los carbonatos alcalinotérreos del suelo (Ryan y Stroehlein, 1979; Loeppert, 1988) y en este experimento se determinó a partir del contenido de carbonato de calcio total. La alcalinidad total en el sitio Padilla fue de 8.4 moles (+p)  $\text{kg}^{-1}$  de suelo, mientras que en el sitio Río Verde fue de 9.6 moles (+p)  $\text{kg}^{-1}$  de suelo. Se prepararon tres series de 24 vasos de polietileno de 20 mL de capacidad, con una perforación de 2 mm de diámetro en la tapa; en cada uno, se colocaron 10 g de suelo. En cada serie, las muestras de ambos suelos se trataron con 4 mL de la solución correspondiente. Cada tratamiento se repitió tres veces. Los suelos tratados se incubaron a 30 °C en un horno, por periodos de 1, 8 y 16 días. Al término de cada periodo, se extrajo de la estufa una de las tres series de vasos para medir el pH del suelo con un potenciómetro y un electrodo combinado de vidrio, en suspensión suelo-agua, relación 1:2. En esta primera etapa, se utilizaron sólo tres tiempos de incubación por considerarse suficientes para observar los cambios de pH del suelo después de la aplicación de ácido. La cantidad de solución adicionada fue de 4 mL en cada vaso para humedecer el suelo a capacidad de campo. Para mantener constante esta humedad, se colocó dentro del horno un recipiente con agua a fin de conservar un ambiente saturado de humedad.

La segunda etapa del experimento se realizó con otras muestras de los mismos suelos, las cuales se trataron con soluciones de ácido sulfúrico que contenían dosis crecientes de Fe y Zn a fin de evaluar el efecto del ácido sobre las cantidades de estos elementos extraídas con DTPA (Lindsay y Norvell, 1978). Las concentraciones de ácido sulfúrico usadas en este caso fueron las equivalentes a 3 y 12% de la alcalinidad total de cada suelo. Como referencia, se aplicaron los mismos tratamientos de Fe y Zn en una solución sin acidular. Con estos tratamientos se intentó simular, en condiciones controladas, lo que ocurriría en campo si se fertirriega con agua acidulada. Las mezclas y dosis de Fe y de Zn adicionadas al suelo fueron las siguientes: 470 mg Fe  $\text{kg}^{-1}$  y 100 mg Zn  $\text{kg}^{-1}$ , 940 mg Fe  $\text{kg}^{-1}$  y 250 mg Zn  $\text{kg}^{-1}$ . Se incluyeron como testigos dos tratamiento sin Fe y Zn, pero con la dosis correspondiente de ácido. Estos tratamientos se seleccionaron tomando como

referencia ensayos preliminares (no reportados aquí) en los que se aplicó un amplio rango de dosis de los metales a cada suelo. Se seleccionaron como dosis mínimas por estudiar aquéllas en las que, al aplicarse sin ácido al suelo, se extrajeran cantidades de Fe y Zn consideradas como óptimas para muchos cultivos (4.5 mg Fe kg<sup>-1</sup> y 1.0 mg Zn kg<sup>-1</sup>, según Lindsay y Norvell, 1978). A partir de este criterio, se definió el resto de las concentraciones estudiadas.

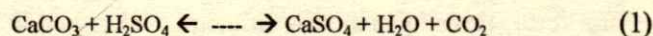
Se prepararon ocho series de 54 recipientes de polietileno de 20 mL de capacidad, con tapa perforada (2 mm de diámetro) provistos con 10 g de suelo y con 4 mL de las soluciones experimentales. En cada serie, se aplicaron, por triplicado a ambos suelos, todos los tratamientos resultantes de la combinación de las tres dosis de ácido (0, 3 y 12% de la alcalinidad de cada suelo) y las tres dosis de Fe y Zn. Como fuente de estos elementos, se utilizaron FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O y ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, respectivamente. Los recipientes que contenían las muestras tratadas se taparon y se incubaron a 30 °C en un horno por ocho periodos: 0, 3, 6 y 12 h y 1, 4, 8 y 16 días. Se colocó un recipiente con agua dentro del horno para impedir la deshidratación de las muestras. Al término de cada uno de estos periodos, una serie de recipientes se retiró de la estufa para determinar el Fe y el Zn extraíbles con DTPA (Lindsay y Norvell, 1978). La determinación de estos metales en el extracto se hizo por espectrofotometría de absorción atómica en llama de aire-acetileno. Los datos de pH, así como los de Fe y Zn, obtenidos de estos experimentos, que se establecieron como diseños completamente al azar con tres repeticiones, se sometieron a análisis de varianza y prueba de Tukey (Martínez, 1988) conforme a un diseño factorial a fin de comparar entre sí los suelos, las dosis de Fe y Zn, los porcentajes de alcalinidad neutralizada de los suelos y los tiempos de incubación de los suelos tratados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Dinámica del pH de Suelos Tratados con Ácido

En la Figura 1, se presenta la variación del pH de los suelos Padilla y Río Verde en función de las dosis de ácido sulfúrico que se aplicaron para neutralizar la alcalinidad de los suelos, después de 1, 8 y 16 días de incubación. La aplicación de ácido sulfúrico en cantidades equivalentes a 3, 6 y 12% de la alcalinidad produjo, en el suelo Padilla, una disminución casi lineal del pH desde 8.0 hasta 6.7 al término del primer

día de incubación. En el suelo Río Verde, el pH cayó, en ese mismo lapso, de 8.1 a sólo 7.5. Esta diferencia entre suelos se debió, en parte, a los distintos contenidos de carbonato de calcio o calcita (42 y 48%, respectivamente), al tamaño de partículas y al grado de cristalización del mineral. En el suelo Río Verde, se encontró que el contenido de partículas de carbonato de calcio finamente divididas, poco o nada cristalinas y químicamente muy reactivas llamadas caliza activa (Duchafour, 1987) era casi el doble (600 mg CaCO<sub>3</sub> kg<sup>-1</sup>) con respecto a las que contenía el suelo Padilla (343 mg CaCO<sub>3</sub> kg<sup>-1</sup>). Lindsay (1979) propuso la Ecuación 1 como el mecanismo químico que explicaría la neutralización del carbonato por el ácido sulfúrico.



Al término del primer día de incubación, el efecto del ácido sulfúrico sobre el pH fue significativo en ambos suelos. Sin embargo, después de 8 días el efecto inicial se había reducido notablemente, ya que el pH del suelo aumentó varias décimas, cambio que se intensificó hacia el final del periodo. A 16 días de incubación, el pH del suelo Río Verde fue de 7.9, valor muy cercano al original (Figura 1), mientras que en el suelo Padilla, aunque el pH también subió al transcurrir el tiempo, éste no aumentó más allá de 7.1. Este comportamiento se atribuyó a que el abatimiento inicial del pH fue mayor en el suelo Padilla y a que los contenidos de carbonato de calcio total y de caliza activa del mismo suelo fueron menores que los del suelo Río Verde. Las dosis bajas de ácido (3 y 6% de la alcalinidad total) redujeron en menor proporción el pH de los suelos y fueron insuficientes para alcanzar la neutralidad. La tendencia del pH de retornar a su valor original se debió al poder amortiguador de los suelos (Duchafour, 1987; Loeppert, 1988). Con base en lo anterior, puede decirse que el suelo Río Verde requiere dosis de ácido mayores que 12% de su alcalinidad para disminuir y mantener el pH cercano a la neutralidad. En cambio, en el suelo Padilla se requieren dosis de ácido no mayores que ese porcentaje para abatir el pH a valores semejantes.

### Retención de Hierro y Zinc en el Suelo

En la Figura 2, se presentan las cantidades de Fe extraído con DTPA después de 24 h de incubar muestras de ambos suelos tratadas con dosis crecientes de ácido sulfúrico y de Fe en forma de



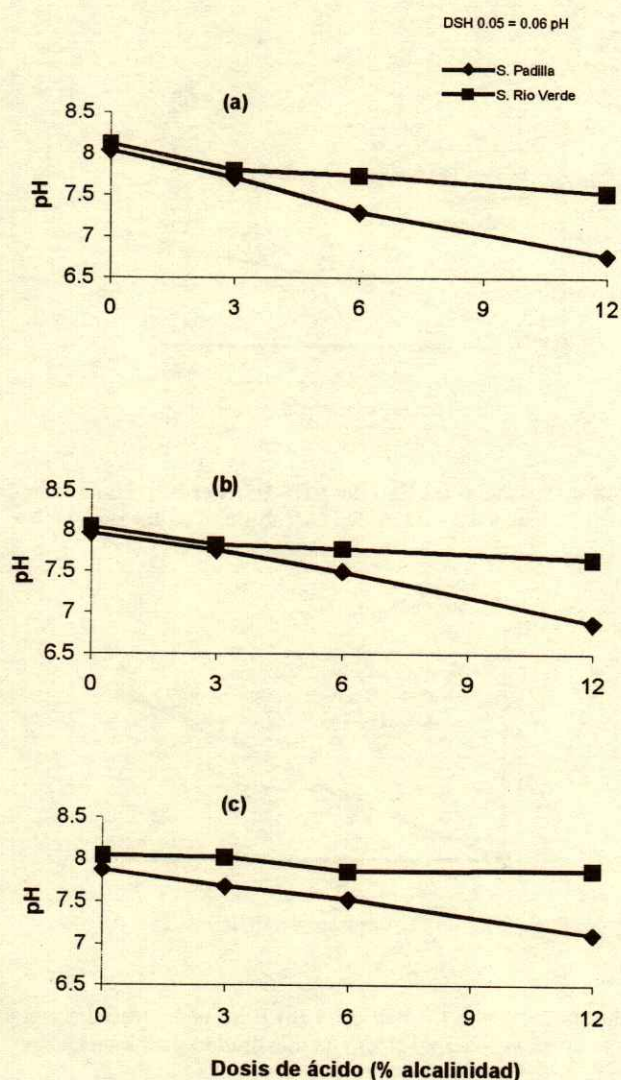
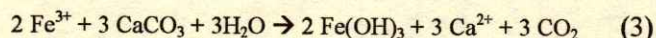
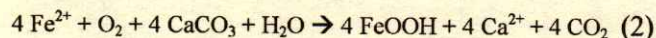


Figura 1. pH de los suelos Padilla y Río Verde en función de la aplicación de ácido sulfúrico después de (a) un día, (b) ocho días y (c) 16 días de incubación.

sulfato ferroso. La proporción de Fe recuperado cuando se aplicó en soluciones sin ácido fue mayor en el suelo Río Verde, aunque los porcentajes de recuperación fueron muy bajos en ambos sitios (2 a 7%). La baja recuperación del elemento indica que una elevada proporción del Fe aplicado fue retenida por los suelos, probablemente mediante reacciones de precipitación del elemento como hidróxido férrico (Trocme y Gras, 1979) y como óxidos hidratados de Fe (Lindsay, 1983). La precipitación se explica por la presencia de las altas concentraciones de carbonato total y de caliza activa en los suelos (Loeppert, 1988)

que generaron un ambiente alcalino, como lo muestran las Ecuaciones 2 y 3.



Cuando el Fe se aplicó a los suelos en solución de ácido sulfúrico equivalente a 3% de la alcalinidad de éstos, la tasa de recuperación fue muy similar a la ocurrida cuando el elemento se aplicó sin ácido. Sin embargo, al incubarse el metal en el suelo Padilla acompañado de una cantidad de ácido equivalente a 12% de la alcalinidad, la recuperación del elemento se incrementó de manera considerable, debido al abatimiento del pH (Miyamoto *et al.*, 1975), es decir, el ácido incorporado en esta concentración disminuyó la retención del Fe aplicado. En el suelo Río Verde, pese a la aplicación del Fe en mezcla con la dosis alta de ácido, la retención del elemento fue casi igual al caso en que el Fe se aplicó sin ácido. Esto se debió al mayor contenido de carbonato, que neutralizó al ácido y evitó la disminución del pH del suelo (Loeppert, 1988).

La cantidad de Zn extraído con solución de DTPA fue alta, aproximadamente 50% de la cantidad total adicionada en soluciones neutras o ácidas (Figura 3). Esta proporción indica que sólo la mitad del Zn aplicado fue retenida por los suelos independientemente del grado de acidez en la solución usada para aplicarlo. De forma similar, Ma y Uren (1997) recuperaron, con DTPA, alrededor de 75% del Zn adicionado a un suelo calcáreo. Estos resultados señalan que la solubilidad del Zn aplicado al suelo no fue afectada por la acidez de la solución.

#### Acidificación del Suelo y Extracción de Hierro y Zinc

En el Cuadro 1, se presentan las cantidades de Fe y Zn nativos extraídas con DTPA y de Fe extraíble con oxalato de amonio, después de 24 h de la incorporación de ácido sulfúrico en dosis equivalentes a 0, 3, 6 y 12% de la alcalinidad de los suelos. La cantidad de Fe extraído con DTPA fue casi 20 veces mayor en el suelo Padilla con respecto al sitio Río Verde. Esto indica un mayor contenido de Fe disponible para las plantas en el primer sitio (Lindsay y Norvell, 1978). De la misma manera, la extracción de Fe con oxalato de amonio [óxidos de Fe amorfos

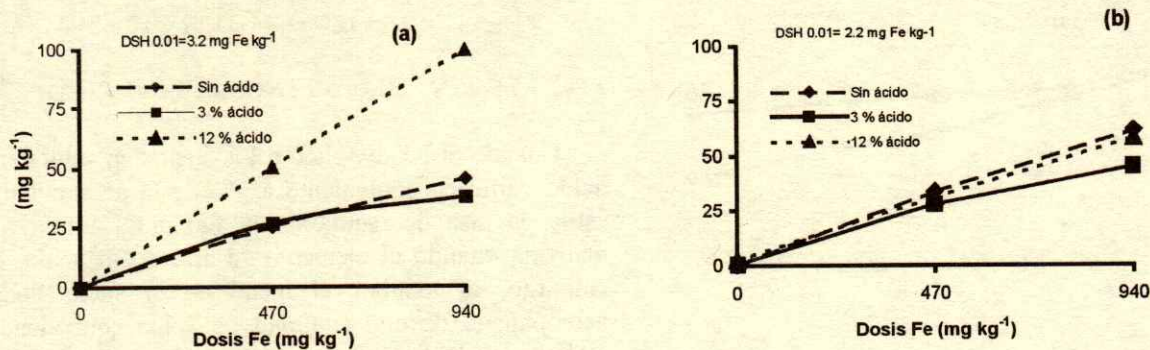


Figura 2. Recuperación de Fe-DTPA después de un día de incubación de los suelos (a) Padilla y (b) Río Verde, tratados con dosis crecientes de Fe, aplicado en agua y en soluciones de ácido sulfúrico equivalentes a 3 y 12% de la alcalinidad de los suelos.

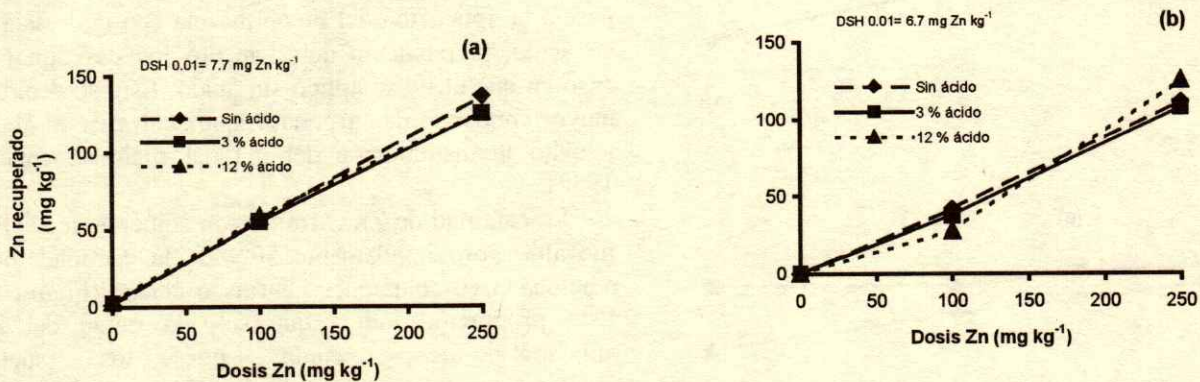


Figura 3. Recuperación de Zn-DTPA después de un día de incubación de los suelos (a) Padilla y (b) Río Verde, tratados con dosis crecientes de Zn, aplicado en agua y en soluciones de ácido sulfúrico equivalentes a 3 y 12% de la alcalinidad de los suelos.

(Borggaard, 1988)] fue tres veces mayor en el sitio Padilla. La aplicación de ácido sulfúrico a este suelo en dosis de 6 y 12% de la alcalinidad, aumentó la cantidad de Fe extraído con oxalato y DTPA, respecto a las muestras sin tratar con ácido, pero la neutralización de sólo 3% de la alcalinidad no fue significativa.

En el sitio Río Verde, la aplicación de ácido en cantidades equivalentes a 3 y 6% de la alcalinidad del suelo no aumentó la cantidad de Fe extraído con DTPA, pero cuando se neutralizó 12% de la alcalinidad, la extracción del metal se incrementó de manera significativa. De lo anterior se deduce que en este suelo el ácido no afectó la solubilidad del metal cuando se neutralizó sólo 6% o menos de la alcalinidad, debido probablemente a que las formas de

Cuadro 1. Extracción de Fe y Zn nativos, con DTPA y oxalato de amonio, un día después de la neutralización de 0, 3, 6 y 12% de la alcalinidad de los suelos Padilla y Río Verde con ácido sulfúrico.

Suelo	Alcalinidad neutralizada (%)	Fe DTPA	Zn DTPA	Fe oxalato
----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
Padilla	0	0.27 a	1.16 a	1286 a
Padilla	3	1.90 a	2.43 b	1270 a
Padilla	6	9.78 b	2.53 c	1291 a
Padilla	12	48.60 c	3.63 d	1372 b
Río Verde	0	0.24 a	0.26 a	297 a
Río Verde	3	0.40 a	0.33 a	306 a
Río Verde	6	0.62 a	0.34 a	364 b
Río Verde	12	2.48 b	0.54 b	345 b

Tratamientos con letras iguales dentro de una columna no son significativamente distintas, según la prueba de Tukey  $\alpha = 0.05$ .

Fe son muy estables y/o cristalinas (Lindsay y Norvell, 1978; Loeppert y Hallmark, 1985; Borggaard, 1988). Al igual que en el sitio Padilla, la extracción de Fe con oxalato de amonio en el suelo Río Verde se incrementó significativamente sólo cuando se aplicaron cantidades de ácido mayores que 6% de su alcalinidad. Estos resultados muestran que dosis de ácido iguales o mayores que 6% de la alcalinidad de los suelos, pueden disolver cantidades importantes de Fe (Miyamoto *et al.*, 1975; Khorsandi, 1994). La extracción de Fe con solución de oxalato de amonio es, según Loeppert (1988), un buen índice para predecir la incidencia de clorosis férrica en muchos cultivos.

Con respecto al Zn en el sitio Río Verde, la extracción del metal con DTPA sólo fue importante cuando se neutralizó la alcalinidad del suelo en 12%. Al neutralizar 3 y 6%, el efecto ácido no fue significativo. Esto hace suponer que el suelo no contiene cantidades importantes de compuestos de Zn fácilmente solubles en ácido y que los compuestos de Zn que pudieran existir serían de baja solubilidad.

#### Dinámica del Hierro Aplicado al Suelo en Soluciones Ácidas

En la Figura 4, se presenta la extracción de Fe con DTPA después de varios periodos de incubación de muestras de suelo tratadas con  $470 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ , en forma de sulfato ferroso. El elemento se aplicó disuelto en agua y en soluciones de ácido sulfúrico de concentración equivalente a 3 y 12% de la alcalinidad del suelo. La cantidad de Fe extraído disminuyó drásticamente desde las primeras horas de incubación, independientemente del grado de acidez en la solución aplicada, lo que significa que la retención del metal por el suelo fue muy rápida. En el momento de su aplicación sin ácido, se extrajeron  $88 \text{ mg Fe kg}^{-1}$  del suelo Padilla y  $135 \text{ mg Fe kg}^{-1}$  del suelo Río Verde. Estas cantidades se redujeron a la mitad después de 3 h y, a partir de ese tiempo, las cantidades extraídas fueron aun menores. Después de 24 h de incubación (1 día), la extracción del metal fue inferior a  $15 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ , valor en el que permaneció durante los siguientes 15 días.

Cuando el Fe se adicionó al suelo en solución de ácido sulfúrico equivalente a 3% de la alcalinidad (Figura 4b), la extracción del elemento fue casi igual a la del suelo sin acidificar, lo que significa que esta dosis de ácido en la solución férrica no fue suficiente para mantener soluble al Fe aplicado. Aunque al inicio

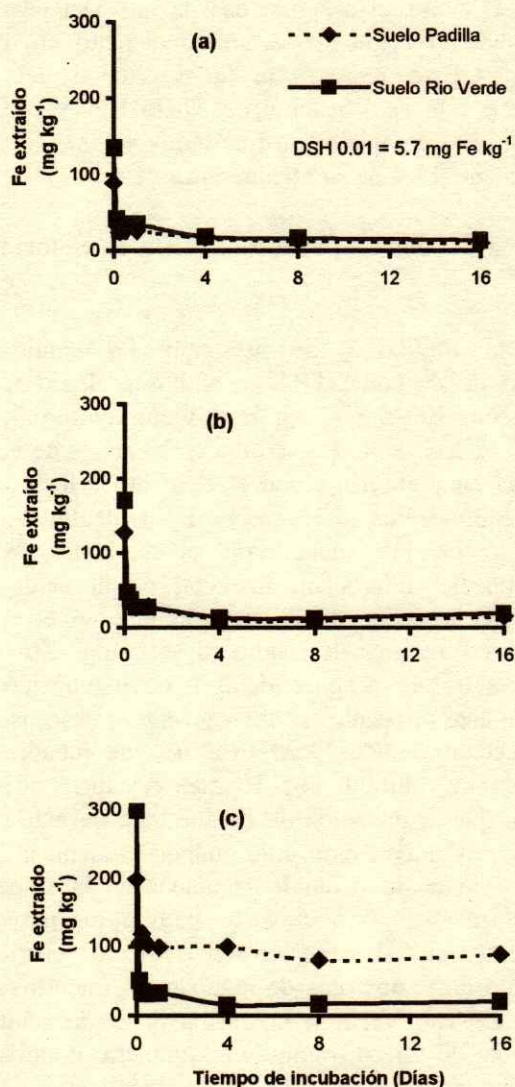


Figura 4. Extracción de Fe con DTPA después de varios periodos de incubación de muestras de los suelos Padilla y Río Verde, tratados con  $470 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ . El elemento se aplicó disuelto en (a) agua y en soluciones de ácido sulfúrico equivalentes a (b) 3 y (c) 12% de la alcalinidad de cada suelo.

la extracción del metal, suministrado en solución de ácido equivalente a 12% de alcalinidad del suelo, aumentó al doble en comparación con lo extraído al usar una concentración de ácido equivalente a 3% de la alcalinidad, este efecto se redujo al término de las primeras tres horas de incubación. Sin embargo, en el sitio Padilla, la extracción de Fe permaneció relativamente alta hasta el final de los 16 días de incubación, ya que se obtuvo de seis a siete veces más Fe respecto a la aplicación de éste sin ácido. En el sitio Río Verde, si bien la extracción del metal aplicado en mezcla con la dosis alta de ácido fue

elevada al inicio, ésta siguió casi la misma tendencia que cuando el elemento se aplicó disuelto en agua solamente. Esto indica que la disolución del Fe, causada por la acidificación del suelo Río Verde, se mantuvo alta por menos de tres horas solamente, aun al neutralizar 12% de su alcalinidad.

### Dinámica del Zinc Aplicado al Suelo en Soluciones Ácidas

En la Figura 5, se presentan las cantidades extraídas de Zn con DTPA en ambos suelos después de adicionar  $100 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  con y sin ácido, durante 0, 3, 6, 12 h y 1, 4, 8 y 16 días. Las dosis de ácido aplicadas conjuntamente con el elemento a los suelos fueron equivalentes a 3 y 12% de la alcalinidad de cada uno de los suelos. En el momento de la aplicación del microelemento, con o sin ácido, se extrajeron alrededor de  $70 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  en el suelo Padilla, cifra que descendió a  $50 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  aproximadamente después de 3 h de incubación. A partir de este momento, se tuvo un ligero descenso en la extracción de Zn, pero ésta no fue menor que  $40 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  durante los 16 días restantes, lo que significa que la retención de Zn fue baja durante todo el periodo de incubación, aun cuando el elemento fue aplicado sin ácido. Cuando la acidez en la solución aplicada fue 12%, en el suelo Padilla los mayores decrementos en la extracción del elemento ocurrieron a lo largo de varios días de incubación, mientras que en el suelo Río Verde a la misma dosis de ácido la extracción de Zn disminuyó de manera importante antes de las primeras 24 h de incubación. Esto significa que el suelo Río Verde tuvo un mayor poder de retención del Zn y que la velocidad a la que se llevó a cabo la retención fue muy rápida en comparación con el suelo Padilla.

Con base en los resultados de la presente investigación, puede decirse que los elevados contenidos de carbonato de calcio en los suelos calcáreos y el alto poder amortiguador que éste provoca en ellos, trae como consecuencia que para bajar y mantener el pH de dichos suelos a valores en los que la solubilidad de Fe y Zn pueda aumentarse significativamente, se requerirían cantidades muy grandes de ácido, por lo que la aplicación de soluciones de Fe y Zn aciduladas, o sea fertirriego ácido de Fe y Zn, resultaría quizás poco conveniente en suelos muy calcáreos. Sin embargo, en etapas subsecuentes de esta investigación se llevarán a cabo pruebas de campo e invernadero con la finalidad de

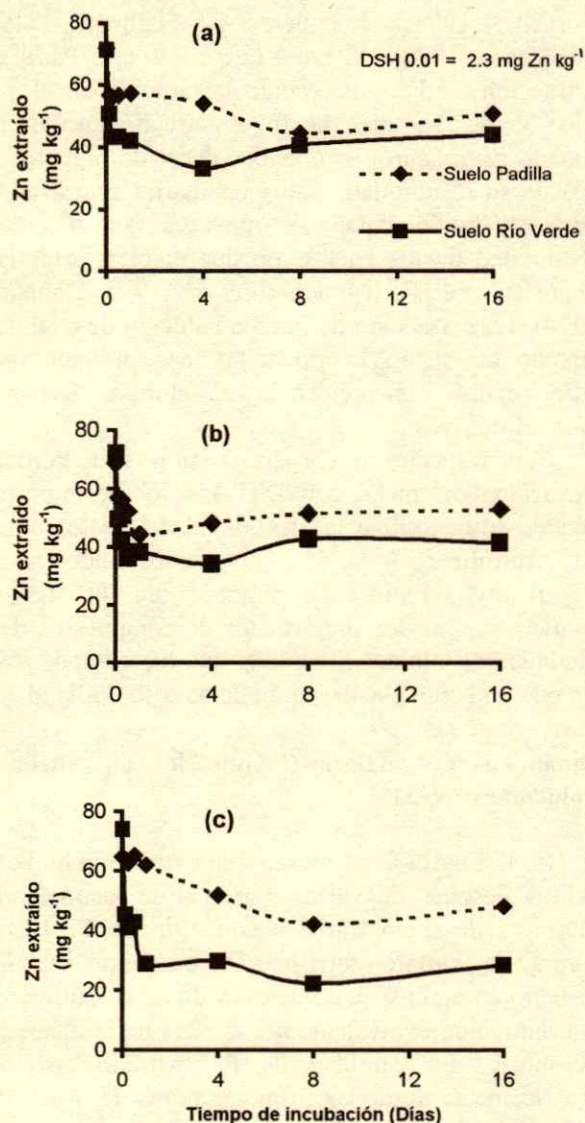


Figura 5. Extracción de Zn con solución de DTPA después de varios periodos de incubación de muestras de los suelos Padilla y Río Verde, tratadas con  $100 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ . El elemento se aplicó disuelto en (a) agua y en soluciones de ácido sulfúrico equivalentes a (b) 3 y (c) 12% de la alcalinidad de cada suelo.

ensayar dosis pequeñas, medias y altas de ácido para evaluar el efecto de esta práctica sobre el estado nutricional de cultivos deficientes en Fe y Zn.

### CONCLUSIONES

- La aplicación de soluciones de ácido sulfúrico al suelo en dosis equivalentes a 3, 6 y 12% de su alcalinidad disminuyó el pH, pero éste se restableció paulatinamente; cuanto más elevada fue la dosis de

ácido, mayor fue el tiempo de restablecimiento de esta variable. Para mantener el pH cercano a la neutralidad por lo menos durante dos semanas, se necesitó de una dosis de ácido sulfúrico equivalente a 12% de la alcalinidad del suelo.

- El hierro y el zinc adicionados, con y sin ácido, fueron retenidos por el suelo en mayor proporción durante las primeras tres horas de incubación. Al término de ese periodo, la proporción de retención de ambos elementos se redujo, permaneciendo casi constante después de 24 horas. En promedio, la retención de hierro y zinc fue de 95 y 55%, respectivamente, de las cantidades incorporadas sin ácido. Soluciones con acidez equivalente a 12% de la alcalinidad del suelo redujeron la retención del hierro a 80% del total aplicado, mientras que la retención de zinc no fue afectada por la acidez de las soluciones.

- La efectividad de las soluciones ácidas en la disponibilidad de hierro y el zinc estuvo condicionada por la cantidad de carbonato de calcio activo presente en el suelo.

#### LITERATURA CITADA

- Allison, L.E. y C.D. Moodie. 1965. Carbonates. pp. 1379-1396. *In: Black, C.A. (ed.). Methods of soil analysis, part 2. American Society of Agronomy. Madison, WI.*
- Borggaard, O.K. 1988. Phase identification by selective dissolution techniques. pp. 83-98. *In: Stucki, J.W. et al. (eds.). Iron in soils and clay minerals. NATO Adv. Inst. Bad Windsheim, Germany.*
- Doner, H.E. y W.C. Lynn. 1989. Carbonate, sulfate and sulfide minerals. pp. 279-330. *In: Dixon, J.B. y S.B. Weed (eds.). Minerals in soil environment. Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Duchafour, P. 1987. Manual de edafología. Masson S.A. Barcelona, España.
- Hartwig, R.C. y R.H. Loeppert. 1991. Pretreatment effect on dispersion of carbonates in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 19-25.
- Khorsandi, F. 1994. Sulfuric acid effects on iron and phosphorus availability in two calcareous soils. *J. Plant Nutr.* 17(9): 1611-1623.
- Krauskopf, K.B. 1983. Geoquímica de los micronutrientes. pp. 7-43. *In: Mortvedt, J.J., P.M. Giordano y W.L. Lindsay. Micronutrientes en la agricultura. AGT, Editor. México, D.F.*
- Langmuir, D. 1968. Stability of calcite based on aqueous solubility measurements. *Geochim. Cosmochim. Acta* 32: 835-851.
- Lee R., V., M. Beltrán F., J.N. Lerma M. y L.P. Licón T. 1998. Aplicación de ácido sulfúrico en el riego corrige la clorosis férrica de los cultivos en suelos calcáreos. *Terra* 16: 149-161.
- Lindsay, W.L. 1972. Zinc in soils and plant nutrition. *Adv. Agron.* 24: 147-186.
- Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley. New York.
- Lindsay, W.L. 1983. Equilibrio de la fase inorgánica de los micronutrientes en suelos. pp. 49. *In: Mortvedt, J.J., P.M. Giordano y W.L. Lindsay. Micronutrientes en la agricultura. AGT Editor. México, D.F.*
- Lindsay, W.L. y W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
- Loeppert, R.H. 1986. Reactions of iron and carbonates in calcareous soils. *J. Plant Nutr.* 9: 195-214.
- Loeppert, R.H. 1988. Chemistry of iron in calcareous system. pp. 689-714. *In: Stucki, J.W., B.A. Godman y U. Schwertmann (eds.). Iron in soils and clay minerals. NATO ASI Series. Dordrecht, The Netherlands.*
- Loeppert, R.H. y C.T. Hallmark. 1985. Indigenous soil properties influencing the availability of iron in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 597-603.
- Ma, Y.V. y N.C. Uren. 1997. The effects of temperature, time and cycles of drying and rewetting on the extractability of zinc added to a calcareous soil. *Geoderma* 75: 89-97.
- Martínez G., A. 1988. Diseños experimentales. Trillas. México, D.F.
- Mehra, O.P. y M.L. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite citrate system buffered with sodium bicarbonate. *In: Swineford, A. (ed.). Clays and clay minerals. Proc. 7th Nat. Conf. Washington D.C. 1958. Pergamon Press. New York.*
- Miyamoto, S., H.L. Bohn y J. Renthal. 1973. Determining the acid titrable basicity of calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 657-658.
- Miyamoto, S., J. Ryan y J.L. Stroehlein. 1975. Potentially beneficial uses of sulfuric acid in Southwestern agriculture. *J. Environ. Qual.* 4: 431-437.
- Mozafar, A. y J.J. Oertli. 1986. A critical evaluation of iron mobilization mechanisms with special reference to the contact effect phenomenon. *J. Plant Nutr.* 9: 759-780.
- Obreza, A.T., A.K. Alva y D.U. Calvert. 1993. Citrus fertilizer management on calcareous soils. Circular 1127, Series of the Soil and Water Science Department. University of Florida. Gainesville, FL.
- Orabi, A.A., T. El-Kobbia y A.I. Fathi. 1985. Zinc-phosphorus relationship in the nutrition of corn plants (*Zea mays* L.) as affected by the total carbonate content of the soil. *Plant Soil* 83: 317-321.
- Ryan, J. y J.L. Stroehlein. 1979. Sulfuric acid treatment of calcareous soils: Effects on phosphorus solubility, inorganic phosphorus forms and plant growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43(4): 731-735.
- Ryan, J., J.L. Stroehlein y S. Miyamoto. 1975. Sulfuric acid application to calcareous soils. Effects on growth and chlorophyll content of common Bermuda grass in the greenhouse. *Agron. J.* 67: 633-637.
- Schwertmann, U. 1973. Use of oxalate for iron extraction from soils. *Can. J. Soil Sci.* 53: 244-246.
- Schwertmann, U. 1991. Solubility and dissolution of iron oxides. pp. 3-27. *In: Chen, Y. y Y. Hadar (eds.). Iron nutrition and interactions in plants. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.*
- Schwertmann, U. y R.M. Taylor. 1989. Iron oxides. pp. 379-438. *In: Dixon, J.B. y S.B. Weed (eds.). Minerals in soil environments. Soil Science Society of America. Madison, WI.*

Trocme, S. y R. Gras. 1979. Suelo y fertilización en fruticultura.  
Mundi-prensa. Madrid, España.

Yahia, T.A., S. Miyamoto y J.L. Stroehlein. 1975. Effect of  
surface applied sulfuric acid on water penetration into dry  
calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39: 1201-1204.

# SOLUBILIDAD DE CADMIO Y ZINC EN SUELOS AGRÍCOLAS TRATADOS CON LODO RESIDUAL ENRIQUECIDO

## Solubility of Cadmium and Zinc in Agricultural Soils Treated with Enriched Sewage Sludge

Clarice de Oliveira<sup>1†</sup>, Nelson M.B. Amaral-Sobrinho<sup>1</sup>, Nelson Mazur<sup>1</sup> y Fabiana Soares-dos Santos<sup>1</sup>

### RESUMEN

Los lodos residuales son materiales orgánicos con alto potencial para uso agrícola, pero su utilidad puede ser limitada por la presencia de metales pesados. En este estudio, se empleó lodo residual urbano enriquecido con 1,667 mg kg<sup>-1</sup> de Cd y 8,000 mg kg<sup>-1</sup> de Zn, en experimentos en laboratorio con dos tipos de suelos: Latosol rojo-amarillo (LV) y Podzol rojo-amarillo (PV). A través de la extracción secuencial se observó que probablemente compuestos orgánicos solubles formaron complejos con Cd y Zn, manteniendo concentraciones elevadas (4,86 y 2,24 mg kg<sup>-1</sup> de Cd y 21,77 y 13,61 mg kg<sup>-1</sup> de Zn en los suelos LV y PV, respectivamente, en la dosis 80 t ha<sup>-1</sup>, en un tiempo de incubación de 160 semanas) en la fracción soluble en agua. La incorporación al suelo de compuestos inorgánicos como óxidos, oxihidróxidos y hidróxidos de Fe y Mn, a través del lodo residual, permitió que la mayor parte del Cd y Zn se unieran a la fracción extraíble con hidroxilamina 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Con el tiempo de incubación, sin embargo, se observó disminución de esta fracción con consecuente aumento de la fracción residual, indicando disminución en la disponibilidad de estos elementos.

**Palabras clave:** Metales pesados, extracción química secuencial.

### SUMMARY

Sewage sludge is an organic material with high potential for use in agriculture, but its utility may be limited by the presence of heavy metals. In this study, urban sewage sludge was used enriched with 1667 mg kg<sup>-1</sup> of Cd and 8000 mg kg<sup>-1</sup> of Zn in two laboratory experiments with a Yellow-Red Latosol (LV) and a Yellow-Red Podzol (PV). It was observed

that soluble organic compounds formed complexes with Cd and Zn, maintaining high levels of these elements associated with the water-soluble fraction (4,86 and 2,24 mg kg<sup>-1</sup> Cd and 21,77 and 13,61 mg kg<sup>-1</sup> Zn in the LV and PV soils, respectively, in the doses 80 t ha<sup>-1</sup>, in a 160-week incubation period). The addition of inorganic compounds, such as oxides, oxyhydroxides, and hydroxides of Fe and Mn, to the soils through sewage sludge allowed most of Cd and Zn to link with the fraction extracted by hydroxylamine. It was also observed that with the incubation time, this fraction decreased at the same time that the residual fraction increased significantly, indicating a decrease in Cd and Zn availability.

**Index words:** Heavy metals, sequential extraction.

### INTRODUCCIÓN

El destino de los lodos residuales constituye hoy en día uno de los grandes problemas de la sociedad moderna, sobre todo en los grandes centros urbanos. La concentración de la población y de las industrias en los grandes centros urbanos ha empeorado la producción de residuos, pasando éstos a constituirse no sólo de los sobrantes alimentarios, residuos de la actividad agrícola, sino también de un complejo de productos orgánicos e inorgánicos que pasaron a acumularse en cantidad proporcional al crecimiento urbano. De acuerdo con Nriagu y Pacyna (1988), la producción mundial de lodo residual varía alrededor de 20 x 10<sup>9</sup> t año<sup>-1</sup>. En los Estados Unidos de América del Norte, anualmente, 5.3 millones de toneladas de lodo residual son producidos y cantidades equivalentes son producidas en los países de Europa occidental (Chang y Díaz, 1994).

Las alternativas para el confinamiento de este material han sido: Aplicación al suelo, depósito en el mar, depósito en terraplenes sanitarios e incineración. Con la disminución de áreas disponibles para la construcción de terraplenes próximos a las grandes ciudades, los costos altos de la construcción y del funcionamiento de plantas para la incineración, se constata hoy en día la existencia de grandes presiones

<sup>1</sup> Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro (UFRRJ) Departamento de Suelos, CEP 23851970 Seropédica RJ, Brasil  
<sup>†</sup> (COLIVEIRA@UFRRJ.BR) y Autor responsable.

para el confinamiento de los lodos residuales en el suelo.

Los lodos residuales se constituyen en un abono valioso para muchos cultivos por presentar cantidades apreciables de nutrimentos y materia orgánica, pudiendo mejorar, inclusive, las propiedades físicas del suelo (Roberts *et al.*, 1988). A pesar de los efectos benéficos de los lodos residuales, éstos pueden contener, también, una serie de elementos potencialmente tóxicos, normalmente conocidos como metales pesados, como: zinc, níquel, plomo, cadmio y mercurio (Alloway, 1995).

Numerosas investigaciones han demostrado que los metales pesados se encuentran, predominantemente, adsorbidos o como parte de compuestos inorgánicos insolubles y orgánicos (McBride, 1989). Debido a la baja solubilidad de los metales pesados en el suelo, el movimiento de éstos en el perfil, normalmente, se ha considerado pequeño (Amaral Sobrinho *et al.*, 1998). El suelo actúa, por consiguiente, como un depósito de metales pesados y, también, como filtro, protegiendo el agua subterránea de la entrada de estos elementos, contribuyendo de manera significativa a la disminución de los riesgos de contaminación medioambiental. Hay evidencias de que una fracción de la materia orgánica que constituye al lodo es resistente a la descomposición (humina y ácidos húmicos) y otra soluble (compuestos orgánicos de bajo peso molecular y ácidos fúlvicos); dichas sustancias podrían quelatar los metales proporcionando protección contra la absorción de éstos para las plantas (Canellas *et al.*, 1999). Probablemente, los residuos inorgánicos presentes en el lodo, como: fosfatos, silicatos, óxidos de Fe, Al y Mn, también contribuyen al aumento de la retención de metales pesados con el tiempo de aplicación, reduciendo los riesgos de su utilización (Mazur, 1997; Oliveira, 1998).

Este trabajo tuvo como objetivo principal evaluar el efecto del tiempo de contacto suelo-lodo residual en la distribución de Cd y Zn en las diferentes formas químicas, en dos suelos tratados con lodo residual enriquecido con estos metales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó lodo residual de la Estación de Tratamiento de la Isla del Gobernador (ETIG), Río de Janeiro. El muestreo del lodo se realizó el 04 de abril de 1995. La muestra compuesta fue constituida por una serie de muestras simples tomadas de la parte superior, media y baja del montón de lodo del depósito (ABNT, 1985).

El lodo residual secado al aire se desterronó, se tamizó por malla de 2 mm y se colocó en bolsas de plástico. El material se caracterizó químicamente después de la digestión nitroperclórica (Cuadro 1). También se sometió a la extracción secuencial de metales pesados, por el método de Keller y Védý (1994) (Cuadro 2).

Con el objetivo de evaluar la dinámica y disponibilidad de Cd y Zn, simulando situaciones de suelos altamente contaminados con metales pesados por la adición de lodo residual que, en el caso de Brasil, podrían ocurrir en terraplenes sanitarios donde se depositan grandes cantidades de residuos urbanos, se procedió al enriquecimiento del lodo con estos elementos. La definición de las cantidades de metales a ser adicionadas para el enriquecimiento del lodo estuvo basada en las concentraciones máximas de metales pesados permitidas en los suelos agrícolas en los EE.UU. (Kabata-Pendias y Pendias, 1992; McBride, 1995) y países miembros de la Comunidad Europea (McGrath, 1994), de tal forma que las cantidades en los suelos alcancen valores próximos y superiores a los establecidos en esos países para hacer

Cuadro 1. Algunas propiedades químicas del lodo residual en estudio

pH <sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> (1:2.5)	C <sub>org</sub>	N <sub>total</sub>	MO	P	K	Ca	Mg	C/N	Cu	Cd	Pb	Mn	Zn
	----- g kg <sup>-1</sup> -----							----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
7.0	186	21.5	335	8.0	1.8	25	5	8.65	47	0.75	82	60	217
Fraccionamiento de la materia orgánica <sup>†</sup>													
Ácido húmico(AH)			Ácido fúlvico(AF)										
----- g kg <sup>-1</sup> lodo -----						AH/AF <sup>‡</sup>							
0.96			4			0.24							

<sup>†</sup> Datos de Canellas *et al.* (1997).

<sup>‡</sup> Relación AH/AF = indicativo del grado de estabilización de la materia orgánica.



**Cuadro 2. Extracción secuencial de metales pesados de la muestra de lodo residual empleada en el experimento.**

Extracción secuencial	Cadmio		Plomo		Zinc		Hierro		Manganeso	
	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	%
Agua	0.09	12	0.67	1	2.27	1	0	0	45	19
NaNO <sub>3</sub>	0.10	13	0.00	0	4.23	2	0	0	12	5
Hidroxilamina 0.1 mol L <sup>-1</sup>	0.22	29	0.00	0	97.54	44	446	3	134	54
Hidroxilamina 1 mol L <sup>-1</sup>	0.25	33	76.21	93	99.20	46	5.648	33	48	19
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.04	5	0.67	1	8.19	4	966	6	6	2
Residual	0.06	8	4.46	5	5.57	3	10.011	58	4	1
Total	0.76		82.01		217.00		17.071		247	

posible el adecuado conocimiento del potencial de disponibilidad de metales pesados de lodo altamente contaminado aplicado en el suelo. Las concentraciones de metales pesados iniciales, adicionadas y finales en el lodo se presentan en el Cuadro 3.

Las muestras de suelo procedieron de la capa arable (0 a 20 cm) de un Latosol rojo-amarillo (LV), y de un Podzol rojo-amarillo (PV). Las muestras de suelo se secaron al aire (TFSA), se desterraron y se tamizaron por malla de 2 mm. La caracterización físico-química de los suelos (Cuadro 4), se realizó de acuerdo con el Manual de Métodos de Análisis de Suelos de EMBRAPA (EMBRAPA/CNPS, 1997). En las muestras de TFSA de ambos suelos, se aplicó el lodo residual enriquecido en dosis equivalentes a 0, 20, 40 y 80 t ha<sup>-1</sup>, de tal forma que en la dosis más alta (80 t ha<sup>-1</sup>) se obtuvieran concentraciones de Cd y Zn superiores a los establecidos por las legislaciones y reglamentaciones, en suelos agrícolas tratados con lodo residual, en países como Estados Unidos, Canadá e Inglaterra. Después de la adición del lodo al suelo, las muestras se homogeneizaron y se colocaron en bolsas de plástico, con humedad equivalente a capacidad de campo. La humedad del suelo se controló a través del pesaje periódico y las muestras se mantuvieron en el laboratorio a temperatura ambiente, para análisis posteriores. En los tiempos de incubación de: 4, 8, 16, 24 y 160 semanas se tomaron muestras de los suelos de cada unidad experimental

**Cuadro 3. Concentraciones iniciales, adicionadas y finales de Cd y Zn en el lodo residual en estudio.**

	Cd	Zn
	- - - mg kg <sup>-1</sup> - - -	
Lodo residual	1	217
Cantidades adicionadas	1,666	7,782
Contenido total de la mezcla	1,667	8,000

para la determinación del pH en agua (1:2.5) y para la extracción secuencial de Cd y Zn. El método empleado en la extracción secuencial fue el propuesto por Keller y Védý (1994), conforme el esquema presentado en la Figura 1, con la alteración de que la fracción residual fue calculada por la diferencia entre la concentración total y la suma de los valores encontrados en las fracciones soluble en el agua y las extraídas con NaNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>OH-HCl 0.1 mol L<sup>-1</sup>, NH<sub>2</sub>OH-HCl 1 mol L<sup>-1</sup> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30 % (Núñez *et al.*, 1999). El método de Keller y Védý (1994) se eligió por ser considerado más adecuado para suelos intemperizados, teniendo en cuenta que separa mejor a los óxidos de Fe y Mn. Las concentraciones totales de los metales pesados se determinaron a partir de una muestra de 1 g de suelo, previamente pulverizado en mortero de ágata, calentado en baño-maría (95 °C) por 1 h, con la mezcla de 3 mL de HNO<sub>3</sub> (65 %) y 2 mL de HCl (30 %). Las concentraciones de Cd y Zn presentes en los extractos se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, para lo cual se emplearon la llama de aire-acetileno y un equipo VARIAN - AA600. Los datos se analizaron estadísticamente a través del programa SAEG Versão 5.0, desarrollado por la Fundación Arthur Bernardes, Universidad de Viçosa-MG, Brasil.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 presenta los resultados del análisis químico al lodo empleado en el estudio. La baja relación C/N (8.65) demuestra que el material se encontraba estabilizado. Las concentraciones totales de nutrientes fueron similares a las mencionadas como concentraciones medias por Alloway & Jackson (1991). Los valores de micronutrientes, en especial Cu y Mn, estuvieron en el límite inferior de los valores observados en la literatura (Kabata-Pendias y Pendias, 1992). El Zn presentó 2.4 veces mayor

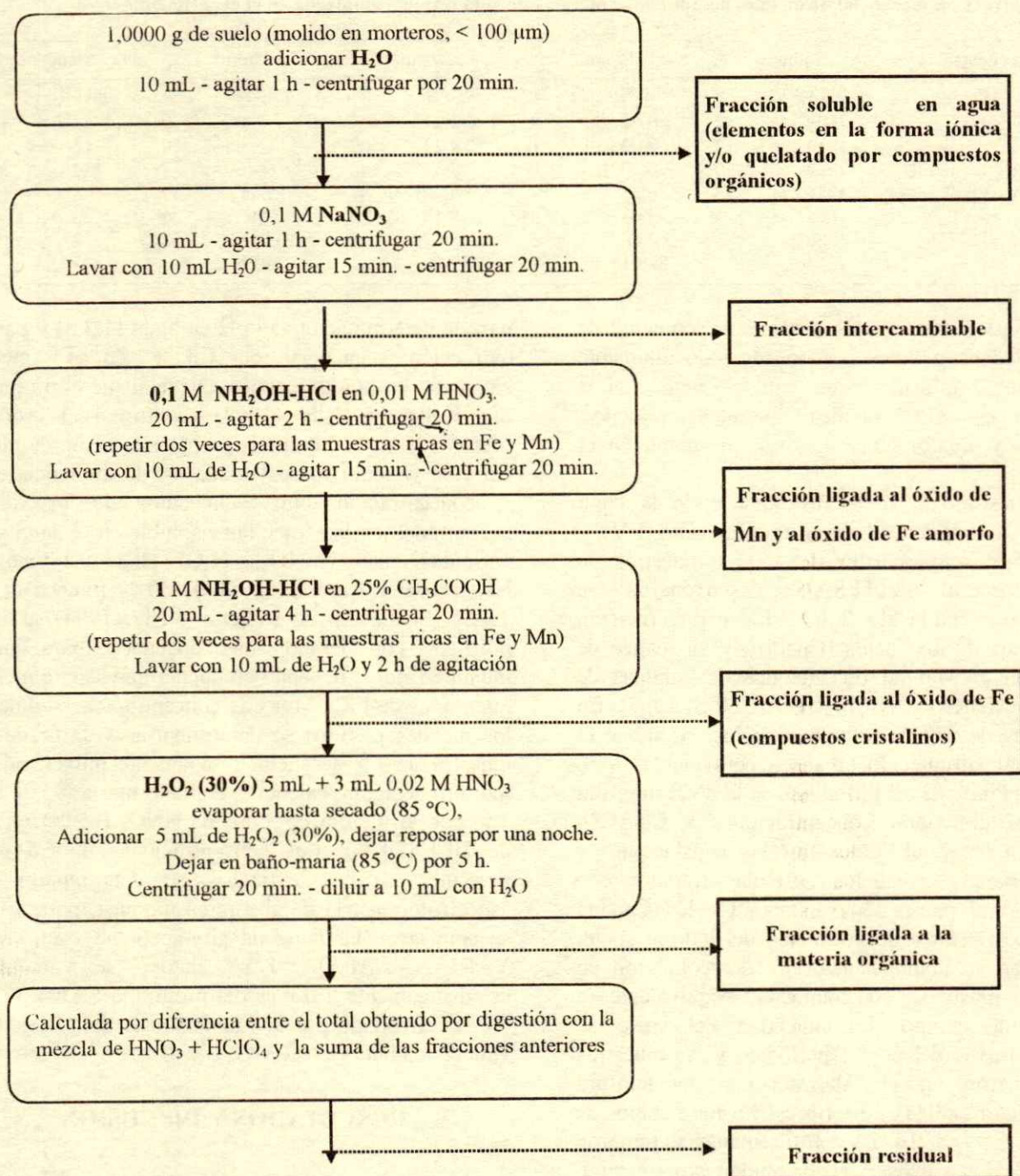


Figura 1. Esquema de extracción secuencial de Keller y Védry (1994).

concentración que el límite inferior de las concentraciones de Zn indicado para la mayoría de los lodos residuales (Alloway, 1995). Con relación a las concentraciones de Pb y Cd, los valores de 82 y  $0.75 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente, estuvieron dentro de lo normal.

La extracción secuencial de los metales del lodo (Cuadro 2) demostró que gran parte de los metales evaluados estuvieron asociados a las fracciones extraíbles con hidroxilamina. Las concentraciones relativamente elevadas de Fe y Mn reducibles con hidroxilamina pueden indicar la presencia de

Cuadro 4. Algunas características físico-químicas de la capa arable de los suelos en estudio.

Suelo	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub> 1:2.5	C <sub>org</sub> <sup>†</sup>	N <sub>total</sub> <sup>‡</sup>	MO	C/N	P <sup>§</sup>	Ca <sup>¶</sup>	Mg	K	Al <sup>#</sup>
		g kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			
LV <sup>##</sup>	4.4	14.0	2.0	24.1	7.0	7	1.0	1.8	0.30	2.0
PV <sup>†††</sup>	4.6	9.2	1.4	15.8	6.6	1	1.7	1.3	0.12	0.5

	SiO <sub>2</sub> <sup>††</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Arcilla <sup>†††</sup>	Arena	Limo	Ki <sup>§§</sup>	Kr <sup>¶¶</sup>	Clase textural
	g kg <sup>-1</sup>					g kg <sup>-1</sup>					
LV	186	155	100	28,8	2.43	550	350	100	2.04	0.50	Arcillosa
PV	174	137	77	18,8	2.79	430	470	100	2.15	0.55	Franco arcillosa

<sup>†</sup> Jackson (1958)

<sup>‡</sup> Bremner (1960)

<sup>§</sup> Extraído con HCl 0,05 N e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N

<sup>¶</sup> Extraído con KCl N

<sup>#</sup> Extraído con KCl N

<sup>††</sup> Strickland (1972)

<sup>†††</sup> Kilmer y Alexander (1949)

<sup>§§</sup> Ki = SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

<sup>¶¶</sup> Kr = (SiO<sub>2</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

<sup>##</sup> Latosol rojo-amarillo

<sup>†††</sup> Polzol rojo-amarillo

partículas finas constituidas de residuos inorgánicos como óxidos de Fe y Mn.

Los suelos en estudio (LV y PV) son ácidos, con pH en agua variando de 4.4 a 4.6 (Cuadro 4). En esta situación, la concentración de Al intercambiable se encontró alta, en especial en el suelo LV (2.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) que también tuvo el valor más bajo de pH y mayor contenido de materia orgánica (24.1 g kg<sup>-1</sup>) que el suelo PV (15.8 g kg<sup>-1</sup>). La disponibilidad de P del suelo PV fue baja (1 mg kg<sup>-1</sup>) comparada con el suelo LV que presentó 7 mg kg<sup>-1</sup>. Debe mencionarse que la baja disponibilidad de P es una característica de los suelos ácidos, altamente intemperizados, de las áreas tropicales como los suelos en estudio. El contenido de bases intercambiables en ambos suelos fue, como esperado, muy bajo, variando alrededor de 3.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, confirmando la baja fertilidad de estos suelos.

La variación del pH del suelo durante el proceso de incubación se presenta en la Figura 2. El pH se mantuvo más alto en todas las muestras tratadas con lodo residual, variando en el suelo LV de 4.7 (dosis 0 t ha<sup>-1</sup>) a 5.1 (dosis de 80 t ha<sup>-1</sup>) y en el suelo PV de 5.2 (dosis de 0 t ha<sup>-1</sup>) a 5.6 (dosis de 80 t ha<sup>-1</sup>). El bajo efecto de la aplicación del lodo en el cambio de pH del suelo indica, probablemente, que este material orgánico estaba bien estabilizado, con poco contenido de compuestos orgánicos rápidamente alterables. Hooda y Alloway (1994) observaron que la aplicación de lodo residual fresco a los suelos provocó una significativa elevación del pH. Este resultado fue explicado por la intensa actividad microbiológica que aumenta el consumo de O<sub>2</sub> y, por consiguiente, el estado de óxido-reducción del suelo, aumentando el

pH. En otras circunstancias, el incremento del pH puede estar asociado con las altas dosis de aplicación de lodo estabilizado con material alcalino, siendo que en el caso del lodo usado en este estudio, de origen urbano, el pH era próximo a la neutralidad (Cuadro 1). Analizando la disminución del pH con el tiempo de incubación, se observaron diferencias de comportamiento entre los dos suelos. En el suelo LV, el pH tendió a estabilizarse a partir de la 16<sup>a</sup> semana, mientras que en el suelo PV ocurrió una disminución sistemática a lo largo del periodo de incubación. La tendencia del pH a la estabilización en el suelo LV demuestra el mayor poder amortiguador de este suelo (mayor porcentaje de arcilla y materia orgánica), comparado con el suelo PV. A lo largo del tiempo de incubación ocurrió una tendencia a disminución del pH, siendo este efecto más evidente en el suelo PV. Es posible que esta reducción del pH esté contribuyendo a elevar el contenido de Cd y Zn en la fracción soluble en agua.

## Cadmio

Cuando se analizan los cambios en las fracciones químicas de Cd durante las 24 semanas iniciales de incubación (Figuras 3 y 4) se observa que, en los suelos LV y PV, la fracción soluble en agua, en general, aumentó con el tiempo de incubación. Comparando los dos suelos, se verifica, sin embargo, que el aumento fue sensiblemente mayor en el suelo PV, lo cual probablemente obedezca a la menor capacidad de adsorción de este suelo. Considerando que el lodo residual consiste en un material rico en compuestos orgánicos (Cuadro 1), y con alto

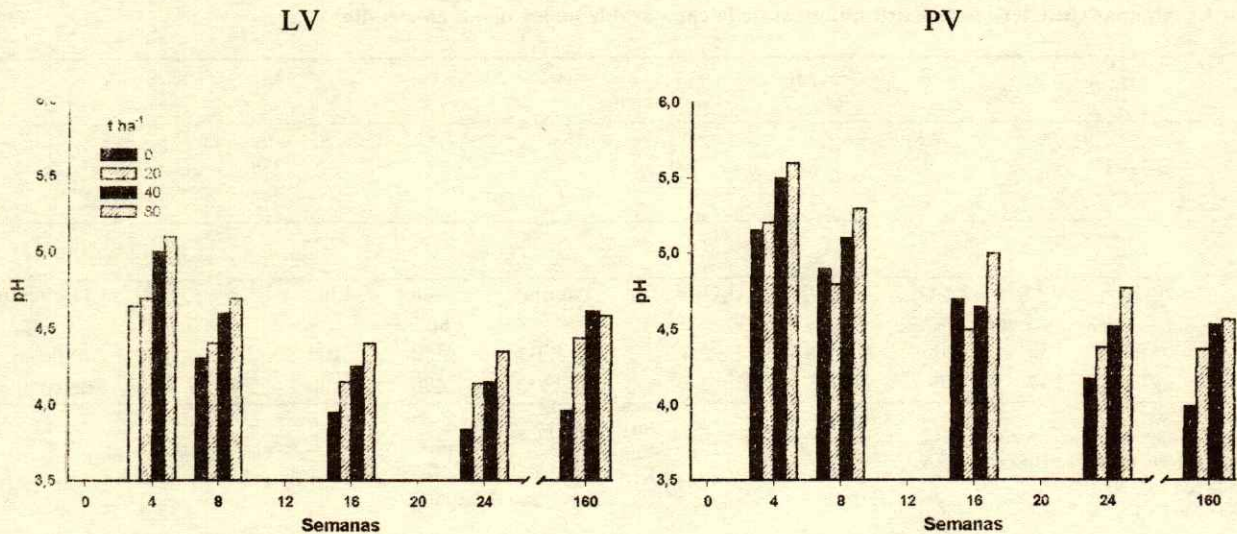


Figura 2. Efecto del tiempo de incubación y de las dosis de lodo residual en el pH de los suelos LV y PV, tratados con diferentes dosis de lodo residual. \*\* $P \leq 0.01$  y \*  $P \leq 0.05$ .

contenido de ácido fúlvico soluble (AH/AF = 0.24), parte de este Cd puede estar complejado en solución por ácidos orgánicos (compuestos orgánicos de bajo peso molecular). Estas moléculas orgánicas forman complejos solubles (quelatos) con los metales pesados (Alloway, 1995). Cuando están ligados a ácidos orgánicos solubles, los metales pesados pueden quedar protegidos de reacciones con los grupos funcionales de compuestos inorgánicos de los suelos. De acuerdo con algunos investigadores (Yamada *et al.*, 1984; Neal y Sposito, 1986), los complejos solubles formados son probablemente menos absorbidos y de menor disponibilidad para las plantas que en la forma de iones libres. Estos complejos presentaron alta estabilidad, pues la concentración de Cd asociada con la fracción soluble fue relativamente alta, cuando se evaluó su distribución en los dos suelos, en la 160a semana de incubación. Con relación a la fracción intercambiable (Figuras 3 y 4), los suelos tuvieron comportamientos opuestos: En el suelo LV, la concentración de Cd tendió a aumentar hasta la 16a semana de incubación y, posteriormente, disminuyó. En el suelo PV, se observó una tendencia inicial a bajar la concentración de Cd, subiendo después; este comportamiento fue más pronunciado con la dosis de 80 t ha<sup>-1</sup> de lodo residual. La diferencia en el comportamiento de los dos suelos refleja el cambio en el poder amortiguador, como se discutió anteriormente. El suelo LV presentó mayor cantidad

de coloide, retuvo mayor cantidad de Cd y tendió, por consiguiente, a la estabilización más rápida del sistema. En el suelo PV, se observó que hasta el periodo de 24 semanas de incubación, el sistema se mantuvo inestable y la disponibilidad de Cd en este suelo fue superior al suelo LV, lo cual implica un mayor riesgo de exposición para los organismos y una introducción en la cadena alimentaria. Este resultado refuerza lo observado con la fracción soluble, discutido anteriormente. Cuando se evalúa la fracción extraída con hidroxilamina 0.1 mol L<sup>-1</sup>, se observa que gran parte del Cd en los dos suelos quedó ligado a esta fracción. En la dosis más alta de aplicación de lodo (80 t ha<sup>-1</sup>), en 24 semanas, la concentración de Cd varió de 51.69 a 57.76 mg kg<sup>-1</sup> (86% del total) en el suelo LV y de 54.07 a 54.68 mg kg<sup>-1</sup> (77% del total) en el suelo PV. Con las dosis de 20 y 40 t ha<sup>-1</sup>, en los dos suelos, el contenido de Cd fue más bajo y tendió a disminuir durante 24 semanas de incubación. La alta adsorción de Cd en la fracción extraída con hidroxilamina 0.1 mol L<sup>-1</sup>, en el suelo PV, con bajo poder amortiguador, demuestra que con la aplicación de lodo también se adicionaron compuestos inorgánicos capaces de adsorber metales de transición. En el Cuadro 2, se observan valores relativamente altos de Fe y Mn reducibles con hidroxilamina. Los residuos inorgánicos presentes en el lodo residual, como fosfatos, silicatos, óxidos de Fe, Mn y Al, se consideran capaces de inmovilizar a metales

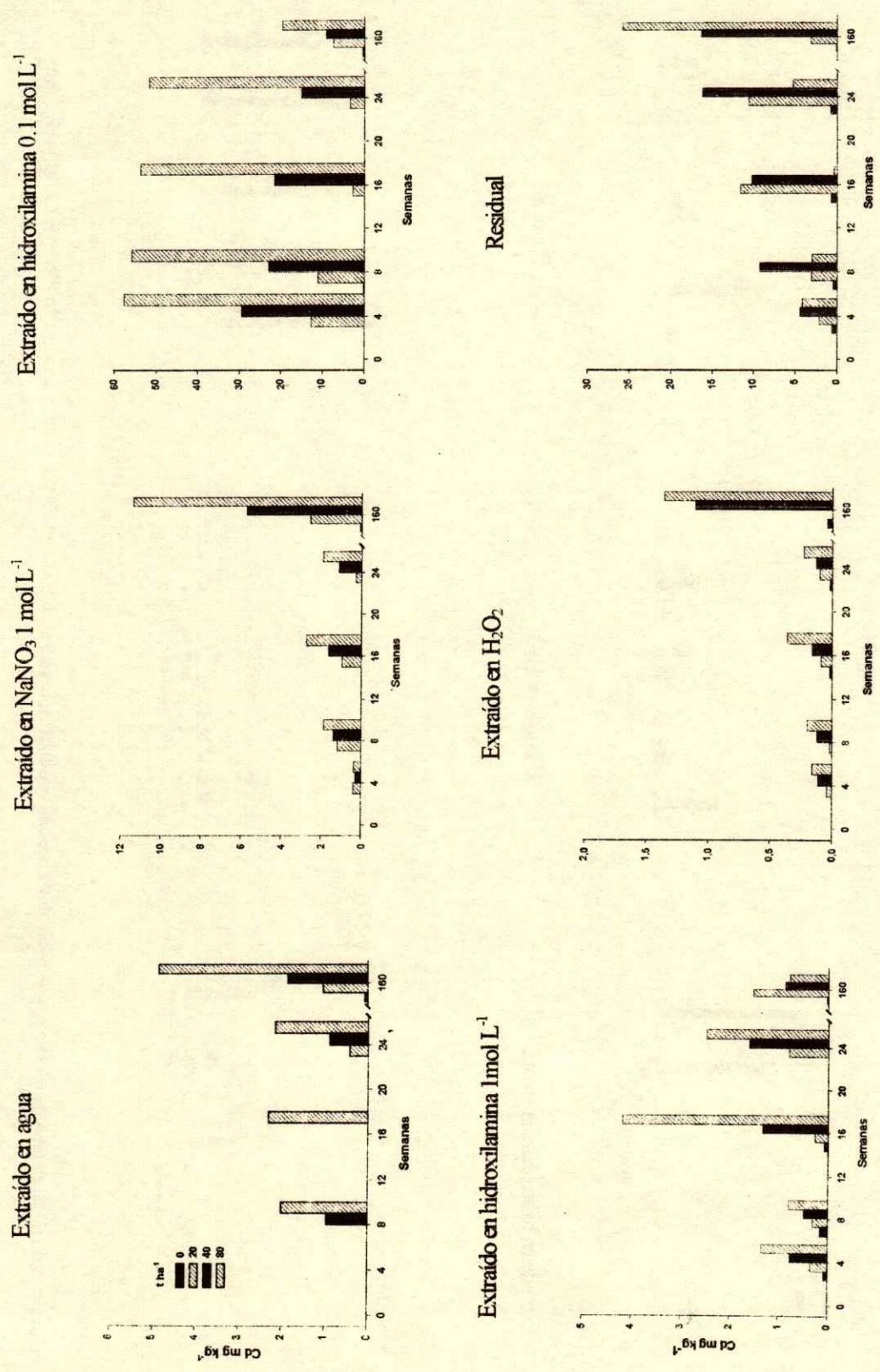
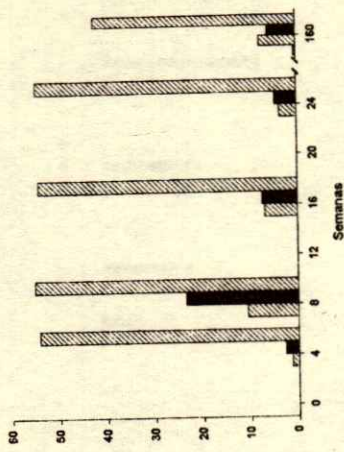
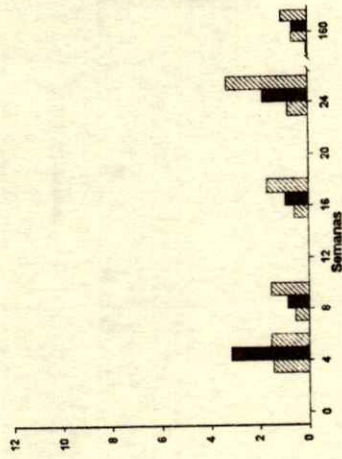


Figura 3. Efecto del tiempo de incubación y de las dosis de lodo residual en la extracción secuencial de cadmio en el suelo LV. \*\* P ≤ 0.01 y \* P ≤ 0.05.

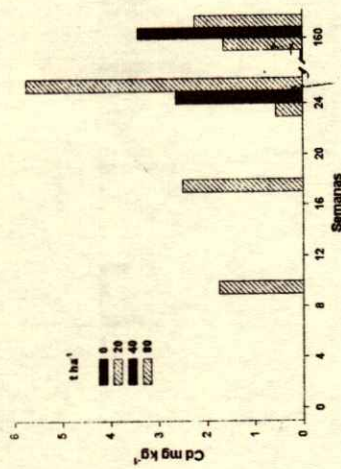
Extraído en hidroxilamina 0.1 mol L<sup>-1</sup>



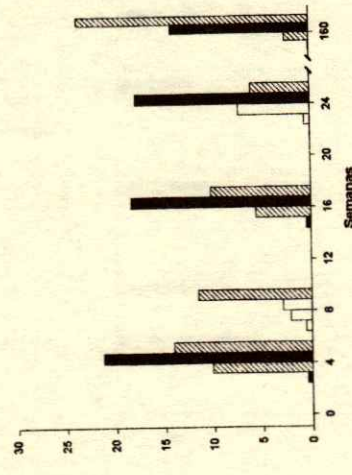
Extraído en NaNO<sub>3</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>



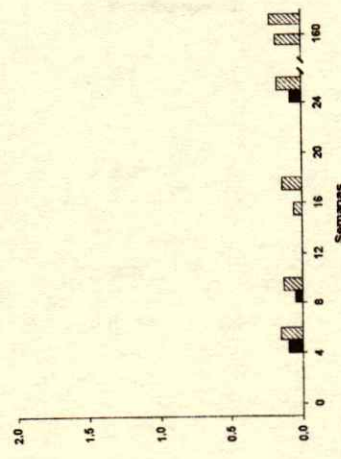
Extraído en agua



Residual



Extraído en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



Extraído en hidroxilamina 1 mol L<sup>-1</sup>

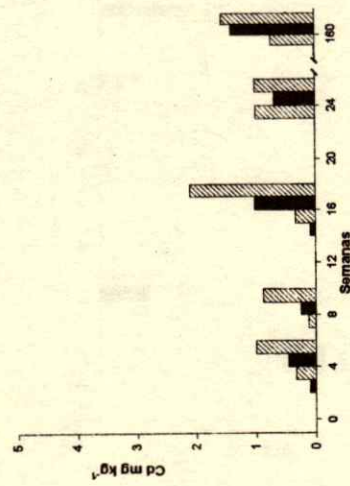


Figura 4. Efecto del tiempo de incubación y de las dosis de lodo residual en la extracción secuencial de cadmio en el suelo PV. \*\*P ≤ 0.01 y \*P ≤ 0.05.

pesados por largo periodo de tiempo (McBride, 1995). De acuerdo con este autor, la regulación de la USEPA 503 ha permitido límites más altos de acumulación de metales pesados en los suelos agrícolas tratados con lodo residual, basándose en la capacidad de estos materiales inorgánicos presentes en el lodo en retener estos elementos, previniendo, de esta manera, que los metales pesados puedan abatir la capacidad productiva de los suelos o la calidad de las cosechas, por largos periodos de tiempo.

El contenido de Cd asociado a la fracción extraída con hidroxilamina  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  aumentó con las dosis de lodo aplicadas, principalmente en el suelo LV. Cuando se comparan los valores de Cd ligados a esta fracción con el contenido en las fracciones extraídas con hidroxilamina  $1 \text{ mol L}^{-1}$  y residual, se observa que estas dos fracciones fueron muy inferiores en los dos suelos. Esto demuestra que, en los sistemas estudiados, gran parte de los compuestos de Mn y de Fe, pobremente cristalizados (más amorfos), se extrajeron con hidroxilamina  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$ , y la otra parte de estos compuestos inorgánicos, con mayor grado de cristalinidad, pasaron a formar parte de la fracción residual, restando apenas una pequeña fracción que se extrajo con hidroxilamina  $1.0 \text{ mol L}^{-1}$ . La fracción residual en los dos suelos varió con las dosis de lodo aplicadas, fue más alta con las dosis de  $40 \text{ t ha}^{-1}$ . Asociando la fracción residual con la fracción extraíble con hidroxilamina  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$ , se encontró que en todas las dosis de lodo estudiadas, el aumento ocurrido en la concentración de Cd en la fracción residual, después de la 24a semana de incubación, correspondió aproximadamente a la disminución ocurrida, en la misma etapa, en la fracción extraíble con hidroxilamina  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$ , sugiriendo que con el tiempo de incubación, el Cd adsorbido a los compuestos inorgánicos amorfos de Mn y Fe se convirtieron en formas ocluidas en la medida que estos compuestos aumentaron el grado de cristalización y se volvieron, por lo tanto, menos solubles. Este cambio en la distribución de las fracciones de Cd en el suelo fue más evidente cuando se analizó la distribución en la 16a semana de incubación. En la dosis de  $80 \text{ t ha}^{-1}$ , se verifica que los contenidos de Cd asociados a la fracción extraíble con hidroxilamina  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  fueron  $19.62 \text{ mg kg}^{-1}$  (31% del total) y  $42.51 \text{ mg kg}^{-1}$  (60% del total) en los suelos LV y PV, respectivamente. Estos valores son más bajos que los encontrados en la 4a semana ( $57.76 \text{ mg kg}^{-1}$ , 91% del total y  $54.67 \text{ mg kg}^{-1}$ , 76% del total, para cada suelo, respectivamente). Por otro

lado, la fracción residual, entre las evaluaciones de la 4a y 160a semana de incubación, aumentó en  $21.64 \text{ mg kg}^{-1}$  (34%) y  $9.51 \text{ mg kg}^{-1}$  (13%) en los suelos LV y PV, respectivamente. Con respecto a la fracción ligada a la materia orgánica estabilizada (ácidos húmicos), se observó que, en ambos suelos, ésta se presenta con baja intensidad, demostrando que, en los sistemas estudiados, la mayor contribución de la materia orgánica proveniente del lodo residual está asociada a la fracción soluble como se discutió anteriormente.

### Zinc

Los cambios en las fracciones de zinc (Figuras 5 y 6), a lo largo del periodo de incubación, mostraron que en la fracción soluble en agua fueron relativamente altos comparados con el Cd (Figuras 3 y 4), alcanzando con la dosis de  $80 \text{ t ha}^{-1}$ , en la 24a semana,  $55.75 \text{ mg kg}^{-1}$  (17% del total) en el suelo LV y  $123.39 \text{ mg kg}^{-1}$  (35% del total) en el suelo PV. La concentración de zinc asociada a la fracción intercambiable en los dos suelos también fue alta (Figuras 5 y 6). En el suelo PV, el Zn soluble en agua e intercambiable, en general, se incrementó, y alcanzó valores más altos al final de las 24 semanas de incubación, que superaron a los del suelo LV, de forma similar a lo ocurrido con Cd (Figuras 3 y 4). En el suelo LV, con mayor cantidad de arcilla y, por consiguiente, mayor densidad de grupos hidroxilos, podría favorecer la adsorción específica de Zn, a través de enlaces covalentes. Shuman (1985), quien estudió los efectos de las propiedades del suelo en la adsorción de Zn, encontró que suelos con alto contenido de arcillas silicatadas, o materia orgánica, poseen mayor capacidad de adsorción de Zn que los suelos arenosos con bajo contenido de materia orgánica. En la fracción soluble en agua, similar a lo observado con Cd, parte del zinc, probablemente, se asoció al complejo orgánico soluble. Como puede observarse en el Cuadro 1, el lodo residual usado tuvo una baja relación AH/AF (0.24), que favoreció la formación de quelatos solubles. Debe destacarse que, a diferencia del Cd, el Zn se mantuvo en la fracción soluble en agua en cantidades relativamente altas, aún a 160 semanas de incubación. De acuerdo con varios autores (Viets, 1962; Hodgson, 1963; Kiekens, 1995), el mecanismo de quelatación ocurre con mucha frecuencia con el Zn. Kiekens (1995) indicó que los ácidos fúlvicos forman quelatos con los iones de Zn en un amplio intervalo de pH y aumentan de esta

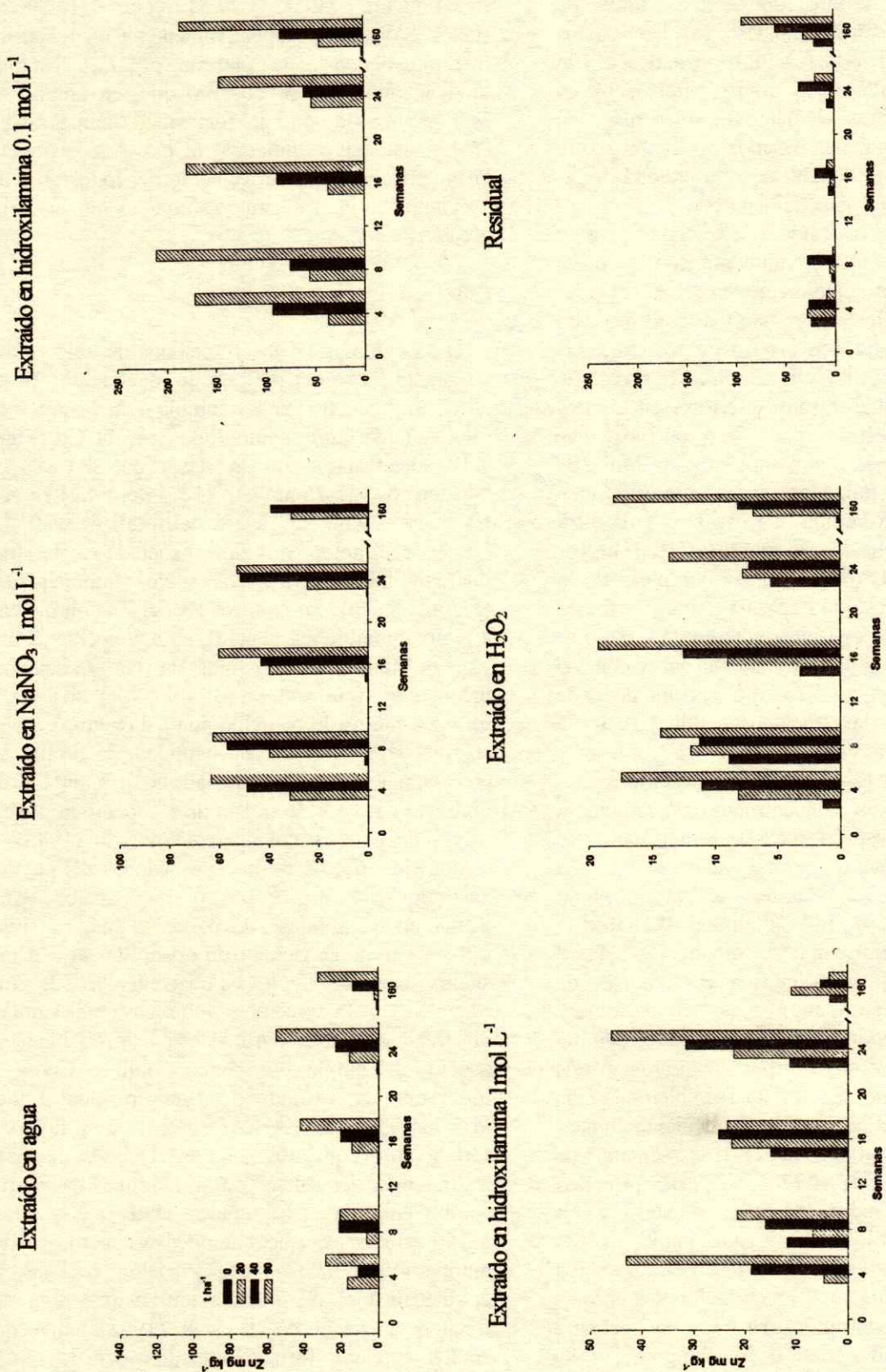


Figura 5. Efecto del tiempo de incubación y de las dosis de lodo residual en la extracción secuencial de zinc en el suelo. \*\*P ≤ 0.01 y \*P ≤ 0.05.



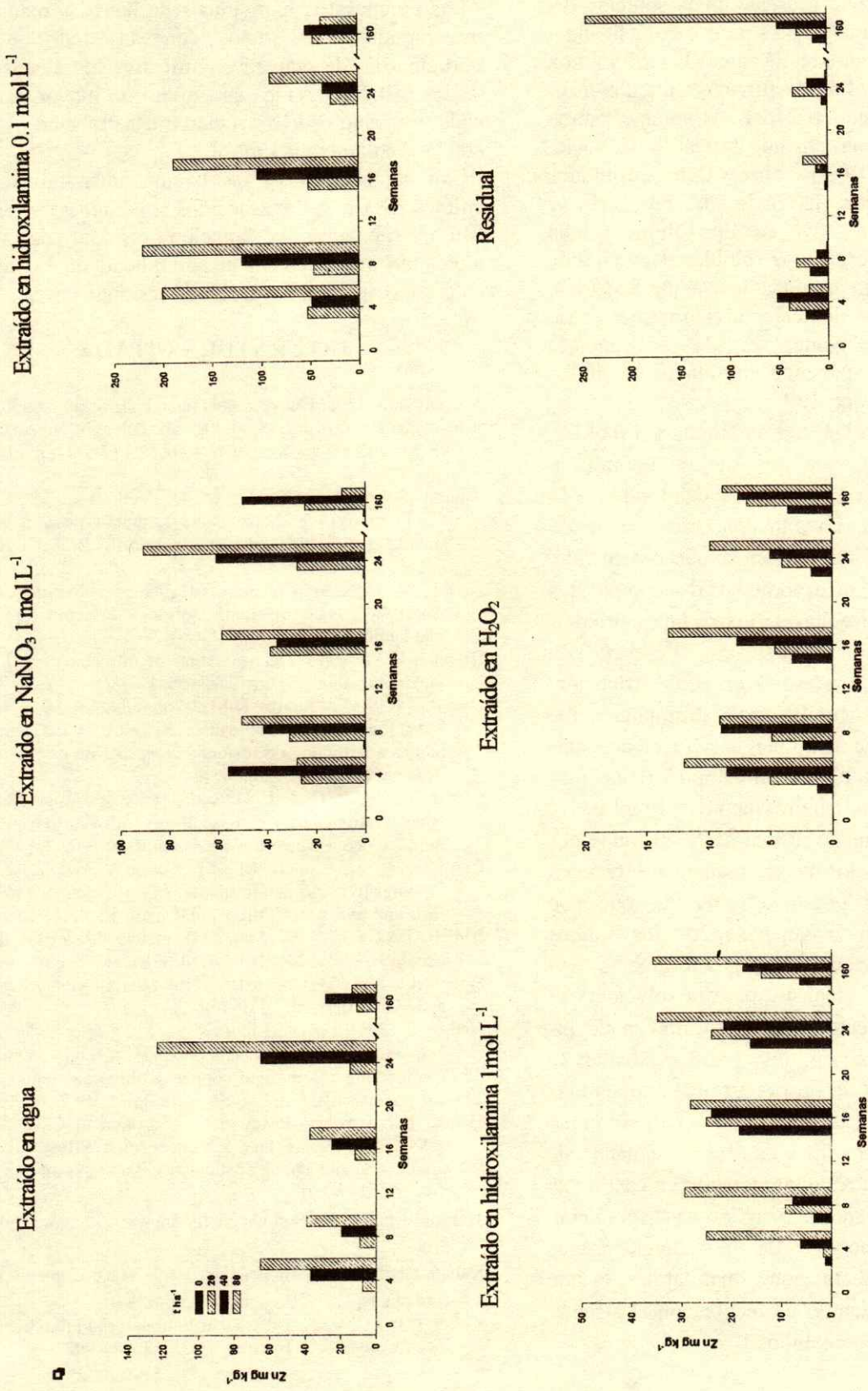


Figura 6. Efecto del tiempo de incubación y de las dosis de lodo residual en la extracción secuencial de zinc en el suelo PV. \*\*P ≤ 0.01 y \*P ≤ 0.05.

forma la solubilidad y, por consiguiente, la movilidad de ese elemento en el suelo. De acuerdo con este autor, gran parte del zinc presente en la solución del suelo y en las aguas superficiales parece estar ligada a un compuesto de coloración amarillento y con propiedades similares al ácido fúlvico. Cottenie *et al.* (1979) encontraron que 16% del Zn soluble estaba presente en esta forma en un lixiviado de suelo. Hodgson *et al.* (1966) observaron resultados semejantes en solución lixiviada de un suelo y encontraron que 60 a 70% de Zn soluble estaba asociado a complejos orgánicos solubles. Compuestos orgánicos simples como aminoácido y ácido fosfórico, así como las fracciones de ácido fúlvico de bajo peso molecular son complejantes eficaces o agentes quelatantes de Zn, favoreciendo una mayor movilidad de este elemento (Alloway, 1995).

En la fracción extraída con hidroxilamina 0.1 mol L<sup>-1</sup>, la cantidad de Zn, en los dos suelos, fue alta y representó en promedio 34 a 52 % del total de Zn presente en el sistema. La alta concentración de Zn asociada con esta fracción también se observó en Cd y se le atribuye a la incorporación de compuestos inorgánicos por la aplicación de los residuos urbanos (Mazur, 1997, Oliveira, 1998). Los valores de Zn ligados a esta fracción presentaron gran reducción, principalmente en el suelo PV; esta disminución fue acompañada por el aumento de las fracciones más lábiles (soluble en agua e intercambiable) y de las más estables (extraíble con hidroxilamina 1 mol L<sup>-1</sup> y residual). Estos resultados pueden ser explicados por la facilidad del Zn de formar de manera preferencial complejos con ácidos orgánicos solubles, que con grupos funcionales en la superficie de los sólidos inorgánicos, favoreciendo, por consiguiente, el desplazamiento de este elemento para la solución y el posterior acomplejamiento. Con la saturación de los complejos solubles con Zn, una parte estaba en la forma intercambiable y la otra constituyó formas más estables (fracción extraída con hidroxilamina 1 mol L<sup>-1</sup> y residual). En la 160a semana de incubación, la fracción residual aumentó en casi todos los tratamientos estudiados y ocurrió una disminución en las otras fracciones. La disminución más pronunciada fue en las fracciones más lábiles, lo que demostró que con el tiempo de incubación el sistema tendió a alcanzar mayor estabilidad.

## CONCLUSIONES

- Los compuestos inorgánicos de hierro y manganeso incorporados al suelo con el lodo residual participaron, de manera significativa, en la adsorción de los metales pesados en estudio; la mayor parte del cadmio y zinc estuvo asociada a la fracción extraíble con hidroxilamina 0.1 mol L<sup>-1</sup>.
- Con el tiempo de incubación, disminuyeron los valores de Cd y Zn asociados a compuestos de Fe y Mn, y aumentó la fracción residual de ambos, indicando que decreció la solubilidad de los metales en estudio aplicados con el lodo residual.

## LITERATURA CITADA

- Alloway, B.J. 1995. Heavy metals in soils. Blackie. London, UK.
- Alloway, B.J. y A.P. Jackson. 1991. The behavior of heavy metals in sewage sludge amended soils. *Sci. Total Environ.* 100: 151-176.
- Amaral Sobrinho, N.M.B., A.C.X. Velloso, L.M. Costa y C. Oliveira. 1998. Mobilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico ácido. *R. Bras. Ci. Solo* 22: 345-353.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1985. Amostragem de resíduos sólidos. Projeto 1.6302-004. São Paulo, Brasil.
- Bremner, J.M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the kjeldahl method. *J. Agric. Sci.* 55: 11-33.
- Canellas, L.P., G.A. Santos, N.M.B. Amaral Sobrinho, A. Moraes, V.M. Rumajamek. 1999. Adsorção de Cu<sup>+2</sup> e Cd<sup>+2</sup> em ácidos húmicos extraídos de resíduos orgânicos de origem urbana. *Ciência Rural* 29: 21-26.
- Chang, A.C. y J.L. Diaz. 1994. Rational use of sewage sludge and other waste material in agriculture. 15th World Congress of Soil Science. Foreword Symposium ID20: Vol. 3a: 427-429.
- Cottenie, A., R. Camerlynck, M. Verloo y A. Dhaese. 1979. Fractionation and determination of trace elements in plants, soils and sediments. *Pure Appl. Chem.* 52: 45-53.
- EMBRAPA/CNPS. 1997. Manual de métodos de análise de solos Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS. Rio de Janeiro, Brasil.
- Hodgson, J.F. 1963. Chemistry of the micronutrient elements in soil. *Adv. Agron.* 15: 119-159.
- Hodgson, J.F., W.L. Lindsay y J.F. Trierweiler. 1966. Micronutrients cation complexing in soil solution. II. Complexing of zinc and copper in displaced solution from calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 723-730.
- Hooda, P.S. y B.J. Alloway. 1994. Sorption of Cd and Pb by selected temperate and semiarid soils: Effects of sludge application and ageing of sludged soils. *Water-air-soil-pollut.* 74 (3/4): 235-250.
- Jackson, M.L. 1958. Soil chemistry analysis. Prentice Hall. New York.
- Kabata-Pendias, A. y H. Pendias. 1992. Trace elements in soils and plants. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Keller, C. y J.C. Védy. 1994. Distribution of cadmium fractions in two forest soils. *J. Environ. Qual.* 23: 987-999.

- Kiekens, L. 1995. Cinc. pp. 261-277. *In*: B.J. Alloway (ed.). Heavy metals in soils. Blackie. London, UK.
- Kilmer, V.J. y L.T. Alexander. 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 68: 15-24.
- Mazur, N. 1997. Níquel, chumbo, cinco e cobre em solos que receberam composto de resíduos sólidos urbanos. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Viçosa, Brasil.
- McBride, M.B. 1989. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. *Adv. Soil Sci.* 10: 1-56.
- McBride, M.B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: Are USEPA regulations protective? *J. Environ. Qual.* 24: 5-18.
- McGrath, S.P. 1994. Long-term studies of metal transfers following application of sewage sludge. pp. 301-317. *In*: P.J. Coughtrey, M.H. Martin y M.H. Unsworth (eds.). Pollutant, transport and fate in ecosystems. Blackwell. Oxford, UK.
- Neal, R.H. y G. Sposito. 1986. Effects of soluble organic matter and sewage sludge amendments on cadmium sorption by soils at low cadmium concentrations. *Soil Sci.* 142: 164-172.
- Nriagu, J.O. y J.M. Pacyna. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature (London)* 333: 134-139.
- Núñez, J.E.V., N.M.B. Amaral Sobrinho, F. Palmieri y A.A. Mesquita. 1999. Consequências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a contaminação do solo, sedimentos e água por metais pesados. *R. Bras. Ci. Solo* 23: 981-990.
- Oliveira, C. 1998. Avaliação do Potencial de contaminação de dois solos agrícolas com lodo de esgoto enriquecido com cádmio, chumbo e zinco. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Seropédica. Brasil.
- Roberts, J.A., W.L. Daniels, J.C. Bell y D.C. Martens. 1988. Tall fescue production and nutrient status on southwest Virginia mine soils. *J. Environ. Qual.* 17: 55-62.
- Shuman, L.M. 1985. Fractionation method for soil microelements. *Soil Sci.* 140: 11-22.
- Strickland, J.D. 1972. The preparation and properties of silicomolibdydic acid. *J. Am. Chem. Soc.* 74: 862-872.
- Viets, F.G. 1962. Chemistry and availability of micronutrients in soil. *J. Agric. Food Chem.* 10: 174-178.
- Yamada, R., M. Imai y K. Sano. 1984. Behaviour of heavy metals in soil treated successively with sewage sludge (I). *Field Crop Abstr. OQ 040-069. Res. Bull. Aichi-Ken Agric. Res. Centre* 16: 228-238.

# FERTILIZACIÓN FOLIAR ESPECÍFICA PARA CORREGIR DEFICIENCIAS NUTRIMENTALES EN TRES TIPOS DE SUELO

## Specific Foliar Fertilization to Correct Nutrient Deficiencies in Three Soil Types

Libia Iris Trejo-Téllez<sup>1‡</sup>, Ma. de las Nieves Rodríguez-Mendoza<sup>1</sup>, Gabriel Alcántar-González<sup>1</sup> y Antonio Vázquez-Alarcón<sup>2</sup>

### RESUMEN

La investigación realizada tuvo como objetivo evaluar, en invernadero, tres fertilizantes foliares formulados para prevenir y corregir las deficiencias nutrimentales que se presentan en tipos de suelos específicos. Se sembró chile jalapeño en un suelo ácido, pepino en un suelo alcalino y chile pimiento morrón en un suelo neutro. En cada cultivo, se instalaron tres tratamientos: el testigo, la aplicación de fertilización al suelo en la dosis recomendada para el cultivo, y la fertilización al suelo más la adición complementaria del fertilizante foliar, con base en los nutrimentos potencialmente deficientes en el suelo por efecto del pH. La aplicación de los fertilizantes foliares en los tres cultivos incrementó de forma notable el rendimiento por planta. Algunas variables de calidad postcosecha presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados indican que la fertilización foliar es una alternativa viable para incrementar el rendimiento y la calidad de frutos por planta, sobre todo en suelos con deficiencias nutrimentales específicas.

*Palabras clave.* Calidad postcosecha, fertilización al follaje.

### SUMMARY

The objective of this research was to evaluate, in the greenhouse, three foliar fertilizers to prevent and correct common nutrient deficiencies of jalapeño pepper, cucumber, and bell pepper in acid, neutral, and alkaline soils, respectively. Treatments for each crop consisted of a control without fertilization;

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, estado de México.

<sup>‡</sup> ([libia@colpos.mx](mailto:libia@colpos.mx)) y Autor responsable.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Chapingo, 56230 Chapingo, estado de México.

Recibido: Marzo de 2001. Aceptado: Febrero de 2003.  
Publicado en Terra 21: 365-372.

fertilization to soil according to local recommendation, and fertilization to soil plus foliar fertilization based on potentially deficient nutrients due to the effect of pH. Yield of the three crops was significantly increased by foliar fertilization. Some variables related to postharvest quality were significantly different among treatments. The results indicated that foliar fertilization is a feasible alternative to increase yield and fruit quality, especially in soils with specific nutrient deficiencies.

*Index words:* Postharvest quality, foliar fertilizer.

### INTRODUCCIÓN

La fertilización foliar es una práctica agronómica, la cual no se ha plenamente aprovechado para el abastecimiento vía follaje de los cultivos. Esta técnica es de relevante utilidad en aquellos casos donde la disponibilidad nutrimental es un problema, además de que constituye el medio más rápido para que las plantas utilicen los nutrimentos (Alexander, 1986). Un suelo puede contener todos los elementos necesarios para la nutrición de las plantas, pero éstos pueden estar en forma no disponible para ser absorbidos por la raíz, como ocurre frecuentemente con el Fe y el P en los calcisoles o en suelos de pH alcalino en general. En estos casos, Tisdale y Nelson (1991) señalaron que las aspersiones foliares constituyen el medio más eficaz de aplicación del fertilizante. Sinclair y De Wit (1976) indicaron que la fertilización foliar con macronutrimentos ha ganado interés, debido a que el abastecimiento a través de la raíz, en diversas condiciones de producción, no puede satisfacer la demanda del cultivo. La efectividad de cada unidad de nutrimento aplicada vía foliar puede ser mayor que las aplicaciones al suelo (Grey, 1977). En buena medida, la importancia de la fertilización foliar radica en que con ella puede mejorarse la calidad e incrementarse el rendimiento de los cultivos y en que muchos problemas de la fertilización al suelo (fijación, inmovilización, volatilización) pueden ser resueltos mediante este tipo de fertilización (Fregoni, 1986).

En México, la fertilización foliar se practica principalmente en los estados del norte y centro en cultivos como algodón, sorgo, arroz, maíz, soya, frijol, nogal y frutales (Gooding y Davies, 1992; Medina *et al.*, 1999; Trinidad y Aguilar, 1999). Las investigaciones recientes con fertilización foliar han sido intensas en la búsqueda de una tecnología precisa para la aplicación de los nutrimentos en la cantidad y manera más efectiva, pero aún falta mucho por conocer sobre los tres factores que afectan la fertilización foliar y el efecto de las interacciones que hay entre planta-ambiente-fórmula. Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue formular tres fertilizantes foliares, diseñados específicamente para tres tipos de suelos, y evaluar su efecto sobre la producción y calidad de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), pepino (*Cucumis sativa* L.) y pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.).

## MATERIALES Y MÉTODOS

En condiciones de invernadero, se instaló un experimento con tres tipos de suelo: 1) suelo con pH de 4.1, proveniente de Córdoba, Veracruz; (2) suelo con pH de 6.9, cercano a neutro, proveniente del campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo; y suelo con pH de 8.1 proveniente de Cuautla, Morelos. Las características químicas de los suelos utilizados se presentan en el Cuadro 1. Los suelos se tamizaron con una malla de 5 mm para eliminar piedras, agregados de mayor tamaño y raíces. Posteriormente, los suelos se

Cuadro 1. Características químicas de los suelos empleados en la evaluación de los fertilizantes foliares.

Determinación	Suelo		
	ácido	alcalino	neutro
pH 1:2	4.10	8.10	6.90
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0.08	0.80	1.20
MO (%)	3.22	0.80	1.30
N total (mg kg <sup>-1</sup> )	7.56	3.52	9.23
P (mg kg <sup>-1</sup> )	19.65	5.60	8.30
K (mg kg <sup>-1</sup> )	260.00	212.00	964.00
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	209.10	80735.00	2946.00
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	46.86	1314.00	1017.00
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	46.21	1.90	1.90
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	1.17	0.70	1.20
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	1.16	5.70	4.50
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	70.87	3.10	8.60
CIC (cmol kg <sup>-1</sup> )	17.58	30.50	30.00

CE = conductividad eléctrica; MO = materia orgánica; CIC = capacidad de intercambio catiónico.

mezclaron con perlita en una proporción vol/vol 5:1 (suelo:perlita), para evitar compactación de éstos.

Los cultivos sembrados fueron: en el suelo ácido, chile jalapeño variedad M; en el suelo alcalino, pepino variedad Poinsett 76; y, en el suelo neutro, pimiento morrón cv. California Wonder.

Las formulaciones foliares (Cuadro 2) se elaboraron en función de los nutrimentos que presentaron baja disponibilidad; para suelos ácidos (FFNV4), suelos alcalinos (FFNV5) y para suelos neutros (FFNV3). En la elaboración de los fertilizantes foliares se usó como agente tensoactivo jabón neutro de pasta, a una concentración de 0.05%, y, como adherente, miel de abeja, a una concentración de 0.1% (Rodríguez, 1997).

Los tratamientos para cada suelo fueron: 1) testigo (T); 2) fertilización al suelo (FS) con las dosis recomendadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para los cultivos, según el tipo de suelo empleado: para chile jalapeño, 80 kg de N, 40 kg de P y 0 kg de K; para pepino, 120 kg de N, 70 kg de P y 0 kg de K; para pimiento morrón, 140 kg de N, 70 kg de P y 0 kg de K; 3) fertilización al suelo más la aplicación del fertilizante foliar (FS+FFNV). La fertilización al suelo se realizó cinco días antes del trasplante.

Se usó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, donde una cubeta de 20 L de capacidad con dos plantas constituyó una unidad experimental.

Cuadro 2. Formulaciones de fertilizantes foliares elaborados y evaluados en tres suelos (NV3 en suelo neutro, NV4 en suelo ácido y NV5 en suelo alcalino).

Sales	Composición		
	NV3	NV4	NV5
	----- g L <sup>-1</sup> -----		
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	2.0	1.0	1.0
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.0	4.0	0.0
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2.0	4.0	0.0
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.0	1.0	0.0
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1.0	0.0	0.0
KNO <sub>3</sub>	2.0	0.0	0.0
HMoO <sub>4</sub>	0.0	0.0	0.5
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.5	0.0	0.5
MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	2.0	0.0	2.0
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.5	0.0	0.5
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.5	0.0	0.5
Fe-EDTA	1 mL L <sup>-1</sup>	0.0	5 mL L <sup>-1</sup>

Después del trasplante de los cultivos, se instalaron los tratamientos correspondientes. Se hicieron 10 aspersiones foliares distribuidas a lo largo del ciclo del cultivo. En cada aspersión se usaron 50 mL del fertilizante foliar, aplicados hasta punto de goteo por unidad experimental.

Al primer corte de frutos en los tres cultivos se evaluaron: medición indirecta de clorofila (Unidades SPAD) con el equipo Minolta SPAD-502 (Rodríguez, 1997), altura de planta (cm) medida a partir de la superficie del suelo hasta la parte apical, peso seco de la parte aérea (g) después de 72 h de secado en una estufa con circulación de aire forzado a 65 °C (Kalra, 1995), rendimiento (g de fruto planta<sup>-1</sup>) y análisis del tejido vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999). Con determinaciones de N total, por el método semi-microkjeldahl: P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B vía digestión húmeda; posteriormente, los extractos obtenidos se leyeron en el equipo de espectrofotometría de inducción con plasma acoplado ICP-AES Varian<sup>TM</sup>, Liberty II.

Para evaluar la calidad de fruto, se midieron pH, acidez titulable, grados Brix y conductividad eléctrica en chile jalapeño y pimiento morrón. Para determinar el pH, se pesaron 10 g de fruto fresco y se licuaron con 50 mL de agua destilada; en la mezcla se midió directamente el pH con un potenciómetro (Rodríguez, 1997). La acidez titulable se midió en la mezcla obtenida para la determinación de pH, por el método de neutralización ácido-base (Boland, 1990). Los grados Brix se midieron con un refractómetro portátil Baush and Lomb<sup>TM</sup>, tomando una muestra de jugo directa del fruto y colocando ésta en la celda lectora (Boland, 1990). La conductividad eléctrica se determinó en el jugo obtenido para la determinación del pH, con el puente de conductividad de Wheatstone y fue referida a 25 °C.

El análisis de los datos se hizo mediante un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM de SAS. Se probaron contrastes ortogonales y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) (SAS Institute, 1990).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Chile Jalapeño en Suelo Ácido

El desarrollo del cultivo de chile en el suelo ácido se favoreció con la aplicación del fertilizante foliar FFNV4 (Cuadro 3). La variable de unidades SPAD, que, en forma indirecta, cuantifica N y clorofila en la

**Cuadro 3. Unidades SPAD, altura de planta y peso seco en plantas de chile jalapeño al primer corte, fertilizado al suelo y vía foliar en un suelo ácido.**

Tratamiento	Unidades SPAD	Altura de planta cm	Peso seco g planta <sup>-1</sup>
T	38.15 c	20.40 b	1.45 b
FS	43.50 b	39.87 a	9.14 a
FFNV4	47.93 a	42.10 a	11.05 a
<b>DHS</b>	<b>3.63</b>	<b>9.01</b>	<b>2.34</b>

Medias con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). T = testigo; FS = fertilizado al suelo; FS+NV4 = fertilización al suelo más aplicación del fertilizante foliar NV4.

planta, fue superior en 9.78 unidades en relación con el testigo y 4.43 con respecto al cultivo en el cual se aplicó al suelo la dosis de fertilización recomendada. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ) y los valores indican que la incorporación de Mg y otros macronutrientes al follaje favoreció el contenido de clorofila y la absorción de N (Hiderman *et al.*, 1992), variables que son evaluadas en forma indirecta con el SPAD. El análisis estadístico de la altura y del peso seco de la planta señala diferencias entre el testigo y las plantas fertilizadas, independientemente de la fuente ( $P < 0.05$ ). Los contrastes ortogonales indican que no hay diferencias entre los tratamientos fertilizados, a pesar de que se incrementaron esos parámetros 2.3 cm y 1.9 g de altura y peso seco, respectivamente, cuando se aplicó la fertilización al suelo y al suelo más al follaje. La producción de biomasa se incrementó en 758% en relación con el testigo con la combinación de fertilización al suelo y al follaje, como se indica en los valores de peso seco (Cuadro 3). El rendimiento de fruto por planta (Figura 1) aumentó 112% en las plantas donde se aplicó fertilizante ( $P < 0.05$ ) al suelo y al follaje, en comparación con aquéllas donde sólo se aplicó fertilizante al suelo. Cuando hay una deficiencia de uno o más nutrientes en el suelo y éste se aplica al follaje, la absorción por la planta se presenta en corto tiempo y se refleja en el desarrollo del cultivo (Marschner, 1995); esto se refleja con los resultados presentados.

Durante el establecimiento del cultivo, a las plantas testigo no se les aplicó ningún fertilizante, por lo que, a pesar de presentar un número muy reducido de flores, éstas no fructificaron; por esta razón, no se presentan datos de calidad postcosecha de fruto para este tratamiento (Cuadro 4).

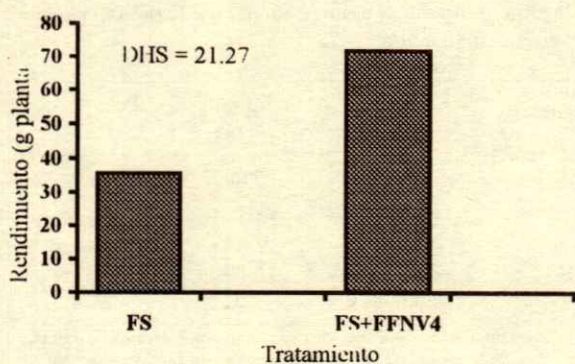


Figura 1. Rendimiento de chile jalapeño fertilizado al suelo y vía foliar en un suelo ácido. FS = fertilizado al suelo; FS+FFNV4 = fertilización al suelo más la aplicación del fertilizante foliar NV4.

El pH del fruto no presentó diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ), entre los dos tratamientos. En la conductividad eléctrica sí hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) y el valor más alto fue para las plantas fertilizadas vía foliar. Esta diferencia de valores se interpreta como mayor calidad del fruto (Niedziela *et al.*, 1993). Los grados Brix no mostraron diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ), sin embargo, la media más alta fue para el tratamiento FS+FFNV4. La acidez titulable también fue mayor ( $P < 0.05$ ) en el tratamiento que incluyó la fertilización foliar. La calidad de los frutos es mayor cuando aumentan los grados Brix y la acidez titulable, o bien, cuando disminuye el pH (Satti *et al.*, 1996).

En el Cuadro 5, se presentan los resultados del análisis de concentración nutrimental de la planta de chile para macronutrientes y micronutrientes. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre tratamientos; el N se encontró en concentración suficiente en las plantas testigo y fertilizadas al suelo, mas no en las fertilizadas al suelo y al follaje, a pesar

Cuadro 4. Parámetros de calidad del fruto chile jalapeño fertilizado al suelo y vía foliar en un suelo ácido.

Tratamiento	pH	Conductividad eléctrica dS m <sup>-1</sup>	Grados Brix %	Acidez titulable % ácido málico
FS	3.74 a	2.60 b	5.57 a	0.128 b
FS+FFNV4	3.75 a	2.80 a	6.04 a	0.179 a
<b>DHS</b>	<b>0.015</b>	<b>0.099</b>	<b>0.927</b>	<b>0.012</b>

Medias con la misma letra en cada variable son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05). FS = fertilizado al suelo; FS+FFNV4 = fertilizado al suelo más la aplicación del fertilizante foliar NV4.

de que se aplicó al follaje urea y nitrato de calcio. En general, los valores encontrados, excepto para P y Mn, indican efecto de dilución, ya que si se considera el peso seco por planta se observa que la extracción de N fue mayor en el tratamiento donde se aplicó la fertilización al suelo y al follaje. El P, el K y el Ca se encontraron en concentraciones deficientes debido a que estos nutrientes presentan muy baja disponibilidad en suelos ácidos. Los micronutrientes se encontraron en una concentración suficiente, lo cual se debe a que, en general, no son limitantes en el suelo ácido. La concentración nutrimental varió en los intervalos de bajo a suficiente, en ningún caso fue alto.

### Pepino en Suelo Alcalino

En el suelo alcalino, donde se desarrollaron las plantas de pepino, los valores de unidades SPAD, la altura de planta y el peso seco, se presentan en el Cuadro 6. Las unidades SPAD muestran ( $P < 0.05$ ) la media más alta en el tratamiento FS+FFNV5 y la más baja fue para el testigo. La pérdida de color verde (clorosis) en el pepino ocurre primero en las hojas maduras y después en las hojas más jóvenes, debido a la degradación de compuestos nitrogenados en las hojas viejas y al movimiento de N hacia los tejidos más jóvenes. Como consecuencia, el tamaño del dosel de la planta se reduce (Locascio, 1994). La altura de la planta en el cultivo de pepino se incrementó notablemente en el tratamiento donde se aplicó el fertilizante foliar NV5, el cual superó al testigo (T) y al tratamiento FS en 235.32 y 311.96%, respectivamente. Esta variable es importante, ya que se reporta que las plantas de bajo porte, por lo regular, presentan baja asimilación de carbohidratos, los frutos son de tamaño reducido y están sujetos a quemaduras por el sol (Locascio, 1994). En el presente trabajo se presentó este problema. El peso seco se correlacionó con la altura de planta. El tratamiento FS+FFNV5 superó en peso seco ( $P < 0.05$ ) al tratamiento FS y al testigo. La media del tratamiento FS+FFNV5 superó a la de los tratamientos FS y T en 102.34 y 208.9%, respectivamente (Cuadro 6).

El rendimiento se incrementó de manera notable en los tratamientos fertilizados, independientemente de la fuente. El análisis estadístico muestra diferencias significativas entre las plantas testigo y las fertilizadas ( $P < 0.05$ ); se observó un ligero incremento a la aplicación del fertilizante foliar NV5 (Figura 2).

**Cuadro 5. Análisis foliar a la cosecha de plantas de chile jalapeño muestreadas al primer corte, fertilizado al suelo y vía foliar en un suelo ácido.**

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
T	2.6 a	0.27 ab	4.2 a	0.71 a	0.48 a	241 a	9.54 a	33.4 a	29.0 a	82.0 a
	S	B	B	B	S	S	B	S	S	S
FS	2.7 a	0.23 b	3.8 a	0.44 a	0.37 ab	186 a	4.96 a	29.5 a	29.4 a	33.0 b
	S	B	B	B	S	S	B	S	S	S
FFNV4	1.9 b	0.29 a	3.8 a	0.44 a	0.32 b	167 a	5.14 a	26.7 a	32.1 a	19.0 b
	B	B	B	B	S	S	B	S	S	B
<b>DHS</b>	<b>0.286</b>	<b>0.04</b>	<b>0.57</b>	<b>0.323</b>	<b>0.135</b>	<b>156</b>	<b>1.352</b>	<b>10.07</b>	<b>7.498</b>	<b>18.35</b>

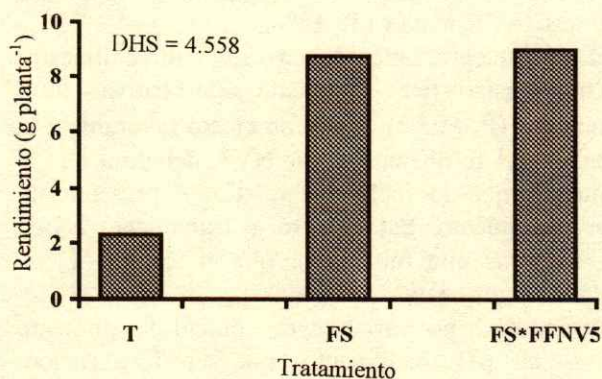
Medias con la misma letra en cada variable son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05). Clasificación según la norma publicada por Jones *et al.* (1991). B = bajo; S = suficiente; A = alto. T = testigo; FS = fertilizado al suelo; FS+FFNV4 = fertilizado al suelo más la aplicación del fertilizante foliar NV4.

**Cuadro 6. Unidades SPAD, altura y peso seco de plantas de pepino fertilizado al suelo y vía foliar en un suelo alcalino.**

Tratamiento	Unidades SPAD	Altura de planta	Peso seco
		cm	g planta <sup>-1</sup>
T	39.25 c	26.92 c	7.98 b
FS	41.78 b	63.35 b	12.19 b
FS+FFNV5	47.44 a	83.98 a	24.67 a
<b>DHS</b>	<b>2.12</b>	<b>18.05</b>	<b>5.86</b>

Medias con la misma letra en cada variable son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05). T = testigo; FS = fertilizado al suelo; FS+FFNV5 = fertilización al suelo más la aplicación del fertilizante foliar NV5.

En cuanto a la concentración nutrimental en el tejido vegetal, los valores de N, P, K y Ca fueron bajos con relación a lo reportado por Mills y Benton (1996). La concentración de Mg se incrementó en el tratamiento donde se fertilizó al suelo y follaje. En relación con los micronutrientes hubo una respuesta positiva a la aplicación del fertilizante al suelo y foliar NV5, en relación con el testigo (Cuadro 7). En las plantas testigo, los micronutrientes se encontraron en valores suficientes; sin embargo, la aplicación del fertilizante foliar NV5 incrementó de manera notable los valores de éstos (Mill y Benton, 1996). La importancia del análisis nutrimental radica principalmente en proporcionar información general sobre la cantidad del nutriente disponible en el suelo o la cantidad que debe aplicarse en relación con el desarrollo fenológico si el suelo es deficiente en ese nutriente (Voss, 1994). En este sentido, la aplicación foliar de los nutrientes deficientes en el suelo es una alternativa. En el suelo alcalino, el pepino presentó una respuesta favorable a la aplicación del fertilizante al suelo en combinación con el fertilizante foliar NV5; lo que indica que en el



**Figura 2. Rendimiento de pepino fertilizado al suelo y vía foliar en un suelo alcalino. T = testigo; FS = fertilización al suelo; FS+FFNV5 = fertilizado al suelo más la aplicación del fertilizante foliar NV5.**

primer caso, los micronutrientes presentes en el suelo no fueron suficientes para la producción.

### Chile Pimiento Morrón en Suelo Neutro

En el cultivo del pimiento morrón, las unidades SPAD y la altura de planta mostraron diferencias altamente significativas entre el testigo y las plantas fertilizadas independientemente de la fuente (Cuadro 8). La altura de planta fue mayor en el tratamiento FS en 6.12%, con respecto al tratamiento FS+FFNV3, pero estadísticamente no son diferentes ( $P > 0.05$ ).

El peso seco se incrementó con la aplicación del fertilizante al suelo y al follaje (FS+FFNV3), sin embargo, en este caso no se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ). La diferencia



**Cuadro 7. Análisis foliar en la cosecha de plantas de pepino fertilizado al suelo y vía foliar en un suelo alcalino.**

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
T	2.39 a	0.21 a	1.51 a	1.16 a	0.9 a	229 b	15.2 b	50.0 b	103.0 b	21.8 b
	B	B	B	B	S	S	S	S	S	B
FS	2.41 a	0.24 a	1.79 a	1.27 a	1.0 a	256 ab	30.4 b	67.0 b	178.0 b	32.0 b
	B	B	B	B	S	S	S	S	S	S
FS+FFNV5	2.48 a	0.21 a	0.96 b	1.36 a	1.3 a	321 a	138.8 a	237.0 a	601.0 a	87.7 a
	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A
<b>DHS</b>	<b>0.107</b>	<b>0.036</b>	<b>0.481</b>	<b>0.270</b>	<b>0.418</b>	<b>77.11</b>	<b>43.06</b>	<b>69.11</b>	<b>203.0</b>	<b>19.26</b>

Medias con la misma letra en cada variable son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05). Clasificación según norma publicada por Jones *et al.* (1991). B = bajo; S = suficiente; A = alto. T = testigo; FS = fertilizado al suelo; FS+FFNV5 = fertilizado al suelo más la aplicación del fertilizante foliar NV5.

entre el tratamiento FS+FFNV3 y el tratamiento FS fue mínima (9.60%), mientras que en comparación con el testigo fue mayor (38.15%).

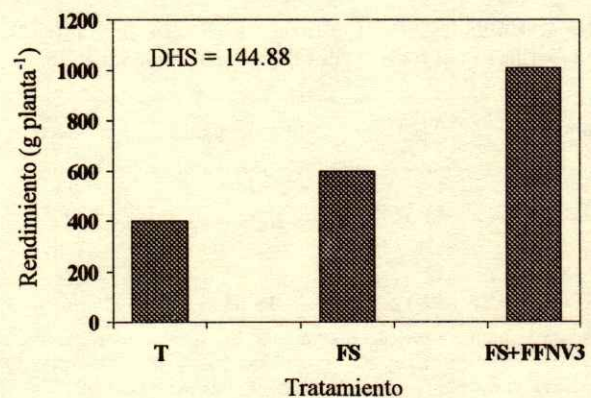
El rendimiento obtenido en este cultivo muestra diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ). Hubo un efecto favorable a la aplicación del fertilizante foliar NV3, debido a que el tratamiento que lo incluyó fue el que presentó un mayor rendimiento. Éste superó al tratamiento FS en 75%, mientras que fue mayor que el testigo (T) en 119.36% (Figura 3).

En cuanto a las variables de calidad del pimiento morrón, el pH incrementó por la fertilización, independientemente de la forma en que se aplicó. Los valores de conductividad eléctrica también aumentaron ligeramente, con la aplicación de los dos fertilizantes. La acidez titulable no se modificó. Las diferencias obtenidas en todos los tratamientos no fueron estadísticamente significativas (Cuadro 9). Mengel y Kirkby (1986) mencionaron que las deficiencias nutrimentales son los principales

**Cuadro 8. Unidades SPAD, altura y peso seco de pimiento morrón desarrollado en un suelo neutro, fertilizado al suelo y vía foliar.**

Tratamiento	Unidades SPAD	Altura de planta	Peso seco
		cm	g planta <sup>-1</sup>
T	46.40 b	32.63 b	18.95 a
FS	52.85 a	40.20 a	23.89 a
FS+FFNV3	54.75 a	37.89 ab	26.18 a
<b>DHS</b>	<b>2.83</b>	<b>5.59</b>	<b>8.33</b>

Medias con la misma letra en cada variable son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05). T = testigo; FS = fertilizado al suelo; FS+FFNV3 = fertilización al suelo más la aplicación del fertilizante foliar NV3.

**Figura 3. Rendimiento de pimiento morrón fertilizado al suelo y vía foliar en un suelo neutro. T = testigo; FS = fertilización al suelo; FS+FFNV3 = fertilizado al suelo más la aplicación del fertilizante foliar NV3.**

factores que influyen en la calidad de los frutos en general.

En el análisis foliar, la concentración nutrimental no fue afectada por la aplicación foliar del fertilizante, a excepción de P y B (Cuadro 10).

**Cuadro 9. pH, conductividad eléctrica y acidez titulable en frutos de pimiento morrón fertilizado al suelo y vía foliar en un suelo neutro.**

Tratamiento	pH	Conductividad eléctrica	Acidez titulable
		dS m <sup>-1</sup>	% ácido málico
T	5.468 b	1.00 ab	0.051 a
FS	5.731 a	0.92 b	0.052 a
FS+FFNV3	5.768 a	1.08 a	0.054 a
<b>DHS</b>	<b>0.136</b>	<b>0.13</b>	<b>0.012</b>

Medias con la misma letra en cada variable son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05). T = testigo; FS = fertilizado al suelo; FS+FFNV3 = fertilización al suelo más la aplicación del fertilizante foliar NV3.

**Cuadro 10. Análisis foliar en la cosecha en plantas de pimiento morrón en un suelo neutro.**

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
T	1.09 b	0.8 b	2.7 a	0.74 b	0.56 b	139 b	8.1 b	37.1 b	25.0 b	34.6 b
	B	S	B	B	S	S	S	S	B	S
FS	1.66 a	1.1 a	3.3 a	1.08 a	0.92 a	217 a	11.1 ab	67.3 a	85.6 a	82.2 a
	B	A	B	B	S	S	S	S	S	A
FS+FFNV3	1.70 a	0.9 ab	3.0 a	0.42 c	0.70 b	257 a	14.5 a	71.8 a	84.6 a	85.0 a
	B	A	B	B	S	S	S	S	S	A
<b>DHS</b>	<b>0.24</b>	<b>0.31</b>	<b>0.895</b>	<b>0.296</b>	<b>0.20</b>	<b>64</b>	<b>3.95</b>	<b>13.66</b>	<b>42.12</b>	<b>18.23</b>

Medias con la misma letra en cada variable son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05). Clasificación según norma publicada por Jones *et al.* (1991). B = bajo, S = suficiente, A = alto. T = testigo, FS = fertilizado al suelo, FS+FFNV3 = fertilizado al suelo más la aplicación del fertilizante foliar NV3.

### CONCLUSIONES

- En el suelo ácido, el rendimiento de chile se incrementó hasta 112% con la aplicación del fertilizante foliar NV4 como complemento a la fertilización al suelo. El pepino incrementó más de 100% su producción con la aplicación del fertilizante hecho con base en micronutrientes. En las plantas de pimiento morrón donde se aplicó el fertilizante foliar NV3, la producción no se incrementó notablemente como en los otros dos cultivos, por que el suelo donde se desarrolló el cultivo contenía todos los nutrientes necesarios para el desarrollo.

- La respuesta de fertilizantes foliares es distinta en cada especie. En los tres cultivos hubo una respuesta favorable a la aplicación del fertilizante foliar sobre el rendimiento, independientemente de la fertilización al suelo.

- En los cultivos estudiados, la aplicación de fertilizantes foliares mejoró ligeramente las variables de calidad de fruto.

- El empleo de fertilizantes foliares específicos que complementen la fertilización al suelo formulados con base en las características de éste, es una alternativa viable para aportar los nutrientes que se encuentran poco disponibles en el suelo y que originan potencialmente una deficiencia nutricional

### LITERATURA CITADA

Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.

Alexander, A. 1986. Optimum timing of foliar nutrient spray. *In:* Alexander, A. (ed.), pp. 44-60. Foliar fertilization. Martinus Nijhoff. Dordrecht, The Netherlands.

Boland, F.E. 1990. Fruit and fruit products. *In:* Helrich, K. (ed.). Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemist (AOAC). 15<sup>th</sup> edition. Arlington, VA.

Fregoni, M. 1986. Some aspects of epigeal nutrition of grapevines. pp. 205-213. *In:* Alexander, A. (ed.). Proceedings of First International Symposium on Foliar Fertilization. Schering Agrochemical Division. Boston, MA.

Gooding, M.J. y W.P. Davies. 1992. Foliar urea fertilization of cereals: A review. *Fert. Res.* 32: 209-222.

Grey, R.C. 1977. Foliar fertilization with primary nutrients during the reproductive stage of plant growth. *Proc. Fert. Soc.* 164: 23.

Hiderman, J.A., A. Makino, Y. Kurita, T. Masa y K. Ojima. 1992. Changes in the levels of chlorophyll and light-harvesting chlorophyll a/b protein of PSII in senescence. *Plant Cell Physiol.* 53: 1209-1214.

Kalra, Y.P. 1995. Handbook of reference methods for plant analysis. CRC Press. Soil and Plant Analysis Council. Boca Raton, FL.

Locascio, S.J. 1994. Cucurbits: Cucumber, muskmelon and watermelon. pp. 123-130. *In:* Bennet, W.F. (ed.). Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants. APS Press. The American Phytopathological Society. St. Paul, MN.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press, London.

Medina M., M.d.C., E.J. Medina M, J.H. Aguilar P. y S.J. García G. 1999. Aspersiones foliares de manganeso y cobre en nogal pecanero. *Terra* 17: 317-323.

Mengel, K. y E.A. Kirkby. 1986. Principles of plant nutrition. Publisher International Potash Institute. Worblaufen-Bern, Switzerland.

Mills, A.H. y J. Benton J. Jr. 1996. Plant analysis handbook II. Micromacro Publishing. Athens, GA.

Niedziela, C.E., P.V. Nelson, D.H. Willits y M.M. Peet. 1993. Short-term salt-shock effects on tomato fruit quality, yield and vegetative prediction of subsequent fruit quality. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118: 12-16.

Rodríguez M., M.N. 1997. Fertilización foliar en el cultivo del tomate en condiciones de invernadero. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

SAS Institute. 1990. SAS/STAT User's guide. Ver. 6 SAS Institute, Inc. Cary, NC.

Satti S., M.E., R.A. Al-Yhyai y Fahad Al-Said. 1996. Fruit quality and partitioning of mineral elements in processing tomato in response to saline nutrients. *J. Plant Nutr.* 19: 705-715.

Sinclair, T.R. y C.T. de Wit. 1976. Analysis of the carbon and nitrogen limitations to soybean yield. *Agron. J.* 68: 653-676.

Tisdale, S.L. y W.L. Nelson. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. LIMUSA. México, D.F.

Trinidad S., A. y D. Aguilar M. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra* 17: 247-255.

Voss, R.D. 1994. Corn. pp. 11-14. *In*: Bennett, W.F. (ed.). Nutrient deficiencies of toxicities in crop plants. APS Press. The American Phytopathological Society. St. Paul, MN.

# EVAPOTRANSPIRACIÓN Y CALENDARIZACIÓN DEL RIEGO PARA CEBOLLA CON AGUAS RESIDUALES DEL RÍO APATLACO, MORELOS, MÉXICO

Scheduling Irrigation and Evapotranspiration on Onion Crop with Wastewater from the Apatlaco River, Morelos, Mexico

Ernesto Cuenca-Adame<sup>1</sup>\*, David Riestra-Díaz<sup>2</sup>, Julián M. Pérez-Mangas<sup>1</sup> y Alfredo Echegaray-Alemán<sup>3</sup>

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo generar información acerca del cuándo y cuánto regar el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) por surcos empleando aguas residuales, a fin de mejorar la producción y hacer eficiente el uso de agua, ya que en la actualidad se pierde entre 35 y 50% con el riego por gravedad. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos de tensiones de humedad en el suelo y cuatro repeticiones. Se utilizó la variedad Contessa, que se trasplantó a 45 días después de la siembra. Se aplicó la dosis de fertilización 140-60-00 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O). Las tensiones de humedad del suelo en el momento del riego fueron: 15, 5.6, 2.4, 1.2 y 0.6 atmósferas. La unidad experimental fue de 6 x 2.5 m y 0.5 m entre surcos, trasplantándose a una densidad de 200 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Los rendimientos más altos, 73 047 y 70 370 kg ha<sup>-1</sup>, se obtuvieron con las tensiones de humedad 0.6 y 1.2 atmósferas, respectivamente. Se concluyó que para alcanzar el máximo rendimiento de bulbo de cebolla en la región sur de Morelos, se recomienda aplicar nueve riegos durante el ciclo del cultivo, siendo el primero de 93.3 mm y los subsecuentes de 57.4 mm.

**Palabras clave:** *Allium cepa* L., riego por gravedad, evapotranspiración.

<sup>1</sup> Oficina de Investigación, CBTA, 194, DGETA-SEP. Apartado Postal 18, 62600 Miaatlán, Morelos.

<sup>\*</sup> (fher\_smil@starmedia.com) y Autor responsable.

<sup>2</sup> Campus Veracruz, Colegio de Postgraduados. Apartado Postal 421, 91700 Veracruz, Veracruz.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, 04510 México D.F.

Recibido: Agosto de 2001. Aceptado: Octubre de 2002.

Publicado en Terra 21: 373-379.

## SUMMARY

The present study was conducted to generate information about when and how much water to irrigate on an onion crop (*Allium cepa* L.) through a furrow irrigation system using wastewater to improve crop production and to make water application more efficient, because at present 35 to 50% water is lost by surface irrigation. A complete random block design with five treatments and four replicates was used. The Contessa variety was used, which was transplanted 45 days after sowing. The fertilizer treatment 140-60-00 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) was applied. The moisture tensions at irrigation time were: 15, 5.6, 2.4, 1.2 y 0.6 atmospheres. The experimental unit was 6 x 2.5 m and 0.5 m among rows. Transplanting density was 200 000 plants ha<sup>-1</sup>. The highest yields of 73 047 and 70 370 kg ha<sup>-1</sup> were obtained with a moisture tension of 0.6 and 1.2 atmospheres, respectively. It can be concluded that to achieve the highest yield of onions in the south of the state of Morelos, nine irrigations during the crop cycle are recommended: 93.3 mm initially and 57.4 mm in the following applications.

**Index words:** *Allium cepa* L., surface irrigation, evapotranspiration.

## INTRODUCCIÓN

Morelos es uno de los principales estados productores de cebolla (*Allium cepa* L.) en México; destina a este cultivo una superficie de 5800 ha, en los municipios de Temixco, Xochitepec, Puente de Ixtla, Zacatepec y Jojutla. Esta hortaliza se cultiva sin una técnica adecuada de riego, con bajas eficiencias de aplicación; se usa aguas residuales provenientes de las descargas que recibe el río Apatlaco de la ciudad de Cuernavaca y pueblos aledaños, por lo cual se contamina el ambiente productivo, poniendo en riesgo la salud de la población consumidora de esta hortaliza.

En 1991, la prohibición del uso de aguas residuales para riego en hortalizas, en el estado de Morelos, afectó a 2000 productores agrícolas, 3500 jornaleros y 3600 ha, impactando de manera negativa la subsistencia económica y social de los productores (Macedma, 1994). Sin embargo, a pesar de esta disposición oficial, los productores de Morelos siguen cultivando la cebolla y otras hortalizas, pues no poseen conocimiento para llevar a cabo otras actividades económicas que contribuyan a su bienestar familiar.

El riego agrícola tiene el propósito fundamental de aumentar el rendimiento de las cosechas, mediante el suministro suficiente y oportuno del agua de acuerdo con las necesidades fisiológicas de las plantas (Rojas, 1981). Así, la agricultura con riego constituye la fuente más segura para la producción de alimentos en México, pues, en general, se registran rendimientos superiores a los obtenidos con condiciones de temporal que son deficientes y la producción es errática.

Esta situación implica que para mejorar el rendimiento y, en consecuencia, aumentar la eficiencia económica en el uso del agua, no sólo debe importarse el uso racional del agua en cuanto a cantidad, sino también debe vigilarse la oportunidad con que se aplican los riegos.

A reserva de que en un futuro próximo se desarrollen alternativas viables y de rápida solución al problema de la contaminación microbiana de las aguas de los ríos Apatlaco y Cuautla, el presente trabajo pretende obtener información sobre el cuánto y cuándo regar el cultivo de cebolla con riego por surcos, usando aguas residuales, a fin de mejorar la producción y productividad de este cultivo y hacer eficiente el uso del agua, a pesar de su alto grado de contaminación microbiana que representa serios problemas de salud pública.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se realizó en el Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Zacatepec, Morelos, ubicado geográficamente a 18° 39' N y 99° 12' O, con una altitud de 920 m. De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1988), el clima del área de influencia del campo experimental se caracteriza como Awo cálido subhúmedo, con precipitación y temperatura media anual de 832 mm y 24.1 °C, respectivamente. Este clima corresponde a 68 % del estado. Según la clasificación FAO-UNESCO (1990), el suelo donde

se estableció el experimento es un Vertisol, caracterizado por presentar: textura arcillosa; pH 7.3; materia orgánica: 1.17 %; nitrógeno total: 0.09 %; capacidad de intercambio catiónico: 47 cmol(+) kg<sup>-1</sup> de suelo; fósforo: 24 mg kg<sup>-1</sup>; y potasio asimilable: 450 kg ha<sup>-1</sup>. Para los estratos de 0 a 30 y de 30 a 60 cm, la densidad aparente fue de 1.2 g cm<sup>-3</sup>, capacidad de campo (CC) 42.14 y 42.88 % y punto de marchitamiento permanente (PMP) 23.10 y 22.0 %, respectivamente.

Se utilizó semilla de la variedad Contessa, la cual se caracteriza por presentar bulbo color blanco, de alto rendimiento y emite un reducido porcentaje de inflorescencia a la primera cosecha (Cuenca *et al.*, 2001). La semilla se sembró en charolas de unicel de 200 cavidades y se utilizó como sustrato bagazo de caña. Las plantas se regaron cada día mediante un aspersor nebulizador y se fertilizaron cada tercer día con una solución nutritiva de: nitrato de amonio 100 g, sulfato de potasio 90 g y sulfato diamónico 35 g, disueltos en 200 L de agua (Cuenca *et al.*, 2001). La preparación del terreno consistió en un barbecho y dos pasos de rastra, la distancia entre surcos fue de 50 cm y al final se trazaron las parcelas experimentales. Las plántulas se trasplantaron al terreno definitivo 45 días después de la germinación, en el talud del surco y a una distancia de 10 cm entre plantas para obtener una densidad de 200 000 plantas ha<sup>-1</sup>.

El experimento se realizó en el periodo del 1° de noviembre de 1995 al 28 de febrero de 1996. Los contenidos de humedad aprovechable (HA) estudiados en el momento del riego fueron: T1 = 0, T2 = 20, T3 = 40, T4 = 60 y T5 = 80%. Los anteriores correspondieron a tensiones de humedad del suelo, de 15.0, 5.6, 2.4, 1.2 y 0.6 atmósferas, respectivamente (Figura 1). La conversión de los contenidos de HA a tensiones se hizo con base en el modelo de Palacios y Jaspeado (1980):

$$T = \frac{k}{Ps^n} + c \quad (1)$$

Donde: T = tensión (en atmósferas); Ps = porcentaje de humedad (en %); n, k y c = constantes que dependen de las características físicas del suelo.

Se usó para riego agua del río Apatlaco, que presenta un alto grado de contaminación microbiana. Estas aguas contienen de 5 x 10<sup>4</sup> a 4.6 x 10<sup>5</sup> colonias de coliformes fecales por 100 mL de agua, y son

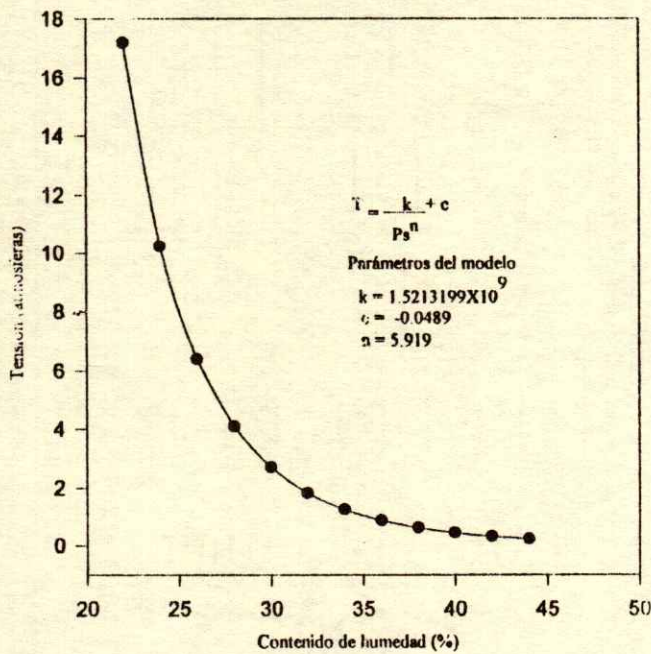


Figura 1. Curva de tensión de humedad del suelo del lote experimental.

potencialmente peligrosas para la salud humana (Cuenca et al., 2001).

La unidad experimental consistió de 6 x 2.5 m y 0.5 m de separación, los tratamientos ocuparon una superficie de 300 m<sup>2</sup>. Se empleó el diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

En la fertilización, se aplicó la dosis de 140-60-00 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) recomendada para el estado de Morelos (CIFAP, 1988). La fuente nitrogenada fue sulfato de amonio y para fósforo, superfosfato de calcio triple. La primera aplicación consistió de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N y todo el P en el momento del trasplante, mientras que en la segunda fertilización, 30 días después del trasplante, se aplicó el resto del N.

El riego se limitó a las parcelas experimentales y se aplicó de forma directa con manguera, contabilizando los volúmenes con un medidor volumétrico. Para llevar a cabo el control de la humedad del suelo, se utilizó el método gravimétrico a profundidades de 0 a 30 y de 30 a 60 cm, el cálculo de la lámina necesaria de riego se realizó de acuerdo con la ecuación propuesta por Palacios y Martínez (1978):

$$X_i = \frac{\sum_{i=1}^n L_{r_i}}{\sum_{i=1}^n L_{a_i}} \tag{2}$$

Donde:  
 X<sub>i</sub>: = porcentaje de humedad aprovechable en el suelo, en el periodo i;

$\sum_{i=1}^n L_{r_i}$  = contenido de humedad aprovechable residual en el momento del muestreo en el estrato i, expresado en lámina (cm);

$\sum_{i=1}^n L_{a_i}$  = contenido total de humedad aprovechable en el estrato i, expresado en lámina (cm); n = número de estratos o capas consideradas.

La aplicación práctica del riego se realizó cuando existió en el suelo una variación de ± 2 % de HA en cada uno de los tratamientos seleccionados.

Para la obtención del programa de riegos, en el presente experimento se consideró al tratamiento experimental de humedad aprovechable en el suelo que permitió obtener la mejor respuesta al rendimiento de bulbo de cebolla (60 % HA). Elegido este tratamiento, posteriormente se calculó la lámina de riego acumulada (Rra) del cultivo en estudio y con los datos de Rra y el tiempo se ajustaron al modelo logístico propuesto por Hunt (1982). Esto es:

$$Rra = \frac{A}{1 + be^{-kt}} \tag{3}$$

Donde: Rra = lámina de riego acumulado (mm); t = tiempo (en días después del trasplante); A, b, k = constantes del modelo

Para obtener los parámetros del modelo, se utilizó el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1988). El requerimiento de riego diario (Rrd) del cultivo de cebolla se obtuvo a partir de la primera derivada de la función anterior:

$$Rrd = \frac{\partial Rra}{\partial t} = \frac{Abk e^{-kt}}{(1 + be^{-kt})^2} \tag{4}$$

La programación de riegos para este nivel de humedad se estimó al despejar la variable tiempo ( $t$ ) (en días) y al sustituir la fórmula por los parámetros conocidos y la lámina acumulada cada vez que se consumía 57.4 mm de lámina de riego.

Esto es:

$$t = \frac{1}{k} \ln \left[ \frac{1}{b} \left( \frac{A}{y} - 1 \right) \right] \quad (5)$$

Durante el ciclo del cultivo se realizaron dos deshierbes a 15 y 30 días después del trasplante. Se presentó la mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), la cual se combatió con Herald 375 (fenpropatrin) a dosis de 0.4 L ha<sup>-1</sup>. La cosecha se realizó en forma manual a 120 días después del trasplante cuando las plantas se doblaron al ras del suelo; se arrancó la cebolla, se eliminaron las raíces, el tallo y las hojas.

A los datos de cada una de las variables estudiadas se les hizo un análisis de varianza y las pruebas de Tukey de acuerdo con Martínez (1995).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables Climáticas

Durante el ciclo del cultivo, se registró una precipitación de 66.2 mm, teniendo una contribución considerable al proceso evapotranspirativo del cultivo, principalmente al inicio y a la mitad del ciclo vegetativo. En la Figura 2, se observa que la temperatura presentó una variación de 2 a 36 °C. Estas temperaturas se consideran adecuadas para el cultivo, ya que Brewster (1989) señaló como óptimas temperaturas entre 11 y 23 °C para esta planta en estudio. En la misma figura, se observa que los riegos suministrados cubrieron el periodo de sequía, iniciando el primer riego el 1° de noviembre de 1995, regando de manera simultánea los tratamientos T1 = 0 %, T2 = 20 %, T3 = 40 %, T4 = 60 % y T5 = 80 % de HA, con una lámina de 7.39 cm cada uno. Previo a la aplicación del primer riego, se llevó a cabo un muestreo de la humedad del suelo. La evapotranspiración y el número de riegos aplicados al cultivo de cebolla a través del ciclo se concentran en el Cuadro 1.

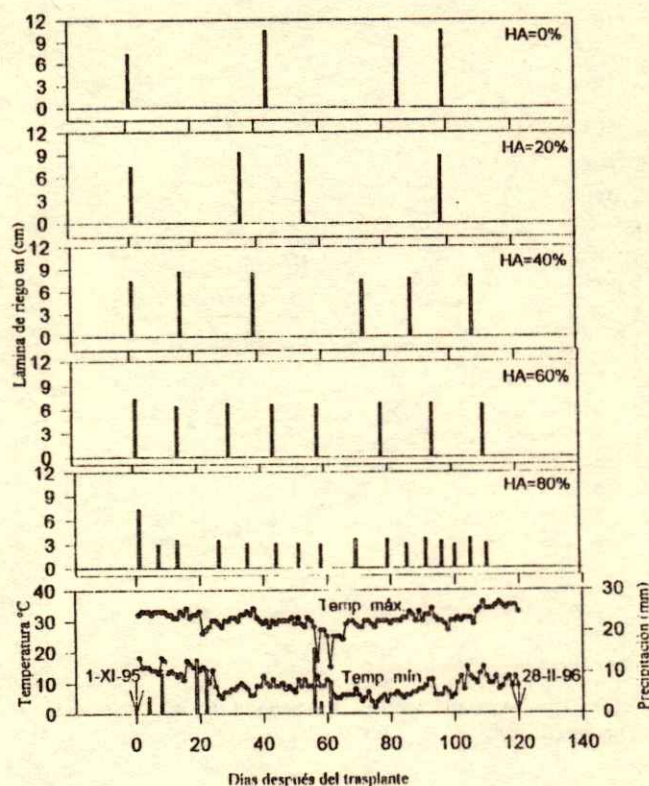


Figura 2. Cantidad, distribución de lluvia y días en que se aplicaron los riegos en el cultivo de cebolla. Las flechas indican el inicio y final del ciclo.

### Rendimiento de Bulbo

Los rendimientos promedio de bulbo obtenidos en cada uno de los tratamientos, se presentan en la Figura 3. El análisis de varianza para esta variable, mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos, a 5 %, y de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), la máxima respuesta (73 047 kg ha<sup>-1</sup>) se obtuvo con el tratamiento T5, siendo este

Cuadro 1. Tratamientos de humedad aprovechable (HA) en el momento del riego, valores observados de evapotranspiración y número de riegos aplicados al cultivo.

Tratamiento	Evapotranspiración	Número de riegos
HA	cm	
T1 = 0%	42.89	4
T2 = 20%	47.96	4
T3 = 40%	52.31	6
T4 = 60%	58.70	8
T5 = 80%	61.58	16

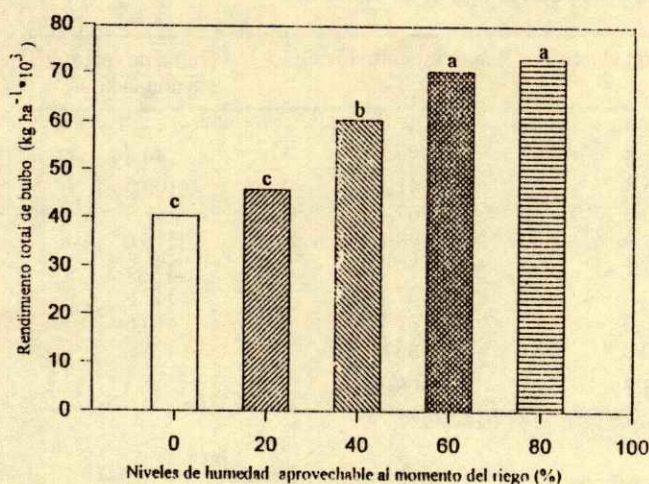


Figura 3. Rendimiento total de bulbo de cebolla en función de diferentes contenidos de humedad aprovechable en el momento del riego (%). Barras con letra similar son estadísticamente iguales (Tukey  $\leq 0.05$ ).

rendimiento estadísticamente igual al tratamiento T4 con 70 370 kg ha<sup>-1</sup>. El rendimiento obtenido en el tratamiento T3 obtuvo un valor de producción intermedia con 60 491 kg ha<sup>-1</sup>. Los rendimientos más bajos se obtuvieron en los tratamientos T1 y T2, donde el contenido de HA fue de 0 y 20%, respectivamente.

Sathiyavelu *et al.* (1994) encontraron tendencias similares; estos autores señalaron que en condiciones de contenido óptimo de humedad y disponibilidad de nutrientes (principalmente N) se obtienen los rendimientos más altos.

Si se promedian los valores absolutos de los tratamientos T4 (60 % HA) y T5 (80 % HA), los cuales fueron estadísticamente iguales, da un rendimiento de bulbo de 71 708 kg ha<sup>-1</sup>. Por otro lado, si se promedian los tratamiento T1 (0 % HA) y T2 (20 % HA), esto da un rendimiento de 43 014 kg ha<sup>-1</sup>. Restando estos valores promedio, da un rendimiento de bulbo de 28 694 kg ha<sup>-1</sup>, el cual es un valor que representa el incremento de la producción de bulbo debido al efecto de regar adecuadamente.

En el estado de Morelos, estadísticas de producción muestran que la producción media de cebolla en condiciones de riego de auxilio es de 17 820 kg ha<sup>-1</sup> (CIFAP, 1988). Los resultados de esta investigación indican claramente que es posible mejorar de manera significativa los rendimientos promedio de la región en más de 300 %, así como la calidad del bulbo de cebolla en la variedad Contessa,

cuando se manejan contenidos adecuados de humedad. Estos resultados experimentales ponen de manifiesto que es posible mejorar de manera substancial los rendimientos unitarios de bulbo de cebolla; siempre y cuando se apliquen los riegos cuando existan contenidos de humedad aprovechable en el suelo de 60 y 80 %, que corresponden a una tensión de humedad del suelo equivalente a 1.2 y 0.6 atmósferas.

### Evapotranspiración

El proceso de evapotranspiración (Et) es un proceso físico muy importante que realizan las plantas y depende de la interacción del suelo, de la planta, de la atmósfera y de las condiciones de manejo (factores tecnológicos) que, en un momento dado, se imponen en este complejo sistema, con el fin de optimizar el aprovechamiento de recursos e insumos agrícolas involucrados en el mismo (Marín *et al.*, 1989).

Las láminas de agua utilizadas por los tratamientos estudiados durante el ciclo del cultivo, fueron: T1 (0 % HA) = 42.89; T2 (20 % HA) = 47.96; T3 (40 % HA) = 52.31; T4 (60 % HA) = 58.7; y T5 (80 % HA) = 61.58 cm. Estos resultados indican que los valores adecuados de evapotranspiración oscilan entre 58.7 y 61.58 cm, los cuales produjeron los más altos rendimientos de bulbo con 70 370 y 73 047 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Al relacionar el rendimiento de bulbo con la Et del cultivo (Cuadro 1), se encontró una relación de tipo lineal entre estas dos variables:

$$RB = -45\,782 + 1889.6 Et; \quad r^2 = 0.97 \quad (6)$$

Donde: RB = rendimiento de bulbo (kg ha<sup>-1</sup>); Et = evapotranspiración (cm).

Esta relación indica que el rendimiento de bulbo se incrementa en 1889.6 kg ha<sup>-1</sup> por cada centímetro de evapotranspiración. De acuerdo con el consumo explorado en el experimento, el valor -45 782 es un factor de ajuste de la recta de regresión. Substituyendo el valor máximo de la Et (61.58 cm) en la Ecuación 6, resulta el rendimiento máximo esperado de:

$$RB = 74\,359 \text{ kg ha}^{-1}.$$

El Modelo de regresión 6 muestra que el mayor rendimiento de bulbo se relacionó con una mayor Et del cultivo.



**Cuadro 2. Estimación de la lámina de riego acumulada en el cultivo de cebolla en la región de Morelos.**

Número de riego	Lámina de riego aplicada	Precipitación observada	Precipitación efectiva <sup>†</sup>	Requerimiento de riego	Lámina de riego acumulada
			mm		
1	73.9	15.3	14.5	59.4	59.4
2	64.4	24.5	23.3	41.1	100.5
3	67.4	0.0	0.0	67.4	167.9
4	66.0	18.9	17.9	48.1	216.0
5	66.3	7.5	7.1	59.2	275.2
6	67.7	0.0	0.0	67.7	342.9
7	67.7	0.0	0.0	67.7	410.6
8	66.0	0.0	0.0	66.0	476.6
Suma	539.4	66.2	62.8	476.6	

<sup>†</sup> La precipitación efectiva se estimó considerando el método de Blaney y Criddle, citado por Palacios y Exebio (1989).

**Cuadro 3. Programa de riegos teórico y cálculo de la lámina bruta en cebolla.**

Número de riego	Intervalo de riego	Lámina neta de reposición	Fecha del riego	Eficiencia de aplicación del riego	Lámina bruta de riego
	días	mm			mm
1	0	92.3	1º nov.	0.63	126.4
2	18	57.4	18 nov.	0.63	86
3	12	57.4	30 nov.	0.63	86
4	14	57.4	14 dic.	0.63	86
5	11	57.4	25 dic.	0.63	86
6	10	57.4	4 ene.	0.63	86
7	11	57.4	15 ene.	0.63	86
8	14	57.4	1 feb.	0.63	86
9	14	57.4	15 feb.	0.63	86

En el riego por surcos se consideró una eficiencia de aplicación de 63 % de acuerdo con Campos (1987).

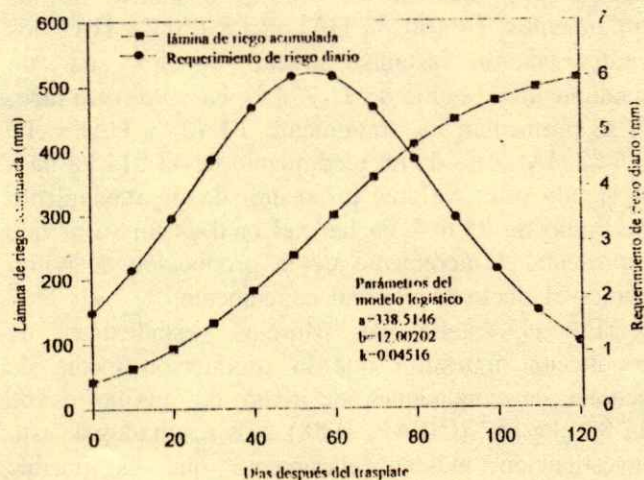
Para la programación del riego, se calculó la lámina de riego acumulada (Rra) del cultivo (Cuadro 2), correspondiente a uno de los contenidos de humedad aprovechable que produjo los rendimientos de bulbo más altos (60 %). Así, los datos de Rra y el tiempo de riego acumulado se ajustaron al modelo logístico (Ecuación 3). La primera derivada del modelo logístico proporcionó el requerimiento de riego diario (Figura 4), el cual se manifestó como máximo a 55 días después del trasplante. Por otra parte, al sustituir las láminas de riego de auxilio acumuladas en la Ecuación 5, se estimó el intervalo de riego (Cuadro 3).

Del Cuadro 3, puede concluirse que para alcanzar el máximo rendimiento de bulbo de cebolla en la región sur del estado de Morelos es recomendable aplicar nueve riegos, siendo el primero de 92.3 mm y los subsecuentes de 57.4 mm. Además, es necesario que la aplicación de los riegos sea en las fechas antes señaladas.

Es importante mencionar que el rendimiento más alto de cebolla se logró con los contenidos de 60 y

80 % de la humedad aprovechable en el suelo a través del riego por surcos.

Por otra parte, fue significativo obtener una relación funcional entre el rendimiento del cultivo de



**Figura 4. Curvas estimadas de requerimiento de riego acumulada y requerimiento de riego diario para el cultivo de cebolla variedad Contessa**

cebolla y el contenido de humedad aprovechable en el suelo, en el momento de aplicar los riegos. Con esto se logró el objetivo de definir un programa de riego para el uso eficiente del agua para este cultivo en la región productora de hortalizas del estado de Morelos, donde los suelos se cultivan con aguas residuales del río Apatlaco, que pone en alto riesgo la salud humana.

### CONCLUSIONES

- El más alto rendimiento de bulbo en el cultivo de cebolla puede obtenerse regando el suelo cuando tiene una tensión de humedad de 0.6 y 1.2 atmósferas.

- La relación lineal existente entre el rendimiento del cultivo de cebolla y la evapotranspiración derivada del contenido de humedad aprovechable en el suelo en el momento de aplicar los riegos, indica la importancia de manejar racionalmente este cultivo para mejorar su producción por unidad de superficie y al mismo tiempo optimizar el uso del agua de riego.

- Se recomienda la calendarización del riego obtenida para este cultivo para obtener rendimientos superiores a la media nacional de producción.

### LITERATURA CITADA

- Brewster, J.L. 1989. Physiology of the crop growth and building. pp. 58-59. In: Rabinowith, H.D. (ed.). Onion and allied crop. Vol. I. CRC-Press. Boca Raton, FL.
- Campos A., D.F. 1987. Procesos del ciclo hidrológico. Vol. I, Tomo 2. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.
- CIFAP. Centro de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 1988. Guía para la asistencia técnica agrícola. Campo Agrícola Experimental de Zacatepec, Morelos, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Zacatepec, Morelos, México.
- Cuenca A, E., D. Riestra D., J.M. Pérez M. y A. Echegaray A. 2001. Uso de aguas residuales y control de patógenos en la producción de cebolla. *Agrociencia* 35: 255-265.
- FAO-UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación—Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura. 1990. Mapa mundial de suelos. Trad. al español por T. Carballas, F. Macías, F. Díaz-F., M. Carballa y J.A. Fernández U. Santiago de Compostela, España.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold. London, Great Britain.
- Macedma. Movimiento Ciudadano de Defensa de Medio Ambiente, A.C. 1994. Boletín Informativo 1(1). México, D.F.
- Marín G., M., D. Riestra D., E. Exebio G. y A. Martínez G. 1989. Respuesta del maíz CP-561 a presión de población, nitrógeno y balance hídrico bajo temporal en la región central costera de Veracruz. *Agrociencia* 78: 79-83.
- Martínez G., A. 1995. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Trillas. México, D.F.
- Palacios V., E. y A. Exebio G. 1989. Introducción a la teoría de la operación de distritos de riego. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Palacios V., E. y J. Jaspeado G. 1980. Método para estimar la tensión del suelo en función de su contenido de humedad. Boletín Técnico 14. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Palacios V., E. y A. Martínez G. 1978. Respuesta de los cultivos a diferentes niveles de humedad del suelo: Un enfoque metodológico de investigación. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Rojas M., A.B. 1981. El riego en surcos. Folleto 3151. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F.
- SAS Institute. 1988. SAS/STAT User's Guide. Release 6.03. Cary, NC.
- Sathiyavelu, A., R. Panneerselvam L. y S. Purushothaman. 1994. Effect of nitrogen phosphorus and potassium on yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under rainfed conditions. *Indian J. Agron.* 39: 499-500.

# APLICACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN EPIC EN LA PREDICCIÓN DEL EFECTO DE SISTEMAS DE LABRANZA DEL SUELO

## Simulation EPIC Model Applied in the Prediction of Soil Tillage Systems Effects

Bernardo Villar-Sánchez<sup>1</sup>, Jaime López-Martínez<sup>1</sup>, Joel Pérez-Nieto<sup>2†</sup> y Robertoni Camas-Gómez<sup>1</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo se realizó durante 1998 y 1999 en la región Frailesca, Chiapas, con el objetivo de determinar el impacto de algunos sistemas de labranza de conservación del suelo en comparación con el sistema de labranza tradicional en diferentes escenarios de producción de maíz y realizar un ordenamiento espacial de los mismos. Para comparar el impacto de los sistemas de labranza de conservación con el sistema de labranza tradicional, se utilizó el modelo de simulación Erosion/Productivity Impact Calculator (EPIC) considerando un horizonte de predicción de 100 años. Los resultados indican que los factores pendiente y tipo de suelo afectan significativamente el escurrimiento superficial, la erosión del suelo, la productividad del suelo, la longevidad del sistema y la sostenibilidad de la producción maíz; además, los sistemas de labranza de conservación disminuyeron la erosión del suelo e incrementaron la productividad y longevidad del sistema. El ordenamiento espacial de los sistemas de conservación se realizó para un transecto edafológico cuyo patrón fisiográfico se repite de manera recurrente en toda la región Frailesca.

**Palabras clave:** Erosión del suelo, labranza de conservación, productividad y sostenibilidad.

### SUMMARY

In 1998 and 1999 this study was conducted to determine the impact of some soil conservation tillage systems, compared with the traditional management system, on different corn production settings and to carry out its spatial ordering of the Frailesca, Chiapas.

<sup>1</sup> Campo Experimental Centro de Chiapas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apdo. Postal 1. Ocozacoautla, Chiapas. Tel. 01(5)2016496.

<sup>2</sup> Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Tel. y Fax. 01(595)9521642.

<sup>†</sup> (jperezn@taurus1.chapingo.mx) y Autor responsable.

Recibido: Febrero de 2001. Aceptado: Octubre de 2002.  
Publicado en Terra 21: 381-388.

region. In order to compare the impact of the conservation tillage systems, the Erosion/Productivity Impact Calculator (EPIC) model was used considering a 100 year-old prediction horizon. The results indicate that the slope and soil type factors significantly affect surface runoff, erosion, soil productivity, system longevity, and corn yield sustainability; furthermore, the conservation systems studied significantly diminished soil erosion and increased the life span of the production system. Spatial ordering of conservation systems was carried out for an edaphic transect whose physiographic pattern is recurrent in the entire Frailesca region.

**Index words:** Soil erosion, conservation tillage, crop productivity and sustainability.

### INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo por erosión hídrica en áreas agrícolas es altamente perjudicial para la productividad de los cultivos. López y Anaya (1994) reportaron para áreas agrícolas de buena productividad en el estado de Chiapas, tasas de erosión hasta de 50 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y, en un periodo de seis años, encontraron que el rendimiento de maíz se relacionó inversamente con la pérdida acumulada de suelo debido a la erosión hídrica en condiciones de ladera.

El sistema de labranza cero de conservación (Lal, 1989), así como los sistemas agroforestales (Young, 1990) y los cultivos de cobertura con base en leguminosas de rápido crecimiento y alta producción de biomasa (Buckles *et al.*, 1992), se han propuesto como alternativas de manejo eficiente del suelo para controlar la erosión hídrica orientadas hacia una agricultura sostenible.

Lal (1989) mencionó que la labranza cero reduce la erosión, mejora la estructura, aumenta la tasa de infiltración y mejora el contenido de materia orgánica del suelo, manteniendo rendimientos y retornos económicos altos. El sistema de labranza cero es útil para revertir el problema de erosión y para lograr una

productividad rentable y sostenible de los cultivos en comparación con el sistema tradicional del productor.

Para sistemas de conservación, establecidos en un Entisol con 15% de pendiente desde 1988 por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en los Tuxtlas, Veracruz, México, Uribe *et al.* (2002) reportaron que la pérdida de suelo media registrada de 1995 a 1999 fue de 199, 13, 3 y 1 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para labranza tradicional, terrazas de muro vivo con setos a 1 m de desnivel y tracción mecánica, terrazas de muro vivo con setos a 1 m de desnivel y tracción animal y labranza de conservación, respectivamente. El coeficiente de escurrimiento superficial correspondiente fue de 31, 16, 15 y 17%, respectivamente.

Adicional al eficiente control de la erosión y del escurrimiento, Uribe *et al.* (1998) indicaron que las "terrazas de muro vivo" contribuyen a aumentar la productividad de la ladera y mejoran la estabilidad del rendimiento del cultivo de maíz, siendo compatibles con la tecnología tradicional de producción en el trópico (Francisco *et al.*, 1993).

En la región Frailesca, Chiapas, Ramírez y Oropeza (2001) encontraron que la eficiencia de una barrera viva de cocoite (*Gliricidia sepium* L.) con surcado al contorno en la reducción de la pérdida de suelo fue de 23 a 64%, mientras que la eficiencia del sistema de labranza de conservación fue de 60 a 70%, comparados con el sistema tradicional de producción de maíz. Las eficiencias para el control del escurrimiento superficial fueron de 21 a 46% y de 23 a 49%, respectivamente.

Sin embargo, el uso de sistemas de conservación del suelo en programas operativos, generalmente no ha tenido el éxito esperado en relación con su propósito de controlar la erosión, revertir el problema de degradación y mantener rendimientos rentables y sostenidos de los cultivos, en especial en el trópico. Esto posiblemente debido al desconocimiento de sus efectos a largo plazo y a la falta de un ordenamiento espacial integral de los sistemas de conservación de acuerdo con sus mejores posibilidades para reducir las tasas de erosión dentro de una unidad de manejo apropiada.

El uso de modelos de simulación constituye una poderosa herramienta para el manejo de los recursos naturales (Hartkamp *et al.*, 1999) y son potencialmente útiles para establecer esquemas de ordenamiento espacial de sistemas de conservación del suelo a escala parcelaria, comunitaria o de

microcuencas con base en la cuantificación de su impacto para reducir la erosión y mejorar los índices de sostenibilidad, en comparación con el sistema de labranza tradicional, a largo plazo.

Villar *et al.* (1998) evaluaron el impacto de la erosión sobre el rendimiento del cultivo del maíz en condiciones de la región Frailesca, Chiapas, con el modelo Erosion/Productivity Impact Calculator (EPIC) (Williams y Renard, 1985) e indicaron que con el tratamiento de labranza tradicional, el maíz pierde su productividad en aproximadamente 90 años, mientras que con el tratamiento de labranza cero, la productividad se mantiene por lo menos 100 años.

En este trabajo, se reporta el impacto del sistema de labranza cero y labranza cero más barreras vivas comparados con el sistema de labranza tradicional del suelo sobre el escurrimiento superficial, la erosión del suelo, la productividad del suelo, la longevidad del sistema y la sostenibilidad de la producción de maíz, en diferentes escenarios mediante la aplicación del modelo de simulación EPIC y el ordenamiento espacial de estos sistemas, para un transecto edafológico representativo del área de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

Este trabajo se desarrolló durante 1998 y 1999 en la región Frailesca, localizada en la parte central del estado de Chiapas entre 15° 45' y 16° 30' N y 92° 30' y 93° 45' O. La región comprende una superficie de 8300 km<sup>2</sup> e incluye los municipios de Villaflores, Villacorzo, La Concordia y Ángel Albino Corzo.

La región Frailesca se encuentra entre 700 y 800 m de altitud y presenta un clima cálido-subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación anual varía de 700 a 1200 mm y se caracteriza por un patrón de distribución tipo bimodal con presencia de sequía intraestival o canícula que ocurre en julio y agosto.

Fisiográficamente, la región se conforma principalmente por tres unidades: vegas de río (llanuras de inundación) con pendientes menores que 5% y suelos tipo Fluvisol, profundos y fértiles (FAO, 1973); terrazas con pendiente entre 5 y 15%, formadas a partir de gneiss y rocas volcánicas mediante una sucesión de periodos de erosión que generaron terrazas ubicadas a diferentes alturas, en donde predominan suelos tipo Luvisol y Acrisol degradados y de baja fertilidad; y laderas, con pendientes mayores

que 15% y suelos formados a partir de masas de granito o microgranito tipo Litosol y Faeozem someros y altamente erosionados.

En el aspecto socioeconómico, el sector agrícola de la región aporta aproximadamente 40% del producto interno bruto y emplea cerca de 60% de la población económicamente activa. Maíz y frijol son los cultivos que ocupan el principal renglón socioeconómico por superficie sembrada, importancia alimenticia, generación de empleos y cultura productiva.

### Modelo EPIC e Información Requerida

El modelo Erosion/Productivity Impact Calculator (EPIC) se usó como herramienta básica para estimar las variables respuesta relacionadas con la erosión hídrica, observar tendencias y comparar los sistemas de conservación del suelo en diferentes escenarios.

**Datos climáticos.** Los datos climáticos de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C) y de precipitación (mm) se colectaron diariamente y se seleccionaron mediante el criterio de continuidad para un mínimo de 10 años en las 13 estaciones meteorológicas existentes en la región. Estos datos se utilizaron para generar mediante el generador climático (CLIGEN) del modelo EPIC los parámetros: media, desviación estándar, probabilidad de la temperatura y lluvia después de un día húmedo y de un día seco, y el coeficiente de asimetría; con éstos, mediante una distribución normal asimétrica, se generaron las magnitudes aleatorias diarias de temperatura y precipitación usados en la simulación a largo plazo.

**Datos de suelo.** A partir de los mapas de edafología y de uso actual del suelo, escala 1:250 000, publicados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1985), se seleccionaron los tres tipos de suelo más importantes sembrados con maíz en la región. Para determinar las características de estos suelos, se realizó un muestreo, en dos sitios por tipo de suelo. Se tomó una muestra de suelo en cada uno de los cuatro o cinco horizontes del perfil por sitio y se analizaron en el laboratorio. Se determinaron: pH mediante el método del potenciómetro en la solución sobrenadante de una mezcla suelo:agua relación 1:2; textura por el procedimiento de Bouyoucos; densidad aparente por el método de la probeta; saturación de bases por filtración en vacío de una pasta saturada de suelo; conductividad eléctrica por el método del extracto de saturación mediante medición electrolítica

y una celda de conductividad como sensor; bases intercambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) empleando acetato de amonio 1N y pH 7.0 como solución saturante; materia orgánica a través del contenido de carbón orgánico por el método de Walkley y Black; nitrógeno inorgánico por el método de extracción con KCl y destilación en presencia de MgO; capacidad de intercambio catiónico (CIC) empleando acetato de amonio 1N y pH 7.0 como solución saturante y destilación en Kjeldahl; y fósforo extractable mediante el método de Bray I. Los resultados se usaron en la elaboración de los archivos de EPIC, considerando el valor promedio por horizonte entre sitios.

### Tratamientos Estudiados

Se estudiaron tres sistemas de labranza del suelo como tratamientos. El sistema de labranza tradicional (ST), y los sistemas de labranza cero (LC) y labranza cero más barreras vivas (LCBV) como tratamientos de manejo alternativo del suelo. Los sistemas de manejo alternativo del suelo se caracterizan por controlar el escurrimiento y la erosión, mantener una producción rentable y sostenible de maíz, además de adaptarse a las circunstancias de los productores de la región, ya que no modifican sus arreglos topológicos de siembra, no ocupan mucho espacio y tampoco modifican de manera significativa los costos de producción.

### Escenarios de Producción

Se consideraron como factores de variación la pendiente y el tipo de suelo. La pendiente se clasificó en tres categorías: < 5%, 5 a 15% y > 15%, mismas que corresponden a las unidades fisiográficas de vegas de río, terrazas y laderas, respectivamente. Por su predominancia, los tipos de suelo incluidos fueron los Luvisoles, Cambisoles y Acrisoles. La combinación completa de las tres categorías de pendiente con los tres tipos de suelo y los tres tratamientos estudiados, dio un total de 27 escenarios de producción, para cada uno de los cuales se realizaron las simulaciones con el modelo EPIC en cada estación meteorológica.

### Simulación con EPIC y Variables Respuesta

Previo calibración del modelo EPIC (Villar *et al.*, 1998), las simulaciones se realizaron para los 27 escenarios en las 13 estaciones meteorológicas, considerando un horizonte de predicción de 100 años.

Las variables respuesta: precipitación anual (mm), erosión ( $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ ), espesor de suelo perdido (cm), longevidad del sistema (años), rendimiento del cultivo de maíz ( $t\ ha^{-1}$ ) y el índice de erosión/productividad (IEP), se analizaron estadísticamente mediante el diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial completo  $3 \times 3 \times 3$ , con 10 repeticiones, mismas que se utilizaron como criterios de selección de los sistemas de conservación de suelos.

### Ordenamiento Espacial de Sistemas

Para cada escenario de producción, se seleccionaron los sistemas de manejo alternativo del suelo que mostraron los mejores valores de las variables respuesta comparados con el sistema de manejo tradicional. Su ordenamiento espacial se realizó de acuerdo con su mejor contribución para: a) disminuir las tasas de erosión y escurrimiento actual a valores de pérdida permisibles, b) disminuir el impacto de la erosión sobre la productividad del maíz, y c) mantener una productividad rentable y sostenible. Este ordenamiento espacial de sistemas se realizó considerando una base georeferenciada de datos de clima, suelo y pendiente, con base en el transecto edafológico definido por Pérez (1996) que incluye las tres unidades fisiográficas de la región.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados del análisis de varianza de las variables respuesta relacionadas con la

erosión del suelo, la productividad y la sostenibilidad, considerando como fuentes de variación la pendiente, el tipo de suelo y los tratamientos, así como los escenarios de producción que conforman y la estación meteorológica.

### Variabilidad de las Variables Respuesta

El Cuadro 1 presenta los valores promedio de las variables respuesta estimadas con el modelo EPIC por estación meteorológica en la región. La erosión inicial promedio sobre pendiente, tipo de suelo y tratamiento, varía significativamente desde  $565\ t\ ha^{-1}\ año^{-1}$  en la estación El Zapotal localizada al suroeste de la región hasta  $33\ t\ ha^{-1}\ año^{-1}$  en la estación Fca. Ocotlán localizada al noreste de la misma. Esta variabilidad está claramente asociada a la cantidad de lluvia ocurrida en cada estación, observándose mayor erosión en las estaciones con mayor precipitación.

Asimismo, se observa que en las estaciones de mayor precipitación la diferencia entre la erosión inicial y final (después de 100 años de cultivo) es mayor; por ejemplo, en la estación El Zapotal, donde la precipitación anual es de 3802 mm, la diferencia entre la erosión inicial y final es de  $293\ t\ ha^{-1}$ , lo cual equivale a un espesor de suelo perdido de 68 cm en sólo 43 años de longevidad del sistema o sea  $1.6\ cm\ año^{-1}$ ; mientras que, en la estación Fca. Ocotlán, donde la precipitación anual fue de 823 mm, la diferencia en erosión es de  $97\ t\ ha^{-1}$ , lo que equivale a un espesor de suelo de 41 cm en 82 años de vida del sistema o sea  $0.5\ cm\ año^{-1}$ . Estos resultados indican

**Cuadro 1. Valores promedio de las variables respuesta de erosión del suelo, productividad y sostenibilidad en la región Frailesca, Chiapas.**

Estación meteorológica	Precipitación anual mm	Erosión <sup>†</sup>		ESP <sup>‡</sup> cm	Rendimiento de maíz		LS <sup>§</sup> años	Índice erosión/prod.	
		Inicial	Final		Inicial	Final		Inicial	Final
El Zapotal	3802	565 a	858 a	67.7 b	5.01 de	4.11 cd	43 m	0.63 de	0.51 d
El Jabalí	3587	418 b	775 b	68.2 a	4.97 de	3.67 de	46 l	0.64 de	0.46 ef
Liquidámbar	2762	326 c	627 c	63.2 c	4.75 e	3.70 de	54 k	0.59 f	0.46 ef
Fca. Prusia	2456	280 d	472 d	62.3 d	4.67 e	4.15 cd	57 j	0.59 f	0.51 d
Jaltenango	1877	137 e	288 e	54.2 f	5.29 cd	4.41 bc	67 h	0.66 cd	0.55 bc
Cuxtepeques	1879	131 f	338 f	55.7 e	4.93 e	4.18 cd	66 i	0.62 ef	0.52 cd
Los Vados	1411	85 g	268 g	52.9 i	5.92 a	4.23 cd	70 e	0.74 a	0.53 cd
B. Juárez	1464	84 h	267 h	53.8 h	5.57 bc	4.42 bc	69 f	0.70 bc	0.55 bc
La Concordia	1474	78 i	306 i	54.1 g	5.75 ab	3.90 d	68 g	0.72 ab	0.49 de
San Francisco	1458	73 j	227 j	47.6 j	5.68 ab	4.69 ab	75 d	0.71 ab	0.57 b
Villaflores	1105	58 k	174 k	44.6 k	5.76 ab	4.84 a	78 c	0.72 ab	0.60 a
Portaceli	1004	49 l	156 l	42.5 l	5.30 cd	4.42 bc	79 b	0.66 cd	0.55 bc
Fca. Ocotlán	832	33 m	130 m	40.9 m	5.28 cd	3.91 d	82 a	0.66 cd	0.50 de

<sup>†</sup> Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). <sup>‡</sup> Espesor de suelo perdido en 100 años o en la longevidad del sistema.

<sup>§</sup> Longevidad o tiempo productivo del sistema.

que existe mayor grado de erosión en las áreas más lluviosas, por lo que es en ellas donde se debe intensificar el uso de sistemas de conservación que la disminuyan.

### Efecto de la Pendiente

La pendiente del terreno es el factor con mayor impacto sobre el escurrimiento, la erosión y el espesor de suelo perdido. El Cuadro 2 muestra que la erosión inicial anual se incrementa de manera significativa al aumentar la pendiente del terreno; por ejemplo, la erosión pasa de una tasa anual de 7 t ha<sup>-1</sup> en la pendiente < 5% a 461 t ha<sup>-1</sup> en la pendiente > 15%, aunque esto no se refleja de manera inmediata y significativa sobre el rendimiento del maíz. Sin embargo, al hacer la evaluación en un horizonte de 100 años, se observa que el menor impacto de la erosión sobre el rendimiento de maíz en la pendiente < 5% permite que el sistema logre una longevidad de 99 años, mientras que el mayor impacto de la erosión en la pendiente > 15%, permite una vida productiva del sistema de apenas 22 años. Esto se debe a que en el primer caso, el suelo pierde un espesor de 18 cm en 99 años, lo que equivale a un promedio de 0.18 cm año<sup>-1</sup>, mientras que en el segundo caso, la pérdida es de 81 cm en 22 años o sea un promedio de 3.7 cm año<sup>-1</sup>.

### Efecto del Tipo de Suelo

El Cuadro 2 indica que existe diferencia significativa entre tipos de suelo por su

susceptibilidad al escurrimiento, la erosión y el espesor de suelo perdido. Con las mismas condiciones de pendiente y tratamiento, la susceptibilidad de los suelos a la erosión varía de menos a más en el siguiente orden: Cambisol, Luvisol y Acrisol. Esto se atribuye a las características propias de uso y manejo de cada suelo, ya que los Acrisoles, debido a su mayor desarrollo, se han sometido a un uso intensivo para la producción de maíz con manejo tradicional, exponiéndolos a los agentes erosivos, más que los cambisoles. La susceptibilidad a la erosión por tipo de suelo también se refleja en su impacto en el tiempo; por ejemplo, los Acrisoles pierden 69 cm en una longevidad de 67 años, lo cual equivale a 1.03 cm año<sup>-1</sup>, mientras que los Cambisoles pierden 30 cm en 62 años, o sea 0.48 cm año<sup>-1</sup>. Además, el impacto de la erosión en la productividad del maíz medido por el índice de erosión/productividad es mayor en los Acrisoles que en los Cambisoles.

### Efecto de los Tratamientos

El Cuadro 2 muestra que el sistema de labranza cero más barreras vivas presentó menores tasas de erosión anual con 72 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en comparación con el sistema de labranza tradicional cuya tasa de erosión fue de 248 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, lo cual concuerda con lo reportado por Francisco *et al.* (1993). Las menores tasas de erosión en los sistemas de manejo alternativo del suelo, se reflejan en menor espesor de suelo perdido y en mayor longevidad del sistema. El sistema tradicional pierde 63 cm en 59 años (1.06 cm año<sup>-1</sup>), mientras que el sistema de labranza cero más

**Cuadro 2. Efecto de la pendiente, suelo y tratamientos sobre algunas variables respuesta de erosión, productividad y sostenibilidad en la región Frailesca, Chiapas.**

Fuente de variación	Escurrimiento inicial mm	Erosión inicial t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	ESP <sup>†</sup> cm	Rendimiento inicial t ha <sup>-1</sup>	Índice de erosión/prod.	LS <sup>§</sup> años
Pendiente (%)						
< 5	142 c <sup>†</sup>	7 c	18 c	5.4 a	0.68 a	99 a
15- 30	255 b	66 b	65 b	5.3 a	0.67 b	76 b
> 30	300 a	461 a	81 a	5.1 b	0.64 c	22 c
Suelo						
Luvisol	174 c	147 b	65 b	5.7 a	0.71 a	68 a
Cambisol	227 b	96 c	30 c	5.3 b	0.67 b	62 c
Acrisol	295 a	292 a	69 a	4.9 c	0.62 c	67 b
Tratamiento						
Sistema tradicional	262 a	248 a	63 a	5.5 a	0.68 a	59 c
Labranza cero	262 a	215 b	56 b	5.2 b	0.65 b	64 b
LCBV <sup>¶</sup>	173 b	72 c	45 c	5.2 b	0.66 b	74 a

<sup>†</sup> Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). <sup>‡</sup> ESP = espesor de suelo perdido en 100 años o en la longevidad del sistema. <sup>§</sup> LS = longevidad o tiempo productivo del sistema. <sup>¶</sup> LCBV = tratamiento de labranza cero más barreras vivas.

barreras vivas pierde 45 cm en 74 años ( $0.61 \text{ cm año}^{-1}$ ), aunque esto no se refleja en la productividad.

### Efecto Interactivo de la Pendiente, el Suelo y los Tratamientos

El Cuadro 3 muestra el efecto interactivo significativo de la pendiente, tipo de suelo y tratamientos sobre la erosión y longevidad del sistema. En el escenario con pendiente  $< 5\%$  y sistema tradicional, el efecto de la pendiente y del sistema de labranza tradicional sobre la erosión y longevidad del sistema, a través de los tipos de suelo, mostró una tendencia ilógica en términos absolutos. El suelo Acrisol que presenta una tasa anual de erosión inicial de  $23.1 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , mayor que la pérdida permisible de  $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , presenta una longevidad intermedia del sistema (98 años); mientras que el suelo Cambisol con el menor valor de erosión ( $9.0 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) presenta menor longevidad (94 años). El suelo Luvisol que presenta una erosión inicial intermedia ( $11.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) ostenta la mayor longevidad del sistema (100 años). Sin embargo, con el sistema de labranza cero, se observa que la erosión disminuye considerablemente por debajo del valor permisible en los tres tipos de suelo y se obtienen en todos los casos longevidades de 100 años. La reducción de la erosión es más evidente con el sistema de labranza cero más barreras vivas, lográndose un control casi total de la erosión y longevidades de 100 años.

El problema de la erosión del suelo aumenta al considerar el escenario con 5 a 15% de pendiente y el sistema tradicional de manejo del suelo (Cuadro 3). En estas condiciones, el efecto de la pendiente y sistema de manejo sobre la erosión y longevidad del

sistema, a través de los tipos de suelo, sigue la misma tendencia que para el escenario con  $< 5\%$  de pendiente, aunque el valor de erosión en este escenario se encuentra por encima del valor de pérdida permisible y las longevidades no llegan a 100 años en ningún caso. No obstante, la longevidad del sistema es aceptable con el sistema de labranza cero más barreras vivas.

Finalmente, en el escenario con pendiente  $> 15\%$  y el sistema tradicional de producción, se observa una situación drástica, alcanzándose las tasas de erosión más altas en los tres tipos de suelo, con longevidades muy cortas (Cuadro 3). En este escenario con pendiente  $> 15\%$ , considerando el sistema de labranza cero, la erosión disminuye a valores más bajos cuando se considera el sistema de labranza cero más barreras vivas; sin embargo, los valores de erosión alcanzados en este escenario de pendiente en los tres tipos de suelo, son más altos que los valores permisibles de pérdida de suelo aun con el sistema de manejo alternativo más completo. Por esta razón, es necesario complementar para este escenario los sistemas de manejo alternativo con otras prácticas como los cultivos de cobertura con leguminosas de alta producción de biomasa, terrazas de banco, o bien, cambiar el uso del suelo.

### Ordenamiento Espacial de los Sistemas de Conservación

Cuando se considera que la pendiente del terreno, el tipo de suelo con sus restricciones edafológicas y los sistemas de labranza son los principales factores modificables que influyen sobre la erosión del suelo, la productividad y la longevidad del sistema de producción de maíz, entonces es posible ordenar

**Cuadro 3. Efecto interactivo de la pendiente, tipo de suelo y sistema de labranza sobre la erosión y la longevidad del sistema en la región Frailesca, Chiapas.**

Pendiente del terreno	Tipo de suelo	Sistema tradicional		Labranza cero		LCBV <sup>†</sup>	
		Erosión	LS <sup>‡</sup>	Erosión	LS	Erosión	LS
%		$\text{t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$	años	$\text{t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$	años	$\text{t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$	años
< 5	Luvisol	11.8	100	4.8	100	1.0	100
< 5	Cambisol	9.0	94	3.5	100	0.8	100
< 5	Acrisol	23.1	98	9.4	100	2.3	100
5-15	Luvisol	78.5	75	64.8	81	18.2	95
5-15	Cambisol	58.5	53	48.2	65	30.0	86
5-15	Acrisol	150.4	69	123.2	75	39.0	89
> 15	Luvisol	492.8	19	431.3	21	216.5	26
> 15	Cambisol	342.2	12	304.0	14	84.9	33
> 15	Acrisol	1067.3	16	940.8	18	270.8	41

<sup>†</sup> LCBV = tratamiento de labranza cero más barreras vivas. <sup>‡</sup> LS = longevidad del sistema.



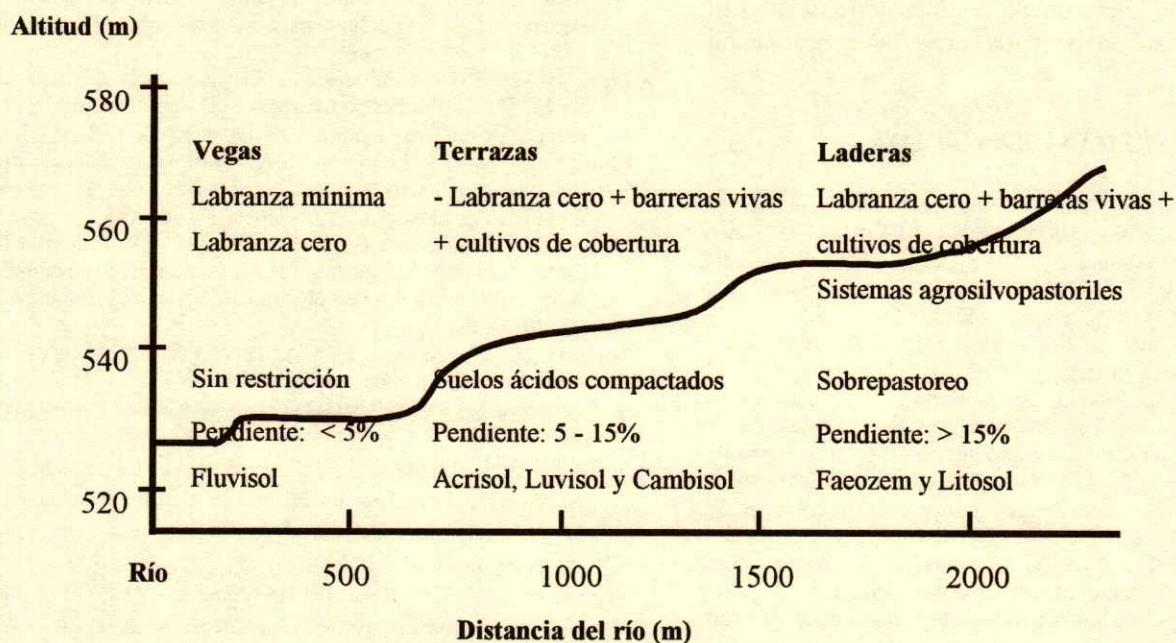


Figura 1. Esquema de ordenamiento espacial de sistemas de manejo del suelo en un transecto edafológico representativo de la región Frailesca, Chiapas. Adaptado de Pérez (1996).

especialmente los sistemas de conservación del suelo acorde a estos factores para el transecto edafológico representativo de la región Frailesca definido por Pérez (1996). La Figura 1 muestra esquemáticamente este ordenamiento espacial de sistemas de manejo del suelo.

Tal como se muestra en la Figura 1 y considerando que los suelos de vega (Fluvisoles) con pendiente < 5% no presentan problemas fuertes de erosión, pueden seguirse manejando con el sistema de labranza tradicional en el corto plazo y, paulatinamente, sustituirse por el sistema de labranza cero o mínima (sin ninguna restricción técnica), dejando residuos sobre el suelo.

Sin embargo, en los suelos de terrazas (Luvisol, Cambisol y Acrisol) con pendiente de 5 a 15%, que representan 25% de la superficie cultivada con maíz en la región, adicional a las prácticas mecánicas (surcado al contorno), es necesario cambiar el sistema tradicional de manejo del suelo por el de labranza cero más barreras vivas y dependiendo del tipo de suelo y su valor de erosión, es necesario complementar este sistema con cultivos de cobertura con base en leguminosas intercaladas o asociadas con maíz para restaurar de manera gradual la fertilidad.

Finalmente, en los suelos de ladera (Faeozem y Litosol) con pendientes > 15%, donde la erosión es más fuerte y representan 58% de la superficie cultivada con maíz en la región, es necesario tomar una de dos decisiones: a) seguir cultivando maíz y aplicar el sistema de labranza cero más barreras vivas y cultivos de cobertura con pérdidas de suelo mayores que la permisible o b) cambiar el uso del suelo y establecer sistemas agrosilvopastoriles o silvícolas exclusivamente.

## CONCLUSIONES

- Los factores pendiente, tipo de suelo y sistema de manejo afectan a largo plazo el escurrimiento, la erosión, el espesor de suelo perdido, la longevidad del sistema, y la productividad y sostenibilidad de la producción de maíz en la región Frailesca, Chiapas.
- El cultivo de maíz con sistemas de labranza cero y labranza cero más barreras vivas comparados con el sistema de manejo tradicional del suelo disminuye la erosión del suelo y aumenta la longevidad de los sistemas en todas las clases de pendiente y tipos de suelo.

- El ordenamiento espacial de los sistemas de conservación del suelo puede ser una herramienta útil para la implantación de programas de conservación del suelo.

### LITERATURA CITADA

- Buckles, D., I. Ponce, G. Sain y G. Medina. 1992. Tierra cobarde se vuelve valiente. Uso y difusión del frijol de abono (*Mucuna deeringianum*) en las laderas del litoral del Atlántico de Honduras. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F.
- FAO. 1973. Soil map of the world. Vol. IV-South America. UNESCO. Paris, Francia.
- Francisco N., N., S. Uribe G., R. Camacho C., J.L. Zúñiga G. y A. Turrent F. 1993. Terrazas de muro vivo para conservación del suelo y agua y aumentar productividad en áreas agrícolas de ladera. pp. 205-214. In: J.F. Ruiz F. (ed.). Manejo y conservación del suelo y agua. Grupo de Conservación del Suelo y Agua A.C. Montecillo, México.
- Hartkamp, A.D., K. de Beurs, A. Stein y J.W. White. 1999. Interpolation techniques for climate variables. NRG-GIS Series 99-01. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1985. Cartas edafológicas Tuxtla Gutiérrez E15-11 y D15-2, escala 1:250 000, y cartas topográficas y de uso del suelo E15-C78, C79, D71, C88, C89, D8, A19, B11, B12 y B21, escala 1:50 000. México, D.F.
- Lal, R. 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture: Tropics versus temperate environments. Adv. Agron. 42: 85-187.
- López M., J. y M. Anaya G. 1994. Efecto de tres prácticas agronómicas sobre la conservación y productividad de suelos de ladera de la Frailesca, Chiapas. Agric. Téc. en México 20: 113-132.
- Pérez Z., O. 1996. Limitantes de la producción de maíz de temporal en la Frailesca, Chiapas. 1. Transecto edafológico y características físicas y químicas del suelo. Terra 8: 68-83.
- Ramírez C., M.E. y J.L. Oropeza M. 2001. Eficiencia de dos prácticas productivo conservacionistas para controlar erosión en laderas en el trópico. Agrociencia 35: 489-495.
- Uribe G., S., A. Turrent F., N. Francisco N. y R. Camacho C. 1998. Productividad y estabilidad del rendimiento de maíz en terrazas de muro vivo en el trópico de México. Agrociencia 32: 301-309.
- Uribe G., S., N. Francisco N. y A. Turrent F. 2002. Pérdida de suelo y nutrientes en un Entisol con prácticas de conservación en los Tuxtlas, Veracruz, México. Agrociencia 36: 161-168.
- Villar S., B. B. Figueroa S., J.L. Oropeza M., L. Landois P. y V. Volke H. 1998. Erosionabilidad de suelos y su impacto en la productividad del maíz en el trópico mexicano. Agrociencia 32: 199-207.
- Williams, R.J. y K.G. Renard. 1985. Assessment of soil erosion and crop productivity with process models (EPIC). pp. 67-103. In: Follet, R.F. y B.A. Stewart (eds.). Soil erosion and crop productivity. American Society of Agronomy-Crop Science Society of America-Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Young, A. y P. Muraya. 1990. Soil changes under agroforestry (SCUAF): A predictive model. Reprint 74. ICRAF. Nairobi, Kenya.

# ESTIMACIÓN DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN LA CUENCA EL JIHUITE, MÉXICO

## Runoff Estimation in the Watershed El Jihuite, Mexico

H.E. Flores-López<sup>1</sup>, H. Ramírez-Vega<sup>2</sup>, K.F. Byerly-Murphy<sup>3</sup>, J.A. Ruiz-Corral<sup>4</sup>, J.A. Martínez-Sifuentes<sup>2</sup>,  
P. Díaz-Mederos<sup>5</sup> y V. Alemán-Martínez<sup>5</sup>

### RESUMEN

La información hidrológica es necesaria para la planificación del manejo de cuencas, en particular cuando el agua se utiliza para el consumo humano, como es el caso del embalse de la presa El Jihuite, en Tepatitlán, Jalisco, México. El objetivo del presente trabajo fue mostrar la implementación de la metodología del escurrimiento medio apoyada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para cuantificar los escurrimientos superficiales (ES) en la cuenca hidrográfica El Jihuite. El escurrimiento medio ( $V_m$ ) se expresa como:  $V_m = C \cdot A \cdot P_m$ , donde  $C$  es el coeficiente de escurrimiento,  $A$  es el área de la cuenca y  $P_m$  es la precipitación promedio. El coeficiente  $C$  se obtuvo de la combinación de uso del suelo, pendiente y textura; el uso del suelo se obtuvo de fotografías aéreas, la pendiente se determinó del modelo de elevación digital y las texturas del suelo se obtuvieron de un muestreo de suelos. La lluvia se tomó de los registros diarios de la estación meteorológica del Campo Experimental Altos de Jalisco del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en el periodo de 1983 a 2000 y se consideró que ocurrió ES sólo cuando la lluvia superó 25.4 mm. La información se manejó en el SIG Idrisi 32. El

coeficiente de escurrimiento que resultó en la cuenca fue de 0.426. Con la estimación de ES se determinó que un periodo de retorno de dos años es requerido para satisfacer la capacidad del embalse de la presa y 61% de probabilidad de excedencia en los eventos para que superen esa capacidad. Existe la posibilidad de mejorar la estimación de ES, con información actual de uso de suelo y la instalación de pluviómetros.

*Palabras clave:* Método de escurrimiento medio, cuenca hidrográfica, sistema de información geográfica.

### SUMMARY

Hydrological information is necessary for planning watershed management, mainly when water is utilized for human consumption, as the case of the "El Jihuite" reservoir in Tepatitlán, Jalisco, Mexico. The goal of the present work was to show the implementation average runoff methodology supported with a Geographical Information System (GIS) in order to quantify the overland flow (OF) in the El Jihuite watershed. The average runoff ( $V_m$ ) expressed as:  $V_m = C \cdot A \cdot P_m$ , where  $C$  the runoff coefficient,  $A$  is the watershed area and  $P_m$  is average rainfall. The  $C$  coefficient was obtained from the combination of land use, slope, and soil texture; land use was obtained from aerial photographs, slope from the digital elevation model, and soil texture was obtained from soil samples. The rainfall data were taken from daily records of the meteorological station from Research Station Altos de Jalisco of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, during the period 1983 to 2000; the OF was considered to occur only when the rainfall surpassed 25.4 mm. The data were handled in the GIS Idrisi 32. The  $C$  coefficient in the watershed was 0.426. From the valuation of OF, it was determined that a return period of two years is required for satisfying the capacity of the dam reservoir and 61% probability for events to overcome that capacity. It is possible to enhance OF

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, estado de México, México.

([lfloresh@colpos.mx](mailto:lfloresh@colpos.mx)) y Autor responsable.

<sup>2</sup> Centro Universitario de los Altos, Universidad de Guadalajara. 47600 Tepatitlán, Jalisco, México.

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones Regional Pacífico Centro, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 44660 Zapopan, Jalisco, México.

<sup>4</sup> Campo Experimental Centro de Jalisco, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México.

<sup>5</sup> Campo Experimental Altos de Jalisco, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro de INIFAP. 47600 Tepatitlán, Jalisco, México.

estimations, using current information of land use and the installation of rain gage into the watershed.

*Index words:* Average runoff methodology, watershed, geographical information system.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de los procesos hidrológicos de la biosfera y su relación con la vegetación y uso del suelo son importantes en la planeación del uso adecuado de los recursos hídricos. La información generada es útil en la planificación del manejo de cuencas, en el diseño de proyectos o el desempeño económico, y en la evaluación del impacto del uso de la tierra (Brooks *et al.*, 1993).

Por otro lado, antes de diseñar los canales, diques u otras obras que controlen el escurrimiento superficial, es necesario cuantificar la cantidad de agua esperada. Si sólo se almacena el escurrimiento, puede ser suficiente conocer el volumen total de agua que se recogerá, pero si se requiere construir obras de conservación de suelo, el principal problema es la conducción del agua de un sitio a otro y, en este caso, el caudal de escurrimiento es importante, en especial el máximo volumen de agua que puede esperarse (Hudson, 1982). Posteriormente, si el agua se almacena para utilizarse en el consumo humano, como es el caso de la presa El Jihuete, en la población de Tepatitlán, Jalisco (Martínez *et al.*, 1996), la importancia de la variación temporal en el análisis del escurrimiento superficial es mayor, en particular, para conocer la frecuencia con que se tendrá lleno el embalse receptor.

Se reportan diversas metodologías para la evaluación del escurrimiento superficial (SARH-CP, 1982; Aparicio, 2001; Mays, 2001) y con el avance tecnológico de las computadoras y softwares, como SWAT, SWRRWB, ANSWER, WEPP, AGPNS, QUAL2E, PROUTE, se han generado modelos hidrológicos que estiman con bastante precisión los procesos involucrados en una cuenca (Narayanan, 2002). En México, sin embargo, la aplicación de estos modelos hidrológicos es muy limitada por la falta de datos, tanto para calibrarlos, como en su validación.

Una opción para evaluar el escurrimiento superficial es implementar metodologías más simples,

con poca exigencia de información y fácilmente disponible, que permita aplicarse con tecnologías actuales como los sistemas de información geográfica (SIG). Por esta razón, el objetivo del presente trabajo es estimar, con el método de escurrimiento medio enlazado a un SIG, los volúmenes de agua que escurren hacia el embalse de la presa de la cuenca hidrográfica El Jihuete, en Jalisco, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del Área de Estudio

La cuenca El Jihuete se ubica en el municipio de Tepatitlán, al noreste del estado de Jalisco. Geográficamente se localiza entre los paralelos 20°50'57" y 20°55'50" N, y los meridianos 102°36'50" y 102°43' O, a una altitud de 1900 a 2280 m. El clima es (A)C(w<sub>1</sub>)(w)(e)g, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), el cual se define como templado subhúmedo con temperatura media del mes más caliente superior a 22 °C y temperatura media anual menor que 18 °C, con menos de 5% de lluvia invernal con relación al promedio anual.

La precipitación promedio anual es de 816.3 mm, con 88 días de lluvia apreciable; la estación de crecimiento con 70% de probabilidad de excedencia de lluvia es de 135 días, del 16 de junio al 28 de octubre. El promedio anual de temperaturas máxima, mínima y media es de 25.6, 7.6 y 16.6 °C, respectivamente; para la estación de crecimiento, la media de temperaturas máxima, mínima y media es de 25.1, 10.5 y 17.8 °C, respectivamente (Flores *et al.*, 1996).

La topografía de la cuenca es lomerío con pendientes de 1 a 58%. De acuerdo con la cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el suelo es, en gran parte de la cuenca, Luvisol férrico, de textura arcillosa o migajón arcilloso, con profundidad de hasta 1 m. Otro tipo de suelo que se presenta en la parte norte es el Planosol eútrico, de textura arcillosa con profundidad de 40 cm o menos. El uso del suelo indica que cerca de 30% de la superficie está dedicada a cultivos anuales, 10% a praderas de temporal, 55% a agostadero con especies nativas y 5% está utilizado con caminos, construcciones y otros usos.

### Cálculo de Escurrimientos Superficiales

Los escurrimientos superficiales se estimaron con el método del escurrimiento medio (SARH-CP, 1982). El método de escurrimiento medio o volumen medio en pequeñas cuencas o áreas de drenaje reducido requiere de la lluvia promedio en el área de la cuenca, el área de drenaje y su coeficiente de escurrimiento, expresado por la relación:

$$V_m = A \cdot C \cdot P_m$$

Donde:  $V_m$  es el volumen promedio que puede escurrir en miles de  $m^3$ ,  $A$  es el área de la cuenca (en  $km^2$ ),  $C$  es el coeficiente de escurrimiento, con valores adimensionales que varían de 0.1 a 1, y  $P_m$  es la lluvia promedio en la cuenca (en mm).

### Área de la Cuenca

El área de la cuenca ( $A$ ) se delimitó de fotografías aéreas, que posteriormente se digitalizaron para utilizarse en el SIG Idrisi 32. El área de la cuenca resultó de 5850.63 ha, además de 53.97 ha del embalse de la presa para 5 millones de  $m^3$ , con un total de 5904.6 ha.

### Coficiente de Escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento ( $C$ ) se obtuvo del Cuadro 1, valores que provienen de estudios de lotes de escurrimiento. Estos coeficientes se aplicaron a suelos de uso agrícola, con pastizal y de uso forestal, con los intervalos de pendiente de 0 a 5%, 5 a 10%, 10 a 30% y más de 30% en texturas finas, medias y gruesas (TRAGSA, 1994).

La información del uso del suelo se obtuvo de fotografías aéreas del vuelo de noviembre de 1993, realizado por INEGI (Figura 1).

El porcentaje de pendiente se obtuvo del modelo de elevación digital (MED) del INEGI, con píxeles cada 90 m. A partir del MED se generó un mapa de pendientes de acuerdo con los intervalos señalados en el Cuadro 1, por medio del SIG Idrisi 32 (Figura 2).

La textura del suelo se obtuvo de un muestreo sistemático de suelos de toda la cuenca a una profundidad de 0 a 30 cm, con puntos equidistantes cada 500 m,

Cuadro 1. Valores de  $C$  para el cálculo del escurrimiento (TRAGSA, 1994).

Uso del suelo	Pendiente	Textura del suelo		
		Gruesa	Media	Fina
	%			
Bosque	0 - 5	0.10	0.30	0.40
	5 - 10	0.25	0.35	0.50
	10 - 30	0.30	0.40	0.60
	> 30	0.32	0.42	0.63
Pastizal	0 - 5	0.15	0.35	0.45
	5 - 10	0.30	0.40	0.55
	10 - 30	0.35	0.45	0.65
	> 30	0.37	0.47	0.68
Cultivo agrícola	0 - 5	0.30	0.50	0.60
	5 - 10	0.40	0.66	0.70
	10 - 30	0.50	0.70	0.80
	> 30	0.53	0.74	0.84

localizados geográficamente mediante un sistema global de posicionamiento (GPS de sus siglas en inglés). Se elaboró una base de datos de las fracciones de arena, limo y arcilla, en mapas tipo raster con píxeles cada 90 m y generados en programas de interpolación en Turbo C y manipulados en el SIG Idrisi 32. Las fracciones texturales se agruparon en las clases fina, media y gruesa, sugeridas por FAO e indicadas en el Cuadro 2 (Ortiz y Ortiz, 1988). El mapa final de texturas se muestra en la Figura 3.

El coeficiente de escurrimiento promedio en la cuenca se determinó utilizando la media ponderada, expresada por la relación:

$$C = \frac{w_1 \cdot C_1 + w_2 \cdot C_2 + \dots + w_n \cdot C_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Donde:  $C$  es la media ponderada del coeficiente de escurrimiento en la cuenca,  $w_1, w_2, \dots, w_n$  son los ponderadores en función de la superficie que ocupó cada coeficiente de escurrimiento  $C_1, C_2, \dots, C_n$ .

### Precipitación

Los datos de lluvia utilizados se tomaron de la estación meteorológica del Campo Experimental Altos de Jalisco (CEAJAL); los registros diarios de lluvia correspondieron al periodo de 1983 a 2000.

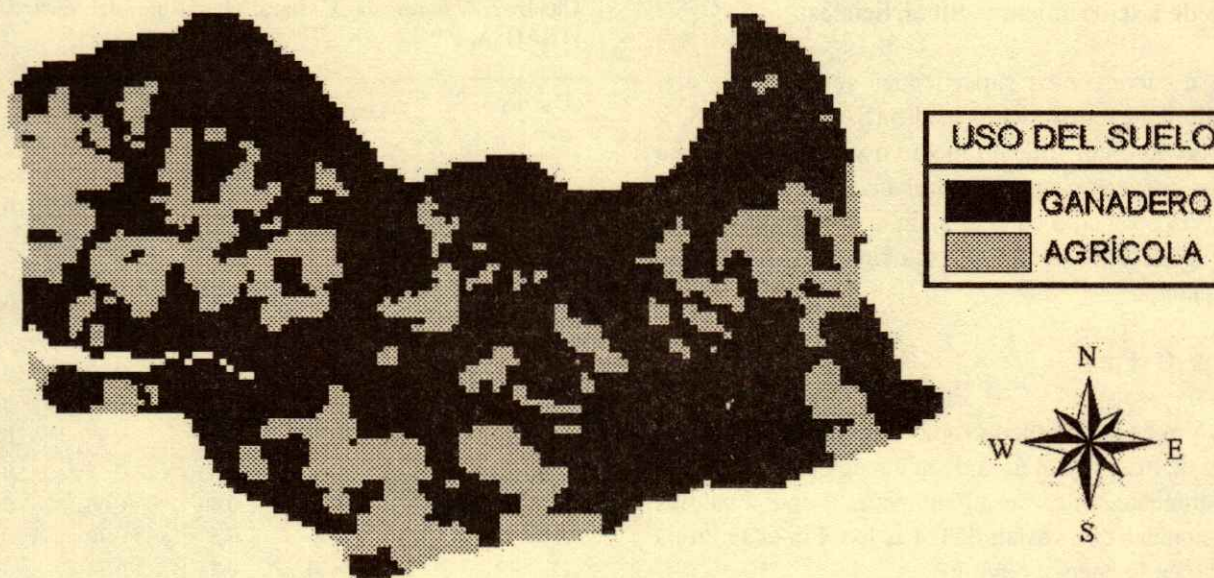


Figura 1. Uso del suelo en la cuenca El Jihuite, Jalisco, México.

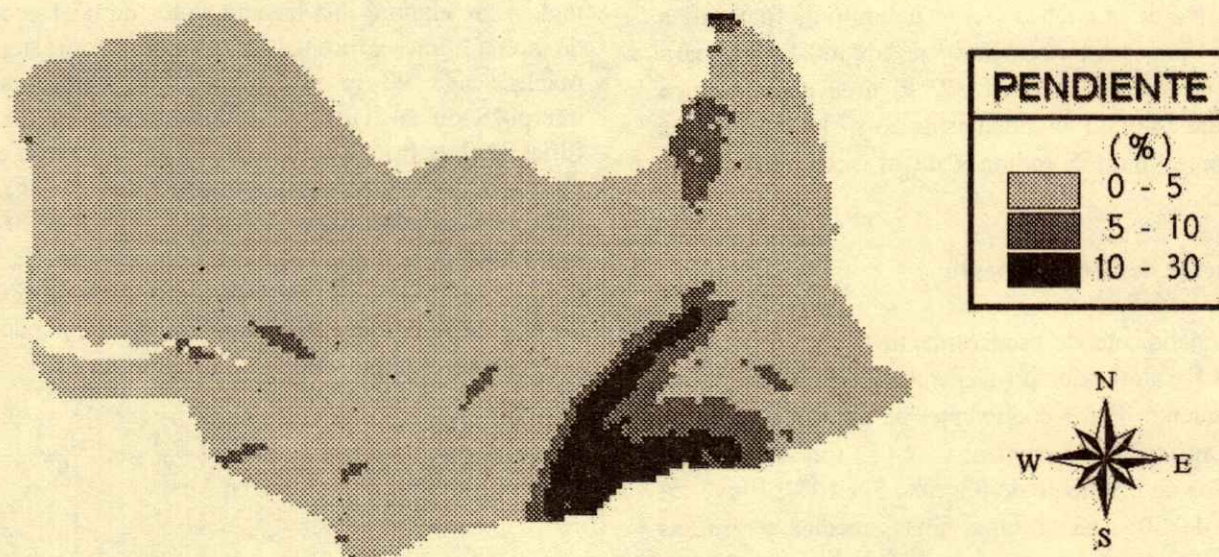


Figura 2. Pendientes en la cuenca El Jihuite, Jalisco, México, clasificadas de acuerdo con los valores indicados en el Cuadro 1, para el cálculo del escurrimiento superficial.

La Figura 4 muestra los polígonos de Thiessen para determinar el área de influencia de estaciones meteorológicas que rodean al área de estudio; en esta figura se aprecia que la estación del CEAJAL cubre la cuenca El Jihuite, razón por la cual sólo se usó esta estación en el análisis de escurrimientos.

Dado que la formación del escurrimiento superficial es función de la topografía, las

características físicas del suelo, la cobertura vegetal y el uso de la tierra (Svetlichnyi y Svetlichnaya, 2001), su modelación es un proceso más complejo en tiempo y espacio que contrastaría con la simplicidad buscada. Por la razón anterior, cuando la lluvia fue menor que 25.4 mm en 24 h, se consideró que no ocurrió escurrimiento; este valor se usa en modelos de balance de agua y corresponde a la lámina almacenada en la

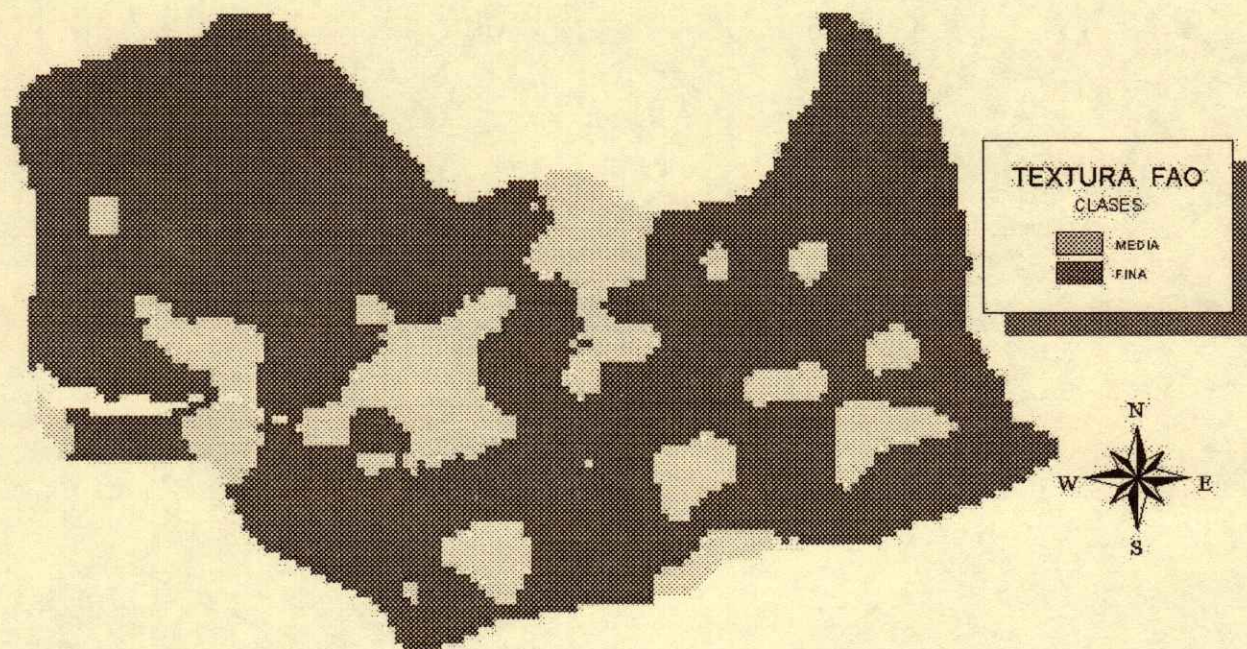


Figura 3. Clases texturales de acuerdo con la clasificación FAO, presentes en la cuenca El Jihuite, Jalisco, México.

Cuadro 2. Límites de las clases texturales de la FAO (Ortiz y Ortiz, 1988).

Clase textural	Arena	Limo	Arcilla
	----- % -----		
Gruesa	65 - 100	0 - 35	0 - 18
Media	0 - 82	0 - 100	0 - 35
Fina	0 - 65	0 - 65	35 - 100

capa superior del suelo (Baier y Robertson, 1966; Moncada y Palacios, 1985), donde se presentan las condiciones para que ocurra la evapotranspiración a una tasa potencial (Haan, 1976).

### Análisis de la Información

Otro aspecto de interés es, conocer la frecuencia con que se llenará el embalse de la presa, para lo cual se recomienda determinar la probabilidad observada de los datos de escurrimiento y, posteriormente, su periodo de retorno (Guo y Adams, 1998; Aparicio, 2001), esto sin tratar de hacer predicciones más allá que lo permitido por los propios datos. La probabilidad observada y el periodo de retorno se expresan por:

$$P_{(X \geq X_0)} = \frac{m}{n+1} \quad ; \quad T = \frac{1}{P_{(X \geq X_0)}}$$

Donde:  $P_{(X \geq X_0)}$  es la probabilidad de excedencia observada del evento de escurrimiento  $X$ ,  $m$  es el número de orden de cada uno de los datos de escurrimiento ordenados de mayor a menor,  $n$  es el total de eventos de escurrimiento observados y  $T$  es el periodo de retorno, definido como el periodo de tiempo promedio, en años, cuando un determinado evento es igualado o superado por lo menos una vez (Monsalve, 1999).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como primer resultado, se presenta el coeficiente de escurrimiento dentro del área de drenaje de la cuenca; después, se muestra el análisis de la lluvia de una serie histórica de 18 años, para finalmente obtener el volumen de escurrimiento de agua.

### Coefficiente de Escurrimiento

El Cuadro 3 contiene el coeficiente de escurrimiento y la superficie que ocupa cada valor de  $C$  dentro de la cuenca. El valor de  $C$  varió desde 30 a 72%, pero las mayores superficies se tuvieron en los coeficientes 30, 40 y 50%, y pequeñas superficies con valores de 62 y 72%.

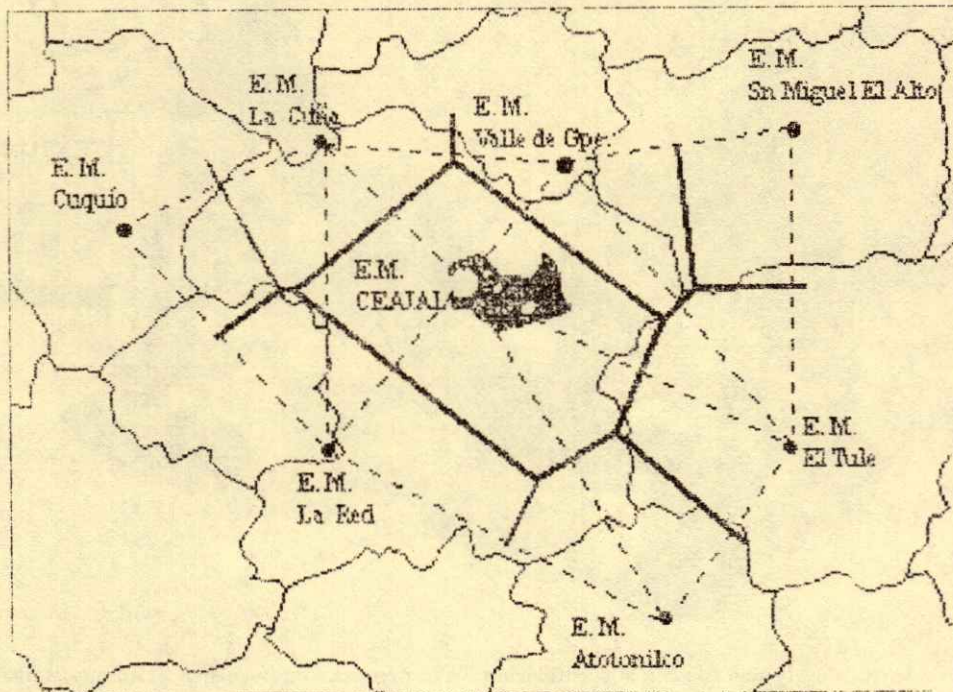


Figura 4. Determinación del área de influencia de la estación meteorológica (E.M.) del CEAJAL, mediante polígonos de Thiessen.

El valor ponderado de C en la cuenca El Jihuite resultó de 0.426, con el que se estimó el volumen de escurrimiento.

La distribución espacial del coeficiente de escurrimiento (C) dentro del área de estudio se muestra en la Figura 5. El cotejo de la Figuras 2, 3 y 4 con la Figura 5, permite identificar que los rasgos de C con valor igual o superior a 55%, se asocian a la textura fina y pendiente mayor que 5%; C igual a 30% se relaciona con la textura media; C igual a 40%, se asocia al uso del suelo pecuario; C con valor de 50% se relaciona con el uso del suelo agrícola.

La combinación de textura fina y pendiente alta está presente en la cuenca y el resultado son valores de C elevados, como se observa en la Figura 5. Critchley y Siegert (1991) mencionaron que la textura fina o el alto contenido de arcilla o de limo, fueron sensibles a la formación de una capa que baja la capacidad de infiltración del suelo y favorece el escurrimiento. Por otro lado, Sharma *et al.* (1986) indicaron que el aumento en la pendiente también tiene un efecto significativo sobre el escurrimiento.

Critchley y Siegert (1991) mencionaron que la textura del suelo se asoció al escurrimiento superficial por la porosidad, propiedad que, a su vez, determina la

capacidad de infiltración del suelo, de manera que la textura arenosa (o gruesa) tiene una capacidad de infiltración mayor, es decir, menor escurrimiento y, en suelos de textura arcillosa (o fina), la infiltración es menor, o sea, el escurrimiento es mayor. Lo anterior explica porque la Figura 5 muestra el valor de C en suelos de textura media más bajo, mientras en suelos de textura fina éste fue más alto.

Por otro lado, con el uso de suelo de la cuenca también se observó un incremento en el valor del coeficiente de escurrimiento, de manera que los suelos agrícolas tuvieron más alto valor de C en comparación con los suelos pecuarios. La causa se atribuye al mayor contenido de materia orgánica (MO) en el pastizal con respecto al suelo agrícola, la cual aumenta

Cuadro 3. Superficie que ocupó el coeficiente de escurrimiento (C) en la cuenca El Jihuite.

Valor C	Superficie	Valor C	Superficie
	ha		ha
30	904.77	55	387.18
36	71.28	60	212.22
40	2787.21	62	11.34
42	112.59	72	11.34
50	1352.70	<b>Media ponderada</b>	<b>0.426</b>



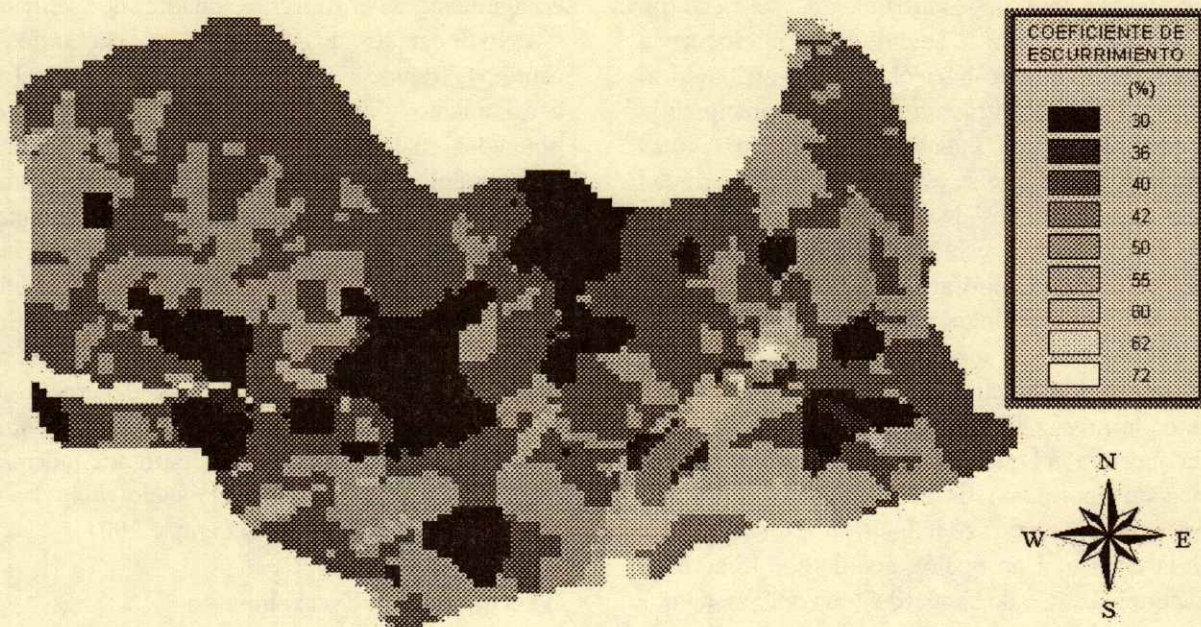


Figura 5. Distribución espacial de los coeficientes de escurrimiento (C) de la cuenca El Jihuite, Jalisco, México.

la porosidad del suelo y favorece la infiltración, como lo señalaron Kimble y Lal (2000), quienes indicaron que suelos continuamente cultivados con diferente manejo presentaron  $20.76 \text{ kg m}^{-3}$  de MO, mientras que terrenos continuamente pastoreados tuvieron  $32.33 \text{ kg m}^{-3}$  de MO; dichos resultados se atribuyen a la mineralización del suelo agrícola por las diferentes operaciones de labranza y la erosión edáfica, donde, después de la fase de deposición en tierras abajo, el contenido de MO se incrementó a  $29.79 \text{ kg m}^{-3}$ . En condiciones donde se restablece la vegetación original, la erosión y coeficiente de escurrimiento tienden a disminuir, con el consecuente aumento del contenido de MO (García *et al.*, 2001).

Con el uso del suelo pecuario se asocia la cobertura del suelo, factor que se ha identificado como determinante en el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo (Hamlett *et al.*, 1984).

Al uso del suelo agrícola también se asocia la cobertura del suelo, las prácticas de cultivo y labranza, factores que se relacionan con el escurrimiento superficial (Hamlett *et al.*, 1984) y con implementación en campo permite reducir los valores de C, como lo demuestran Yu *et al.* (2000), quienes indicaron que prácticas como la labranza de conservación tiene un C del orden de 0.07, valor bajo comparado con el de otras, como el manejo tradicional

del agricultor que tiene un C igual a 0.18, el surcado en contorno con un C igual a 0.15 y el surcado en contorno con subsoleo, un C igual a 0.16.

Dado que los coeficientes de escurrimiento llevan implícitos los factores de cobertura, prácticas de manejo de cultivo y labranza, resulta difícil que los valores de C utilizados puedan representar todas las condiciones existentes de manera local. Para evaluar con precisión los efectos de cobertura del suelo, prácticas de cultivo y labranza, para condiciones *in situ* de la cuenca El Jihuite, es necesario obtener valores de C usando herramientas como lotes de escurrimiento (Figuroa *et al.*, 1983) o microcuencas (Mutchler *et al.*, 1994).

Ya que el uso del suelo es un componente muy dinámico, se requiere de una evaluación continua que haga referencia a esos cambios, por lo que la fotografía aérea y las imágenes de satélite son herramientas utilizadas para identificar la dinámica del uso del suelo y su cobertura (Lillesand y Kiefer, 2000).

Otro aspecto que debe considerarse al utilizar el coeficiente de escurrimiento, es el efecto de cambio de escala al extrapolarse de un lote experimental a una cuenca, llamado escalamiento, el cual, por lo regular, no es un proceso lineal (Zhang *et al.*, 2000). Critchley y Siegert (1991) indicaron que el coeficiente de escurrimiento disminuye exponencialmente al aumentar

el área de captación, de manera que en pequeñas áreas como el de un lote de escurrimiento, se tiene un escurrimiento mayor que el medido en la microcuenca del tamaño de un predio agrícola, efecto atribuido al mayor tiempo de concentración del escurrimiento en la microcuenca. Para una cuenca, el valor de  $C$  más adecuado sería aquél que se acercará más a la realidad (Zhang *et al.*, 2000), es decir, en la que el proceso opera en la naturaleza y está asociado con su amplitud espacial y variación temporal. En tal caso, el mejor  $C$  utilizado en la metodología del escurrimiento medio sería el obtenido con la medición de lluvia que ocurre en la cuenca con respecto al agua que se capta en el embalse de la presa. Sin embargo, con este enfoque se pierde la oportunidad que ofrece el SIG para identificar las zonas de aportación de escurrimiento y modelar cambios para aumentar o reducir la producción de agua de la cuenca. Una opción acorde con lo anterior sería determinar  $C$  de acuerdo con el área que representa cada píxel del SIG, en la que se intenta detectar cómo varía el proceso (Zhang *et al.*, 2002). Imágenes raster, como las utilizadas en el presente trabajo, tuvieron una resolución de 90 m, lo que genera un área que contribuye al escurrimiento de 8100 m<sup>2</sup>. Bajo este contexto, para obtener un valor de  $C$  más recomendable sería utilizar microcuencas con superficie cercana al tamaño de los píxeles utilizados en el SIG. Otra opción es, reducir la superficie de los píxeles a valores cercanos a los lotes de escurrimiento, que por lo regular va de 50 a 100 m<sup>2</sup>. En ambos casos, debe hacerse un análisis de escalamiento para aplicarlo a escala de cuenca (Zhang *et al.*, 2002).

Se reconoce que existe incertidumbre sobre el efecto del cambio de escala al utilizar coeficientes de escurrimiento obtenidos en lotes de escurrimiento, aplicarlos en píxeles de 8100 m<sup>2</sup> y transformados después para aplicarse en la cuenca. Un efecto de compensación sobre el cambio de escala se dio con la aplicación de un valor de lluvia en que se consideró comienza el escurrimiento superficial (lluvia umbral), el cual actúa en ese proceso y sobre la escala de tiempo de medición. Zhang *et al.* (2002) mencionaron que la escala de medición temporal en procesos como el flujo superficial tiene un comportamiento potencial, de manera que en tiempos cortos (horas o un día) el resultado es de un valor pequeño, mientras que en tiempos largos (año) el resultado es un valor de mayor magnitud. Aunque el análisis de la información se hizo anualmente, al evaluar el proceso de escurrimiento

cada día, marcó efectos compensatorios sobre el escalamiento de la superficie de lotes de escurrimiento.

No obstante lo anterior, es necesario iniciar estudios donde se definan los parámetros de escalamiento de coeficientes de escurrimiento obtenidos en lotes de superficie pequeña (1 a 50 m<sup>2</sup>) para su aplicación en escalas más grandes, como el de cuenca, y tiempos de medición, diario hasta anual.

Finalmente, un aspecto importante que surge al identificar la distribución espacial de los coeficientes de escurrimiento en una cuenca, es la posibilidad de modelar de manera muy sencilla cambios en las prácticas mecánicas o cobertura del suelo, que se reflejen en nuevos valores de  $C$  para incrementar o reducir la producción de agua, pero que, además, sean menos degradantes para el suelo que las en la actualidad utilizadas (García *et al.*, 2001).

### Precipitación y Escurrimiento

Con los datos diarios de lluvia de la serie histórica de 1983 a 2000, con eventos mayores que 25.4 mm y el coeficiente de escurrimiento ( $C = 0.426$ ), se estimó la cantidad de agua que escurrió anualmente (Cuadro 4).

El Cuadro 4 muestra que en los años 1998 y 2000 hay derrame de agua en la cortina, al exceder la capacidad del embalse (5 millones de m<sup>3</sup>), pero de acuerdo con datos registrados por autoridades municipales, en 1998, la presa El Jihuite no tuvo excedentes y, en el año 2000, sólo se percibió un derrame ligero. La explicación de no observarse el derrame estimado se debe al consumo de agua del orden de 8640 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, que equivaldría a 1.296 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en el periodo de lluvias (junio a octubre). Al restar esta cantidad de agua al escurrimiento estimado en 1998, el resultado es un volumen de agua menor que la capacidad de almacenamiento de la presa. En el año 2000, la diferencia fue mayor, lo cual explica el derrame observado.

El Cuadro 4 también muestra que en algunos años, aunque ocurrió menos lluvia, el escurrimiento fue mayor que en años con más lluvia. La causa se explica por el número de eventos con escurrimiento y la lluvia umbral de 25.4 mm, con la que se definió el comienzo del escurrimiento. Dado que la lluvia umbral que produce escurrimiento es función de la humedad antecedente, intensidad de la tormenta y duración de la tormenta (Sharma *et al.*, 1986), Chandler y Walter

**Cuadro 4. Precipitación, escurrimiento estimado en la cuenca El Jihuite, para una superficie de 5850.63 ha y coeficiente de escurrimiento  $C = 0.426$  y el número de eventos para tener el escurrimiento.**

Año	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Precipitación (mm)	757.2	588	944.3	902.7	647.5	919.4	611.3	892.4	861.5	940.8	738.7	756.2	903.2	655.8	641.1	846.9	599.8	743.1
Escurrecimiento ( $m^3 \times 10^6$ )	5.20	2.85	10.14	7.23	3.65	9.61	3.18	6.72	7.83	11.50	4.93	8.08	8.89	3.79	4.33	6.03	2.38	7.97
Eventos con escurrimiento	6	3	10	7	4	10	3	8	8	12	6	8	9	4	5	7	3	8

(1998) encontraron en un área de estudio con 2200 mm de lluvia anual, que en condiciones de humedad antecedente (CHA) del suelo húmedas, la lluvia umbral es menor que en CHA secas, exhibiendo un comportamiento lineal entre la cantidad de lluvia y el escurrimiento superficial; el coeficiente de escurrimiento fue mayor en CHA húmedas con respecto a las CHA secas. Estos autores indicaron que la lluvia umbral para producir escurrimiento, cuando las CHA eran húmedas, varió ampliamente de acuerdo con el uso del suelo, desde 4 mm, en pastizales con barbecho; 21 mm, en pastizal con barbecho y surcado en contorno; 33 mm, en suelos arados; 46 mm, en suelos con cobertura y, hasta 95 mm, en bosques. En CHA seca para pastizales con barbecho, la lluvia umbral fue de 28 mm; para pastizal con barbecho y surcado en contorno resultó de 45 mm, en terrenos arados 50 mm y en suelos con cobertura 36 mm.

Por otro lado, Sharma *et al.* (1986) encontraron para condiciones áridas con lluvia promedio anual de 360 mm, en los años iniciales del estudio, que la lluvia umbral para producir escurrimiento está en el intervalo de 4.7 a 6.0 mm, con coeficiente de escurrimiento de 22 a 36%. Siete años después, la lluvia umbral fue de 1.3 a 3.1 mm, con coeficiente de escurrimiento del orden de 52 a 56%.

Con base en los estudios anteriores, la lluvia umbral utilizada puede considerarse adecuada, aunque es conveniente indicar la necesidad de determinar el valor local. La escasa información disponible de características de la lluvia, como intensidad, duración y distribución, hace improrrogable su obtención, con lo que se podría mejorar la presente metodología, inclusive utilizar otras como el método racional o el número de curva del Servicio de Conservación de Estado Unidos (Wanielista *et al.*, 1997), que en la actualidad tienen una aplicación limitada en México. En particular, el número de curva requiere investigación orientada a determinar los parámetros

dependientes del uso de suelo, cobertura vegetal, sistemas de cultivo, condiciones de infiltración y el grupo hidrológico a que pertenece según su potencial de escurrimiento (TRAGSA, 1994).

Para el caso de la cuenca El Jihuite, la estimación del escurrimiento se podría mejorar al usar una red pluviométrica más amplia; con fines de investigación para una superficie como la de la cuenca en cuestión se recomiendan 23 pluviómetros distribuidos de forma uniforme (Brakensiek *et al.*, 1979), aunque para fines más prácticos tres pluviómetros son suficientes, de acuerdo con la expresión indicada por Romo y Arteaga (1983).

En el Cuadro 4, también se aprecia la ocurrencia de volúmenes de escurrimiento desde 2.38 hasta 11.50 millones de  $m^3$ . A partir de esta información, se calculó su periodo de retorno y la probabilidad de excedencia, como se muestra en la Figura 6.

El embalse de la presa El Jihuite tiene una capacidad de 5 millones de  $m^3$ , por lo que este volumen se superará en un periodo de retorno de menos de dos años y sólo cada nueve años se duplicará la capacidad de almacenamiento.

En la Figura 6, también se indica la probabilidad de excedencia de escurrimientos de agua a captarse en la cuenca El Jihuite; en el Cuadro 5, se presenta un resumen con valores de probabilidad de 10, 25, 50, 75 y 90%. Estas probabilidades indican que uno de cada nueve eventos tendrá 10.38 millones de  $m^3$  o más, pero sólo en nueve de cada 10 eventos escurrirán 2.80 millones de  $m^3$  o más y sólo se tiene 61.75% de probabilidad de excedencia para que los eventos superen la capacidad de la presa.

El periodo de retorno y la probabilidad de excedencia del escurrimiento superficial indican que la disponibilidad de agua para el embalse de la presa El Jihuite temporalmente es mayor que la permitida por su capacidad de almacenamiento. Una opción de aprovechamiento del agua excedente dentro de la

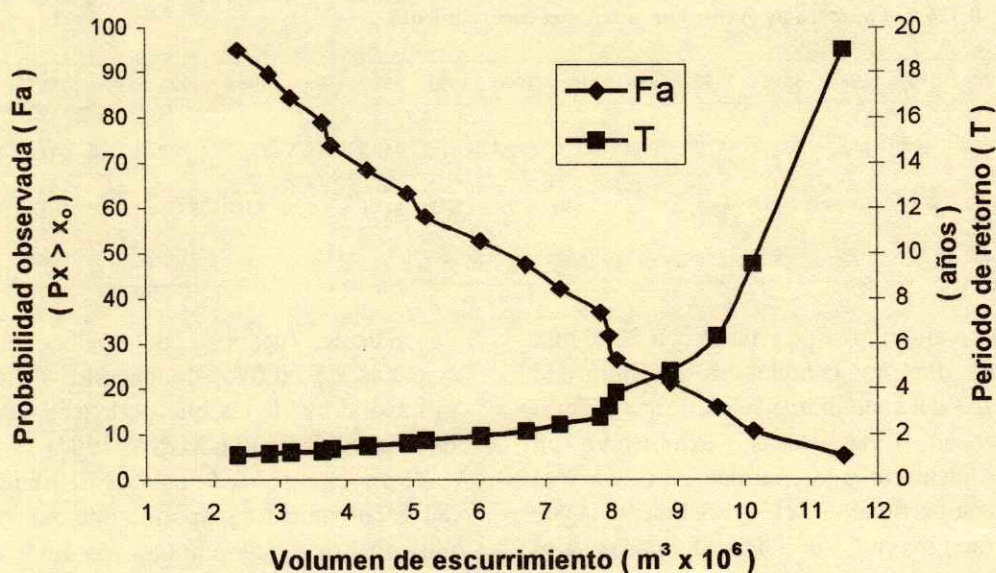


Figura 6. Probabilidad de excedencia (Fa) y periodo de retorno (T) de volúmenes de escurrimiento en la cuenca El Jihuite.

cuenca podría ser el permitir una mayor infiltración de ésta, expresada por la disminución en los coeficientes de escurrimiento (C), utilizando para tal fin cambios en el uso de suelo que implique mayor cobertura del suelo o prácticas de manejo que permitan un menor escurrimiento superficial.

En el caso hipotético de una reducción de 0.10 en el coeficiente de escurrimiento de la cuenca, es decir, de 0.426 a 0.326, el periodo de retorno y la probabilidad de excedencia de los escurrimientos se presentan en la Figura 7.

El resultado es un periodo de retorno (T) de dos años para tener la capacidad de almacenamiento de la presa, con una probabilidad de excedencia (Fa) de los eventos de escurrimiento de 48.8%. Aunque el cambio es pequeño en T y Fa, se tiene un incremento

Cuadro 5. Probabilidad de excedencia de escurrimientos de agua en la cuenca El Jihuite.

Probabilidad	Escurrimiento
$X \geq X_0$	$m^3 \times 10^6$
10	10.38
25	8.28
50	6.37
75	3.75
90	2.80

importante en el volumen de escurrimiento del orden de 1.49 millones de  $m^3$  de agua, el que podría destinarse a la producción agropecuaria o a la recarga del acuífero. Escenarios como el anterior permiten hacer una modelación sencilla pero útil para la planeación del manejo de recursos como el agua a escala de cuenca y permite apoyar a los tomadores de decisiones.

Finalmente, aunque se demostró la factibilidad de aplicar una metodología sencilla para la estimación de escurrimiento superficial con instrumentos actuales como el SIG, debe visualizarse la posibilidad de utilizar modelos hidrológicos integrados también a un SIG, que se ha comprobado como herramientas de utilidad en la planeación del manejo de cuencas (Arnold *et al.*, 1987; Ramírez, 1992; Eiumnoh, 2000).

## CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos muestran la factibilidad de aplicar el método del escurrimiento medio para la estimación del escurrimiento superficial a escala de cuenca hidrográfica, apoyada en un sistema de información geográfica.
- El valor de C varió desde 30 a 72%, y las mayores superficies se tuvieron en los coeficientes 30, 40 y 50%, y las pequeñas con valores de 62 y 72%. El valor ponderado de C en la cuenca resultó de 0.426, el cual permitió estimar el volumen de escurrimiento.

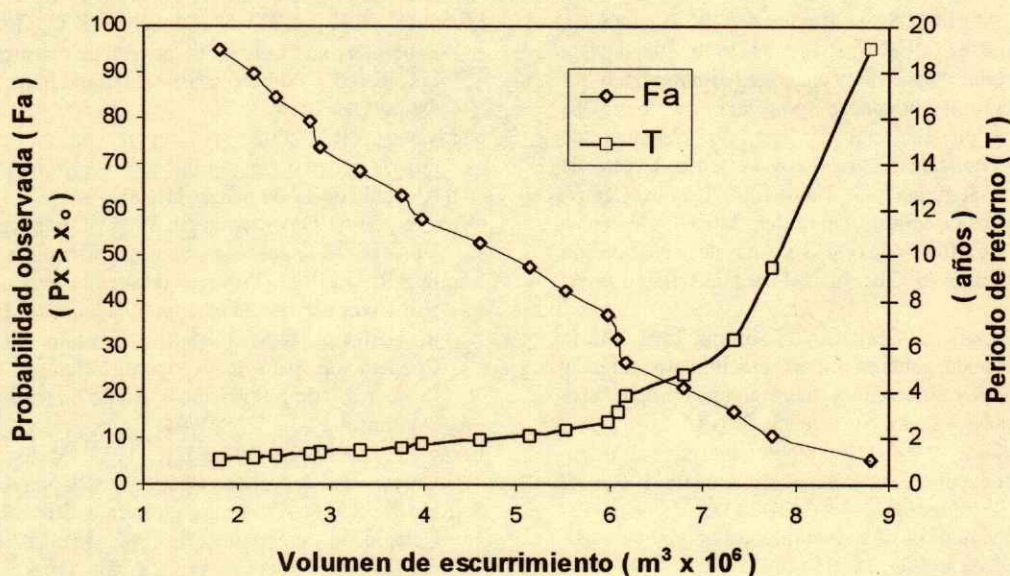


Figura 7. Probabilidad de excedencia (Fa) y periodo de retorno (T) de volúmenes de escurrimiento en la cuenca El Jihuite, considerando una reducción en C de 0.426 a 0.326

- Aunque la distribución espacial de los coeficientes de escurrimiento se consideraron adecuados, existe cierta incertidumbre sobre su desempeño a causa del cambio del lote de escurrimiento a cuenca, además del efecto compensatorio por la escala tiempo utilizada. También se reconoce la necesidad de obtener coeficientes de escurrimiento propios de la región; para su uso en SIG se recomienda que el área de escurrimiento sea lo más cercana a la distancia entre los píxeles utilizados.

- Se encontró que la capacidad de almacenamiento de la presa El Jihuite es superada en un periodo de retorno de menos de dos años y sólo cada nueve años esa capacidad de almacenamiento se duplicará. La probabilidad de excedencia de eventos de escurrimiento superficial en la cuenca El Jihuite indica que uno de cada nueve eventos tendrá 10.38 millones de  $m^3$  o más, pero sólo nueve de cada 10 eventos escurrirán 2.80 millones de  $m^3$  o más y sólo se tiene 61.75% de probabilidad de excedencia para que los eventos superen la capacidad de almacenamiento de la presa.

- El planteamiento de escenarios sobre el cambio de uso del suelo y coberturas, así como prácticas mecánicas que afectan el coeficiente de escurrimiento, permiten hacer modelación para apoyar a planificadores de cuencas y tomadores de decisiones sobre los recursos hídricos.

## LITERATURA CITADA

- Aparicio M., F.J. 2001. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa. México, D.F.
- Arnold, J.G., M.D. Bircket, J.R. Williams, W.F. Smith y H.N. McGill. 1987. Modeling the effects of urbanization on basin water yield and reservoir sedimentation. Water Resources Bull. 23: 1101-1107.
- Baier, W. y G.W. Robertson. 1966. A new versatile soil moisture budget. Can. J. Plant Sci. 46: 299-315.
- Brakensiek, D.L., H.B. Osborn y W.J. Rawls. 1979. Field manual for research in agricultural hydrology. Agriculture Handbook 224. US Department of Agriculture. Washington, D.C.
- Brooks, K.N., P.F. Ffolliott, H.M. Gregersen y J.L. Thames. 1993. Hydrology and the management of watersheds. Iowa State University Press. Ames, IA.
- Chandler, D.G. y M.F. Walter. 1998. Runoff response among common land uses in the uplands of Matalom, Leyte, Philippines. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 41: 1635-1641.
- Critchley, W. y K. Siegert. 1991. Manual para el diseño y construcción de sistemas de captación de aguas de lluvia para la producción agrícola. Trad. al español por M. Anaya Garduño. Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas. Roma, Italia.
- Eiumnoh, A. 2000. Integration of geographic information systems (GIS) and satellite remote sensing (SRS) for watershed management. <http://www.agnet.org/library/abstract/tb150.html> (Consultado 18 de marzo 2002)
- Figuroa S., B., M. Martínez M. y R.M. Pérez F. 1983. Instructivo para el establecimiento de lotes de escurrimiento.

- DGCSA-SEL. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F.
- Flores L., H.E., J.A. Martínez S., H. Ramírez V., V. Alemán M., P. Díaz M., J.A. Ruiz C. y K.F. Byerly M. 1996. Diagnóstico agroclimático y edafológico de la cuenca El Jihuite. pp. 6-10. *In: Manejo integral de la cuenca agropecuaria y forestal El Jihuite. Publicación Especial 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional Pacifico Centro-Campo Experimental Altos de Jalisco. Tepatlán, Jalisco, México.*
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a Edición. Talleres de Offset Larios. México, D.F.
- García P., F., M. Pérez B., S. Christie y P. Santini. 2001. Efecto de la intensidad de laboreo en el crecimiento aéreo y radicular de *Eucalyptus dumii* y sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo. *Agrociencia* 5: 1-9.
- Guo, Y. y B.J. Adams. 1998. Hydrologic analysis of urban catchments with event-based probabilistic models. 1. Runoff volume. *Water Resources Res.* 34: 3421-3431.
- Haan, C.T. 1976. Evaluation of a monthly water yield model. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 19: 55-60.
- Hamlett, J.M., J.L. Baker, S.C. Kimes y H.P. Johnson. 1984. Runoff and sediment transport within and from small agricultural watersheds. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 27: 1355-1363.
- Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. Trad. al español por José Ma. García Ruiz y Juan Pablo Martínez Rica. Editorial Reverté. Barcelona, España.
- Kimble, J.M. y R. Lal. 2000. Watershed management for mitigating the greenhouse effect. pp. 367-389. *In: Lal, R. (ed.). Integrated watershed management in the global ecosystem. CRC Press. Boca Ratón, FL.*
- Lillesand, T.M. y R.W. Kiefer. 2000. Remote sensing and image interpretation. 4a. ed. John Wiley. New York.
- Martínez S., J.A., V. Ramírez V., H.E. Flores L., V. Alemán M. y P. Díaz M. 1996. pp. 1-5. *In: Manejo integral de la cuenca agropecuaria y forestal El Jihuite: Informe de la primera etapa. Publicación Especial 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional Pacifico Centro-Campo Experimental Altos de Jalisco. Tepatlán, Jalisco, México.*
- Mays, L.W. 2001. Water resources engineering. John Wiley. New York.
- Moncada M., E.D. y E. Palacios V. 1985. Aplicación de un modelo de simulación para predecir escurrimientos mensuales en una cuenca. *Agrociencia* 59: 95-111.
- Monsalve S., G. 1999. Hidrología en la ingeniería. 2a. ed. Alfaomega. México, D.F.
- Mutchler, C.K., C.E. Murphree y K.C. McGregor. 1994. Laboratory and field plots for erosion research. pp. 11-37. *In: Lal, R. (ed.). Soil erosion research methods. St. Lucie Press. Delray Beach, FL.*
- Narayanan, R. 2002. A report on watershed models. <http://Abe.www.ecn.purdue.edu/~narayanan/models.pdf> (Consultado 17 de marzo de 2002)
- Ortiz V., B y C.A. Ortiz S. 1988. Edafología. 7a Edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Ramírez R., J. 1992. Proyecto desarrollo agrícola sostenible en San Juan de la Maguana: Diagnóstico físico. Convenio IICA/BID ATN/SF-3185-RE. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-Centro de Programas y Proyectos de Inversión. Santo Domingo, República Dominicana.
- Romo G., J.R. y R. Arteaga R. 1983. Meteorología agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- SARH-CP. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Colegio de Postgraduados. 1982. Manual de Conservación del Suelo y del Agua. 2a ed. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Sharma, K.D., O.P. Pareek y H.P. Singh. 1986. Microcatchment water harvesting for raising jujube orchards in an arid climate. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 29: 112-118.
- Svetlichnyi, A.A. e I.A. Svetlichnaya. 2001. Spatial models of overland runoff formation. *Water Resources* 28: 424-433.
- TRAGSA. Empresa de Transformación Agraria S.A. 1994. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Wanielista, M., R. Kersten y R. Eaglin. 1997. Hydrology: Water quantity and quality control. 2a ed. John Wiley. New York.
- Yu, B., S. Sombatpanit, C.W. Rose, C.A.A. Ciesoilka y K.J. Coughlan. 2000. Characteristic and modeling of runoff hydrographs for different tillage treatments. *Soil Sci. Soc. Am.* 64: 1763-1770.
- Zhang, X., N.A. Drake y J. Wainwright. 2000. Scaling issues in environmental modeling. <http://crsa.bu.edu/~zhang/> (Consultado 17 de marzo de 2002)
- Zhang, X., N.A. Drake y J. Wainwright. 2002. Scaling land-surface parameters for global scale soil-erosion estimation. <http://crsa.bu.edu/~zhang/> (Consultado 17 de marzo 2002)

# FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y POTÁSICA DEL COCOTERO EN COLIMA

Nitrogen and Potassium Fertilization in Coconut Palm in Colima, Mexico

Octavio Pérez Zamora<sup>1</sup>

## RESUMEN

La industria del cocotero (*Cocos nucifera* L.) en el estado de Colima, México, contribuye con 21% de la superficie plantada y con 40% de la producción de copra del país, sin embargo, su productividad es baja. En México, son pocas las huertas que producen más de 1 Mg ha<sup>-1</sup> de copra año<sup>-1</sup>. El objetivo del estudio fue observar la respuesta de la palma de coco a la aplicación de dosis de N y K (0, 0.4, 0.8 y 1.6 kg árbol<sup>-1</sup> de N y K, respectivamente). La palma de coco tenía 30 años de edad, establecida en suelo de textura arenosa. Los resultados mostraron que la aplicación de N y K (0.4 N-0.4 K, 0.8 N-0.8 K y 0.4 N-1.6 K) incrementó el número de cocos por palma y la producción de copra por hectárea por año. El efecto de los fertilizantes se observó a cuatro, ocho y 12 meses después de su aplicación; a cuatro meses, el K solo (0 N-0.8 K) fue superior en 18.9% al testigo, en el número de cocos por palma, copra por palma y copra por nuez; mientras que la combinación N x K (0.8 N-0.8 K y 0.4 N-1.6 K) aumentó significativamente ( $P < 0.001$ ) en 34% el número de cocos por palma y la cantidad de copra por palma con respecto al testigo a ocho y 12 meses después de aplicar los fertilizantes. La época de corte de diciembre (12 meses después de fertilizar el cultivo) produjo 1.55 veces más cocos que el corte efectuado a cuatro y ocho meses. La respuesta estimada en copra de palma por hectárea y número de cocos por palma se representó por dos ecuaciones de regresión múltiple con  $R^2 = 0.97$  y  $0.96$ , respectivamente. La predicción, con la ecuación de regresión de copra fue de 2.59 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con 0.491 y 0.974 kg de N y K palma<sup>-1</sup>, respectivamente; mientras que el número estimado de cocos fue de 100 palma<sup>-1</sup> con la aplicación de 0.831 y 1.236 kg de N y K, respectivamente.

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Tecmán. Km. 34.5 Carretera Colima-Manzanillo, 28100 Tecmán, Colima, México.  
(inifaptecoman@prodigy.net.mx)

Recibido: Septiembre de 2000. Aceptado: Noviembre de 2002.  
Publicado en Terra 21: 401-408.

*Palabras clave:* *Cocos nucifera* L., palma de coco, copra, cocos.

## SUMMARY

The coconut (*Cocos nucifera* L.) industry in the state of Colima, Mexico, contributes 21% of the acreage and 40% of the country's copra production; however, productivity is low. Very few coconut farms in the country yield over 1 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. The objective of this study was to observe the response of coconut palm to N and K levels applied as fertilizers (0, 0.4, 0.8, and 1.6 kg tree<sup>-1</sup> of N and K, respectively). The coconut plantation was 30 years old and located on a sandy soil. Results showed that N and K (0.4 N-0.4 K, 0.8 N-0.8 K, and 0.4 N-1.6 K) increased both the number of nuts per palm and copra yield per hectare per year. Fertilizer effect was observed at four, eight, and 12 months after adding N and K; after four months, with K alone (0 N-0.8K) the number of coconut fruits per tree, copra yield per palm and copra per nut was 18.9% higher than the control, while the additions of N x K (0.8 N-0.8 K and 0.4 N-1.6 K) significantly increased ( $P < 0.001$ ), by 34%, the number of nuts per palm and the copra yield per tree with respect to the control at eight and 12 months after adding fertilizers. The December harvest yielded 1.55 more nuts per tree than the harvest done at four and eight months after applying fertilizers. The estimated responses for copra yield per hectare and for the nuts per palm were also expressed by two multiple regression equations with  $R^2 = 0.97$  and  $0.96$ , respectively; the predicted yield, with the multiple regression equation for copra yield was 2.59 Mg ha<sup>-1</sup> with 0.491 and 0.974 kg N and K palm<sup>-1</sup>, respectively. The estimated number of nuts was 100 palm<sup>-1</sup> when adding 0.831 and 1.236 kg N and K applied tree<sup>-1</sup>, respectively.

*Index words:* *Cocos nucifera* L., copra, nuts.

## INTRODUCCIÓN

El estado de Colima contribuye con 21% de la superficie y con 40% de la producción de copra del país; sin embargo, la productividad del cultivo de la palma de cocotero es baja; esto debido a que se le considera un cultivo rústico al que no se le hacen labores culturales directas. El cocotero se encuentra asociado con limón mexicano [*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle]; este último es el cultivo principal, en consecuencia, el rendimiento medio de copra es sólo de 1.1 Mg ha<sup>-1</sup> (Ordaz, 2001).

Las plantaciones de cocotero están establecidas en la zona costera, en suelos arenosos, pobres en materia orgánica y N (Ordaz y Pérez, 1998; Ordaz, 2001). La baja productividad resulta en ingresos bajos por unidad de área, que afecta directamente al productor, y es la causa de precios inestables para los productos del cocotero que expone a una sustitución de los productos de coco por otros aceites vegetales y animales en el mercado internacional (Malaga, 2000; Schwentesius y Gómez, 2000). Por lo anterior, se requiere proporcionar a los agricultores alternativas que mejoren la productividad del cultivo e incrementen el retorno económico por el uso de insumos. Al respecto, la aplicación de fertilizantes apropiados es una alternativa viable para incrementar el rendimiento del cultivo de cocotero (Magat y Carpio, 1996). Para un uso adecuado de los fertilizantes, es indispensable tener un conocimiento profundo de la nutrición de dicho cultivo y arribar a dosis óptimas de aplicación (Mahindapala, 1981). Además, es necesario establecer el cultivo en aquellas áreas que ofrezcan el mayor potencial productivo y utilizar las variedades más promisorias (Zizumbo *et al.*, 1993).

Los elementos considerados esenciales para el cocotero son N (Nunez y Bales, 1995), P (Fremond *et al.*, 1966), K (Ollivier, 1993a), Ca y Mg (Ollivier, 1993b), S (Wuidart, 1994a) y Fe (Wuidart, 1994b); sin embargo, basados en estudios del Instituto de Investigaciones de Filipinas para el Cocotero, el cloro o cloruro ha ganado aceptación como un requerimiento nutricional mayor (Ollagnier y Ochs, 1971).

Ollagnier y Ochs, (1971) señalaron que 124 palmeras ha<sup>-1</sup> tipo criollo, de 16 a 30 años de edad, extraen del suelo 62 a 88 kg de N, 22 a 43 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 97 a 200 kg de K<sub>2</sub>O, 5 a 31 kg de CaO y 9 a 22 kg de MgO. Mahindapala (1981) reportó

resultados similares, mientras que Secretaria *et al.* (1997) reportaron extracciones de 29 kg de N, 27 kg de K<sub>2</sub>O, 22.5 kg de MgO, y 9 kg de CaO, basado en 148 palmeras ha<sup>-1</sup>.

Jacob y Von Uexkull (1961) obtuvieron incrementos en rendimiento de copra de 25 a 39% con aplicaciones (340 y 680 g palma<sup>-1</sup>) bianuales de potasa en plantaciones nuevas hasta el noveno año; mientras que no obtuvieron respuesta a las aplicaciones de N y P, lo que estos autores atribuyeron a la incorporación del pasto desarrollado entre las hileras de la plantación. Los mismos autores señalaron en investigaciones realizadas en África occidental francesa, Sri Lanka, Malasia y Trinidad, el incremento en rendimiento y tamaño de las nueces por la aplicación de K; también registraron que no se presentó respuesta a P ni K si no se suministraba N en cantidades adecuadas. Además, reportaron que la aplicación de K aumentó la resistencia a enfermedades (anillo rojo (*Rhadinaphelenchus cocophilus*, Goodey)) y plagas (ácaro o eriófido (*Eriophyes querreronis*, Keifer)) del cocotero, siendo más obvia la resistencia cuando se presentaba un equilibrio entre N y K.

Fremond *et al.* (1966) mencionaron que la respuesta a la aplicación de P se observó varios años después de aplicaciones sucesivas. Otros estudios han mostrado que con rendimientos de 80 a 100 nueces palmera<sup>-1</sup>, la fertilización adicional no produce mayores incrementos en el número de nueces por árbol (Mendoza y Prudente, 1972; Mahindapala, 1981).

Domínguez, citado por Ordaz (2001), no encontró respuesta a la aplicación de N, P y K en varios experimentos realizados en Tabasco. Ordaz y Pérez (1998) reportaron que, en Guerrero, se efectuaron estudios de fertilización de cocotero de temporal, pero tampoco obtuvieron respuesta a la aplicación de N y P; sin embargo, aunque no se ha observado respuesta al empleo de fertilizantes, la Impulsora Guerrerense del Cocotero sugiere aplicar 1.9 de KCl y 1.2 kg de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> palma<sup>-1</sup> (Ordaz y Pérez, 1998). Debido a que la respuesta a las aplicaciones de fertilizantes depende de la variedad, del suelo y del manejo agronómico, así como de la importancia que la producción de cocotero tiene para México, el objetivo del presente trabajo fue observar la respuesta a la aplicación de dosis de N y K sobre el rendimiento y la época de cosecha del cocotero en Colima.



## MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio experimental se ubica en la zona costera de Colima, en el predio denominado San José, con coordenadas geográficas de 18° 55' 6.6" N y 103° 51' 21.6" O. La plantación con 30 años al iniciar el trabajo presenta palmeras tipo criollo Alto del Pacífico, también conocida como variedad "typica", establecida a una distancia de plantación de 10 x 10 m entre plantas. El sistema de producción utilizado en el experimento fue monocultivo (que representa 30% del total de las plantaciones), que difiere del sistema tradicional o asociado (70% de las plantaciones del estado de Colima) en que en este sistema de producción el cocotero se encuentra asociado con otros frutales (principalmente limón mexicano, mango y plátano). El suelo tiene textura arenosa con 90.92, 3.28 y 5.80% de arena, limo y arcilla, respectivamente. Tiene baja retención de humedad (< 50 mm m<sup>-1</sup>). El análisis químico, en los 0.3 m de profundidad del suelo registró pH (en agua 1:2) de 8.1 (alcalino), pobre en materia orgánica (1%), conductividad eléctrica (CE) de 1.1 dS m<sup>-1</sup>, valores de N-NO<sub>3</sub> = 2.89 mg kg<sup>-1</sup> (pobre), P = 61 mg kg<sup>-1</sup> (satisfactorio), Ca = 1400 mg kg<sup>-1</sup> (medianamente rico), Mg = 420 mg kg<sup>-1</sup> (medianamente rico), K = 389 mg kg<sup>-1</sup> (mediano), Na = 38 mg kg<sup>-1</sup> (rico). El suelo es pobre en micronutrientes: Cu = 1.2 mg kg<sup>-1</sup>, Zn = 0.7 mg kg<sup>-1</sup>, Fe = 3.1 mg kg<sup>-1</sup> y Mn = 5.6 mg kg<sup>-1</sup>; no es salino y tampoco sódico. La pendiente del terreno es menor que 1% y la altitud de 10 m. El suelo se clasificó como Cambisol eútrico.

El diseño experimental fue parcelas divididas, donde la parcela grande fue la época de corte (abril, mayo y diciembre) y las dosis de fertilización se ubicaron en parcelas chicas. El arreglo de tratamientos de fertilización fue San Cristóbal, que consiste de un factorial parcial para dos factores (Rojas, 1981); las dosis de aplicación fueron de 0, 0.4, 0.8 y 1.6 kg de N y K palma<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente; la combinación de tratamientos de fertilización se muestra en el Cuadro 1.

Las fuentes de N y K fueron (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y KCl, respectivamente. La fertilización fosfatada fue uniforme y todos los tratamientos, incluyendo el testigo, recibieron una aplicación base de 450 g de P palma<sup>-1</sup>. La aplicación del fertilizante se hizo en toda el área del terreno que ocupa la palma, con fertilizadora (surcos), depositando el producto a una

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización nitrogenada y potásica aplicados al cultivo de cocotero.

Nitrógeno	Potasio
----- kg árbol <sup>-1</sup> -----	
0	0
0.8	0
0.4	0.4
1.6	0.4
0	0.8
0.8	0.8
0.4	1.6

profundidad de 0.35 m y tapándolo (con paso de rastra) inmediatamente después de aplicado. El N se fraccionó en dos aplicaciones (diciembre de 1997 y mayo de 1998), mientras que el K y el P se aplicaron sólo en diciembre de 1997.

La parcela útil constó de tres palmas por tratamiento, repitiendo cada uno de éstas cinco veces; previo a la selección de las parcelas útiles, se efectuó bloqueo de la plantación; esto, debido a que la palma de coco tiene mucha variación genética; para atenuar este efecto se bloqueó basándose en producción de coco, escogiendo palmas que produjeran cantidad similar de cocos por árbol. Se cosechó y se contó el número de nueces por palma; de éstas se seleccionaron aquellos árboles con la producción más homogénea. Para establecer cada tratamiento, se tomaron 40 palmas y de éstas se seleccionaron 15 árboles (tres por unidad experimental), cada tratamiento se repitió cinco veces. El bloqueo, o selección de unidades experimentales, se efectuó en septiembre y noviembre de 1997. Los tratamientos de fertilización se iniciaron en diciembre de 1997, surcando el terreno en los cuatro sentidos y depositando el fertilizante como se indicó con antelación.

La cosecha se efectuó a intervalos de cuatro meses (abril, agosto y diciembre) en 1998; se contó el número total de cocos por palma; del total de fruta cosechada, se tomó una muestra de 10 frutos palma<sup>-1</sup> para evaluar rendimiento de copra por nuez y kg de copra por árbol. El peso de copra seca se determinó secándola (a 6%) al sol durante cinco días.

Las variables registradas fueron: número de cocos por árbol, copra por palma y copra por nuez, las cuales se evaluaron mediante análisis de varianza y regresión lineal múltiple con el paquete estadístico COHORT6.

**Cuadro 2. Efecto de época de cosecha sobre rendimiento, número de cocos por árbol y copra por nuez. 1998.**

Época	Número de cocos <sup>†</sup>	Copro por palma Copra por nuez	
		-- kg --	-- g --
Abril	26.6 b <sup>†</sup>	6.52 b	251.2 b
Agosto	26.5 b	7.03 b	268.1 a
Diciembre	41.1 a	9.27 a	254.9 b
DMS 5 %	3.5	1.01	6.75

<sup>†</sup> La cifra es promedio obtenido por corte en 35 palmas. <sup>†</sup> Tratamientos con las mismas letras en columna son estadísticamente iguales entre sí.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Época de Cosecha

En el Cuadro 2, se muestra la relación entre época de cosecha (parcelas grandes) con las variables registradas. La época de corte tuvo efecto sobre todas las variables registradas. Diciembre fue la fecha en la cual se obtuvo el mayor número de cocos y copra por palma; estas diferencias resultaron estadísticamente significativas ( $P < 0.001$ ) entre épocas de corte. El análisis de varianza se muestra en el Cuadro 3.

**Número de cocos por palma.** El incremento en número de cocos fue 1.55 veces mayor en diciembre que en abril y agosto. Estas diferencias se atribuyeron al efecto de la fertilización y al bloqueo previo para seleccionar plantas homogéneas para el estudio. Los frutos requieren un año para madurar (Mahindapala, 1981), en consecuencia, el periodo de corte de diciembre contó con condiciones más favorables y el tiempo de maduración requerido para el crecimiento de los frutos que las otras épocas de corte (abril y agosto).

**Copra por palma.** Con relación a la producción de copra por palma, ésta se incrementó en 7.8 y 42%

en agosto y diciembre, respectivamente, comparado con el corte de abril; este incremento está también en función del manejo del cultivo (fertilización) y el número de cocos producidos por palma; estos resultados se encuentran en congruencia con lo reportado por Ordaz y Pérez (1998), quienes reportaron que el rendimiento de copra está en función de la fertilización y del número de cocos por palma.

**Copra por nuez.** La copra por nuez también mostró diferencias ( $P < 0.001$ ) significativas por época de corte (Cuadro 3). Agosto fue la fecha o época de corte donde ocurrió el mayor rendimiento de copra por nuez; éste fue de 6.8 y 5.2% mayor que los obtenidos en abril y diciembre, respectivamente. Estas diferencias entre épocas no tuvieron relación con el manejo del cultivo y probablemente, de acuerdo con Ordaz (2001), la cantidad de copra producida por nuez tiene más relación con la genética de la planta.

### Efecto de la Aplicación de N y K

La contribución de los tratamientos de fertilización o parcela chica al número de nueces, copra por palma y copra por nuez se muestra en el Cuadro 4. En este cuadro, se observa que la fertilización tuvo efecto significativo sobre el número de cocos por palma, cantidad de copra por árbol y por nuez.

En el tratamiento testigo, no fertilizado, se observó el menor número de cocos por palma, copra por palma y copra por nuez, con 80 frutos, 18.52 kg y 0.233 kg, respectivamente. Estos resultados muestran claramente el efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada sobre las mismas variables. Al respecto, Ordaz y Pérez (1998) registraron en cinco sistemas de producción del cocotero, predominantes en Colima, que el sistema de manejo que incluía fertilización

**Cuadro 3. Resumen de análisis de varianza del efecto de niveles de fertilización nitrogenada y potásica sobre época de corte del cocotero. 1998.**

Fuente	gl	Número de nueces por árbol P <sup>†</sup>	Copra por palma P <sup>†</sup>	Copra por nuez P <sup>†</sup>
Bloques	4	2.31 ns	1.60 ns	4.47 ns
Época	2	< 0.00001 ****	0.0005 ***	0.001 **
Error a	8	39.97 †	3.39 †	149.9 †
Fertilización	6	0.039 *	0.0008 ***	0.0000 ***
Fertilizantes x época	12	0.09 ns	0.1342 ns	0.341 ns
Error b	72	44.0 †	2.35 †	516.5
Modelo	32	< 0.00001 ***	< 0.00001 ***	0.0032 **
C.V. %		21.1	20.15	8.8

† \*, \*\*, \*\*\* y ns: significativo a 5, 1 y 0.1 % y no significativo, respectivamente. † Cuadrado medio del error.

**Cuadro 4. Fertilización con N y K y rendimiento de copra, número de cocos por palma en la costa de Colima, México.**

Tratamiento		Nuez	Copra	
N	K		kg palma <sup>-1†</sup>	kg nuez <sup>-1‡</sup>
0	0	80.0 b	18.52 d	0.233 d
0.8	0	89.0 ab	21.0.6 cd	0.250 cd
0.4	0.4	98.9 ab	24.88 ab	0.273 ab
1.6	0.4	93.9 ab	21.55 cd	0.249 cd
0	0.8	93.4 ab	24.67 abc	0.277 a
0.8	0.8	102.0 a	24.90 a	0.262 abc
0.4	1.6	103.0 a	24.07 bc	0.266 a
DMS		15.0	4.0	0.024

<sup>†</sup>Rendimiento acumulativo de tres épocas de cosecha. <sup>‡</sup>Promedio de tres cosechas.

nitrogenada mostraba efecto positivo sobre las variables mostradas en el Cuadro 4.

**Número de cocos por palma.** La aplicación de N, en ausencia de K (0.8 N-0 K), incrementó el número de nueces por palma en 11% en comparación con el tratamiento testigo; mientras que el K en ausencia de N (0 N-0.8 K), lo aumentó en 17%. Sin embargo, la combinación N x K, produjo el mayor número de cocos por palma, siendo de 23.6 y 27.5% para las dosis de 0.4 y 0.8 kg palma<sup>-1</sup> de cada uno de estos nutrimentos. El máximo incremento se observó en el tratamiento 0.4 N - 1.6 K, sin embargo, éste resultó estadísticamente igual al tratamiento 0.8 N - 0.8 K. Estos resultados están acordes con lo reportado por Olliver (1993a), Nunez y Bales (1995) y Magat (1997). El número de frutos por palma puede alcanzar la cifra de 100, pero una cantidad de 50 nueces palma<sup>-1</sup> se considera buena (Mahindapala, 1981) y las palmas se consideran rentables hasta los 50 años de edad. En consecuencia, N y K tienen perspectivas favorables para incrementar la producción del cocotero en Colima.

**Copra por palma.** El rendimiento de copra por palma se incrementó por la aplicación individual de N (0.8 N-0 K) y K (0 N-0.8 K) en 13.4 y 33.2%, respectivamente (Cuadro 4). La aplicación combinada de N y K también produjo incrementos de copra por palma, pero éste fue de sólo 34.4% con el tratamiento 0.4 N - 0.4 K y 0.8 N - 0.8 K kg palma<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. El mayor incremento se debió principalmente a la aplicación de K; esto debido a que el K juega un papel importante en la fisiología del cocotero y en la producción de copra (Olliver, 1993a). El rendimiento de copra por palma es del orden de 2.4 Mg ha<sup>-1</sup> de copra año<sup>-1</sup>; estos resultados son aceptables y se comparan con los obtenidos por Magat y Carpio

(1996), quienes obtuvieron 2.8 Mg ha<sup>-1</sup> en experimento del programa nacional de Filipinas.

**Copra por nuez.** La importancia del K se manifestó en mayor magnitud en la producción de copra por nuez (Cuadro 4); el tratamiento 0 N - 0.8 K produjo el mayor incremento (18.9%) con respecto al testigo. La aplicación de N solo o combinado con K también aumentó la producción de copra, pero dichos incrementos fueron de menor consideración que el observado por la aplicación individual de K. Los resultados obtenidos corroboraron lo reportado por otros investigadores (Olliver, 1993a; Nunez y Bales, 1995; Magat y Carpio, 1996).

### Estimación de Rendimiento (Mg ha<sup>-1</sup>) y Número de Cocos por Palma

El rendimiento de copra por hectárea y el potencial número de cocos por palma por año son dos de las variables de mayor interés del productor de coco. Al respecto, estas variables se estimaron mediante el análisis de regresión múltiple en función de la cantidad de fertilizantes nitrogenados y potásicos aplicados a las palmas. Las ecuaciones de regresión múltiples fueron las siguientes:

$$\text{Mg copra ha}^{-1} \\ (Y) = 1.86 + 0.615 N + 1.23 K - 0.34 N^2 - 0.54 K^2 - 0.361 N * K \quad (1)$$

$$\text{Número de cocos palma}^{-1} \\ (Y) = 80.3 + 21.4 N + 26 K - 11.4 N^2 - 9.75 K^2 - 1.97 N * K \quad (2)$$

Los coeficientes de determinación R<sup>2</sup> son 0.97 y 0.96 para el rendimiento de copra por hectárea y número de cocos por palma, respectivamente.

La solución de la Ecuación 1 para  $\partial Y/\partial N = 0$  y  $\partial Y/\partial K = 0$  es de 0.491 kg de N y 0.974 kg de K palma<sup>-1</sup>, respectivamente; la producción estimada con estos valores de N y K fue de 2.592 Mg ha<sup>-1</sup>; este rendimiento es bueno para la región y se encuentra en contraste con los resultados previos de fertilización de cocotero, en donde no se ha encontrado respuesta a la aplicación de fertilizantes (Ordaz, 2001). Las posibles diferencias pueden deberse a que el presente trabajo fue con riego y se hizo un bloqueo previo del cultivo para seleccionar plantas homogéneas de cocotero.

Con respecto a la estimación del número de cocos por palma, la solución de la Ecuación 2 para  $\partial Y/\partial N = 0$  y  $\partial Y/\partial K = 0$  es de 0.831 kg de N y 1.236 kg de K palma<sup>-1</sup>, respectivamente; la producción estimada con la fertilización de N y K con la

Ecuación 2 es de 100 cocos palma<sup>-1</sup>; este valor se encuentra dentro de lo esperado de acuerdo con la literatura (Mahindapala, 1981; Magat, 1997).

### Estimación de Copra por Palma en Función del Número de Cocos y Copra por Palma

El rendimiento de copra por hectárea depende de la copra producida por palma; ésta, a su vez, es función del número de cocos por palma y copra por nuez, que son afectados por la fertilización nitrogenada y potásica (Cuadro 4); el productor puede estimar el rendimiento por hectárea si conoce el potencial de producción de copra por palma por año. Este dato se le puede proporcionar a dicho productor al estimarlo mediante análisis de regresión múltiple, para lo cual se utiliza el rendimiento (kg copra palma<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) como variable dependiente y el número de cocos por palma y copra por nuez como variables independientes ( $P < 0.001$ ). Las variables de número de cocos por palma y la producción de copra por nuez fueron altamente significativas ( $P < 0.001$ ). La ecuación de regresión resultante fue:

$$\text{kg copra palma}^{-1} \text{ año}^{-1} = -14.93 + 0.17 X_1 + 79.29 X_2$$

Donde:  $X_1$  es el número de cocos por palma y  $X_2$  es la producción de copra por nuez; el coeficiente de determinación fue  $R^2 = 0.94$ . Estos resultados se encuentran en congruencia con lo observado ( $R^2 = 0.94$ ) por Ordaz y Pérez (1998), independientemente del sistema de producción de cocotero utilizado.

### Interacción Fertilizantes x Época de Cosecha

En el Cuadro 3, se observa que la interacción de fertilizantes x época de corte no fue significativa para

ninguna de las variables cuando se consideró el rendimiento acumulado de número de cocos y copra por palma y rendimiento promedio de copra por nuez; sin embargo, el número de nueces por árbol fue la variable que estuvo más cerca de alcanzar la significancia estadística a 5%. El efecto de los fertilizantes para cada época de corte se muestra en el Cuadro 5; en este cuadro, se observa que, en el primer corte, los fertilizantes no tuvieron efecto sobre el número de cocos ni copra por palma; la manifestación de N y K se registró a ocho y 12 meses después de su aplicación. En contraste, la variable copra por nuez resultó significativa en el primer y último corte.

**Número de cocos por palma en tres épocas de corte.** El número de cocos por árbol no mostró efecto de la aplicación de fertilizantes en el primer corte (abril); esto tiene relación con el período requerido para la formación del fruto (un año), en consecuencia, esta cosecha no mostró del todo el efecto benéfico de los fertilizantes. En el segundo corte (agosto) N y K incrementaron el número de cocos por palma con respecto al testigo en 8.9 y 36.8%, respectivamente. En contraste, en el último corte, el incremento, aunque aumentó con respecto al corte anterior, fue similar tanto para N como para K en 22.7 y 24.3%, respectivamente. En síntesis, el K fue más importante durante las etapas tempranas de formación de fruto y N - K en las etapas finales. Esto puede explicarse basándose en el fraccionamiento de la aplicación de N, como se corrobora con el incremento obtenido con los tratamientos balanceados de 0.4 N - 0.4 K, 0.8 N - 0.8 K que tuvieron incrementos en número de cocos de 48.6 y 35.8%, mientras que una fertilización no balanceada de 0.4 N y 1.6 K tuvo un incremento mayor que 56.5%, respectivamente (corte de diciembre, Cuadro 5). Estos resultados ponen en evidencia la urgencia de balancear las cantidades de N y K, tanto en cantidad como oportunidad (Ollivier,

**Cuadro 5. Relación entre fertilización de N y K y mes de cosecha sobre rendimiento de copra y número de cocos por palma. 1998.**

Tratamiento		Número de cocos			Copra			Copra		
N	K	Abril	Agosto	Diciembre	Abril	Agosto	Diciembre	Abril	Agosto	Diciembre
- kg árbol <sup>-1</sup> -					- - - - kg palma <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> - - - -			- - - - - kg nuez <sup>-1</sup> - - - - -		
0	0	26.7 a	22.3 b	31.3 c	5.98 a	5.58 b	6.96 a	0.222 b	0.252 a	0.224 b
0.8	0	26.5 a	24.3 ab	38.4 bc	6.56 a	6.06 b	8.39 a	0.247 ab	0.264 a	0.239 ab
0.4	0.4	28.4 a	23.9 ab	46.5 ab	7.36 a	6.70 b	10.82 a	0.267 a	0.285 a	0.266 ab
1.6	0.4	26.7 a	24.9 ab	41.7 ab	6.55 a	6.16 b	8.94 a	0.252 a	0.247 a	0.248 ab
0	0.8	24.5 a	30.5 a	38.9 bc	6.58 a	8.72 a	9.28 a	0.267 a	0.279 a	0.284 a
0.8	0.8	29.3 a	29.9 a	42.5 ab	7.05 a	8.41 a	9.44 a	0.244 ab	0.283 a	0.260 ab
0.4	1.6	24.1 a	29.7 a	49.0 a	5.64 a	8.00 ab	10.43 a	0.262 a	0.269 a	0.245 ab
DMS 5 %		6.68	4.48	12.6	1.61	1.25	2.79	0.021	0.028	0.037

Tratamientos, dentro de una misma columna, con letras diferentes son estadísticamente diferentes al  $P = 0.05$ .

# EVALUACIÓN DE ABONOS VERDES EN ASOCIACIÓN CON MAÍZ DE TEMPORAL EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA, MÉXICO<sup>1</sup>

## Evaluation of Green Manure Intercropped with Rainfed Maize in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico

Jaime Ruiz-Vega<sup>2†</sup> y Gil Loeza-Ramírez<sup>3</sup>

### RESUMEN

A fin de proporcionar una alternativa de fertilización sostenible para pequeños productores, se evaluaron distintas especies de abonos verdes, tanto en monocultivo, como en asociación con maíz. En general, el rendimiento de los abonos verdes en asociación fueron inferiores en 28.5% a el observado en monocultivo, tendiendo a disminuir más a medida que se retrasó la fecha de siembra. Las especies para abono verde y de doble propósito con mayor potencial productivo en asociación con maíz fueron la soya (*Glycine max.*) y el frijol de mata (*Phaseolus vulgaris*). Ambos cultivos pueden utilizarse tanto para la producción de materia seca, como para la producción de semilla. La baja disponibilidad de tierra en los Valles Centrales de Oaxaca es la principal razón para no promover la siembra de abonos verdes como monocultivo, pero algunos productores quienes disponen de más terrenos podrían sembrar una especie para abono verde en monocultivo, como la crotalaria (*Crotalaria juncea*) o el frijol dolicos (*Dolichus sp.*); este último tiene la ventaja de producir una semilla comestible y dejar sus terrenos en "descanso mejorado".

**Palabras clave:** Cultivos múltiples, agricultura tradicional, fertilización orgánica.

### SUMMARY

To provide a sustainable way to handle soil fertility for smallholders, several green manure species were

evaluated either as monocrops or intercropped with maize. In general, intercropped green manure produced about 28.5% less than under monocropping, and dry matter tended to decrease more as the intercropping date was delayed. The species with more potential, either as green manure or as seed producers, were soybean (*Glycine max.*) and dry bean (*Phaseolus vulgaris*). The low availability of land in the central valleys of Oaxaca is the main reason to promote the intercropping of green manures, but some farmers with more land than average could plant a green manure monocrop, such as crotalaria (*Crotalaria juncea*) or lablab (*Dolichus sp.*), the latter producing an edible seed, thus leaving the land under "improved fallow".

**Index words:** Multiple cropping, traditional agriculture, organic fertilization.

### INTRODUCCIÓN

Según Kirkby (1973), los suelos de vega de río se utilizan desde la época prehispánica en los valles centrales de Oaxaca. La remoción continua de nutrientes por los cultivos, la no incorporación de residuos de cosecha y la erosión han disminuido la fertilidad y profundidad de los suelos, ocasionando que el rendimiento sea cada vez menor. La aplicación de fertilizantes químicos en esta zona no se considera sostenible, dada la alta variabilidad del temporal y la escasez de recursos económicos.

Dos características importantes que deben poseer las tecnologías para pequeños productores son reducir la dependencia de recursos externos y mantener y mejorar la biodiversidad en el sistema (Altieri y Anderson, 1986). Con el cultivo de abonos verdes, se incorpora nitrógeno atmosférico al suelo y cuando se siembran cultivos asociados, la diversidad de especies cultivadas se incrementa. La eficiencia del uso de la tierra (ERT) es en general mayor en los cultivos asociados que en los monocultivos (Andrews y Kassam, 1976; Herrera y Ruiz, 1994), por lo que estos

<sup>1</sup> Proyecto financiado por CGEPI-IPN (No. 945277).

<sup>2</sup> Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR). Calle Hornos 1003, 71230 Sta. Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. <sup>†</sup> (jvega@ipn.mx) y Autor responsable.

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca.

sistemas de cultivo son ventajosos en condiciones de minifundio y escasez de tierra (Graham y Ruiz, 1996).

La ERT se define como la superficie que habría que sembrar con los monocultivos para obtener el rendimiento (R) observado en una hectárea de la asociación (Andrews y Kassam, 1976). Se calculó como:

$$\text{ERT} = \text{R. Maíz en asociación} / \text{R. Maíz monocultivo} + \text{R. de abono en asoc.} / \text{R. de abono en mono.}$$

La cantidad de N atmosférico fijada por los cultivos es bastante variable. La soya puede fijar cerca de 100 kg ha<sup>-1</sup> (Zapata *et al.*, 1987), mientras que frijol común presenta un amplio rango y fija de 7 a 81 kg ha<sup>-1</sup> en el verano (Manrique *et al.*, 1993). Otro posible beneficio adicional a largo plazo, si los residuos son incorporados continuamente, sería el incremento en la capacidad de retención de agua del suelo, capacidad de intercambio catiónico y velocidad de infiltración (Serrantonio, 1991; Muraoka *et al.*, 2001).

La tasa de mineralización de los abonos verdes depende básicamente de la especie, de la humedad disponible y de la temperatura. *Pueraria* (*Pueraria puriens*) puede mineralizarse en un plazo de 15 días, mientras que la mucuna (*Mucuna aterrima*) requiere de 60 días (Ribeiro, 1996). En Brasil, en condiciones de buena humedad y alta temperatura, se reporta 38% de mineralización de residuos de crotalaria en cuatro meses (Muraoka *et al.*, 2001). La actividad máxima de los microorganismos responsables de la descomposición ocurre a una temperatura de 36 °C y con un contenido de humedad a capacidad de campo (Serrantonio, 1991).

De acuerdo con la FAO (1991), las acciones estratégicas para alcanzar la sostenibilidad en áreas de temporal y lomerío son: irrigación a pequeña escala, conservación de suelo y agua, mejoramiento del manejo del ganado, mejoramiento del abasto de forrajes para la época seca y manejo de cuencas, uso adecuado de la tierra, promoción de la agroforestería y reducción del sobrepastoreo. Cabe señalar, que en las acciones anteriores no se mencionan el mantenimiento o el incremento de la fertilidad del suelo, de primordial importancia para el uso sostenible de la tierra.

Algunas prácticas de producción que se consideran sostenibles son: a) rotaciones de cultivo, b) control biológico de plagas, c) manejo integrado de plagas,

d) control mecánico de malezas, y e) abonos orgánicos (AFSIC, 1999). Dentro de estos últimos se incluyen plantas con alto contenido de N, las cuales por incorporarse al terreno en la etapa de floración, reciben el nombre de abonos verdes.

Considerando lo anterior, se planteó el presente trabajo con el objetivo de evaluar algunas especies de abono verde, tanto en asociación, como en monocultivo, como opciones para la conservación y el mantenimiento de la fertilidad del suelo en los valles centrales de Oaxaca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitios Experimentales

El trabajo se realizó durante 1995, 1996 y 1997 en las comunidades de San Lucas Tlanichico, Santa Cruz Xoxocotlán y San Bernardo Mixtepec, ubicadas en los valles centrales de Oaxaca, región que se caracteriza por ser mayoritariamente de agricultura tradicional, con un régimen de lluvias de verano de 500 a 600 mm anuales y sequía intraestival. La temperatura media anual es de 22 °C, con temperaturas promedio máximas de 28 °C y mínimas de 15 °C para la época lluviosa, la cual dura de mayo a septiembre. Comprende altitudes de 1500 a 1700 m.

A fin de caracterizar los suelos, se realizó un muestreo en el momento de la siembra (0 a 20 cm), se colectaron diez muestras al azar por sitio y, posteriormente, se revolvieron para obtener una muestra compuesta. Se enviaron dos muestras por sitio para análisis físico-químico, para el cual se utilizaron los métodos de Walkley-Black para materia orgánica, Olsen para fósforo y el del cobaltonitrito de sodio para potasio. La mayoría de los suelos de los sitios experimentales tuvieron una textura superficial de migajón arenoso. Las características fisicoquímicas de los sitios experimentales se muestran en el Cuadro 1.

Resalta el pH moderadamente ácido de los suelos de lomerío. Cuando se comparan los suelos, se observa que el de lomerío es muy pobre en materia orgánica (MO), fósforo (P) y potasio (K), mientras que el de planicie tiene un contenido moderado de MO, P y K.

### Evaluación de Especies para Abono Verde

El 20 de junio de 1995, se sembraron dos experimentos en San Lucas Tlanichico, Oaxaca, uno

Cuadro 1. Características físico químicas de los sitios experimentales.

Parámetro	Santa Cruz Xoxocotlán Planicie (1996)	San Bernardo Mixtepec Lomerío (1997)	San Lucas Tlanichico Planicie (1995)	San Lucas Tlanichico Lomerío (1995)
Textura	m. arenoso <sup>†</sup>	m. arc. arenoso	m. arenoso	m. arenoso
pH (agua 1:5)	6.60	5.30	7.36	5.58
Materia orgánica. (%)	1.69	0.71	1.72	0.56
P (mg kg <sup>-1</sup> )	9.10	8.76	5.60	6.61
K (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	1.63	0.38	0.57	0.10

<sup>†</sup>m = migajón.

de ellos en un suelo de planicie, para determinar, con base en la producción de materia seca y de N y P en el momento de la floración, la mejor oportunidad de asociación de abonos verdes con maíz, y se establecieron los tratamientos mostrados en el Cuadro 2. La variedad de trigo empleada corresponde a la "Temporalera", con 50 días a producción de espigas; mientras que la variedad de soya fue la denominada "Cristalina", con un ciclo de 80 días a floración y adaptada a latitudes tropicales. El garbanzo utilizado fue el criollo regional, con 60 días a floración.

El otro experimento, establecido en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, tuvo como objetivo evaluar la producción de N y P en el momento de la floración en un suelo de lomerío, tanto en monocultivo, como en asociación con maíz. El procedimiento utilizado para determinar los nutrientes aportados consistió en multiplicar el porcentaje de éstos por la producción total de materia seca, excluyendo raíces.

Cuadro 2. Tratamientos evaluados en los experimentos de oportunidad de asociación de abonos verdes con maíz de temporal. San Lucas Tlanichico, Oaxaca. 1995.

Tratamiento aplicado	Abono verde	Densidad de siembra plantas ha <sup>-1</sup>	Oportunidad de asociación
1	Soya	80 000	A la siembra
2	Soya	80 000	En la 1ª escarda
3	Soya	80 000	En la 2ª escarda
4	Garbanzo	100 000	A la siembra
5	Garbanzo	100 000	En la 1ª escarda
6	Garbanzo	100 000	En la 2ª escarda
7	Trigo	160 000	A la siembra
8	Trigo	160 000	En la 1ª escarda
9	Trigo	160 000	En la 2ª escarda

La preparación del terreno se realizó con tractor y el surcado con yunta de bueyes.

Se utilizó un diseño experimental en parcelas divididas. Los tratamientos de abonos verdes se establecieron como parcelas grandes, y las oportunidades de asociación como parcelas chicas. La parcela experimental constó de ocho surcos de 5 m de largo y 0.60 m de ancho. La parcela útil fue de seis surcos de 4 m de largo. Se planeó evaluar la producción de materia seca en la parte aérea en el momento de la floración, cuantificando la producción en los seis surcos y tomando una muestra de 10 plantas por tratamiento para la determinación del contenido de N y P en base seca.

La siembra se realizó en forma manual y se utilizó el maíz criollo del productor, denominado "Bolita", con un ciclo de desarrollo de 120 días de la siembra a la madurez. El maíz se sembró a una densidad constante de 40 000 plantas ha<sup>-1</sup> y los cultivos asociados a las densidades indicadas previamente. Se registraron datos sobre fenología del cultivo, rendimiento de materia seca a floración y rendimiento de semilla a madurez.

Para estimar la cantidad de nutrientes en la biomasa aérea, se realizó un análisis químico de las plantas presentes en 1 m lineal del surco central de la parcela útil, dejando dos laterales como bordo de protección. La aportación de nutrientes, en kg ha<sup>-1</sup>, se obtuvo multiplicando el porcentaje del nutriente por el rendimiento de materia seca. El rendimiento de grano se obtuvo a partir de la cosecha de tres surcos, ya que se dejaron dos adyacentes como bordo de protección.

En 1997, se sembró la leguminosa *Dolichus* sp. en la localidad de San Bernardo Mixtepec, así como en Santa Cruz Xoxocotlán. En ambos casos, se estableció una densidad de siembra de 25 000 plantas ha<sup>-1</sup> y se

utilizaron parcelas de 0.5 ha. El rendimiento se estimó a partir del muestreo de ocho tramos de 10 m, seleccionados al azar dentro de cada parcela.

### Eficiencia Relativa de la Tierra

Con el objetivo de determinar este indicador, el 10 de julio de 1996 se estableció en Santa Cruz Xoxocotlán un experimento para evaluar el comportamiento de la crotalaria, la soya y el frijol asociados con maíz "Criollo" Bolita. Se utilizó la fórmula para ERT descrita previamente (Andrews y Kassam, 1976). El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar. Cada tratamiento (Cuadro 3) se repitió cuatro veces.

La parcela experimental constó de cinco surcos de 10 m de largo y 0.60 m de ancho. La preparación del terreno se realizó con tractor y el surcado con yunta de bueyes y se requirieron tres pasos de yunta para obtener una buena cama de siembra. La siembra se realizó en forma manual, utilizando el maíz criollo "Bolita". El maíz se sembró a una densidad constante de 40 000 plantas ha<sup>-1</sup> y los cultivos asociados a las densidades indicadas en el Cuadro 3. Se registraron datos sobre fenología del cultivo y rendimiento de materia seca y de semilla a madurez.

Para evaluar el rendimiento, se cosecharon los tres surcos centrales, se separó la semilla y se cuantificó el peso obtenido en cada tratamiento. Se pesó el forraje en campo y, posteriormente, se realizó el secado de una muestra de 10 plantas por tratamiento en una estufa a 70 °C por dos días.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación de Especies para Abono Verde

El rendimiento de los abonos verdes disminuyó al asociarlos con el maíz desde la siembra (Cuadro 4). En promedio, la producción de materia seca de los abonos verdes en asociación fue inferior en 28.5% a la observada en monocultivo, aunque el mayor porcentaje de reducción se observó en garbanzo (36.0%) y el menor en la soya (18.5%). Se han reportado disminuciones de 40 a 45% al asociar frijol de mata con maíz (Clark, 1980).

A medida que se retrasó la fecha de siembra de los abonos verdes con el maíz, su productividad decreció

**Cuadro 3. Tratamientos experimentales establecidos para evaluar la eficiencia relativa de la tierra. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. 1996.**

Sistema de siembra	Leguminosa	Maíz
	plantas ha <sup>-1</sup>	plantas ha <sup>-1</sup>
Soya asociada	80 000	40 000
Crotalaria asociada	135 000	40 000
Frijol asociado	60 000	40 000
Soya monocultivo	80 000	0
Crotalaria monocultivo	135 000	0
Frijol monocultivo	60 000	0
Maíz monocultivo	40 000	40 000

**Cuadro 4. Rendimiento de materia seca a inicio de semilla de los abonos verdes establecidos al mismo tiempo que el maíz en un suelo profundo en San Lucas Tlanichico, Zaachila, Oaxaca. 1995.**

Abono verde	Forma de siembra	Materia seca
		kg ha <sup>-1</sup>
Trigo	Asociado	890 c <sup>†</sup>
	Monocultivo	1240 b
Garbanzo	Asociado	1127 b
	Monocultivo	1762 a
Soya	Asociado	1054 c
	Monocultivo	1294 b

<sup>†</sup> Valores con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

significativamente y se obtuvo mayor rendimiento en la primera escarda (Cuadro 5). Esto se debió a una menor disponibilidad de agua para los abonos verdes y a una mayor competencia por luz causada por el mayor desarrollo en altura del maíz. Sin embargo, la soya tendió a tolerar más los cambios en fecha de siembra, posiblemente debido a una baja sensibilidad de la variedad al fotoperíodo. De acuerdo con Hartwig (1973), las variedades de las latitudes tropicales tienen

**Cuadro 5. Producción de materia seca por especie sembrada en maíz durante la 1ª y 2ª escardas en un suelo profundo de San Lucas Tlanichico, Oaxaca. 1995.**

Oportunidad	Especie evaluada			Promedio por oportunidad
	Trigo	Garbanzo	Soya	
----- kg ha <sup>-1</sup> -----				
1ª escarda	666 a <sup>†</sup>	718 a	1023 a	802 a
2ª escarda	324 b	343 b	582 b	416 b

<sup>†</sup> Valores con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).



**Cuadro 6. Concentración de P y N en abonos verdes y cereales sembrados en asociación y en monocultivo en suelos de planicie y de lomerío en San Lucas Tlanichico, Oaxaca. 1995.**

Especie evaluada	P en plano		P en loma		N en plano		N en loma	
	Asociado	Mono	Asociado	Mono	Asociado	Mono	Asociado	Mono
	----- % -----							
Trigo	0.463	0.451	0.184	0.190	1.735	1.940	1.039	1.052
Soya	0.285	0.249	0.202	0.170	1.279	1.538	1.585	1.663
Garbanzo	0.261	0.261	0.190	0.160	0.922	1.049	1.949	2.170
Maíz	0.243	0.228			0.324	0.415		

un intervalo más amplio de adaptación que las de altas latitudes.

Se considera que la precipitación recibida durante el desarrollo de los experimentos en 1995 y 1996 fue típica del clima (A)Cwo predominante en la región, es decir, se recibió un promedio de 240 mm durante el desarrollo vegetativo de los cultivos (de 20 de junio a 10 de septiembre), pero, posteriormente, hubo lluvias escasas. La región de los valles centrales de Oaxaca se considera medianamente marginal para el cultivo del maíz, ya que cerca de 60% de la superficie sembrada anualmente con este cultivo produce un rendimiento de bajo a mediano, debido principalmente a la sequía (Ruiz, 1998). Durante 1997, la precipitación no fue limitativa, se registraron 787 mm de la siembra a la floración del frijol dolicos en Magdalena Mixtepec.

En el Cuadro 6, se presenta el contenido promedio de N y P. En general, el contenido de estos nutrientes tendió a ser mayor en monocultivo; en soya, los valores de N oscilaron de 1.28 a 1.66%. De acuerdo con Serrantonio (1991), los valores esperados de N para soya perenne son de 2.0 a 3.2%.

La contribución estimada de nutrientes al suelo, al incorporar los abonos verdes, se muestra en el Cuadro 7. De manera sorprendente, el trigo produjo la

**Cuadro 7. Aporte de N y P en la parte aérea de especies de abonos verdes establecidas a la siembra en un suelo profundo en San Lucas Tlanichico, Oaxaca. 1995.**

Abono verde	Forma de siembra	Aporte de	
		N	P
		- - kg ha <sup>-1</sup> - -	
Trigo	Asociado	15.4	4.1
	Monocultivo	24.1	5.6
Garbanzo	Asociado	10.4	2.9
	Monocultivo	18.5	4.6
Soya	Asociado	12.5	2.8
	Monocultivo	19.9	3.2

mayor cantidad de nutrientes, lo cual se debe a que, por su precocidad, cuando se cosechó ya se encontraba en espiga, mientras que los otros cultivos se encontraban en floración. Se considera que las gramíneas presentan en la etapa reproductiva una baja relación C/N, por lo que pueden utilizarse como abono verde (Astier, 1995).

La cantidad de N aportada fue relativamente pequeña, en especial para las siembras en asociación. Sin embargo, no se cuantificó el N fijado en las raíces (parte subterránea). Se estima que la cantidad de materia seca remanente en las raíces de frijol puede ser de 58% (Stoffella, 1979).

### Eficiencia Relativa de la Tierra

En los experimentos para la evaluación de la eficiencia relativa del uso de la tierra (ERT), se encontró que la ERT para producción de grano (Cuadro 8) fue la más alta para soya asociada, siguiendo el frijol asociado y por último la crotalaria. Estos valores son satisfactorios, ya que, en Colombia, se han obtenido valores máximos de 1.32 a 1.44 para la asociación maíz-frijol (Clark, 1980). En la región en

**Cuadro 8. Rendimiento de semilla de tres leguminosas asociadas con maíz y en monocultivo y Eficiencia Relativa de la Tierra (ERT). Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. 1996.**

Sistema de siembra	Leguminosa	Maíz	ERT
	kg ha <sup>-1</sup>		
Soya asociada	723 b <sup>†</sup>	1808 b	1.59 a
Crotalaria asociada	825 b	1458 b	1.23 b
Frijol asociado	485 c	1872 b	1.31 b
Soya monocultivo	787 b		1.00 c
Crotalaria monocultivo	1214 a		1.00 c
Frijol monocultivo	800 b		1.00 c
Maíz monocultivo		2660 a	1.00 c

<sup>†</sup> Valores con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey (= 0.05).

estudio se han reportado valores de ERT de 1.33 a 1.41 (García y Ruiz, 1993; Herrera y Ruiz, 1994).

El rendimiento de maíz obtenido al asociarlo con crotalaria fue más bajo que el obtenido al asociarlo con frijol o soya (Cuadro 8), lo cual indica que, dado el mayor desarrollo de la crotalaria y coincidencia de las etapas de floración, existió competencia excesiva por recursos entre maíz y crotalaria. Ésta presentó un ciclo de desarrollo muy similar al del maíz, por lo que podrían competir fuertemente por luz y agua. A 70 días de sembrados, estos cultivos tenían una altura promedio de 2.30 y 1.60 m, respectivamente. Por otro lado, la crotalaria presentó algunos problemas de acame debido a su altura.

Al considerar la ERT de las asociaciones por su producción de materia seca en tallos y hojas, ésta fue similar para los tres cultivos (Cuadro 9), lo cual resultó en rendimiento muy similar en frijol y soya, tanto en monocultivo, como en cultivos asociados. Muraoka *et al.* (2001) no encontraron diferencias en la producción promedio de paja en mucuna y crotalaria en dos localidades. Para el caso de la crotalaria, ésta tendió a disminuir más el rendimiento del maíz, con lo cual la ERT se redujo a valores comparables con los de frijol y soya asociados.

El frijol dolicos de color de semilla crema produjo 2.5 t ha<sup>-1</sup> de materia seca en la etapa de inicio de vaina en San Bernardo Mixtepec. En Santa Cruz Xoxocotlán, se estimó una producción de 3.2 t ha<sup>-1</sup>, siendo el cultivo 21 días más precoz (Cuadro 10). Este cultivo se considera altamente tolerante a sequía, por lo que tiene buen potencial para las condiciones de temporal de la región, además de presentar un contenido promedio de N de 3.5% (Serrantonio, 1991), considerado alto.

**Cuadro 9. Rendimiento de forraje de tres leguminosas asociadas con maíz y en monocultivo y Eficiencia Relativa de la Tierra (ERT). Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. 1996.**

Sistema de siembra	Leguminosa	Maíz	ERT
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----		
Soya asociada	1053 b <sup>†</sup>	3260 b	1.56 a
Crotalaria asociada	1959 a	2941 b	1.50 b
Frijol asociado	1010 b	3257 b	1.54 b
Soya monocultivo	1224 b		1.00 c
Crotalaria monocultivo	2246 a		1.00 c
Frijol monocultivo	1197 b		1.00 c
Maíz monocultivo		4668 a	1.00 c

<sup>†</sup> Valores con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

**Cuadro 10. Días a inicio de vaina, rendimiento de materia seca del frijol dolicos en dos localidades. 1997.**

Localidad	Suelo	Inicio de vaina	Materia seca
		días	kg ha <sup>-1</sup>
San Bernardo Mixtepec	Ladera	140	2503 b <sup>†</sup>
Santa Cruz Xoxocotlán	Planicie	130	3215 a

<sup>†</sup> Valores con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## CONCLUSIONES

- La mejor oportunidad de asociación de los abonos verdes fue en el momento de la siembra y la soya es uno de los cultivos menos afectados por el retraso en su asociación con el maíz.
- Las especies para abono verde y de doble propósito con mayor potencial productivo en asociación con maíz fueron la soya y el frijol, pero en cuanto a la aportación de N, el trigo los superó.
- La asociación de cultivos produjo ERT mayores que 1.0, tanto para forraje, como para grano; la ERT de la soya fue mayor que la de crotalaria y frijol, en especial la observada para la producción de materia seca.
- El frijol dolicos de semilla crema tiene buen potencial para siembras en monocultivo, en especial cuando el temporal se establece temprano y para productores que disponen de suficiente tierra para sembrar alguna parcela con esta leguminosa, practicando así un "descanso mejorado" de la tierra.

## LITERATURA CITADA

- Altieri, M.A. y M.K. Anderson. 1986. An ecological basis for the development of alternative agricultural systems for small farmers in the third world. *Am. J. Alternative Agric.* 1: 30-38.
- AFSIC. Alternative Farming Systems Information Center. 1999. Sustainable agriculture: Definitions and terms. SRB 99-02. Beltsville, MD.
- Andrews, D.J. y A.H. Kassam. 1976. The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. pp. 1-10. *In:* Papendick, R.I., P.A. Sanchez y G.B. Triplett (eds.). Multiple cropping. Spec. Publ. 27. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Astier C., M. 1995. Guía práctica de utilización de materiales orgánicos como fertilizantes. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA), A.C. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Clark, E.A. 1980. Physiological basis for transgressive yielding in bean maize intercrops. Tesis de Doctorado. Iowa State University, Ames, IA.

- FAO. 1991. FAO/Netherlands Conference on Agriculture and the environment. 's-Hertogenbosch, The Netherlands.
- García S., M. y J. Ruiz V. 1993. Evaluación de tres variedades criollas de maíz asociadas con frijol bajo condiciones de temporal en los Valles Centrales de Oaxaca. *Terra* 11: 100-105.
- Graham A., H.A. y J. Ruiz V. 1996. Asociación maíz-gandul en los Valles Centrales de Oaxaca. *Terra* 14: 425-430.
- Hartwig, E.E. 1973. Varietal development. pp. 187-210. In: B.E Caldwell (ed.). *Soybeans: Improvement, production and uses*. American Society of Agronomy Series 16. Madison, WI.
- Herrera V., R. y J. Ruiz V. 1994. Evaluación económica de sistemas de cultivos tradicionales en los Valles Centrales de Oaxaca. *Terra* 12: 264-268.
- IDRC. International Development Research Centre. 1994. *Desertification: A background for journalists*. Ottawa, Canada.
- Kirkby, V.T. 1973. Prehistory and human ecology in the Valley of Oaxaca. I. The use of land and water resources in the past and present Valley of Oaxaca, Mexico. *Memoirs of The Museum of Anthropology* No. 5. Ann Arbor, MI.
- Manrique, A., K. Manrique y J. Nakahodo. 1993. Yield and nitrogen fixation on common bean (*Phaseolus vulgaris*) in Peru. *Plant Soil* 152: 87-91.
- Muraoka, T., E.J. Ambrosano, F. Zapata, N. Bortoletto, A.L.M. Martins, P.C.O. Trivelin, A.E. Boaretto y W.B. Scivittaro. 2001. Eficiencia de abonos verdes (crotalaria y mucuna) y urea aplicados solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo del arroz. *Terra* 20: 17-23.
- Ribeiro, G. de A. Efeito de períodos de incubação de adubos verdes (mucuna e puerária) na liberação de nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) e enxofre ( $^{35}\text{S}$ ) para o arroz. *Dissertação de Mestrado*. Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP. Piracicaba, Brasil.
- Ruiz V., J. 1998. Zonificación agroecológica del maíz de temporal en los Valles Centrales de Oaxaca. I. Determinación del potencial productivo. *Terra* 16: 269-275.
- Serrantonio, M. 1991. Methodologies for screening soil-improving legumes. Rodale Institute Research Center. Kutztown, PA.
- Stoffella, P.J. 1979. Root characteristics of black beans. II. Morphological differences among genotypes. *Crop Sci.* 19: 826-830.
- Zapata, F., S.K. Danso, G. Hardarson y M. Fried. 1987. Time course of nitrogen fixation in field grown soybean using nitrogen-15 methodology. *Agron. J.* 79: 172-176.

# ENCALADO Y FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN EL CULTIVO DE PAPA EN UN ANDOSOL DE LA SIERRA VERACRUZANA

## Liming and Phosphate Fertilization on Potato in an Andosol of the Sierra Veracruzana

José Luis Aguilar-Acuña<sup>1</sup>, Rosalío López-Morgado<sup>2</sup>, Roberto Núñez-Escobar<sup>3†</sup> y Abdul Khalil Gardezi<sup>3</sup>

### RESUMEN

En el Distrito de Desarrollo Rural 004 "Coatepec", enclavado en la sierra veracruzana, 62% de los suelos son Andosoles, con una superficie de 230 759 ha. Estos suelos son ácidos, fijadores de fósforo, con porcentajes de saturación de aluminio de leves a moderados. Por lo anterior, se condujo un experimento durante dos años con el objetivo de estudiar el efecto del encalado, de las dosis y de las fuentes de fertilizante fosfatado, sobre el rendimiento de dos variedades de papa en un Andosol de la sierra veracruzana. Los factores de estudio fueron: 1) variedades de papa (Tollocan y Mexiquense, de cutícula blanca y roja, respectivamente), tolerantes al tizón tardío; 2) dosis de fósforo (0, 200 y 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); 3) fuentes de fertilizante fosfatado (superfosfato de calcio simple, SS; superfosfato de calcio triple, ST; y roca fosfórica de Baja California, RF); 4) dosis de CaCO<sub>3</sub> (0, 2 y 4 t ha<sup>-1</sup>) y 5) años (1991 y 1992). Los resultados indican que durante el año 1991, el rendimiento promedio, sobre variedades de papa y encalado, respondió hasta 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con las fuentes SS y ST, con SS el rendimiento fue estadísticamente mayor que con ST, con 13.89 y 10.04 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En 1992, el rendimiento de tubérculo no respondió a los insumos ensayados, debido a la escasa humedad del suelo. La aplicación de RF no tuvo efecto en el rendimiento de tubérculo durante los dos años de estudio. En promedio sobre años y encalado, la variedad Tollocan rindió más que

la variedad Mexiquense con incrementos consistentes de rendimiento hasta la aplicación de 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como SS. La eficiencia agronómica relativa de las fuentes de fósforo siguió el orden: SS > ST > RF. El rendimiento promedio, sobre años y variedades de papa, respondió a dosis de CaCO<sub>3</sub> y a dosis y fuentes de fósforo. El análisis económico reveló que el máximo ingreso neto se asoció con el tratamiento óptimo económico con capital ilimitado (TOECI) de 4 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> + 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como SS, con un rendimiento máximo económico de 9.42 t ha<sup>-1</sup>, y la mayor tasa de retorno al capital variable (TRCV), de 11.82, se asoció con el tratamiento óptimo económico con capital limitado (TOECL), de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como SS y sin cal.

**Palabras clave:** *Solanum tuberosum*, fósforo, fertilizantes fosfóricos, roca fosfórica, suelos ácidos, suelos volcánicos.

### SUMMARY

In the Rural Development District 004 "Coatepec", located in the Sierra Veracruzana, 62% of the soils are Andosols with a area of 230 759 ha. Andosols are acid, phosphorus fixers, with percentages of aluminum saturation from light to moderate. For this reason, a two-year experiment was carried out with the objective of studying the effect of liming, rates and sources of phosphate fertilizer on the yield of two potato varieties in an Andosol of the Sierra Veracruzana. The factors and levels under study were: 1) potato cultivars (Tollocan and Mexiquense of white and red cuticle) tolerant to late blight; 2) phosphorus rates (0, 200, and 400 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); 3) phosphate fertilizer sources (simple calcium superphosphate, SS; triple calcium superphosphate, ST; and phosphate rock from Baja California, RF); 4) CaCO<sub>3</sub> rates (0, 2 and 4 t ha<sup>-1</sup>); and 5) years (1991 and 1992). The results indicate that during 1991 the average yield, over potato varieties and liming, had a response of up to 400 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> with both sources SS and ST, but yield with SS was

<sup>1</sup> Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 112, 38010 Celaya, Guanajuato, México. (jlaguilar1@starmedia.com)

<sup>2</sup> Campo Experimental Auxiliar Xalapa, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 540, 91000 Xalapa, Ver.

<sup>3</sup> Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, México. † Autor responsable.

statistically higher, with 13.89 and 10.04 t ha<sup>-1</sup>, respectively. In 1992, the tuber yield did not respond to the assayed inputs, due to severe soil moisture deficiency. The application of RF did not show any effect on the tuber yield during the two years of study. On the average over years and liming, cv. Tollocan yielded more than cv. Mexiquense with consistent yield increments up to 400 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as SS. The relative agronomic efficiency of the phosphorus sources followed the order: SS > ST > RF. The yield average, over years and potato cultivars, responded to CaCO<sub>3</sub> rates and to phosphorus rates and sources. The economic analysis revealed that the maximum net profit was associated with the optimum economic treatment for unlimited capital, which consisted of 4 t ha<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> + 400 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as SS with maximum economic yield of 9.42 t ha<sup>-1</sup>, and the maximum return rate (11.82) was associated with the optimum economic treatment for limited capital, 200 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as SS and without lime.

*Index words:* *Solanum tuberosum*, *phosphorus*, *phosphate fertilizers*, *rock phosphate*, *acid soils*, *volcanic soils*.

## INTRODUCCIÓN

En México, los suelos ácidos ocupan una superficie de 13 128 300 ha, de las cuales los Andosoles ocupan 8373 000 ha (Ortiz, 1987), distribuidas a lo largo del Eje Neovolcánico, desde Los Tuxtlas, Veracruz, en el Golfo de México, hasta Colima y Nayarit, en el Pacífico. En el área de influencia del Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 004 de Coatepec, estado de Veracruz, 62% de los suelos corresponde a Andosoles, con una superficie de 230 759 ha (FAO/UNESCO/ISRIC, 1988).

Los Andosoles, además de ser ácidos por naturaleza, tienen grandes cantidades de alófono y aluminio, los cuales tienen la propiedad de fijar el fósforo y reducir su disponibilidad para que las raíces de las plantas puedan absorberlo. Okajima (1980) recomendó la aplicación inicial al suelo de altas dosis de fertilizante fosfatado (2000 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato) para sobreponer el alto poder de fijación y permitir un adecuado suministro de fósforo. Por otro lado, la aplicación anual de dosis altas de fósforo permite pensar en la posibilidad de saturar la demanda de fijación de fósforo y esperar efectos residuales que beneficien a cultivos posteriores (Espinosa, 1991). Sin embargo, en Andosoles, la fijación del P ocurre en las

superficies activas del alófono, óxidos de Fe y Al, y complejos de Al-humus. Esto explicaría la tendencia de fijar apreciables cantidades de fósforo en Andosoles con alto contenido de materia orgánica.

En general, los suelos ácidos contienen alto porcentaje de saturación con aluminio, lo cual reduce la disponibilidad de fósforo para las plantas (Núñez, 1985). El excesivo contenido de Al intercambiable en el suelo, que provoca fitotoxicidad, puede disminuirse mediante la aplicación de cal agrícola o con cantidades masivas de fertilizante fosfatado, como la roca fosfórica (RF), que actúan como mejoradores de suelos (Okajima, 1980).

En México, la roca fosfórica de Baja California es un producto natural que contiene uno o más minerales de fosfato de calcio, con una concentración de 30.4% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> después de concentrada por flotación, aceptable para su aprovechamiento (Gutiérrez, 1991), su reactividad fluctúa entre 10.8 y 15.9% de solubilidad absoluta en citrato (Adán *et al.*, 1980), y posee una eficiencia agronómica relativa media de 60%, lo cual la hace económicamente competitiva, ya que su precio es de 30 US dólares t<sup>-1</sup> (De Gracia *et al.*, 1996). Estas características permiten que se use como fertilizante en aplicación directa a suelos con pH ≤ 6.0 (Núñez y Gavi, 1991). Por otro lado, el cultivo de papa absorbe una relativa alta proporción de fósforo (Vos y Groenwold, 1986) y, en Andosoles, la variedad de papa Tollocan rindió 16.9 t ha<sup>-1</sup> con 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato de calcio triple (ST), sin obtener rendimientos decrecientes (Aguilar *et al.*, 2000). Esto podría ser debido a que el P proveniente del fertilizante hidrosoluble como el ST es rápidamente fijado al suelo y, en este caso, la RF, por ser prácticamente insoluble en agua, libera el P lentamente por la acidez del suelo, abasteciendo al cultivo durante el ciclo (Zapata *et al.*, 1996), lo que podría ser una fuente barata de P para el cultivo de papa en Andosoles.

La aplicación de cal es uno de los tratamientos químicos básicos usados para inactivar el Al intercambiable (Aguilar y López, 1992; Castellanos *et al.*, 2000), debido a que resulta más económico que la aplicación de altas dosis de fertilizante fosfórico; sin embargo, en la práctica ambos se complementan (Okajima, 1980).

En suelos ácidos con pH menores que 5.5, se necesitaría aplicar altas cantidades de fertilizantes para lograr rendimientos satisfactorios. Urquiaga y Boddey (1996) reportaron que papa y maíz respondieron significativamente a la aplicación de

2 t ha<sup>-1</sup> de cal; en este experimento el encalado pudo haber mejorado la disponibilidad de P en el suelo, ya que tuvo una gran respuesta a la aplicación de hasta 70 kg ha<sup>-1</sup> de P. El Centro Internacional de la Papa (1984) reportó un estudio de encalado con CaCO<sub>3</sub> en un Andosol de Colombia, con 80% de saturación con Al, muy rico en materia orgánica, pobre en P, mediano en K (en dicho estudio no indicaron los valores) y con pH de 4.1. Se utilizó el cultivo de papa como planta indicadora. Las dosis de CaCO<sub>3</sub> estudiadas fueron 0, 4 y 8 t ha<sup>-1</sup> con rendimientos de tubérculo de papa de 7.7, 18.4 y 22.4 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Los resultados que obtuvieron Aguilar y López (1992) con maíz en Andosoles, en la región de Naolinco, Ver., indican que el encalado no incrementó el pH, pero sí disminuyó el porcentaje de saturación con Al, además que se incrementó el contenido de Ca en el suelo y el rendimiento del maíz significativamente, en este caso la cal actuó como un suministrador de Ca como nutrimento. La respuesta al encalado no sólo depende del grado de neutralización del Al intercambiable, o de elevar el pH, sino también de la interacción con otros parámetros del suelo, como la disponibilidad y el balance de nutrimentos (Smith y Cravo, 1990). Por esta razón, es usual tener respuesta positiva de algunos cultivos, aun cuando el pH del suelo no siempre se incrementa con el encalado (Aguilar y López, 1992; Urquiaga y Boddey, 1996).

Moorehead *et al.* (1998) condujeron dos sitios experimentales. El sitio A tuvo un pH de 6.0 a 6.2 y 171 mg kg<sup>-1</sup> P (Mehlich III). El sitio B con pH de 5.5 a 5.7 y 138 mg kg<sup>-1</sup> P. Los rangos de P fueron de medios a altos. En cada sitio, se aplicaron 0, 73, 269 y 560 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sin y con encalado (2240 kg ha<sup>-1</sup>) en dos variedades de papa (Russet Burbank, de ciclo largo, y Shepody, de ciclo corto). Todo el fertilizante se aplicó en banda a la siembra. La fuente DAP se aplicó con 73 y 269 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y se usó una mezcla de DAP y ST para la dosis de 560 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Se aplicaron 168 kg ha<sup>-1</sup> N y 269 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O.

La variedad Russet Burbank respondió más al encalado y a la aplicación de P que la variedad Shepody en ambos sitios. La aplicación de cal aumentó la respuesta a P para Russet Burbank en todas las dosis de P aplicadas. Los tubérculos de Shepody tuvieron valores más altos de P que Russet Burbank, 0.27% vs 0.22%, pero valores más bajos de Ca, 164 mg kg<sup>-1</sup> vs 222 mg kg<sup>-1</sup>. La aplicación de cal no alteró los valores de Ca en el Sitio B con pH más bajo, pero incrementó Ca por 42 mg kg<sup>-1</sup> en el Sitio A

con pH más alto. Se confirmaron los altos requerimientos de P de Russet Burbank. La menor respuesta de Shepody indicó que las necesidades de P dependieron de la variedad de papa.

El objetivo de la presente investigación fue estudiar el efecto del CaCO<sub>3</sub>, así como de las dosis y de las fuentes de fertilizante fosfórico en el rendimiento del tubérculo de papa en un Andosol de la Sierra Veracruzana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la región de Naolinco, Veracruz, la cual forma parte del DDR 004 "Coatepec", se estableció un experimento en un Andosol húmico, en el Sistema Terrestre NAO, descrito por Aguilar y Ortiz (1987), en los terrenos de un productor cooperante, en el municipio de Miahuatlán, Veracruz, a una altitud de 1680 m y coordenadas geográficas 96° 50' O y 19° 40' N.

El Cuadro 1 contiene las características físicas y químicas del Andosol al inicio del experimento. Aguilar y López (1992) describieron la caracterización física y química de la cal agrícola. La prueba sobre requerimiento de cal no se realizó en laboratorio, sino que se procedió a hacerla directamente en campo con aplicación de dosis crecientes de cal comercial en el agrosistema en estudio y para el cultivo específico de papa.

### Factores y Niveles de Estudio

Los factores que se ensayaron fueron: 1) variedades de papa (Tollocan y Mexiquense); 2) dosis de fósforo (0, 200 y 400 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, equivalentes a 88 y 176 kg ha<sup>-1</sup> P); 3) fuentes de fósforo (superfosfato de calcio simple, SS; superfosfato de calcio triple, ST; y roca fosfórica de Baja California, RF); 4) dosis de cal (0, 2 y 4 t ha<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>) y 5) años, se ensayaron en el mismo sitio dos ciclos del cultivo durante 1991 y 1992. La RF tenía una concentración de 30.4% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, con una solubilidad absoluta en citrato de 10.8 a 15.9%.

### Diseño de Tratamientos y Diseño Experimental

El diseño de tratamientos fue un factorial en un arreglo de parcelas subdivididas; como parcela grande se utilizó al factor años; la subparcela consideró las

**Cuadro 1. Análisis físico y químico realizados en el Andosol al inicio del experimento.**

Determinación y método	Resultado	Interpretación	Fuente
Textura; (Bouyoucos)	63.4% arena y 6.8% arcilla	Migajón arenoso	Castellanos <i>et al.</i> (2000)
pH en agua (1:2); (Potenciómetro)	5.3	Moderadamente ácido	Castellanos <i>et al.</i> (2000)
pH con NaF 1N; (Potenciómetro)	10.88	Cantidades moderadas a apreciables de alofano	Guerrero y Pabón (1984)
M. O. (%); (Walkley y Black)	13.3	Alto	Fassbender y Bornemiza (1987)
N total (%); (Kjeldahl)	0.571	Alto	Vázquez (1996)
P (mg kg <sup>-1</sup> ); (Bray I)	0.62	Muy bajo	Vázquez (1996)
K (mg kg <sup>-1</sup> ); (Acetato de amonio 1N pH 7)	492	Moderadamente alto	Vázquez (1996)
Ca (mg kg <sup>-1</sup> ); (Acetato de amonio 1N pH 7)	150	Muy bajo	Vázquez (1996)
Mg (mg kg <sup>-1</sup> ); (Acetato de amonio 1N pH 7)	12	Muy bajo	Vázquez (1996)
Mn (mg kg <sup>-1</sup> ); (HCl 0.1N)	7.7	Moderadamente bajo	Vázquez (1996)
Al intercambiable (me 100 g <sup>-1</sup> ); (Acetato de amonio 1N pH 4.8)	0.67	Mediano	Landon (1991)
Saturación de aluminio (%)	12.92	Mediano	Landon (1991)

tres dosis de cal agrícola, y la subsubparcela correspondió al factorial 2 x 3 x 3 para los factores variedad, dosis y fuentes de fósforo. Las unidades experimentales se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las unidades experimentales constaron de cuatro surcos de 0.8 m de separación y 8 m de largo. Se consideró como parcela útil los dos surcos centrales de cada unidad experimental.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) generó las variedades de papa Mexiquense y Tollocan para las condiciones serranas y de temporal del estado de México. Estas variedades toleran el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y son de ciclo intermedio (120 a 130 días). La variedad Mexiquense tiene la cutícula roja y la variedad Tollocan cutícula blanca. Se evaluó el rendimiento total de tubérculo fresco, expresado en t ha<sup>-1</sup>.

### Análisis Económico y Eficiencia Agronómica Relativa

Para evaluar económicamente las dosis y fuentes de fósforo y dosis de cal, se utilizó el procedimiento discreto para capital ilimitado y limitado, descrito por Volke (1982). El procedimiento para capital ilimitado maximiza la utilidad por unidad de superficie, siempre y cuando se optimice el uso de insumos de la producción y, por lo tanto, puede ser apropiado para la agricultura comercial y empresarial. El procedimiento para capital limitado optimiza el uso de insumos y maximiza la tasa de retorno al capital variable invertido en la producción con la restricción de un

capital limitado determinado para invertir en los insumos, propio para agricultura de subsistencia.

Para el análisis económico, se consideraron los siguientes precios en pesos mexicanos: \$ 0.35 kg<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, \$ 0.99 kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como RF, \$4.13 kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como ST, \$5.10 kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como SS y \$4.00 kg<sup>-1</sup> de tubérculo de papa.

La eficiencia agronómica relativa (EAR) de RF y ST con respecto a SS se obtuvo mediante el procedimiento descrito por Engelstad *et al.*, citados por De Gracia *et al.* (1996):

$$EAR_{RF} = [(Rend\ RF - Rend\ T) / (Rend\ SS - Rend\ T)] \times 100$$

$$EAR_{ST} = [(Rend\ ST - Rend\ T) / (Rend\ SS - Rend\ T)] \times 100$$

Donde: Rend RF, Rend ST, Rend SS, y Rend T = rendimiento del tubérculo fresco en tratamientos fertilizados con roca fosfórica, superfosfato de calcio triple, superfosfato de calcio simple y testigo sin fósforo, respectivamente.

### Conducción del Experimento

La cal se aplicó al voleo por única vez, el 5 de diciembre de 1990 y se incorporó al suelo mediante un barbecho y dos pasos de cruz a una profundidad de 15 a 25 cm. Al año siguiente ya no se volvió a aplicar cal al suelo. La preparación del suelo se efectuó con tiro de caballos y arado egipcio de madera con punta metálica. No se hicieron análisis de suelos posteriores a la aplicación de cal.

El 25 de enero de 1991 y el 27 de enero de 1992, se llevó a cabo la siembra de papa en cada ciclo; se

utilizaron 2 t ha<sup>-1</sup> de tubérculo-semilla procedentes de Toluca, estado de México. En 1991, se depositó un tubérculo cada 50 cm entre matas y 80 cm entre surcos. A un lado de cada tubérculo y en el fondo del surco, se aplicó todo el fertilizante según la dosis y fuente de fertilización fosfórica. Al siguiente año y en el mismo mes, se volvió a sembrar y a aplicar las dosis y fuentes de fósforo, en la misma unidad experimental.

Al mes de establecido el cultivo de papa, se le dio la primera labor o limpia, al día siguiente se sembró maíz entre las hileras de papa, y a 60 y 80 días se aterró o aporcó el cultivo de papa.

En la primera semana de mayo, se cortó el follaje y, a fines de mayo en cada año de estudio, se cosechó el tubérculo, quedando sólo el cultivo de maíz, el cual no se evaluó en este trabajo. Las dosis de nitrógeno y potasio aplicadas fueron 80 kg ha<sup>-1</sup> de N y K<sub>2</sub>O,

respectivamente, en forma de urea y cloruro de potasio, según resultados de Aguilar *et al.* (2000).

No se aplicaron fungicidas, ni insecticidas, ya que las variedades de papa toleran el tizón tardío, y no se presentaron plagas en el cultivo.

El 28 de febrero de 1991, se presentó una helada que afectó ligeramente al follaje del cultivo; en cambio, en abril de 1991 y 1992, la papa sufrió por sequía durante el proceso de tuberización (equivalente al llenado del grano en cereales); esto redujo drásticamente el rendimiento, sobre todo en 1992, ya que la sequía se prolongó por 20 días, mientras que en 1991 duró ocho días.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2, se presenta el análisis de varianza, en el cual se muestran diferencias significativas para

**Cuadro 2. Análisis de varianza del rendimiento de tubérculo de las variedades de papa, Tollocan y Mexiquense en un arreglo de parcelas subdivididas.**

Fuente de variación	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
<b>Años (A)</b>	1	1252.65	1252.65	371.00	<b>0.0001</b>
Repeticiones (A) = Error a	4	13.51	3.38		
Cal (C)	2	25.20	12.60	1.20	0.3504
A x C	2	13.47	6.74	0.64	0.5518
Repeticiones (A x C) = Error b	8	84.07	10.51		
Variedad (V)	1	1.37	1.37	0.75	0.3872
<b>Dosis de fósforo (P)</b>	2	754.64	377.32	206.42	<b>0.0001</b>
V x P	2	2.08	1.04	0.57	0.5666
<b>Fuentes de fósforo (F)</b>	2	746.54	373.27	204.20	<b>0.0001</b>
V x F	2	10.30	5.15	2.82	0.0621
<b>P x F</b>	4	332.13	83.03	45.42	<b>0.0001</b>
<b>V x P x F</b>	4	19.15	4.79	2.62	<b>0.0362</b>
<b>A x V</b>	1	34.03	34.03	18.62	<b>0.0001</b>
<b>A x P</b>	2	477.10	238.55	130.50	<b>0.0001</b>
<b>A x V x P</b>	2	12.86	6.43	3.52	<b>0.0315</b>
<b>A x P x F</b>	4	240.92	60.23	32.95	<b>0.0001</b>
A x V x P x F	4	4.08	1.01	0.56	0.6937
C x V	2	9.69	4.84	2.65	0.0731
C x P	4	6.38	1.59	0.87	0.4813
C x V x P	4	16.51	4.13	2.26	0.0642
C x F	4	14.76	3.69	2.02	0.0931
C x V x F	4	12.97	3.24	1.77	0.1356
<b>C x P x F</b>	8	35.61	4.45	2.44	<b>0.0155</b>
C x V x P x F	8	20.27	2.53	1.39	0.2044
A x C x V	2	0.85	0.42	0.23	0.7937
A x C x P	4	8.73	2.18	1.19	0.3143
A x C x V x P	4	10.79	2.70	1.47	0.2111
A x C x F	4	10.97	2.74	1.50	0.2033
A x C x V x F	4	11.32	2.83	1.55	0.1898
A x C x P x F	8	22.23	2.78	1.52	0.1520
A x C x V x P x F	8	12.94	1.62	0.88	0.5301
Error c	204	372.90	1.83		
Total corregido	323	5107.74			

CV = 31.3%.



años (A), dosis de fósforo (P), fuentes de fósforo (F), y para las interacciones: (P x F), (V x P x F), (A x V), (A x P), (A x V x P), (A x P x F), y (C x P x F). A pesar de contar con sólo tres repeticiones, los efectos sobresalientes son tan claros y consistentes, que lograron significancia estadística. Por otra parte, el hecho de trabajar con un factorial aumentó la precisión en la significancia de las interacciones.

Por el alto número de interacciones significativas, se discutirán únicamente las más importantes: (A x V), (A x P x F), (C x P x F) y (V x P x F).

En 1991, el rendimiento máximo obtenido de tubérculos fue 16.87 t ha<sup>-1</sup> cuando se utilizaron 2 t ha<sup>-1</sup> cal, la variedad Tollocan y 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como SS. En 1992, el máximo rendimiento fue 4.92 t ha<sup>-1</sup> cuando se utilizaron 4 t ha<sup>-1</sup> de cal, la variedad Mexiquense, 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como ST (datos no mostrados). La diferencia en el rendimiento entre años se explica por el efecto de la sequía.

En 1991, con ocho días de sequía y 256 mm de precipitación registrada, no hubo diferencia en el rendimiento entre variedades; sin embargo, en 1992, con 127 mm de precipitación y con 20 días de sequía durante la etapa de tuberización, el rendimiento de la variedad Tollocan fue 28% menor con respecto al de la variedad Mexiquense (Cuadro 3).

Se tuvieron rendimientos crecientes del tubérculo de papa con la aplicación de dosis crecientes de fósforo (Cuadro 4). Entre las fuentes de fósforo sobresale la aplicación de SS, sobre ST y RF; estos resultados son similares a los obtenidos por Shanmugasundaram y Nanjan (1992), ya que el fertilizante soluble y finamente molido tiene mayor superficie de contacto para que la baja densidad radical del cultivo de papa (Vos y Groenwold, 1986) tenga mayor acceso al fósforo (Nuñez y Gavi, 1991).

En 1991, año con sequía de leve a moderada, el rendimiento del tubérculo de papa (promedio de las variedades Tollocan y Mexiquense) respondió

**Cuadro 3. Rendimiento del tubérculo de dos variedades de papa en dos años de estudio (promedio de tres dosis y tres fuentes de P).**

Año	Días con sequía	Precipitación pluvial mm	Rendimiento de papa por variedad	
			Mexiquense	Tollocan
1991	8	256	6.03 a	6.55 a
1992	20	127	2.75 b	1.97 c

Cifras con la misma letra en hileras o columnas son estadísticamente iguales ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 4. Rendimiento del tubérculo de papa (promedio de las variedades Tollocan y Mexiquense), en función del año, y dosis y fuentes de fósforo.**

Factores y niveles	Rendimiento de tubérculo t ha <sup>-1</sup>
<b>Año</b>	
1991	6.29 a
1992	2.36 b
<b>Dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, kg ha<sup>-1</sup></b>	
0	2.28 c
200	4.74 b
400	5.95 a
<b>Fuentes de fertilizante fosfórico</b>	
Superfosfato de calcio simple	5.84 a
Superfosfato de calcio triple	4.88 b
Roca fosfórica de Baja California	2.25 c

Cifras con la misma letra son estadísticamente iguales ( $P \leq 0.05$ ).

hasta 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con SS y ST con rendimientos promedio de 13.89 y 11.14 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, diferentes significativamente entre ellos (Cuadro 5). La EAR de la ST y de la RF tuvo un promedio de 86.3% y 2.9% respectivamente, comparada con la del SS (100%). En 1992, año con sequía severa, el rendimiento fue más bajo que el obtenido el año anterior y sin mostrar respuesta a las dosis y fuentes de P (Cuadro 5), debido probablemente a que el fertilizante fosfórico no se solubilizó lo suficiente por la falta de humedad (Barber, 1984) (Cuadro 3). Resultados similares obtuvieron Nuñez y Gavi (1991) en el cultivo de maíz. En ambos años, la RF no tuvo ningún efecto sobre el rendimiento de papa, lo que sugiere que la acidez del suelo (pH = 5.3) no fue suficiente para solubilizar el P y, tal vez, convenga acidular la RF con azufre y/o mezclarla con SS o ST en estudios posteriores. También se asume que el alto valor de flúor (4.1%) afecta detrimentalmente la disponibilidad de P de la roca (Ellis *et al.*, citados por Etchevers *et al.*, 1986). Con estos resultados se infiere que la RF cruda y sola de Baja California, sin mezclarse con otra fuente soluble, no se recomienda para el cultivo de papa, debido a que este cultivo posee un pequeño volumen radical (Vos y Groenwold, 1986) que, comparado con el de los cereales, se considera ineficiente para solubilizar el fósforo de la RF cruda.

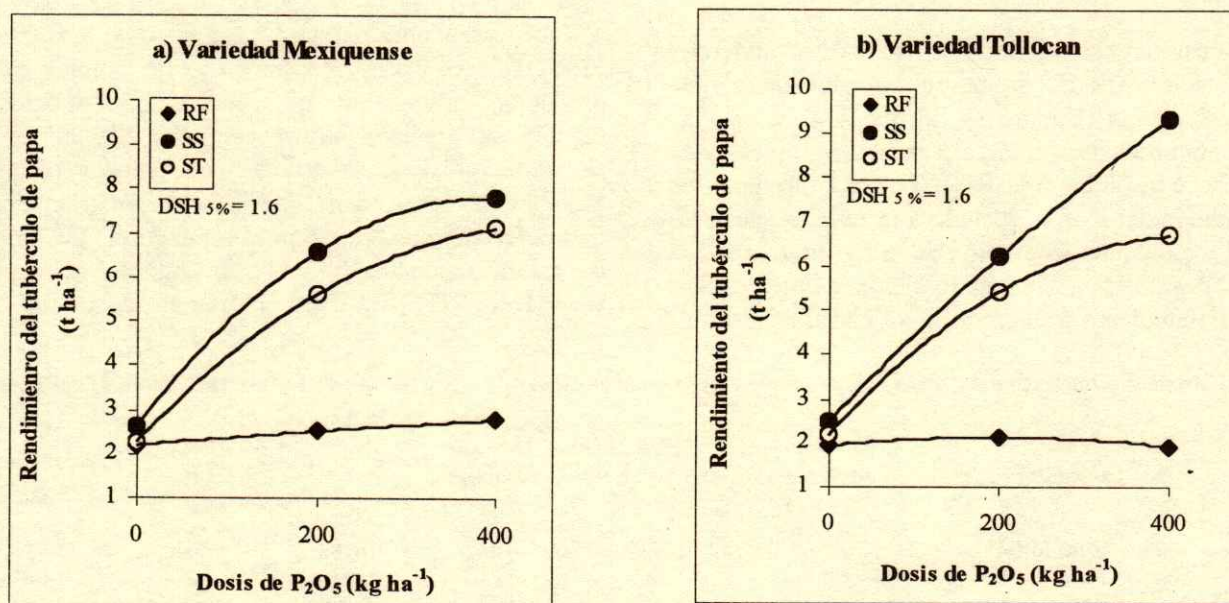
En la Figura 1, se presenta la respuesta de las variedades de papa a la aplicación de dosis crecientes de tres fuentes de fertilización fosfórica. Tanto la variedad Mexiquense, como la variedad Tollocan respondieron hasta 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> con SS.

**Cuadro 5. Rendimiento de tubérculo de papa (promedio de las variedades Tollocan y Mexiquense con tres dosis de cal) y eficiencia agronómica relativa, en función de la fuente de fósforo y las interacciones año x fuente de fósforo y año x dosis x fuente de fósforo.**

Año	Dosis de fósforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Rendimiento de tubérculo y eficiencia agronómica relativa por fuente de fósforo					
		Roca fosfórica		Superfosfato triple		Superfosfato simple	
		t ha <sup>-1</sup>	EAR <sup>†</sup> %	t ha <sup>-1</sup>	EAR %	t ha <sup>-1</sup>	EAR %
1991	0	2.35 p		2.31 p		3.24 p	
	200	2.55 p	2.9	8.41 o	89.7	10.04 n	100.0
	400	2.66 p	2.9	11.14 n	82.9	13.89 m	100.0
	<b>Promedio (A x F)</b>	<b>2.52 i</b>		<b>7.29 h</b>		<b>9.06 g</b>	
1992	0	1.77 p		2.14 p		1.86 p	
	200	2.11 p	39.1	2.61 p	54.0	2.73 p	100.0
	400	2.05 p	20.0	2.68 p	38.6	3.26 p	100.0
	<b>Promedio (A x F)</b>	<b>1.98 i</b>		<b>2.48 i</b>		<b>2.62 i</b>	
<b>Promedio (F)</b>		<b>2.25 c</b>		<b>4.89 b</b>		<b>5.84 a</b>	

Cifras con la misma letra en su grupo son estadísticamente iguales ( $Pr \leq 0.05$ ). a,b,c para significancia de medias de fuentes (F); g,h,i, para significancia de años por fuentes (A x F); m,n,o,p para significancia de años por dosis por fuentes (A x P x F).

<sup>†</sup> Eficiencia agronómica relativa.



**Figura 1. Respuesta en rendimiento de la variedad: a) Mexiquense y b) Tollocan, a dosis y fuentes de fósforo (promedio de dos años y tres dosis de cal).**

Fontes *et al.* (1997) reportaron un rendimiento máximo económico de papa de 16.9 t ha<sup>-1</sup> con 530 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> en un suelo Ultisol en Brasil.

La variedad Tollocan mostró un rendimiento consistentemente creciente, lo que sugiere que esta variedad, con la fuente SS, tiende a responder a dosis mayores que las estudiadas; en cambio, al utilizar ST, el rendimiento tiende a llegar a un máximo, con la mayor dosis de fósforo.

La aplicación de 2 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> aumentó ligeramente el rendimiento promedio del tubérculo de

papa en 0.60 t ha<sup>-1</sup> con respecto al tratamiento sin encalar, aunque no fue significativo, quizá debido a la baja humedad del suelo que limitó la disolución de la cal (Bohn *et al.*, 1993), situación similar a la reportada por Maier *et al.* (1996) y Shanmugasundaram *et al.* (1994) en suelo con pH de 4.6, y a que la varianza fue muy alta en el error "b" (10.51) comparada con la obtenida en el error "c" (1.83) (Cuadro 2). Sin embargo, se presentó una interacción positiva cuando se combinó la cal con dosis y fuentes de fósforo.

**Cuadro 6. Rendimiento del tubérculo de papa (promedio de dos años y dos variedades), en función de la interacción dosis de cal x dosis de fósforo x fuentes de fósforo.**

Dosis de cal CaCO <sub>3</sub> t ha <sup>-1</sup>	Dosis de fósforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Rendimiento de tubérculo por fuente de fertilizante		
		Roca fosfórica	SS <sup>†</sup>	ST <sup>†</sup>
0	0	1.72 d	2.49 d	2.18 d
	200	2.69 d	5.40 bc	4.74 c
	400	2.14 d	7.70 a	6.28 b
2	0	1.96 d	2.78 d	2.65 d
	200	1.86 d	7.54 a	5.53 bc
	400	2.40 d	8.59 a	7.48 a
4	0	2.49 d	2.39 d	1.86 d
	200	2.43 d	6.22 b	6.26 b
	400	2.52 d	9.42 a	6.96 b

<sup>†</sup> Superfosfato de calcio simple; <sup>†</sup> Superfosfato de calcio triple.  
Cifras con la misma letra son estadísticamente iguales (Pr ≤ 0.05).

Las dosis crecientes de RF y de cal no tuvieron efectos significativos sobre el rendimiento del tubérculo de papa (Cuadro 6), lo que sugiere que la RF requiere un medio ácido para solubilizar su fosfato y la cal hace insoluble a la RF y, por lo tanto, baja la disponibilidad del fósforo, debido a la reacción neutral en el pH y a una alta saturación de calcio en los suelos (Mishra *et al.*, 1981). Sin embargo, con las fuentes SS y ST, el rendimiento se incrementó al elevarse la dosis

de fósforo y de cal, tal vez debido a que el suelo era deficitario de P y Ca, en este caso el encalado suministró Ca como nutrimento (Aguilar y López, 1992). Estadísticamente resulta igual aplicar los tratamientos 2 t ha<sup>-1</sup> de cal + 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como SS que 0, 2 o 4 t ha<sup>-1</sup> de cal + 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como SS; o bien 2 t ha<sup>-1</sup> de cal + 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como ST (Cuadro 6).

En el Cuadro 7, se presenta el análisis económico del cultivo de papa como respuesta al encalado y dosis y fuentes de fósforo, promedio de dos años, practicado con el procedimiento discreto para capital ilimitado y para capital limitado (Volke, 1982). Resultó que el máximo ingreso neto + costos fijos (INCF) fue de \$ 34 240 ha<sup>-1</sup> asociado con el tratamiento óptimo económico para capital ilimitado (TOECI) consistente en 4 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> + 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como SS con un rendimiento máximo económico de 9.42 t ha<sup>-1</sup>. El TOECI es apropiado para que lo aplique aquel productor empresarial que cuente con suficientes recursos económicos para invertir. Por otro lado, para el productor de subsistencia, con escasos recursos económicos, es mejor que utilice el tratamiento óptimo económico para capital limitado (TOECL) que le garantice la mayor tasa de retorno al capital variable (TRCV), que en el presente caso fue de

**Cuadro 7. Análisis económico del cultivo de papa como respuesta al encalado y dosis y fuentes de fósforo (promedio de dos años).**

Tratamiento			Rendimiento tubérculo t ha <sup>-1</sup>	IBCF <sup>†</sup>	Costo variable \$ ha <sup>-1</sup>	INCF <sup>‡</sup>	ΔINCF <sup>§</sup>	TRCV <sup>¶</sup>
CaCO <sub>3</sub> t ha <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Fuentes de fósforo						
0	200	Roca fosfórica	2.69	10760	198	10562	2042	10.31
0	200	Super triple	4.74	18960	826	18134	9614	11.64
0	200	Super simple	5.40	21600	1020	20580	12060	11.82 <sup>††</sup>
0	400	Roca fosfórica	2.14	8560	396	8164	-	-
0	400	Super triple	6.28	25120	1652	23468	14948	9.05
0	400	Super simple	7.70	30800	2040	28760	20240	9.92
2	200	Roca fosfórica	1.86	7440	898	6542	-	-
2	200	Super triple	5.53	22120	1526	20594	12074	7.91
2	200	Super simple	7.54	30160	1720	28440	19920	11.58
2	400	Roca fosfórica	2.40	9600	1096	8504	-	-
2	400	Super triple	7.48	29920	2352	27568	19048	8.10
2	400	Super simple	8.59	34360	2740	31620	23100	8.43
4	200	Roca fosfórica	2.43	9720	1598	8122	-	-
4	200	Super triple	6.26	25040	2226	22814	14294	6.42
4	200	Super simple	6.22	24880	2420	22460	13940	5.76
4	400	Roca fosfórica	2.52	10080	1796	8284	-	-
4	400	Super triple	6.96	27840	3052	24788	16268	5.33
4	400	Super simple	9.42	37680	3440	34240 <sup>#</sup>	25720	7.48
0	0		2.13	8520	0	8520		

<sup>†</sup> Ingreso bruto + costos fijos. <sup>‡</sup> Ingreso neto + costos fijos. Los precios considerados fueron: a) \$ 0.35 kg<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>; b) \$ 0.99, \$ 4.13 y \$ 5.10 kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con RF, ST y SS, respectivamente; c) \$ 4.00 kg<sup>-1</sup> de tubérculo de papa. <sup>§</sup> Incremento de ingreso neto + costos fijos sobre el testigo absoluto. <sup>¶</sup> Tasa de retorno al capital variable = ΔINCF/costo variable. <sup>#</sup> Máximo ingreso neto asociado al tratamiento óptimo económico para capital ilimitado (TOECI). <sup>††</sup> Mayor tasa de retorno al capital variable, asociado al tratamiento óptimo económico para capital limitado (TOECL).

11.82, esto quiere decir que por cada peso invertido ganará \$11.82. El TOECL con la mayor TRCV consiste en aplicar 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como SS y sin cal.

### CONCLUSIONES

- La cal tuvo un efecto favorable sobre el rendimiento (promedio de las variedades Tollocan y Mexiquense) de tubérculo de papa sólo cuando se aplicó superfosfato de calcio simple o superfosfato de calcio triple. La roca fosfórica no tuvo efecto sobre el rendimiento de papa.

- El mayor ingreso neto más costos fijos fue de \$ 34 240 ha<sup>-1</sup>, asociado con el tratamiento óptimo económico para capital ilimitado de 4 t ha<sup>-1</sup> de cal + 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato de calcio simple. Este tratamiento es apropiado para el productor de tipo empresarial y con suficiente capital para invertir en insumos.

- La mayor tasa de retorno al capital variable de 11.82 se asoció con el tratamiento óptimo económico para capital limitado de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato de calcio simple y sin cal. Este tratamiento es apropiado para el productor de subsistencia y con escasos recursos económicos para invertir en insumos.

- La eficiencia agronómica relativa de las fuentes de fósforo tuvo el siguiente orden decreciente: superfosfato de calcio simple > superfosfato de calcio triple > roca fosfórica.

### LITERATURA CITADA

- Adán G., J.H., L.J. Cajuste y R. Núñez E. 1980. Caracterización química, mineralógica y evaluación agronómica de roca fosfórica de diferentes depósitos. *Agrociencia* 41: 95-112.
- Aguilar A., J.L. y R. López M. 1992. Efecto del encalado sobre el pH, saturación con aluminio y el rendimiento de maíz en Andosoles de Naolinco, Ver. *Terra* 10: 75-83.
- Aguilar A., J.L. y C.A. Ortiz S. 1987. Uso del levantamiento fisiográfico para generar tecnología de producción en el cultivo asociado maíz-frijol de guía. *Suelos Ecuatoriales* 17: 269-274.
- Aguilar A., J.L., R. López M., V. Volke H. y A. Khalil G. 2000. Fertilización en papa y su efecto residual en maíz, en dos agrosistemas de la sierra veracruzana. *Terra* 18: 71-81.
- Barber, S.A. 1984. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. John Wiley. New York.
- Bohn, H.L., B.L. McNeal y G.A. O'Connor. 1993. Química del suelo. Trad. al español por M. Sánchez O. y R. Guajardo V. LIMUSA. México, D.F.
- Castellanos, J.Z., J.X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2da edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Celaya, Guanajuato, México.
- Centro Internacional de la Papa. 1984. Informe Anual del Centro Internacional de la Papa, 1983. Lima, Perú.
- De Gracia de L., R.G., R. Núñez E., J.D. Etchevers B. y M. Bell. 1996. Respuesta de *Lolium perenne* a dos rocas fosfóricas con tres tamaños de partícula adicionadas de azufre o zeolita en un Andosol. *Agrociencia* 30: 459-467.
- Espinosa, J. 1991. Efecto residual de fósforo en Andisoles. *Rev. Fac. Agron. de la Universidad Central de Maracay Venezuela* 17: 39-47.
- Etchevers, J.D., R. Núñez E., I. Montes G. y A. Trinidad S. 1986. Investigación agronómica con roca fosfórica en México. Serie Cuadernos de Edafología 3. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- FAO/UNESCO/ISRIC. 1988. FAO/UNESCO soil map of the world, revised legend, world soil resources. Report 60. Rome, Italy.
- Fassbender, W.H. y E. Bornemiza. 1987. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica.
- Fontes P., C.R., F.A.T. Rocha y H.E.P. Martínez. 1997. Maximum economic potato yield as a function of phosphorus fertilizer application. *Horticultura Brasileira* 15(2): 104-107.
- Guerrero, R.R. y S.H. Pabón. 1984. La determinación rápida de material amorfo y su aplicación en el diagnóstico de suelos volcánicos en Colombia. pp. 150-163. *In: Congreso Internacional de Suelos Volcánicos*. Secretariado de Publicaciones, Universidad de La Laguna. Serie Informes 13. Islas Canarias, España.
- Gutiérrez J., L.C. 1991. ROFOMEX: A un paso de la calidad internacional. *Rev. Fac. Agron. de la Universidad Central de Maracay Venezuela* 17: 13-18.
- Landon, J.R. (ed). 1991. Booker tropical soil manual: A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. John Wiley. New York.
- Maier, N.A., M.J. McLaughlin, M. Heap, M. Butt, M.K. Smart y C.M.J. Williams. 1996. Effect of current season application of calcitic lime on soil pH, yield and cadmium concentration in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 47: 29-40.
- Mishra, B., R.D. Dharma y N.P. Mishra. 1981. Response of potato to rock phosphate applied in conjunction with pyrites or superphosphate. *Potato Res.* 24: 183-186.
- Moorehead, S., R. Coffin y B. Douglas. 1998. Phosphorus needs of processing potato varieties. *Better Crops with Plant Food* 82(4): 6-7
- Núñez E., R. 1985. Efectos de la acidez del suelo sobre la producción de cultivos y su corrección mediante el encalado. Serie Cuadernos de Edafología 2. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Núñez E., R. y F. Gavi R. 1991. Avances de las investigaciones sobre aplicación directa de roca fosfórica en México. *Rev. Fac. Agron. de la Universidad Central de Maracay Venezuela* 17: 197-216.
- Okajima, H. 1980. Habilitación y mejoramiento de suelos derivados de cenizas volcánicas. pp. 68-88. *In: Ishizuka, Y. y C.A. Black (eds.) Suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F..
- Ortiz S., C.A. 1987. Evaluación de las tierras de México para la producción de maíz, frijol y sorgo en condiciones de

- temporal. Cuaderno de Edafología 8. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Shanmugasundaram, R. y K. Nanjan. 1992. Influence of carriers on growth and yield of potato in acid soils of Nilgiris. *J. Indian Potato Assoc.* 19(1-2): 84-86.
- Shanmugasundaram, R., P. Savithri y K. Nanjan. 1994. Influence of acid soil amendments on potato tuber yield and phosphorus uptake. *Madras Agric. J.* 81: 574-575.
- Smith, J. y S. Cravo. 1990. Phosphorus management for continuous corn-cowpea production in a Brazilian Amazon Oxisol. *Agron. J.* 82: 305-309.
- Urquiaga, S. y R.M. Boddey. 1996. Crop production in deleterious soils with special emphasis on acid soils. *Terra* 14: 101-123.
- Vázquez-Alarcón, A. 1996. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. Segunda edición. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Volke H., V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Vos, J. y J. Groenwold. 1986. Root growth of potato crops on a marine-clay soil. *Plant Soil* 94: 17-33.
- Zapata, F., E. Casanova, A.M. Salas e I. Pino. 1996. Dynamics of phosphorus in soils and phosphate fertilizer management in different cropping systems through the use of isotopic techniques. *Terra* 14: 59-75.

# ESTADO ACTUAL Y CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DE LOS AGOSTADEROS EN EL MUNICIPIO DE YANHUITLÁN, OAXACA

## Present Condition and Causes of Rangeland Degradation in Yanhuítlán County, Oaxaca

José Rafael Contreras-Hinojosa<sup>1</sup>, Víctor Volke-Haller<sup>2†</sup>, José L. Oropeza-Mota<sup>2</sup>, Carlos Rodríguez-Franco<sup>3</sup>, Tomás Martínez-Saldaña<sup>4</sup> y Ángel Martínez-Garza<sup>4</sup>

### RESUMEN

El estudio se realizó en el área del municipio de Yanhuítlán, Oaxaca, con los objetivos de evaluar el estado de degradación de la cobertura vegetal de los agostaderos, determinar las causas de tal estado y proponer algunas acciones para controlar dichas causas. Para evaluar el estado de los agostaderos, se seleccionaron cuatro representativos y se usó el procedimiento de Líneas Canfield, y para determinar las causas de degradación se obtuvo información mediante entrevistas informales con las autoridades municipales y de bienes comunales, y entrevistas formales con 60 jefes de familia. Los resultados indican que la cobertura media del suelo es de 26 a 55%, en los cuatro agostaderos, con predominio de especies de pastos en dos de ellos, arbustivas en uno y de ambas en otro, lo que indica un estado pobre en dos, regular a pobre en uno y bueno en otro. Las causas de la degradación de los agostaderos residen en el sobrepastoreo a que se encuentran sometidos, derivado de un excesivo número de animales para su superficie y estado actual, originado ello de causas sociales y económicas presentes. El mejoramiento de los agostaderos comprendería: la organización de la comunidad, con fines de normar la utilización y el manejo; y el uso de prácticas como: siembra de especies deseables y eliminación de especies indeseables, fertilización y captación de agua de lluvia.

**Palabras clave:** *Erosión del suelo, biodiversidad, pastizal.*

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Yanhuítlán, 69660 Yanhuítlán, Oaxaca. (contrerasraf@hotmail.com) †

<sup>2</sup> Instituto de Recursos Naturales, <sup>4</sup> Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, México. † Autor responsable.

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México. Chapingo, México.

Recibido: Octubre de 2001. Aceptado: Febrero de 2003.  
Publicado en Terra 21: 427-435.

### SUMMARY

This study was carried out in Yanhuítlán County, Oaxaca, to evaluate the present state of rangelands, to determine the causes of that situation and to propose the actions for control. Four representative rangelands were selected for assessing the state of rangeland conditions, and the Canfield Lines method was used. The causes of their degradation were obtained from interviews with communal and municipality authorities and 60 citizens. The results demonstrated that rangelands have a soil cover from 26 to 55%, with predominant grass species in two of them, shrub in one and both species in the other. Thus, two rangelands are in poor condition, one is in fair-poor condition and the other is in good condition. The causes of degradation of rangelands are overgrazing due to the excessive number of animals, which is originated from social and economic causes. Rangeland improvement includes the community organization, for controlling the use and management; and the usage of practices as sowing of desirable species and eliminating undesirable species, fertilization and rainfall captation.

**Index words:** *Soil erosion, biodiversity, grassland.*

### INTRODUCCIÓN

El uso de los recursos naturales para satisfacer las necesidades alimentarias y económicas del hombre, aunado a condiciones climáticas adversas, ha promovido el deterioro de ellos. Uno de estos usos es el pastoreo de pastizales naturales por ganado diverso, como: caprino, ovino y vacuno, con fines de producción de carne, lana y leche, para la obtención de ingresos y el consumo de la población que en mayor o menor medida depende de ello.

En México, los pastizales naturales, denominados agostaderos, históricamente se han definido como áreas de tierras no cultivadas que se dedican al pastoreo de animales domésticos (Hall, 1998). Normalmente se caracterizan por: 1) presentar

diversos tipos de vegetación, como gramíneas nativas y especies herbáceas, en formaciones de zonas áridas, matorrales, estepas, pastizales y bosques abiertos, a la vez que, en agostaderos degradados, vegetación diversa introducida de menor palatabilidad o más tolerante al pastoreo, de tipo arbustivo o malezas; y 2) ubicarse en suelos limitativos por profundidad, pedregosidad, textura, salinidad, drenaje y/o topografía, y/o en áreas con limitaciones climáticas por precipitación y temperatura (Stoddart *et al.*, 1975; Holechek *et al.*, 1989; Heady y Child, 1994).

Una característica común de la mayoría de los agostaderos es su avanzado estado de degradación, tanto de la vegetación, como del suelo, derivado del sobrepastoreo a que se encuentran sujetos. Este sobrepastoreo corresponde a un pastoreo excesivo en cuanto a número de animales y periodo de tiempo, de tal manera que el sistema no es capaz de recobrar y mantener su vegetación y capacidad productiva (Lebaron *et al.*, 1979; Holechek, 1981; Holechek *et al.*, 1989).

El pastoreo y, en particular, el sobrepastoreo causan la degradación de los agostaderos a través de su efecto sobre la vegetación y de pisoteo al suelo, de tal forma que:

- La disminución de la vegetación reduce la cobertura vegetal, tanto por menor biomasa aérea, como por menor acumulación de restos orgánicos en la superficie, y esto tiene los efectos de: desproteger el suelo del impacto de las gotas de lluvia, lo que destruye los agregados y da lugar a una erosión laminar; y disminuir la intercepción del agua de lluvia, con lo que decrece la infiltración y aumenta el escurrimiento superficial.

- El pisoteo de los animales causa la destrucción de los agregados y la compactación de las capas superficiales del suelo, lo que origina una disminución de la infiltración y un incremento del escurrimiento superficial.

- El escurrimiento superficial da lugar a la concentración del agua en canalillos, que aumentarán en tamaño, hasta llegar finalmente a la formación de cárcavas.

- También, el sobrepastoreo tiende a formar senderos sin vegetación en los cuales se concentran escurrimientos, con lo que se inicia un proceso más rápido de formación de cárcavas.

- La magnitud de los efectos está relacionada con el tipo de ganado (caprino, ovino y bovino), la intensidad del pastoreo, el tipo de suelo, el contenido de humedad del suelo, la topografía, las características

del clima y el tipo de vegetación (Branson *et al.*, 1981; Holechek *et al.*, 1989; Vázquez y Orozco, 1989; Thurow, 1991; Miller, 2000; Engels, 2001).

La relación entre la intensidad del pastoreo y la pérdida de la cobertura vegetal, así como de ésta última con la disminución de la infiltración y el incremento del escurrimiento superficial y, finalmente, el aumento de las pérdidas de suelo por erosión, se encuentran ampliamente documentados para diferentes condiciones de manejo y ambientales (Lebaron *et al.*, 1979; Branson *et al.*, 1981; Holechek *et al.*, 1989; Bari *et al.*, 1995; Engels, 2001).

Sin embargo, el sobrepastoreo, además de sus efectos sobre la cobertura vegetal y la erosión del suelo, presenta otros efectos importantes, como: 1) la disminución de la calidad del agostadero, debido a la eliminación de las plantas palatables por su consumo y afectación de la producción de semilla, el establecimiento y la sobrevivencia de plantas jóvenes, y, en las zonas subhúmedas y húmedas, esto es causa de invasión de plantas menos palatables, en especial de tipo arbustivo y malezas anuales; 2) el decremento de la acumulación de restos de vegetación sobre la superficie del suelo afecta los regímenes de temperatura y humedad del suelo, y, con ello, los procesos de crecimiento de las plantas; 3) la compactación del suelo afecta el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las plantas y, en consecuencia, la producción de biomasa; 4) la menor cantidad de biomasa, ya sea por el consumo de los animales o el menor crecimiento de las plantas, origina una menor acumulación de materia orgánica en el suelo, con sus consecuentes efectos sobre la estructura y porosidad del suelo, la infiltración de agua y la fertilidad del suelo; 5) la disminución de la infiltración de agua en el suelo decrece las reservas de agua del suelo e incrementa los problemas de sequía en zonas de temporal limitativo; 6) en los ecosistemas de zonas áridas, se afecta la cubierta de plantas criptógamas, como: algas, líquenes y musgos, que protegen el suelo de la erosión hídrica y eólica, y cianobacterias que fijan nitrógeno atmosférico (Thurow, 1991; Miller, 2000; Engels, 2001).

El estado de los agostaderos es una información desde luego importante conocer, en términos de su utilización y conservación. En general, se han considerado cuatro clases del estado de conservación: excelente, bueno, regular y pobre. Sin embargo, aspectos como las especies presentes, el periodo en que se haga la evaluación, las características del suelo y clima prevalecientes, y el tipo de ganado que lo

utiliza, hacen algo arbitraria cualquier clasificación. Una cuantificación de la clasificación cualitativa antes señalada, tal vez la más familiar, es la propuesta por Dyksterhuis (Holechek *et al.*, 1989), que parte de la definición de la cobertura para el estado óptimo del agostadero, como:

Estado	Porcentaje de cobertura
Excelente	76 a 100
Bueno	51 a 75
Regular	26 a 50
Pobre	0 a 25

La mayor objeción a esta clasificación consiste en la dificultad para determinar el estado óptimo del agostadero, en relación con todos los factores que pueden intervenir en determinar dicho estado óptimo, por ejemplo las especies presentes y la condición de suelo y clima. Otras clasificaciones del estado de los agostaderos se basan en: aspectos de la cobertura vegetal, vigor de las plantas, abundancia de restos orgánicos en la superficie del suelo, erosión del suelo y composición de las especies, o aspectos de las características de la vegetación y del suelo (Holechek *et al.*, 1989).

La utilización de los agostaderos tiene relación con la producción pecuaria con fines de obtener ingresos y alimentos, pero también, en muchos casos, con objetivos de seguridad familiar y prestigio social. Estos aspectos son sin duda incentivos para muchos ganaderos para incrementar el tamaño de sus hatos al máximo posible. Cuando esto ocurre en áreas bajo régimen comunal de uso libre de los agostaderos, para lo cual se tiene derecho a éste pero no obligaciones sobre su conservación, el resultado es el sobrepastoreo del agostadero y, finalmente, su degradación. Este sistema de utilización ha sido la principal causa del deterioro de los agostaderos en el mundo. Otros sistemas de utilización de los agostaderos son: su uso controlado como el establecido en las tierras públicas de los Estados Unidos de Norteamérica, y el control sobre el pastoreo en tierras comunales que comunidades rurales establecen con fines de controlar el deterioro del agostadero. En el caso de los Estados Unidos, se han logrado avances importantes en el mejoramiento y la conservación de los agostaderos, y en el caso de comunidades organizadas también existen numerosos ejemplos exitosos. Sin embargo, en este último caso, un aspecto que suele afectar el buen funcionamiento se presenta en relación con años

secos, en los cuales los ganaderos no pueden deshacerse de su ganado, y si no tienen reservas de alimentos, se podrá sobreutilizar el agostadero, con su consiguiente deterioro (De Alba, 1971; Lebaron *et al.*, 1979; Gilles y Jamtgaard, 1981; Gilles, 1982; Holechek *et al.*, 1989).

De acuerdo con lo anterior, la causa del deterioro de los agostaderos habría que encontrarla más bien en el bajo grado de organización de las comunidades en torno a la utilización y conservación de los recursos naturales. De ser así, la solución del problema requeriría avanzar hacia una organización de las comunidades que contemple, por un lado, la concienciación sobre la responsabilidad común de la conservación de los recursos naturales y, por otro, buscar formas internas de reglamentación del aprovechamiento de dichos recursos y, en este caso, de agostaderos (Gilles y Jamtgaard, 1981).

Desde el punto de vista técnico, la mejora de los agostaderos deberá partir de un diagnóstico del estado de ellos, en relación con el grado de degradación y las especies presentes, y su manejo requerirá de la determinación de las cargas animales adecuadas, del control del movimiento de los animales (mediante cercas fijas o móviles), y de otras prácticas, como: la siembra con especies deseables, ya sea nativas o introducidas; la eliminación de plantas indeseables; cuando se trata de agostaderos degradados, la fertilización con nitrógeno de las gramíneas y con fósforo para el establecimiento de leguminosas; y, en zonas de temporal limitativo, prácticas de captación de agua de lluvia (Heady, 1975; Holechek *et al.*, 1989).

En la región Mixteca Oaxaqueña, de la cual Yanhuitlán es uno de sus municipios, diversas estimaciones indican que: 36.0 a 38.7% de la superficie presenta erosión moderada (10 a 50 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), 46.0% erosión alta (50 a 200 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y 13.3% erosión muy alta (más de 200 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Martínez *et al.*, 1986; Romero *et al.*, 1986). A su vez, en los municipios de Etlatongo, Tecamatlán, Jaltepetongo, Zahuiatlán y Jaltepec, de la misma región Mixteca Oaxaqueña, 71% de la superficie presenta erosión severa a extrema, con pérdidas de suelo de 13.7 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en sistemas silvopastoriles, de 2.1 a 39.7 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en sistemas pastoriles y de 54.7 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en sistemas agropastoriles (Bustamante, 1989); 90% de la superficie presenta erosión, y 63% presenta erosión alta a muy alta, con pérdidas de suelo superiores a 50 y 200 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>,



respectivamente (Narvaes, 1991). Cabe señalar que la mayor parte de las superficies erosionadas corresponden a agostaderos.

Por su parte, Cruz (1988) (E. Cruz C. Comunicación personal)<sup>1</sup> encontró pérdidas de suelo en agostaderos erosionados de la localidad de Tiltepec, colindante al municipio de Yanhuatlán, en tres sitios, del orden de 1.663, 8.323 y 6.619 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para agostaderos con 49, 35 y 48% de cobertura vegetal, respectivamente, y que con la exclusión de pastoreo por los animales, estas pérdidas se redujeron en el segundo año a 0.773, 3.078 y 3.230 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente, para precipitaciones similares en ambos años.

La presente investigación se realizó en el área del municipio de Santo Domingo Yanhuatlán, Oaxaca, con el objetivo de evaluar el estado de degradación de la cobertura vegetal de los agostaderos, determinar las causas de tal estado y proponer algunas acciones para controlar dichas causas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde al municipio de Santo Domingo Yanhuatlán, estado de Oaxaca, el cual se ubica entre los 17° 28' y 17° 31' N y 97° 16' y 97° 20' O, comprende una superficie de 6838 ha y presenta una altitud de 1950 a 2800 m. El clima de la región corresponde, según la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1987), a un BS<sub>1</sub>kw(w)igw<sup>7</sup>, con una precipitación media anual de 678 mm (promedio de 22 años) y régimen de lluvias de verano y picos máximos en junio (20%) y septiembre (18%), y una temperatura media anual de 16.9 °C. Los suelos de la región son clasificados como Feozem calcárico (INEGI, 1981), los cuales presentan un color dominante pardo rojizo (5 YR 5/3), textura arcillosa, profundidades de 10 a más de 100 cm (de acuerdo con el grado de erosión), y topografía desde plana hasta montañosa.

Las áreas de agostaderos del municipio de Yanhuatlán ocupan una extensión de 1143 ha, 17% de la superficie del municipio, y corresponden a terrenos comunales que alguna vez se cultivaron y cambiaron de uso cuando las cosechas dejaron de ser satisfactorias debido a la erosión del suelo, y, en la actualidad, se dedican al pastoreo de ganado ovino y

caprino durante todo el año, en las áreas más cercanas a las comunidades.

La investigación se realizó en septiembre de 1996, al final del período de lluvias, y con fines de evaluar el estado de los agostaderos, en relación con las especies presentes y la cobertura de ellas sobre el suelo; se seleccionaron cuatro agostaderos con base en que fuesen representativos, en términos de distancia, pendiente y erosión del suelo, y vegetación predominante (pastos, herbáceas y arbustos). En cada uno de ellos se ubicó un sitio de muestreo, los que correspondieron a: Cerro de la Grava, Cerro Quedanaá, Cerro el Jazmín y paraje El Vergel. En el Cuadro 1 se presentan algunas características de los sitios de muestreo y en el Cuadro 2 algunas propiedades del suelo, de los agostaderos evaluados.

Para conocer las especies presentes y la cobertura de ellas sobre el suelo, se usó el procedimiento de Líneas Canfield, considerando 10 líneas de 10 m de longitud en cada sitio, distribuidas al azar pero tratando de cubrir todas las condiciones del sitio con relación a la altitud, exposición y pendiente. Este procedimiento consiste en instalar un alambre o cable sobre el suelo y medir la porción de cada planta interceptada con una regla milimétrica, para determinar la superficie cubierta por la planta de ambos lados de la línea. Para hierbas de un solo tallo en contacto con la línea, se midió el diámetro de éste a nivel del suelo; para gramíneas amacolladas o hierbas con hojas, se midió la longitud de la capa o de las hojas basales interceptadas por la línea a nivel del suelo; y para plantas arbustivas, se midió la longitud de la porción de la capa interceptada. La longitud mínima considerada fue de 0.5 cm, de tal manera que a cualquier longitud menor se le asignó este valor. Los valores medidos por línea se expresan en porcentaje, en relación con la longitud de la línea (COTECOCA, s/f). Las especies se denominaron por su nombre común y se identificaron por su nombre científico.

De igual manera que para la vegetación, el procedimiento se aplicó para el suelo desnudo, los detritus orgánicos, las heces fecales de los animales de pastoreo y las piedras mayores que 2 cm.

Por otra parte, para conocer las formas de aprovechamiento del agostadero, se procedió a obtener información mediante entrevistas informales con las autoridades municipales y de bienes comunales, y entrevistas formales con 60 jefes de familia, quienes aceptaron contestar de un total de 420 que incluía la lista proporcionada por las autoridades municipales.

<sup>1</sup> Campo Experimental Yanhuatlán, INIFAP. 69660 Yanhuatlán, Oaxaca.

**Cuadro 1. Algunas características de los sitios de muestreo de los agostaderos del municipio de Yanhuatlán, Oaxaca.**

Agostadero	Altitud	Exposición	Ubicación	Distancia	Pendiente	Erosión
	m				media	
				min	%	
Cerro de la Grava	2010 a 2090	O	Pie de monte	20	5 a 5	Cárcavas abundantes
Cerro Quedanaá	2100 a 2180	S, SO, O	Pie de monte	30	30 a 80	Cárcavas abundantes
Cerro El Jazmín	2185 a 2260	E, NE	Terrazas antiguas	30	5 a 20	Laminar y cárcavas pequeñas escasas
El Vergel	2085 a 2220	E, SE	Cultivo eventual	20	2 a 15	Laminar

**Cuadro 2. Profundidad y algunas características del suelo superficial de los sitios de muestreo de agostaderos del municipio de Yanhuatlán, Oaxaca.**

Agostadero	Profundidad	Textura	Color	pH
	m			
Cerro de la Grava	0.21 a 0.45	Migajón arcillosa	Gris claro (5 Y 7/1)	8.2
Cerro Quedanaá	0.36 a 0.51	Arcillosa	Pardo rojizo (5 YR 5/3)	8.0
Cerro El Jazmín	0.26 a 0.75	Arcillosa	Pardo rojizo (5 YR 5/3)	8.2
El Vergel	0.31 a 0.76	Arcillosa	Pardo rojizo (5 YR 5/3)	8.0

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estado de los Agostaderos

En los Cuadros 3, 4, 5 y 6, se presenta la información sobre pendiente del suelo, cobertura vegetal del suelo, especies predominantes y altura de la especie, presencia de heces, suelo desnudo y presencia de piedras, por Línea Canfield, en los sitios de los agostaderos evaluados.

El total de especies colectadas en los cuatro agostaderos fue de 71, de las cuales 11 (16%)

correspondieron a pastos, 48 (67%) correspondieron a herbáceas y 12 (17%) correspondieron a arbustos, y son una parte de las especies que colectaron Cruz y Aguirre (1992) para un área cercana a Yanhuatlán.

Las especies dominantes en los agostaderos son: los pastos *Bouteloua hirsuta* y *Bouteloua curtipendula* en Cerro de la Grava; el pasto *Hilaria cenchroides*, en Cerro El Jazmín; el arbusto *Dodonaea viscosa*, en Cerro Quedanaá; y el pasto *Aristida divaricata* y los arbustos *Stevia lucida* y *Helianthemum glomeratum*, en El Vergel.

**Cuadro 3. Información del sitio de muestreo del agostadero Cerro de la Grava, municipio de Yanhuatlán, Oaxaca.**

Línea Canfield	Pendiente	Cobertura vegetal	Especie dominante			Presencia de heces	Suelo desnudo	
			Especie	Proporción de la cobertura vegetal	Altura		Total	Piedra
		%		%	cm		%	
1	5	29	<i>Aristida appressa</i>	7	10	sí	71	14
2	5	21	<i>Bouteloua curtipendula</i>	4	13	sí	67	16
3	10	20	<i>Bouteloua hirsuta</i>	5	12	no	78	22
4	10	10	<i>Bouteloua curtipendula</i>	2	9	no	89	89
5	6	26	<i>Bouteloua hirsuta</i>	7	10	sí	61	15
6	12	13	<i>Hilaria cenchroides</i>	4	10	sí	85	27
7	-	34	<i>Aristida appressa</i>	11	10	sí	62	4
8	2	40	<i>Bouteloua hirsuta</i>	14	12	sí	56	9
9	2	32	<i>Bouteloua hirsuta</i>	22	10	no	64	11
10	5	40	<i>Bouteloua curtipendula</i>	8	8	no	58	6
Media	6	26			10		69	21

**Cuadro 4. Información del sitio de muestreo del agostadero Cerro Quedanaá, municipio de Yanhuitlán, Oaxaca.**

Línea Canfield	Pendiente	Cobertura vegetal	Especie dominante			Presencia de heces	Suelo desnudo	
			Especie	Proporción de la cobertura vegetal	Altura		Total	Piedra
		----- % -----		%	cm		----- % -----	
1	63	19	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	9	145	sí	77	53
2	60	36	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	17	135	sí	57	5
3	40	46	<i>Dodonea viscosa</i>	18	130	si	51	19
4	80	16	<i>Dodonea viscosa</i>	11	140	no	74	74
5	80	80	<i>Dodonea viscosa</i>	70	130	sí	19	12
6	60	12	<i>Tecoma stans</i>	12	125	no	83	38
7	65	7	<i>Dodonea viscosa</i>	4	145	no	91	91
8	30	21	<i>Dodonea viscosa</i>	8	130	no	73	33
9	30	50	<i>Tecoma stans</i>	40	128	no	34	14
10	38	26	<i>Dodonea viscosa</i>	20	160	no	66	66
Media	54	31			137		62	40

La cobertura vegetal en los agostaderos fue de: 26% en Cerro de la Grava, 55% en Cerro El Jazmín, 31% en Cerro Quedanaá y 26% en El Vergel. De acuerdo con estas cifras, y siguiendo el criterio de Dyksterhuis (Holechek *et al.*, 1989), se tiene que los agostaderos de Cerro de la Grava y El Vergel se encontrarían en un estado de regular a pobre, el agostadero de Cerro Quedanaá presentaría un estadoregular y el agostadero de Cerro El Jazmín presentaría un estado bueno. Sin embargo, si a esto se agrega el tipo de vegetación dominante, arbustiva en el agostadero Cerro Quedanaá y presencia importante de arbustos en el agostadero El Vergel, ambos pasarían a la categoría de pobres, quedando el agostadero Cerro de la Grava en el límite entre regular

y pobre y el agostadero El Jazmín en la categoría de bueno.

Por otra parte, la ausencia total de pastos en el sitio Cerro Quedanaá y casi total en el sitio El Vergel, es indicativa, además, de la pérdida de biodiversidad, debido a que los animales de pastoreo prefieren las especies más palatables y tienden a acabar con ellas, quedando las especies menos deseables o no deseables.

Si bien la información captada no permite establecer la relación que pueda existir entre el estado del agostadero y el grado de erosión del suelo, el hecho es que los agostaderos Cerro de la Grava y Cerro Quedanaá, con cobertura vegetal de 26 y 31%, respectivamente, presentan un alto grado de erosión

**Cuadro 5. Información del sitio de muestreo del agostadero Cerro El Jazmín, municipio de Yanhuitlán, Oaxaca.**

Línea Canfield	Pendiente	Cobertura vegetal	Especie dominante			Presencia de heces	Suelo desnudo	
			Especie	Proporción de la cobertura vegetal	Altura		Total	Piedra
		----- % -----		%	cm		----- % -----	
1	15	31	<i>Hilaria cenchroides</i>	21	15	no	66	6
2	12	49	<i>Hilaria cenchroides</i>	28	10	sí	50	14
3	14	40	<i>Hilaria cenchroides</i>	33	6	no	58	14
4	15	19	<i>Aristida adscencionis</i>	12	8	no	77	25
5	15	80	<i>Hilaria cenchroides</i>	55	12	sí	19	3
6	8	41	<i>Hilaria cenchroides</i>	37	8	no	59	1
7	8	68	<i>Hilaria cenchroides</i>	47	10	no	31	12
8	18	83	<i>Hilaria cenchroides</i>	78	10	sí	15	3
9	15	88	<i>Hilaria cenchroides</i>	83	8	no	7	1
10	5	56	<i>Hilaria cenchroides</i>	47	10	no	38	35
Media	12	55			10		45	11

**Cuadro 6. Información del sitio de muestreo del agostadero El Vergel, municipio de Yanhuitlán, Oaxaca.**

Línea Canfield	Pendiente	Cobertura vegetal	Especie dominante			Presencia de heces	Suelo desnudo	
			Especie	Proporción de la cobertura vegetal	Altura		Total	Piedra
	----- % -----			%	cm		----- % -----	
1	7	35	<i>Stevia lucida</i>	14	120	sí	55	2
2	5	37	<i>Hilaria cenchroides</i>	10	10	no	56	56
3	5	32	<i>Bouteloua curtipendula</i>	7	10	sí	57	57
4	7	35	<i>Helianthemum glomeratum</i>	31	120	no	58	1
5	5	24	<i>Aristida divaricata</i>	13	7	sí	69	0
6	2	11	<i>Aristida divaricata</i>	5	7	sí	85	85
7	5	30	<i>Stevia lucida</i>	20	120	no	65	0
8	15	23	<i>Stevia lucida</i>	20	125	no	74	4
9	10	20	<i>Helianthemum glomeratum</i>	7	130	no	62	6
10	8	13	<i>Stevia lucida</i>	5	120	sí	63	0
Media	7	26			9 y 122 <sup>†</sup>		64	21

<sup>†</sup> Medias para especies bajas y altas, respectivamente.

de cárcavas abundantes, y el agostadero Cerro El Jazmín, con una cobertura vegetal de 55%, presenta menor erosión, de cárcavas pequeñas escasas y laminar; sin embargo, el agostadero El Vergel, con cobertura vegetal de 26%, aunque con menor pendiente, presenta sólo erosión laminar. Cabe señalar que en agostaderos de Tiltepec, una localidad colindante con el municipio de Yanhuitlán, se observaron erosiones del orden de 1.663, 8.323 y 6.619 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para coberturas de 49, 35 y 48%, respectivamente.

### Causas de la Degradación de los Agostaderos

El conteo de los animales de pastoreo permitió detectar que existe una población de 3246 animales, de los cuales 2128 son caprinos y 1118 son ovinos. Para los caprinos, el hato de menor tamaño fue de dos animales y el mayor de 65 animales, mientras que para los ovinos los límites fueron de uno y 72, respectivamente.

COTECOCA (1982) propone coeficientes de agostadero para la condición buena, regular y pobre de los agostaderos, de 15, 25 y 34 ha por unidad animal. Por su parte, Hinnant (1994) consideró que una unidad animal equivale al consumo de 8 kg de forraje seco por día, y debido a que en Yanhuitlán no se tiene una estimación del consumo de forraje, se consideró tomar el criterio de Harrington (Hinnant, 1994), que considera que una unidad animal es equivalente a una cabeza de bovino, ocho borregos u 11 chivos. Para el caso de Yanhuitlán, si se considera

las bajas coberturas vegetales que se tienen, y si se toma en cuenta el valor mínimo de coeficiente de agostadero propuesto por COTECOCA (1982), puede inferirse que se requerirían en promedio 3.1 ha por animal de pastoreo. Si en el municipio existen 3246 cabezas de ganado ovino y caprino, se necesitarían 10 063 ha de agostadero para mantener a esos animales, lo cual representan 8.7 veces más la superficie disponible.

Dentro del estudio de los sistemas productivos, se obtuvo que de los 60 productores entrevistado, 38% manifestó tener ganado ovino o caprino, y la antigüedad en esta actividad fue en promedio de 15 años, con valores mínimo de dos y máximo de 50. De los poseedores de ganado, 78% tiene animales para satisfacer necesidades económicas, siguiendo en orden de importancia el aprovechamiento del sirle (estiércol) de los animales (11%), y el resto manifestó que era por gusto, alcanzando el medierismo sólo 4%.

Evidentemente los que aprovechan los agostaderos lo hacen porque tienen una necesidad y ésa es la forma de subsanarla, o al menos es la que conocen y consideran menos riesgosa, pero aquellos que no lo aprovechan, quizás consideren que en parte están cediendo o les están quitando parte de lo que por derecho les corresponde, y que no aprovechan porque no quieren o no pueden.

Los productores manifestaron que prefieren borregos (60%), y las razones para ello son: a) alcanzan mejor precio; b) alcanzan mayor peso y su carne es de mayor calidad; y c) no corren mucho y son más dóciles en el pastoreo, sobre todo para las

personas de edad avanzada, para quienes el pastoreo es una forma importante de aprovechar el tiempo. Las preferencias por los chivos estriban en que: a) son más rústicos; b) caminan mucho para buscar su alimento y se meten por cualquier lugar; y c) comen casi todas las plantas que encuentran.

Los animales en pastoreo son responsabilidad del jefe de familia, sin embargo, esto no excluye que participen los demás miembros de ella. De 91% de los poseedores de ganado, el pastoreo es realizado por algún miembro de la familia que dispone de tiempo, con lo cual además evitan pagar a un pastor; sin embargo, debido a que todos los miembros de ella tienen alguna otra actividad, esto afecta los tiempos de pastoreo, de tal manera que éste puede verse limitado. De los poseedores de ganado, 61% manifestaron que el ganado es pastoreado por corto tiempo en lugares cercanos a 15 ó 20 min de distancia de su hogar, acentuándose el pastoreo por la tarde una vez que los niños cumplen sus obligaciones escolares. Para el 39% restante, la jornada de pastoreo es de aproximadamente 7 h, en el periodo de 9 a 16 h. Los sitios se eligen a criterio del pastor, no existiendo restricciones en ningún sitio, ya que toda la tierra es comunal, lo que también es válido para aprovechar la vegetación en los terrenos en descanso y donde hay esquilmos, una vez levantadas las cosechas. En este caso, 96% de los poseedores de ganado manifestó que también llevan sus animales a estos sitios en donde aprovechan los esquilmos y los granos que quedaron, así como las herbáceas que encuentran.

La diferencia en tiempo también se manifiesta en las distancias, ya que a mayor distancia de los centros de población se encuentran mejores sitios y, por ende, mejores pastos y arbustos, como puede ser el "pie de monte" o dentro de éste. En estos sitios, es común encontrar mayor diversidad y calidad de especies, y sobre todo, semillas y renuevos de encino (*Quercus* spp.). Las especies que los productores manifestaron que eran buenas para el ganado son los pastos que se encuentran en los alrededores y los arbustos rabito (*Dalea lutea*), tlaxistle (*Amelanchier denticulata*), yunuyaca (*Eysenhardtia polystachya*), huizache (*Acacia schaffneri*) y encino (*Quercus* spp.). En el caso de los borregos, la alimentación es complementada con rastrojos. Por otra parte, para hacer más eficiente la alimentación, tanto de chivos, como de borregos, todos los productores afirmaron que era práctica común la provisión semanal de sal en el corral.

De los productores quienes tienen ganado, 96% están conscientes que los animales causan formación de barrancas (cárcavas), aunque sólo 13% de los entrevistados reconoció a los animales de pastoreo como responsables de tal hecho, y 65% de ellos manifestó que el forraje en los sitios de agostadero ha disminuido por causa de menores precipitaciones.

### Recomendaciones sobre el Uso de los Agostaderos

El sistema de tenencia comunal de la Tierra en Yanhuitlán se rige en términos de que todos tienen derecho a utilizar los agostaderos, pero nadie tiene obligaciones sobre un manejo adecuado y conservación de ellos.

La organización de los productores enfocada a un uso adecuado y conservación de los agostaderos no existe, aunque de los productores entrevistados, 95% está de acuerdo con la necesidad de normar el pastoreo y usar tecnología para mejorar los agostaderos, y, en relación con esto último, 67% de ellos aclaró que no sabrían cómo hacerlo.

La opción de establecer una normatividad para la utilización de los agostaderos sin duda no será fácilmente aceptada por los ganaderos, en especial por aquellos que tienen más animales. Sin embargo, en esto tienen peso las autoridades locales, a quienes habría que concienciar, así como a la propia comunidad. Un ejemplo de esto ha sido el establecimiento de un área de exclusión al pastoreo en la comunidad de Tiltepec, del municipio de Yanhuitlán, de 106 ha en 1986, la cual se respetó por cinco años, pero que, debido a que no se contempló un plan de manejo del agostadero, no se continuó. Sin embargo, la conclusión de este intento fue que, técnicamente, la exclusión de áreas al pastoreo es una alternativa viable de recuperación de la vegetación y del suelo en los agostaderos de la región Mixteca Oaxaqueña (E. Cruz C. (1988) Comunicación personal).

### CONCLUSIONES

- La cobertura vegetal de los agostaderos fue de: 26% en Cerro de la Grava, 55% en Cerro El Jazmín, 31% en Cerro Quedanaá y 26% en El Vergel. De acuerdo con estas cifras, y considerando el criterio de Dyksterhuis y la presencia de vegetación arbustiva, se tiene que los agostaderos de Cerro Quedanaá y El Vergel se encuentran en un estado pobre, el

agostadero de Cerro de la Grava presenta un estado regular a pobre y el agostadero de Cerro El Jazmín presenta un estado bueno.

- Las causas de la degradación de los agostaderos residen en el sobrepastoreo a que están sometidos, originado ello en causas sociales y económicas, como el tipo de tenencia comunal de la tierra y la no-organización de la comunidad para el uso y la conservación de los recursos naturales.

- El mejoramiento de los agostaderos comprendería la organización de la comunidad para el uso y la conservación de los agostaderos, que considere normar el pastoreo, y el uso de tecnología de manejo que incluya la determinación de las cargas animales adecuadas y el control de movimiento de los animales, y prácticas como la siembra de especies deseables y eliminación de especies indeseables, la fertilización y la captación de agua de lluvia.

#### LITERATURA CITADA

- Bari, F., M.K. Wood y L. Murray. 1995. Livestock grazing impacts on interrill erosion in Pakistan. *J. Range Manage.* 48: 251-257.
- Branson, F.A., G.F. Gifford, K.G. Renard y R.F. Hadley. 1981. *Rangeland hydrology*. Second ed. Kendall/Hunt Publishing Company. Dubuque, IA.
- Bustamante G., A. 1989. Medición de la pérdida del suelo en dos cuencas del distrito político de Nochixtlán, Oaxaca. pp. 25-26. *In: Informe Anual 1988*. Plan Nochixtlán. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Colegio de Postgraduados-Centro de Apoyo al Desarrollo Agrícola Regional III. Oaxaca, México.
- COTECOCA. (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero). s/f. Línea de Canfield o Transecto Permanente. pp. 22-30. México, D.F.
- COTECOCA. (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero). 1982. *Coefficientes de Agostadero de la República Mexicana*. Estado de Oaxaca. Tomos I y II. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F.
- Cruz C., E. y R. Aguirre R. 1992. The common rangeland of Titepec: A typical case of environmental deterioration in Northwest of Oaxaca. pp. 1-11. *In: Proceedings of the 1992 International Rangeland Development Symposium*. Society for Range Management. Spokane, WA.
- De Alba, J. 1971. *Alimentación del ganado en América Latina*. Segunda edición. La Prensa Médica. México, D.F.
- Engels, Ch.L. 2001. The effect of grazing intensity on range hydrology [http://www.ag.ndsn.nodak.edu/streeter/2001report/chad\\_engels.htm](http://www.ag.ndsn.nodak.edu/streeter/2001report/chad_engels.htm) (consultado el 18 de octubre de 2002).
- García, E. 1987. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Cuarta edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Gilles, J.L. 1982. Planning livestock development: Themes from indigenous systems. *Agric. Administration* 11: 215-225.
- Gilles, J.L. y K. Jamtgaard. 1981. Overgrazing in pastoral areas: The commons reconsidered. *Sociología Ruralis* 21: 129-141.
- Hall, D.B. 1998. Grazing suitability determination methods on Western Rangelands. <http://www.gunnisonbiodiversity.org/suitability.html> (consultado el 18 de octubre de 2002).
- Heady, H.F. 1975. *Rangeland management*. McGraw-Hill. New York.
- Heady, H.F. y D.R. Child. 1994. *Rangeland ecology and management*. Westview Press. New York.
- Hinnant, R.T. 1994. What is an animal-unit? A time to conform. *Rangelands* 16: 33-45.
- Holechek, J.L. 1981. A brief history of range management in the United State. *Rangelands* 3: 16-18.
- Holechek, J.L., R.D. Pieper y C.H. Herbel. 1989. *Range management: Principles and practices*. Prentice-Hall. New York.
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1981. *Carta Edafológica: México*. Escala 1:1 000 000. México, D.F.
- Lebaron, A., L.K. Bond, P. Aitken S. y L. Michaelsen. 1979. An explication of the Bolivian highlands erosion syndrome grazing. *J. Range Manage.* 32: 201-208.
- Martínez C., M.D., E. Sierra C., G. Narváez C., J.W. Estrada B. W., N. Ramírez P., M. Vásquez G. y J. Romero P. 1986. Levantamiento fisiográfico y evaluación de la erosión de las Mixtecas Oaxaqueñas Alta y Baja. Centro Regional Universitario Sur. Universidad Autónoma Chapingo-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Chapingo, México.
- Miller, D.J. 2000. Impacts of livestock grazing in Himalayan and Tibetan Plateau Rangelands. <http://www.mtnforum.org/resources/library/milld00a.htm> (consultado el 18 de octubre de 2002).
- Narvaes C., G. 1991. Las condiciones naturales para la producción agrícola en las Mixtecas Oaxaqueñas. *Revista Geografía Agrícola* 15-16: 33-40.
- Romero P., J., L. García B., D. Martínez C., J.C. Ramírez G. y C. Ramírez M. 1986. Diagnóstico de la producción agrícola de las Mixtecas Oaxaqueñas Alta y Baja. *Revista Chapingo* 50-51: 51-57.
- Stoddart, L.A., A.D. Smith y T.W. Box. 1975. *Range management*. Third ed. McGraw Hill. New York.
- Thurow, T.L. 1991. Hydrology and erosion. Chapter 6. *In: Heitschmidt, R.K. y J.W. Stuth (eds.)*. Grazing management. Texas A & M University Press. Texas. <http://cnrit.tamu.edu/rlem/textbook/cover-fr.html> (consultado el 18 de octubre de 2002).
- Vázquez Y., C. y A. Orozco S. 1989. La destrucción de la naturaleza. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/083/htm/destrucc.htm> (consultado el 15 de octubre de 2002).

# DISPONIBILIDAD Y USO DE LEÑA EN EL MUNICIPIO DE YANHUITLÁN, OAXACA

## Availability and Use of Fuelwood in Yanhuatlán County, Oaxaca

José Rafael Contreras-Hinojosa<sup>1</sup>, Víctor Volke-Haller<sup>2†</sup>, José Luis Oropeza-Mota<sup>2</sup>,  
Carlos Rodríguez-Franco<sup>3</sup>, Tomás Martínez-Saldaña<sup>4</sup> y Ángel Martínez-Garza<sup>4</sup>

### RESUMEN

El estudio se realizó en el área del municipio de Yanhuatlán, Oaxaca, que comprende una superficie de 6838 ha, y tuvo como objetivo evaluar el estado del bosque y la disponibilidad y uso de leña por los pobladores, con fines de proponer opciones que permitan revertir el proceso de degradación del ecosistema. Se partió de un inventario forestal, considerando los estratos de bosque representativos: Estrato 1, con una cobertura de copa de 60 a 100%, que ocupa una superficie de 2347 ha, y Estrato 2, con una cobertura de copa de 20 a 60%, que ocupa una superficie de 535 ha. Se tomaron muestras en 20 sitios en el Estrato 1 y 16 sitios en el Estrato 2, de 600 m<sup>2</sup> cada uno, y se evaluaron las especies arbóreas presentes, su número, diámetro normal, altura total y cobertura de copa, y la presencia de árboles muertos, que corresponden a leña. Paralelo a lo anterior, con el fin de determinar las formas de aprovechamiento del bosque, se realizaron entrevistas informales con las autoridades municipales y comunales, y se encuestaron 60 pobladores. Los resultados indican que, en promedio, el bosque del Estrato 1 tiene 1412 árboles ha<sup>-1</sup> y el bosque del Estrato 2 tiene 457 árboles ha<sup>-1</sup>, y un volumen de 1.19 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y 0.38 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de árboles muertos, respectivamente, cantidades que corresponderían a 2793 m<sup>3</sup> y 203 m<sup>3</sup> de leña para ambos estratos, respectivamente. Para un consumo anual de leña, por los pobladores estimado en 1180 m<sup>3</sup>, esta demanda debería ser satisfecha fundamentalmente en el bosque del Estrato 1.

<sup>1</sup> Campo Experimental Yanhuatlán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 69660 Yanhuatlán, Oaxaca. (contrerasraf@hotmail.com)

<sup>2</sup> Instituto de Recursos Naturales, <sup>4</sup> Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, México. <sup>†</sup> Autor responsable.

<sup>3</sup> Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, México.

Recibido: Octubre de 2001. Aceptado: Febrero de 2003.  
Publicado en Terra 21: 437-445.

Considerando la escasa regeneración del bosque, del orden de 15% en el Estrato 1 y de 9% en el Estrato 2 con especies de lento crecimiento, de no disminuir la demanda de leña, esta situación daría lugar a la utilización de árboles vivos a mediano plazo, con el consiguiente deterioro del bosque, mayor en el bosque del Estrato 2. Las medidas para disminuir el consumo de leña son a mediano y largo plazo, y comprenderían la implementación de programas de apoyo para el reemplazo de estufas de fogón abierto por estufas tipo lorena, el reemplazo de la leña por gas y la producción de leña con base en especies de rápido crecimiento como *Acacia retinoide*.

**Palabras clave:** Erosión, *Quercus spp.*, inventario forestal, *Acacia retinoide*.

### SUMMARY

This study was carried out in the region of Yanhuatlán County, Oaxaca, Mexico, which has 6838 ha, with the objective of evaluating the state of the forest and the availability and uses of fuelwood by habitants and propose options that could revert the degradation processes of the ecosystem. A forest inventory was done, considering two representative stratum: Stratum 1, 2347 ha, with a canopy of 60 to 100%, and Stratum 2, 535 ha, with a canopy of 20 to 60%. Twenty sites were surveyed in Stratum 1 and 16 sites in Stratum 2, 600 m<sup>2</sup> each, and species, number, normal diameter, total height and cover of trees, and also dead trees corresponding to fuelwood, were evaluated. Furthermore, to know the use of natural resources, communal and county authorities and 60 habitants were interviewed. The results indicate that, on average, the forest of Stratum 1 has 1412 trees ha<sup>-1</sup> and the forest of Stratum 2 has 457 trees ha<sup>-1</sup>, and a volume of 1.19 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> and 0.38 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> death trees, respectively. These quantities correspond to 2793 m<sup>3</sup> and 203 m<sup>3</sup> fuelwood for the two stratum, respectively. For an estimated consumption of fuelwood of 1180 m<sup>3</sup> yr<sup>-1</sup>, this demand would have to be satisfied fundamentally by

the Stratum I forest, and, considering the scarce regeneration of the forest, if the consumption does not diminish, this situation will cause, in a medium term, the felling of live trees and the deterioration of the forest. The actions for diminishing the consumption of fuelwood are medium and long-term, and would include the implementation of programs for the substitution of open stoves by lorenas stoves, the substitution of fuelwood by gas and the production of fuelwood using forest species of rapid growth, as *Acacia retinoide*.

**Index words:** *Erosion, Quercus spp., forestal appraisal, Acacia retinoide.*

## INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de los recursos naturales por el hombre para satisfacer sus necesidades de alimentos y otros satisfactores, aunado a condiciones climáticas adversas, ha originado el deterioro y la pérdida de ellos en superficies importantes de la tierra.

Uno de los procesos de deterioro de los recursos naturales más importantes es la erosión del suelo, cuyas causas fundamentales son: la deforestación en suelos forestales, con fines de uso pecuario y agrícola y de explotación del bosque para producción de madera, celulosa, combustibles como leña y carbón; el sobrepastoreo de agostaderos y pastizales, en especial en suelos con pendientes; y, el uso agrícola de suelos con pendientes, sin la utilización de prácticas de conservación del suelo y agua.

En el caso de la leña, su consumo se presenta en mayor medida en los países en desarrollo y entre la población más pobre; en 1990, existían más de 2000 millones de personas que la utilizaban para preparar y conservar sus alimentos (FAO, 1990).

En estos términos, la leña ha constituido y constituye un combustible tradicional para una numerosa población, principalmente rural, con ventajas sobre otros combustibles como el gas, por su menor precio, su disponibilidad y accesibilidad, su almacenamiento en cualquier condición y tiempo, y, porque para muchos, le confiere mejor sabor a los alimentos. Sin embargo, la leña también presenta desventajas derivadas de su volumen y transporte y su bajo calor de combustión en comparación con otros combustibles como el gas, además del impacto ambiental que puede causar cuando se usan grandes

cantidades de ellas (Jahn, 1982; FAO, 1990; Young *et al.*, 1990).

En México, en 1990, 31.6% de la población utilizaban leña y algo de carbón como fuente de energía para uso doméstico, como cocinar, calentar agua y calefacción, a la vez, también, en menor proporción, en la pequeña industria y comercios urbanos y rurales, porcentaje anterior que correspondía a 25.6 millones de personas, distribuidos en 21.1 millones del sector rural y 4.5 millones del sector urbano. El consumo de leña de esta población correspondió a 21.1 millones de toneladas ó 30.1 millones de metros cúbicos, de los cuales sólo 0.45 millones corresponden a leña para carbón, considerándose que esta última cifra representa sólo una parte del consumo real. En 1993, la leña aportaba 40% de la energía consumida por el sector residencial y 7% del total de la energía primaria, aunque se considera que su uso real es mayor (Riegelhaupt, 1996).

Sobre el impacto ambiental de la utilización de leña en México no existe consenso: para algunos es la causa principal de la deforestación y sus consecuentes efectos sobre los recursos naturales, además de la escasez de madera para usos industriales; para otros, el consumo de leña no es un factor relevante en el proceso de deforestación que sufre el país. Tal vez esto sea producto de las diferencias que existen en la abundancia de madera muerta, ramas y residuos, del desmonte de tierras para agricultura y ganadería y de la demanda, entre regiones y comunidades (Riegelhaupt, 1996).

En 1990, en el estado de Michoacán, se estimaba que cerca de 87% de la población rural y 21% de la población urbana dependían de la leña para satisfacer sus demandas energéticas domésticas, ya sea exclusivamente o en combinación con gas, con un consumo anual de 2.0 millones de metros cúbicos, incluyendo también una pequeña producción y consumo de carbón. A esto habría que agregar 250 000 m<sup>3</sup> de leña que consumía el sector de la pequeña industria, consumo que se estima representa 30% más que la producción de madera comercial del estado. La mayor parte de esta producción de leña procedía de árboles vivos de encino (*Quercus spp.*) y, en menor proporción, de árboles de pino (*Pinus spp.*), lo cual se considera como causa importante en el deterioro y pérdida del bosque; así, por ejemplo, con las diferencias existentes entre regiones, en la cuenca del lago de Pátzcuaro, en las últimas décadas



la cubierta forestal se ha reducido a menos de 20%, con los consabidos efectos sobre los recursos naturales (Maserá *et al.*, 1996).

En 1997, en la región de los Altos-Zimatlán, Oaxaca, en varias comunidades, 74% de la población utilizaban exclusivamente leña y 26% utilizaban leña y carbón, para consumo doméstico. De los que recolectaban leña, con las diferencias existentes entre comunidades, entre 50 y 100% declararon que cortaban ramas y entre 19 y 72% declararon que cortaban árboles enteros, muchos de los cuales podían ser verdes. De los recolectores pequeños industriales, 67% declararon que cortaban árboles en pie. De los recolectores comerciales para la pequeña industria, 80% declararon que cortaban árboles completos, de los cuales entre 86 y 90% podían ser vivos. De los recolectores de leña, 88% declararon que se les dificultaba conseguir leña y 94% consideraban que en la actualidad había menos leña. De los usuarios de la pequeña industria, 63% declararon que había dificultades para conseguir leña y 87% de los alfareros consideraban que en la actualidad había menos leña en el monte (López *et al.*, 1997).

En la región de Tlapa de Comonfort, Guerrero, en 1997, en tres comunidades, entre 11 y 100% de la población usaban exclusivamente leña y entre 0 y 61% utilizaban leña y gas, para consumo doméstico. De los que recolectaban leña, entre 52 y 100% cortaban árboles vivos y, de los recolectores comerciales, entre 77 y 83% cortaban árboles vivos. De los recolectores para consumo propio, entre 66 y 96% declararon que se les dificultaba conseguir leña y 89% consideraban que había menos leña que antes. De los recolectores comerciales, 82% declararon que en la actualidad existía menos leña en el monte que hace cinco años, fundamentalmente "porque cortan mucha leña" (Arias, 1997).

También, en 1997, haciendo un balance entre la extracción actual y el incremento anual de leña, en dos comunidades de la región Tlapa de Comonfort, se observa un déficit tal que el tiempo de agotamiento del recurso se estima en dos años en una de las comunidades y en ocho años en la otra, por lo cual se esperaría un deterioro acelerado del recurso forestal (López *et al.*, 1997).

Otro aspecto sobre la utilización de leña es el referente a la baja eficiencia de aprovechamiento calórico, el cual, en condiciones ideales, alcanza de 20 a 30%, pero en condiciones de fogón abierto o al aire libre, sólo alcanza 5% (Pimentel *et al.*, 1986). Una eficiencia tan baja como la anterior, desde luego

que incrementa el consumo de leña y la presión sobre el recurso forestal.

En el caso de México, para consumo doméstico, suele predominar la utilización de leña a fogón abierto como el de tres piedras y fogón U, que presentan baja eficiencia de aprovechamiento calórico (Arias, 1997; López *et al.*, 1997); una vía para subsanar esta situación sería la utilización de estufas más eficientes (Preston, 1982). Una de las estufas mejoradas es la estufa lorena, la cual puede reducir el consumo de leña entre 30 y 50%, sin embargo, presenta problemas porque suele deteriorarse rápidamente y los usuarios no las reparan, de manera que su vida útil pocas veces supera los dos años; además, en otros casos, porque no se adapta bien a las formas tradicionales de cocción o porque requiere de leña menuda (Riegelhaupt, 1996).

Otra vía para disminuir el consumo de leña sería su sustitución por gas. Sin embargo, los principales problemas con el gas suelen ser su mayor costo<sup>1</sup>, su dificultad en conseguirlo, la falta de dinero para su compra y no permite elaborar buenas tortillas (Arias, 1997; López *et al.*, 1997); no obstante, en algunas regiones, quienes usan sólo leña declaran que les gustaría utilizar gas, considerando que no hace humo, es más fácil y cómodo de utilizar, cocina más rápido y es más barato (Arias, 1997).

La presente investigación se realizó en el área del municipio de Yanhuatlán, Oaxaca, con el objetivo de evaluar el estado del bosque y la disponibilidad y uso de leña por los pobladores, con fines de hacer proyecciones del bosque y proponer opciones en relación con la aparente degradación del recurso forestal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde al municipio de Santo Domingo Yanhuatlán, estado de Oaxaca, mismo que ocupa una superficie de 6838 ha y presenta una altitud de 1950 a 2800 m. El clima de la región corresponde, según la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1987), a un BS<sub>1</sub>kw(w)igw<sup>2</sup>, con una precipitación media anual de 420 mm y régimen de lluvias de verano y picos máximos en junio (20%) y septiembre (18%), y una temperatura media anual de 16.9 °C.

<sup>1</sup> En el caso de la pequeña industria en la zona de los Altos-Zimatlán, Oaxaca, la leña resulta de dos a tres veces más barata que el gas (López *et al.*, 1997).

Smith (1976), al reconstruir el medio en el Valle de Nochixtlán, hipotetizó que en esta región y sus alrededores existió un bosque de pino (*Pinus oaxacana*)—encino (*Quercus* spp.), el cual se explotó para utilizar sus áreas en la agricultura, mientras que cerca de los cursos de agua hubo alisos (*Alnus* sp.) y sauces (*Salix* sp.) y, como síntoma de la degradación del suelo, es común encontrar palma (*Brahea dulcis*).

Para el área de estudio, por leña se entendió como los árboles muertos y, para estimar su disponibilidad, se partió de un inventario forestal, determinando las especies presentes y los volúmenes disponibles; esta información, junto con el consumo de leña que se tiene en la actualidad, permitirá hacer proyecciones sobre el futuro del bosque.

El muestreo para el inventario forestal se realizó en 1996 y consistió en dividir el área arbolada en dos estratos, con base en fotografías aéreas escala 1:75 000 de un vuelo realizado por la Dirección de Estudios del Territorio Nacional, Secretaría de Programación y Presupuesto (DETENAL) en 1985, pues no fue posible disponer de fotografías más recientes.

El Estrato 1 se ubicó a una altitud entre 2340 y 2650 m, presentó una cobertura de copa de 60 a 100% y comprendió 2347 ha; el Estrato 2 se ubicó a una altitud entre 2200 y 2350 m, presentó una cobertura de copa de 20 a 60% y comprendió 535 ha. En cada estrato, se ubicaron sitios de muestreo, de 600 m<sup>2</sup> (20 m x 30 m) cada uno: 20 para el Estrato 1 y 16 para el Estrato 2, los que se distribuyeron al azar, de acuerdo con las vías de comunicación y la pendiente del terreno, ubicándolos con el lado mayor en el sentido perpendicular a la pendiente.

En cada sitio, se contaron los árboles, se registraron las especies por su nombre vulgar y si estaban vivos o muertos; posteriormente, se identificaron en el Herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, y se hicieron mediciones de diámetro normal, altura total y cobertura de copa en direcciones norte-sur y este-oeste, a la vez que cada sitio se caracterizó en altitud, exposición y pendiente.

La integración del volumen de cada árbol se realizó para cada género por medio de los modelos propuestos por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, 1985) para encino (*Quercus* spp.) y pino (*Pinus oaxacana*), por la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG, 1976) para el enebro (*Juniperus flaccida*) y para el madroño (*Arbutus xalapensis*) (SAG, 1978). Estos modelos son:

$$\text{Encino: VOL} = \exp [-9.41218007 + 1.70376160 \ln (\text{DN}) + 1.0945611 \ln (\text{ALT})]$$

$$\text{Pino: VOL} = \exp [-9.89882648 + 1.92451840 \ln (\text{DN}) + 1.00776177 \ln (\text{ALT})]$$

$$\text{Enebro: VOL} = \exp [-9.54274357 + 1.81010631 \ln (\text{DN}) + 1.05764337 \ln (\text{ALT})]$$

$$\text{Madroño: VOL} = \exp [-9.50178450 + 1.82547723 \ln (\text{DN}) + 0.98416091 \ln (\text{ALT})]$$

Donde: VOL = volumen total (m<sup>3</sup>), DN = diámetro normal (cm), ALT = altura total (cm).

Por otra parte, mediante entrevistas informales con las autoridades municipales y de bienes comunales, y entrevistas formales con 60 jefes de familia, se obtuvo información sobre las formas de aprovechamiento del bosque, los beneficios económicos por esa actividad y la relación de ésta con la degradación de la vegetación y el suelo. En el caso de 60 jefes de familia, éstos fueron los que aceptaron contestar, de un total de la lista de 420, proporcionada por las autoridades municipales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Inventario Forestal y de Leña

En los Cuadros 1 y 2, se presentan las características de los sitios de muestreo (altitud, distancia azimutal, exposición y pendiente) y el número de árboles, para el Estrato 1 y el Estrato 2, respectivamente. Con fines de probar si la diferencia en el número de árboles entre ambos estratos pudiera ser diferente, se realizó un análisis de varianza para un diseño completamente al azar (Cuadro 3), en el cual se consideró como variable el número de árboles vivos en los 20 y 16 sitios de ambos estratos. Los resultados indican que existen diferencias significativas ( $P = 0.01$ ) en el número de árboles observados entre ambos estratos, lo que permite concluir que la estratificación que se hizo con base en la cobertura del dosel sí cumplió sus objetivos.

Las especies presentes en los bosques correspondieron a nueve géneros de latifoliadas y dos de coníferas (Cuadro 4), predominando el género *Quercus* en 34 de 36 sitios muestreados en los dos estratos (82% en el Estrato 1 y 73% en el Estrato 2), con excepción del Sitio 12 del Estrato 1, donde 85% de los árboles corresponden a *Pinus oaxacana*, y en el

**Cuadro 1. Relación de árboles evaluados y características de sitio del Estrato 1 en el bosque de Yanhuítlán, Oaxaca.**

Sitio	Altitud	Distancia azimutal	Expo- sición	Pendiente	Número de árboles
	m			%	
1	2440	58.5	NE	57	67
2	2485	19.5	N	57	116
3	2630	75.0	E	76	134
4	2480	65.5	NE	65	97
5	2470	263.5	O	34	85
6	2530	152.5	SE	40	120
7	2460	12.0	N	70	111
8	2440	224.0	SO	45	96
9	2555	308.0	NO	63	117
10	2550	70.0	E	53	90
11	2550	53.0	N	60	146
12	2360	9.0	N	29	46
13	2550	63.0	NE	40	81
14	2380	163.0	S	41	63
15	2600	86.0	E	5	71
16	2340	271.0	O	52	21
17	2420	111.0	E	50	31
18	2470	298.0	NO	59	91
19	2520	298.0	NO	38	44
20	2440	1.0	N	77	68
Total					1695
Promedio					84.7

Sitio 14 del Estrato 2, donde 90% de los árboles corresponden al *Juniperus flaccida*. Debido a que ninguna de las especies de este género alcanza a cubrir 80% del número total de individuos, el bosque de Yanhuítlán puede ser considerado como una Comunidad Mixta, de acuerdo con el criterio de Hocker (1979).

Con base en las fórmulas de integración de volumen, en el Cuadro 5 se presenta el volumen de árboles vivos y muertos por sitios de muestreo en los dos estratos, en valores referidos a la superficie de una hectárea, lo mismo que para el número de árboles. Los árboles muertos corresponden a leña y su disponibilidad, en promedio, es 1.19 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en el Estrato 1 y 0.38 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en el Estrato 2, por lo tanto mayor en el primer estrato. Esto se relaciona con el número y volumen de árboles vivos en ambos estratos, que es mayor en el Estrato 1, a la vez que el menor número y volumen de árboles vivos y cantidad de leña en el Estrato 2 se explica por su mayor cercanía y accesibilidad (distancia y pendiente) a la población consumidora de leña.

A partir de fotointerpretación, se determinó que la superficie con bosques similares a los del Estrato 1, es de 2347 ha, mientras que para el Estrato 2, es de 535 ha. Si la disponibilidad de árboles muertos, en

**Cuadro 2. Relación de árboles evaluados y características de sitio del Estrato 2 en el bosque de Yanhuítlán, Oaxaca.**

Sitio	Altitud	Distancia azimutal	Expo- sición	Pendiente	Número de árboles
	m			%	
1	2350	7.5	N	65	47
2	2295	62.5	NE	63	62
3	2290	220.0	SO	5	47
4	2200	71.0	E	37	45
5	2290	268.0	O	69	83
6	2250	63.0	NE	5	12
7	2285	281.0	O	37	24
8	2275	49.5	NE	39	36
9	2230	117.0	SE	19	10
10	2300	86.0	E	29	8
11	2220	266.0	O	20	7
12	2220	198.0	S	37	20
13	2300	135.0	SE	37	12
14	2350	45.0	NE	31	12
15	2230	105.0	E	24	6
16	2280	85.0	E	29	7
Total					439
Promedio					27.4

promedio, es de 1.19 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y 0.38 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para el Estrato 1 y el Estrato 2, respectivamente, puede concluirse que existe una disponibilidad de madera seca de 2793 m<sup>3</sup> y 203 m<sup>3</sup> para ambos estratos, respectivamente.

### Consumo y Disponibilidad de Leña

La cantidad de leña consumida en los hogares se cuantifica en "cargas", cantidad que puede cargar y transportar un asno. El consumo promedio, derivado de 31 muestras, fue de 1.18 cargas por familia a la semana, con un mínimo de media y un máximo de tres, lo que corresponde a 0.072 m<sup>3</sup> y 0.064 t por familia y, considerando un promedio de cinco miembros para ésta, a 1.8 kg persona<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Este valor corresponde a 18% de consumidores que utilizan exclusivamente leña y 82% que la combinan con otros combustibles, principalmente gas, y resulta similar al obtenido en otras regiones, esto es: 2.0 kg y 1.5 kg persona<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> para consumidores exclusivos de leña.

**Cuadro 3. Análisis de varianza entre estratos para número de árboles.**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc
Estratos	1	26766.80	26766.80	34.08**
Error	34	26701.50	785.33	

\*\* significancia al nivel de probabilidad de 0.01.

**Cuadro 4. Relación de especies presentes en los sitios de muestreo en el bosque de Yanhuitlán, Oaxaca.**

Nombre científico	Nombre vulgar	Familia
<i>Quercus glaucooides</i> Mart & Gal.	Encino negro	Fagaceae
<i>Quercus castanea</i> Neé	Encino de chivo	Fagaceae
<i>Quercus laurina</i> Humb. & Bonpl.	Encino de capulín	Fagaceae
<i>Quercus crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	Encino de cuchara	Fagaceae
<i>Quercus magnoliifolia</i> Neé	Encino blanco	Fagaceae
<i>Quercus obtusata</i> Humb. & Bonpl.	Encino amarillo	Fagaceae
<i>Arbutus xalapensis</i> H.B.K.	Madroño	Ericaceae
<i>Comarostaphylis palifolia</i> (H.B.K.) Zucc. ex Klotzsch.	Madroño negro	Ericaceae
<i>Hipomoea murucoides</i> Roem. & Schult.	Casahuate	Convolvulaceae
<i>Amelanchier denticulata</i> (H.B.K.) Koch	Tlaxistle	Rosaceae
<i>Pinus oaxacana</i> Mirov.	Ocote	Pinaceae
<i>Juniperus flaccida</i> Schl.	Enebro	Cupressaceae
<i>Garrya laurifolia</i> Hartw.	Zapotillo	Garryaceae
<i>Ceanothus coeruleus</i> Lag.	Ramonal	Rhamnaceae
<i>Buddleja cordata</i> H.B.K.	Tepozan	Loganiaceae
<i>Rhus standleyi</i> Barkley	Zomaque	Anacardiaceae

y consumidores de leña y gas, respectivamente, en el estado de Michoacán (Masera *et al.*, 1996); 1.7 kg y 1.4 kg persona<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> para consumidores exclusivos de leña en fogones de tres piedras y tipo U, respectivamente, en tres localidades de la zona de Tlapa de Comonfort, Guerrero (Arias, 1997); y 1.9 kg y 2.1 kg persona<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> para consumidores de gas y leña en fogones de tres piedras y de tipo U, respectivamente, en tres regiones de Oaxaca, Michoacán y Guerrero (López *et al.*, 1997).

Si se considera que 75% de los hogares consumen leña y que el consumo semanal es de 0.072 m<sup>3</sup>, se obtiene un consumo de 1180 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>. Este valor resulta inferior a la cantidad de leña disponible en el bosque del Estrato 1, 2793 m<sup>3</sup>, pero superior a la leña disponible en el bosque del Estrato 2, 203 m<sup>3</sup>. Esto quiere decir que la demanda de leña debería ser satisfecha fundamentalmente en el bosque del Estrato 1, cuyo acceso es más difícil por su distancia y pendiente del terreno, y en el supuesto de que no se cortarían árboles verdes en el bosque del Estrato 2.

La regeneración de árboles<sup>2</sup> es un aspecto que, desde luego, también debe tomarse en cuenta; ésta es del orden de 15 y 9% en el Estrato 1 y Estrato 2, respectivamente; sin embargo, si se considera la velocidad de crecimiento de los árboles, estos valores no resultarían suficientes para satisfacer futuras demandas de leña, a través de árboles muertos aún en el bosque del Estrato 1, de tal manera que en un futuro cercano, a los valores actuales de consumo de leña,

<sup>2</sup> Se consideró como árboles en regeneración aquéllos de diámetro (a la altura de 1 m) menor que 2 cm y de altura menor que 2 m.

existirá el riesgo de comenzar a utilizar árboles vivos. Si este fuera el caso, se originaría un mayor deterioro del bosque del Estrato 2 e incremento de la erosión del suelo, que ya resulta severa, lo mismo que en un mayor plazo para el bosque del Estrato 1.

#### Consideraciones sobre Aprovechamiento y Uso de la Leña

De los entrevistados, 75% declararon que consumen leña y, de éstos, 18% consumen exclusivamente leña y 82% la combinan con otro combustible, en particular gas, debido a que éste es rápido de encender y fácil de conseguir. La especie preferida para leña es *Quercus* spp., debido a que no hace mucho humo, hace brasa y sobre todo que es leña "maciza" y dura más que la de otras especies, además que la especie *Quercus* spp. es la predominante en el monte.

De los consumidores, 31% compran leña y el restante 69% la recolectan del bosque. En este último caso, el traslado a los sitios de abastecimiento toma desde 30 min hasta 2.5 h, con un promedio de 1.5 h. Si se considera 1 h como tiempo de "corta y amarre", entonces se tiene un gasto al mes de 16 h y, por lo tanto, 8.5 días al año.

La leña se carga y transporta a la casa, en 93% de los casos, por medio de asnos, propiedad de los consumidores de leña. Lo anterior justifica poseer este tipo de animales de trabajo y transporte, los cuales, en Yanhuitlán, se aprecian por el servicio que prestan, hecho que refuta los argumentos de LaBaume y Dahl (1986), quienes consideraron a estos animales como

**Cuadro 5. Número de árboles y volumen de árboles vivos y muertos por hectárea en los sitios de muestreo de los estratos del bosque de Yanhuítlán, Oaxaca.**

Sitio	Estrato 1			Estrato 2		
	Número de árboles por hectárea	Volumen de árboles vivos	Volumen de árboles muertos	Número de árboles por hectárea	Volumen de árboles vivos	Volumen de árboles muertos
	----- m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> -----			----- m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> -----		
1	1116	92.67	1.08	783	37.10	2.04
2	1933	137.18	7.39	1033	30.62	1.53
3	2233	107.23	9.97	783	27.79	0
4	1616	22.23	0.23	750	33.09	0.57
5	1416	65.26	0	1383	25.63	0
6	2000	188.09	0.69	200	13.89	0
7	1850	97.00	0.53	416	44.48	0.52
8	1600	62.23	0.71	600	8.79	0.51
9	1950	93.74	0.16	166	1.34	0
10	1500	130.65	0.10	133	4.28	0
11	2433	72.87	0.46	116	3.48	0
12	766	456.70	0	333	22.93	0
13	1350	86.40	0	200	29.27	0
14	1050	72.13	0.87	200	53.86	0
15	1183	95.06	1.36	100	37.63	0
16	350	69.84	0.23	116	24.68	1.02
17	516	54.03	0			
18	1516	69.53	0.02			
19	733	25.81	0			
20	1133	87.20	0			
Promedio	1412	104.29	1.19	457	24.93	0.38

una carga económica y causal de degradación de los agostaderos.

El uso principal de la leña es para la elaboración de tortillas y cocción de alimentos, en estufas de fogón abierto, las cuales se construyen mediante un comal de barro sobre tres o cuatro bases de ladrillo o piedra volcánica; una vez que las tortillas están en cocción en el comal, sobre éste o en los espacios que quedan entre las bases, se puede colocar alguna olla de alimentos. La versatilidad que tiene esta estufa se basa en que se construye fácilmente, la combustión se facilita por tener grandes espacios por donde se alimenta de leña y se permite la entrada y salida de aire para que no se "ahogue", se limpian con facilidad las cenizas y se pueden sacar los restos de leña para apagarlos para uso posterior. La desventaja más importante que tiene este tipo de estufa es la gran pérdida de calor por los espacios que existen entre las bases, lo que implica una baja eficiencia y, en consecuencia, un mayor consumo de leña.

En relación con el motivo de utilizar leña, 50% de los entrevistados manifestaron que era por la rapidez en la cocción de alimentos y hasta que mejoraba el sabor de las tortillas, mientras que el resto de los entrevistados manifestó que así lo hacían porque el

aprovechamiento de la leña era libre, sin embargo, también debe señalarse que el uso de la leña está incorporado a la cultura de los propios habitantes y que la usan desde tiempos inmemoriales.

Los consumidores de leña están conscientes que el monte se está degradando, sobre todo al "pie de monte", y, conscientes de esta realidad y de que es necesario repoblar, 80% de ellos manifestaron que sí aportaría trabajo para tal fin; de éstos, 30% manifestaron su preferencia para repoblar con árboles frutales y 70% opinaron por hacerlo con árboles forestales. Sin embargo, 34% de los entrevistados manifestaron que únicamente lo haría en o cerca de sus parcelas, lo cual relega a segundo término la repoblación de los terrenos comunales. Estas opiniones permiten clarificar que todos los particulares que tengan terrenos erosionados deben velar por ellos y que únicamente se podría contar con 66% de la gente para repoblar los terrenos comunales. La cantidad promedio de árboles que plantarían los entrevistados fue de 39, con mínimo de cinco y máximo de 300, plantas que bien pudiera obtenerse en algún vivero que se estableciera en Yanhuítlán, ya que 91% de los entrevistados manifestaron que apoyaría la creación y cuidado de uno.

## Alternativas al Uso de Leña y la Conservación del Bosque

La problemática sobre la utilización de leña y la conservación del bosque se encuentra influida por características y condiciones socioeconómicas, y comprende componentes de difícil solución, relacionados con factores como: el sistema de tenencia comunal de la tierra; la utilización de la leña como combustible y su no reemplazo por otros combustibles como el gas; el uso de estufas de fogón abierto, que presentan una baja eficiencia y, en consecuencia, un mayor consumo de leña; y, la no producción de leña con especies de rápido crecimiento.

En Yanhuitlán, como en otras comunidades de la Mixteca Oaxaqueña, el acceso al monte es libre debido a que el sistema de tenencia de la tierra es comunal, lo cual implica que todos los pobladores tienen el "derecho" para utilizar los recursos ahí existentes pero no tienen "obligación" alguna para conservarlo. Esta situación no es nueva, pero desde luego que no favorece el uso apropiado del bosque y su conservación, sin embargo, resultaría difícil eliminarla o al menos reglamentarla. En efecto, una disposición legal que prohíba cortar leña del bosque, estaría lejos de poder implementarse en comunidades donde los habitantes la han realizado desde tiempos inmemoriales. También, la sustitución de los fogones abiertos por estufas más eficientes, como las de tipo lorena, presenta problemas para su adopción, debido a que son de tipo permanente y fijo, además de que requieren de mantenimiento y sin él, por lo general, no duran más de dos años. El reemplazo de la leña por gas presenta inconvenientes relacionados con su adquisición por su acceso (no siempre fácil), su mayor costo en relación con la leña y su adquisición requiere de dinero en efectivo, y porque no favorece la preparación de tortillas. En el caso de la reforestación con especies de rápido crecimiento, como *Acacia retinoide*, que llega a producir en 10 años y puede continuar haciéndolo cada cuatro o cinco años, sería una de las medidas que permitiría continuar usando la leña como combustible y que debería implementarse, implica el desarrollo de viveros y la apertura de cepas y plantación, además de la organización de los pobladores de las comunidades.

## CONCLUSIONES

- Las zonas boscosas de la zona del municipio de Yanhuitlán, Oaxaca, representan 42% del área del municipio, con 81% de bosque con una media de 1412 árboles ha<sup>-1</sup> y 19% de bosque con una media de 457 árboles ha<sup>-1</sup>, donde las especies predominantes son del género *Quercus*.
- La disponibilidad de leña en el bosque con mayor densidad es de 1.19 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y en el bosque con menor densidad es de 0.38 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, lo que se relaciona con la distancia y mayor accesibilidad del segundo a las comunidades habitadas.
- Considerando la superficie de cada estrato de bosque, la disponibilidad de leña por hectárea corresponde a un total de 2793 m<sup>3</sup> en el bosque con mayor densidad y de 203 m<sup>3</sup> en el bosque de menor densidad.
- De la población, 75% consumen leña para uso doméstico y de éstos 82% la combinan con otros combustibles, en particular gas, con un consumo medio del orden de 1.8 kg persona<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, valor que resulta similar al obtenido en otras regiones.
- El consumo de leña corresponde a 1180 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>, para una disponibilidad de 2793 m<sup>3</sup> en el bosque de mayor densidad y de 203 m<sup>3</sup> en el bosque de menor densidad, por lo que dicho consumo debería ser satisfecho fundamentalmente en el bosque de mayor densidad sólo por unos pocos años más, considerando que la regeneración del bosque es baja.
- Las medidas a considerar para evitar la destrucción del bosque debido a la utilización de leña, son a mediano y largo plazo, pero deben comenzar a implementarse de inmediato. Estas comprenderían: programas de apoyo para el reemplazo de estufas de fogón abierto por estufas tipo lorena, reemplazo de leña por gas y producción de leña con base en reforestación con especies de rápido crecimiento, como *Acacia retinoide*.

## LITERATURA CITADA

- Arias Ch., T. 1997. Consumo y flujos de leña y otros combustibles en la microregión Tlapa de Comonfort, Guerrero. Proyecto TCP/MEX/4553 (A). (Disponible en línea en <http://www.fao.org/forestry/FOP/FOPW/ENERGY>). (Revisado el 22 de febrero del 2002).
- FAO. 1990. Efectos de la escasez de leña en los regímenes alimentarios: Hipótesis de investigación. *Unasylva* 41: 29-34.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

- Hocker, Jr., H.W. 1979. Introduction to forest biology. John Wiley. New York.
- Jahn, E.C. 1982. Energy from the forest. pp. 1-50. *In*: Sarkane, K.V., D.A. Tillman y E.C. Jahn (eds.). Progress biomass conversion. Vol. 3. Academic Press. New York.
- LaBaume, J.T. y B.E. Dahl. 1986. Communal grazing: The case of the Mexican ejido. *J. Soil Water Conserv.* 41: 24-27.
- López A., R., H. Cayetano C. y M. González L. 1997. Consumo y flujos de leña y otros combustibles en la microregión de Los Altos y Mixtepec del Distrito de Zimatlán de Alvarez, Oaxaca. Proyecto TCP/MEX/4553 (A). (Disponible en línea en <http://www.fao.org/forestry/FOP/FOPW/ENERGY>). (Revisado el 21 de febrero del 2002).
- Masera, O., J. Navia, G. Ruiz y S. Ochoa. 1996. Situación dendroenergética estatal en Michoacán. Proyecto TCP/MEX/4553 (A). (Disponible en línea en <http://www.fao.org/forestry/FOP/FOPW/ENERGY>). (Revisado el 22 de febrero del 2002).
- Pimentel, D., W. Dazhong, S. Eigenbrode, H. Lang, D. Emerson y M. Karasik 1986. Deforestation: Interdependency of fuelwood and agriculture. *Oikos* 46: 404-412.
- Preston, S.B. 1982. Intermediate technology in deriving energy from forest biomass. pp. 95-107. *In*: Smith, W.R. (ed.). Energy from forest biomass. Academic Press. New York.
- Riegelhaupt, E. 1996. La dendroenergía en México. Proyecto FAO/MEX/TCP/4353 (A). (Disponible en línea en <http://www.fao.org/forestry/FOP/FOPW/ENERGY>). (Revisado el 19 de Febrero del 2002).
- SAG. Secretaría de Agricultura y Ganadería. 1976. Inventario Forestal del Estado de Hidalgo. Publicación 39. México, D.F.
- SAG. Secretaría de Agricultura y Ganadería. 1978. Inventario Forestal del Estado de Puebla. Publicación 44. México, D.F.
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1985. Inventario Forestal de Estado de Oaxaca. Publicación Especial 58. México, D.F.
- Smith Jr., J.R. 1976. Modern vegetation and ancient plant remains of the Nochixtlan Valley, Oaxaca. Vanderbilt University. Publications in Anthropology 16. Nashville, TN.
- Young, R.A., J. McGovern y R.M. Rowel. 1990. Wood for fiber, energy and chemicals. pp. 478-517. *In*: Young, R.A. y R.L. Giese (eds.). Introduction to forest science. John Wiley. New York.

### Revisores quienes participaron en este número

Aguilar Sánchez, Genaro	Chapingo, estado de México
Alvarado López, Jorge	Montecillo, estado de México
Álvarez Sánchez, Edna	Chapingo, estado de México
Becerril Román, A. Enrique	Montecillo, estado de México
Bravo Espinosa, Miguel	Morelia, Michoacán, México
Campos Cascaredo, Adolfo	Xalapa, Veracruz, México
Cantellano de Rosas, Eliseo	México, D.F.
Carrillo González, Rogelio	Montecillo, estado de México
Domínguez Castillo, Estéban	Huimanguillo, Tabasco, México
Escamilla Bencomo, J. Armando	Mérida, Yucatán, México
Estrada Ávalos, Juan	Ciudad Lerdo, Durango, México
Etchevers Barra, Jorge D.	Montecillo, estado de México
Félix Verdugo, Omar	Chihuahua, Chihuahua, México
García Herrera, Gabriel	Montréal, Canadá
García Moya, Edmundo	Montecillo, estado de México
González Barrios, José L.	Ciudad Lerdo, Durango, México
Guízar Nolazco, Enrique	Chapingo, estado de México
Lucena, Juan José	Madrid, España
Maldonado Torres, Ranferi	Chapingo, estado de México
Méndez García, Teodoro	México, D.F.
Pérez Nieto, Joel	Chapingo, estado de México
Rebolledo Robles, H. Hugo	Chapingo, estado de México
Rosell, Ramón A.	Buenos Aires, Argentina
Ruiz Vega, Jaime	Sta. Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México
Salgado García, Sergio	H. Cárdenas, Tabasco, México
Sánchez Cohen, Ignacio	Ciudad Lerdo, Durango, México
Sánchez Rojas, Leonardo	Chapingo, estado de México
Sánchez Vélez, Alejandro	Chapingo, estado de México
Santibáñez Quezada, Fernando	Santiago, Chile
Tavarez Espinosa, Carlos	Texcoco, estado de México
Tijerina Chávez, Leonardo	Montecillo, estado de México
Trinidad Santos, Antonio	Montecillo, estado de México
Velasco Velasco, Vicente A.	Oaxaca, Oaxaca, México
Zermeño González, Alejandro	Saltillo, Coahuila, México

### Editores Técnicos quienes evaluaron los artículos de este número

Alvarado López, Jorge	Montecillo, estado de México
Álvarez Sánchez, Ma. Edna	Chapingo, estado de México
Corlay Chee, Langen	Chapingo, estado de México
Cristóbal Acevedo, David	Chapingo, estado de México
González Chávez, Ma. del Carmen	Montecillo, estado de México
Gutiérrez Castorena, Carmen	Montecillo, estado de México
Sandoval Villa, Manuel	Montecillo, estado de México





## Red Nacional de Educación y Enseñanza de la Ciencia del Suelo

### RENAEECS

**“¡Así son los Suelos mi Nación!”<sup>1</sup>**

*México de mil olores*, esos que llenan e inundan mis sentidos y pensamiento desde niño, México de los aromas de los productos que nuestros suelos nos dan.

México de olor perfumado de piñas y azahares de los naranjos Veracruzanos en flor, de dulce y sensual aroma de los melones que acompañan a rojas sandías de Apatzingán; de las picantes cebollas y chiles, que inundan nuestras cocinas; México que nos impregnas de exhalaciones sofisticadas de las Guayabas de Salvatierra, fuertes y afrodisíacos de los ajos, aguacates y guanábana; exóticos como el mamey, plátano, zapote, cacao, capulín y chicozapote, que tu bello y sacrificado Sureste nos regala, tan dulces como el azúcar de la caña mexicana, tan ácidos como nuestros limones y tan amargos como la realidad social que los acompaña; aromas poderosos de mi infancia y exquisitos perfumes de nuestras flores mexicanas; ¡¡¡¡México, hoy que soy niño, te necesito conocer, para siendo un hombre poderte amar, comprender y sobretodo, defender!!!!!!<sup>2</sup>

*¡Porque no se puede amar lo que no se conoce, ni apreciar aquello de lo cual desconocemos su valor, ven e intégrate a nuestra Red Nacional de Educación y Enseñanza de la Ciencia del Suelo! RENAECS<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Así son los Suelos de mi Nación*, es un Proyecto de Iniciación Temprana a la Docencia e Investigación, registrado para Fundación UNAM, desarrollándose en coparticipación con la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C.; abierto a todos quienes deseen integrarse a través de la RENAECS<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Reyes-Sánchez Laura Bertha

<sup>3</sup> Ibid



## CONVOCATORIA

# ¡Así son los Suelos de mi Nación!<sup>1</sup>

México de mil colores, tantos, como colores tienen tus suelos: Rojos y someros, ricos en hierro y aluminio; Negros y ricos suelos fértiles que nos alimentan; Castaños como el cabello de las mujeres mestizas que nuestra tierra vio nacer a la muerte de la gran Tenochtitlán;.....ven, ayúdame a conocer a México y dime..... ¿De qué color son los suelos de Tu Nación?<sup>2</sup>

La Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. tiene el agrado de invitar a participar en el Simposio: “Innovaciones Educativas en la Enseñanza de la Ciencia del Suelo”, con el tema: “¿De qué color son los suelos de Tu Nación?”, a todos los niños y jóvenes que deseen presentar los resultados de sus trabajos de investigación documental o experimental sobre el tema, dentro del marco de su XXXII Congreso Nacional a realizarse en León Guanajuato, durante la primera quincena de Noviembre del año 2004, conforme a las siguientes bases:

1. La participación queda abierta a todos los niveles educativos desde el preescolar al bachillerato y la selección se hará por niveles.

2. El simposio se desarrollará con dos tipos de contribuciones: presentaciones orales y en poster.

3. Los trabajos deberán ser presentados al Simposio, máximo por dos alumnos y uno o dos profesores que los asesorarán.

4. Los trabajos de presentación oral, sólo uno por cada nivel educativo, serán seleccionados por el Comité Científico de acuerdo a su objetivo, diseño, contenido, metodología, calidad y pertinencia con el tema del simposio. Todos los autores seleccionados en este tipo de presentación, deberán confirmar su asistencia antes del 15 de Septiembre del año 2004.

5. Los trabajos seleccionados para presentación oral, serán expuestos sólo por los niños y jóvenes, al pleno del Simposio y recibirán un diploma, que acredite la selección hecha a su trabajo.

<sup>1</sup> Así son los Suelos de mi Nación, es un Proyecto de Iniciación Temprana a la Docencia e Investigación, registrado para Fundación UNAM, desarrollándose en coparticipación con la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. ; abierto a todos quienes deseen integrarse a través de la RENAECS<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Reyes-Sánchez Laura Bertha

6. Cada trabajo seleccionado para presentación oral, dispondrá como máximo, de quince minutos para su presentación, y podrán apoyarse para ello, de proyectores de transparencias y/o diapositivas.

Los trabajos para presentación en cartel, contarán para ello con un espacio de 1 m de ancho por 1,20 de largo. (El material para fijarlos en las mamparas, es responsabilidad de los autores), y deberán quedar expuestos de 8 a 14 hrs. el día del Simposio.

7. Los trabajos presentados en cartel, serán seleccionados por el Comité Científico de acuerdo a su objetivo, contenido, metodología y aporte original. Los autores deberán exponerlos y presentarlos a los congresistas, y los profesores sólo podrán estar presentes para animarlos, apoyarlos y auxiliarlos en su colocación; pero la defensa del trabajo y de las ideas expuestas en él, las deberán hacer los niños y jóvenes durante la sesión de carteles del simposio de educación.

8. El comité Científico premiará al mejor trabajo en cartel de cada nivel educativo, otorgándoles un diploma de distinción (además del de participación). La selección se hará en base a los criterios anteriores, a la presentación gráfica del trabajo, y la defensa del mismo que hagan durante la sesión de cartel los niños y jóvenes, tomando en cuenta su edad y nivel.

### **Normas de presentación de los trabajos.**

El resumen debe ser redactado correctamente en español, no debe sobrepasar una página tamaño carta de extensión. Debe ser incluido el objetivo, la metodología utilizada y las conclusiones, conteniendo sólo la información estrictamente necesaria.

El trabajo debe indicar el nombre completo del o los autores y del profesor que los asesoró, e incluir los datos completos de la escuela y nivel de procedencia, así como dirección y teléfono o correo electrónico donde se les ubique; el texto debe ser escrito a máquina o en computadora con un tamaño mínimo de 12 puntos, a renglón sencillo o doble. Signos y símbolos con nomenclatura internacional, si se incluyen figuras o tablas, deben incorporarse al texto. Las expresiones matemáticas, si es que las hay, deben ser claras y las referencias o notas ir al final numeradas correlativamente.

Los resúmenes deberán ser enviados a la profesora Laura Bertha Reyes Sánchez, por correo postal registrado a Miramar 54, Cumbria C. P. 54740, Cuautitlán Izcalli, México y los profesores se podrán comunicar para cualquier duda o aclaración, a el correo electrónico: [lbrs@servidor.unam.mx](mailto:lbrs@servidor.unam.mx) Fecha límite de recepción: 31 de Julio del 2004.

**¡Vamos todos juntos en la Cruzada Nacional por la preservación del Recurso Suelo!**

**ÚNETE A LA RENAEECS<sup>3</sup>**

**Dra. Edna Álvarez Sánchez**  
Presidente de la Sociedad Mexicana  
de la Ciencia del Suelo, A. C.

**Q. Laura Bertha Reyes Sánchez**  
Coordinadora del Simposio  
"Innovaciones Educativas en la Enseñanza  
en la Ciencia del Suelo"

<sup>3</sup> Red Nacional de Educación y Enseñanza de la Ciencia del Suelo. División de Educación y Enseñanza de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Proyecto: "Así son los Suelos de mi Nación"



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

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos;  
km 38.5 Carr. México -Texcoco  
Tel. y Fax: 01 595 95 2 17 21. Tel. 01 595 95 2 15 00 ext. 5237  
Correo ordinario: Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Méx.

## FORMA DE SUSCRIPCIÓN A LA REVISTA TERRA

La revista Terra es publicada trimestralmente. Todas las suscripciones son anuales e incluyen un volumen con cuatro números. El costo de la suscripción es de \$ 750.00 en el país y 80.00 Dólares americanos en el extranjero. Incluye costos de envío en ambos casos.

Enviar suscripción a:

Nombre: \_\_\_\_\_

Empresa: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Colonia: \_\_\_\_\_

Código Postal: \_\_\_\_\_

Ciudad: \_\_\_\_\_

Estado: \_\_\_\_\_

País: \_\_\_\_\_

e-mail: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

Fax: \_\_\_\_\_

Usted podrá depositar el monto de la suscripción en la cuenta bancaria que se describe en la parte inferior de esta forma.

**HOY ES EL MEJOR MOMENTO PARA APOYAR A LA REVISTA TERRA  
! SUSCRÍBETE ;**

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.  
Cuenta 044 657115  
Bancomer Número de Plaza 010  
Sucursal 3441 Texcoco, Estado de México.