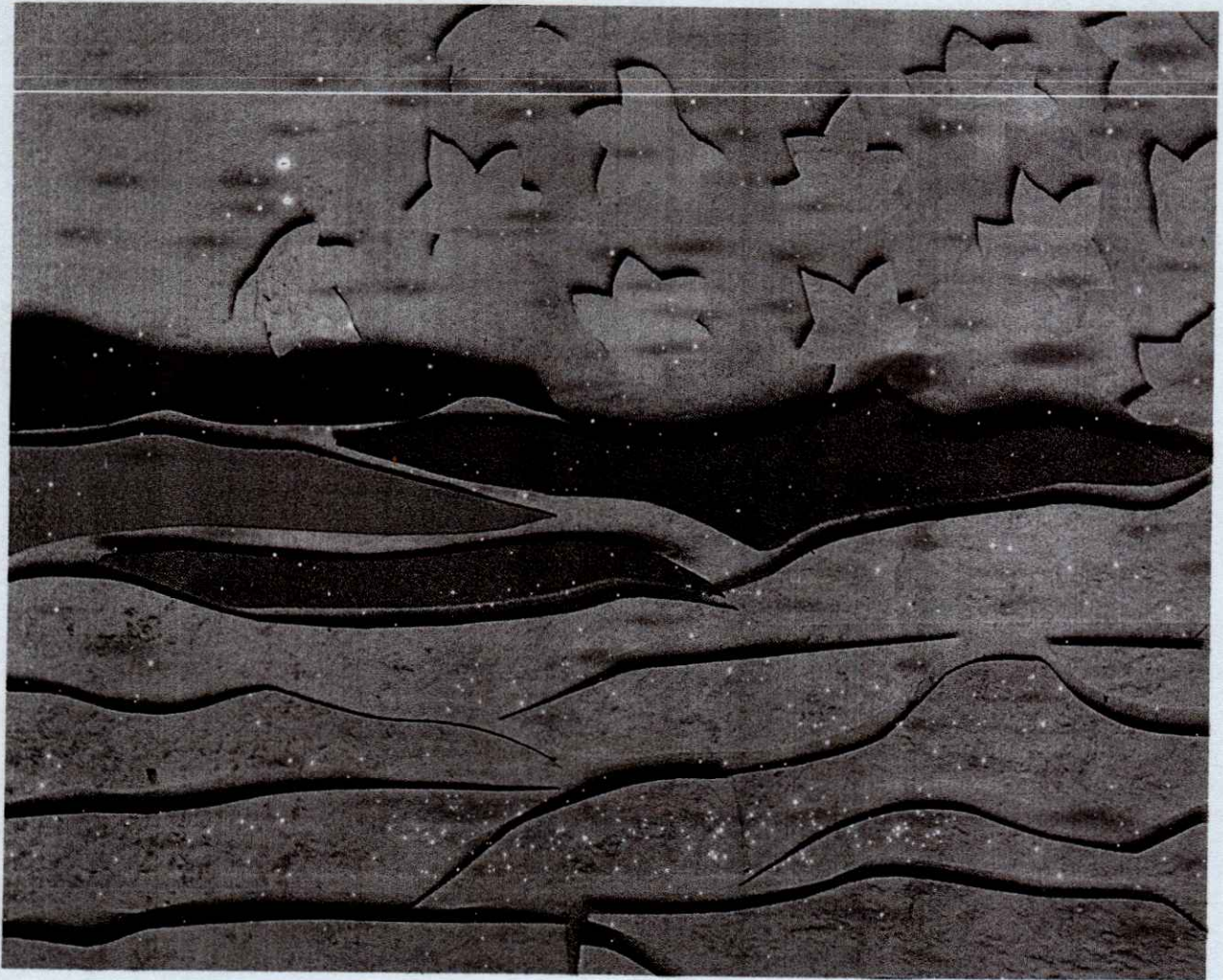


ISSN 0187-5779

TERRA

ABRIL - JUNIO DE 2000 • VOLUMEN 18 • NUMERO 2



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

TERRA

SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO A.C.

MESA DIRECTIVA 1997-1999

Presidente
Vicepresidente
Secretario General
Tesorero
Secretario Técnico
Secretario de Relaciones Públicas
Secretario de Eventos Nacionales e Internacionales
Vocal
Vocal

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro
M.C. José Cisneros Domínguez
Dr. Prometeo Sánchez García
Dr. Fernando de León González
Dra. Edna Álvarez Sánchez
M.C. Ricardo Torres Cossío

Dr. Francisco Gavi Reyes
Biól. Rogelio Oliver Guadarrama
M.C. Gaspar Romero Hernández

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.
Abril - Junio de 2000 Volumen 18 Número 2

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: +01(5) 954 60 24 **Fax:** +01(5) 954 80 76
e-mail: smcs@taurus1.chapingo.mx

EDITOR EN JEFE
EDITOR ADJUNTO
EDITORES TÉCNICOS

Dr. Antonio Vázquez Alarcón
Dr. Javier Z. Castellanos
Dr. Gabriel Alcántar González
Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro
Dr. Juan José Peña Cabriales
Dr. Xavier X. Uvalle Bueno
Dra. Edna Álvarez Sánchez
Dr. Mateo Vargas Hernández
Dra. Carmen Gutiérrez Castorena
Dr. David Espinosa Victoria
M.C. Jorge Alvarado López
M.C. Langen Corlay Chee
Sra. Ina Aalmers de Aguilar
Profa. Diane Fumiko Miyoshi Udo

EDITORES DE ESTILO

EDITORIA DE ESTILO
EN INGLES

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. Ronald Ferrera Cerrato
Dr. Benjamín Figueroa Sandoval
M.C. Margarita E. Gutiérrez Ruiz
Dr. Reggie J. Laird
Dr. Angel Martínez Garza
Dr. Roberto Núñez Escobar
Dr. Carlos Ortiz Solorio
Dr. Alejandro Velázquez Martínez
Dr. Enrique Palacios Vélez
Dr. Oscar L. Palacios Vélez
Dr. Benjamín V. Peña Olvera
Dr. Antonio Turrent Fernández

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

Dr. Eduardo Besoain M.	Chile
Dr. Winfried E. H. Blum	Austria
Dr. Elmer Bornemisza	Costa Rica
Dr. Luis Alfredo de León	Colombia
Dr. 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. Paul Quantin	Francia
Dr. José Rodríguez	Chile
Dr. Karl Stahr	Alemania
Dr. Bernardo Van Raij	Brasil
Dr. Rafael Villegas	Cuba
Dr. Eduardo Zaffaroni	Brasil

TERRA

ABRIL - JUNIO DE 2000 • VOLUMEN 18 • NUMERO 2

DIVISION I

93 Clasificaciones técnicas de suelos en combinación con el conocimiento local sobre tierras, en Santa María Jajalpa, estado de México.

Erberto Raúl Alfaro Ortiz, Carlos Alberto Ortiz Solorio, Carlos Arturo Tavarez Espinosa, Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena y Antonio Trinidad Santos

103 Calidad de los mapas de suelos en el ejido de Atenco, estado de México.

Eduardo Lleverino González, C. A. Ortiz Solorio y Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena

115 Carga eléctrica de los Andosoles del Cofre de Perote, Veracruz, México.

Lourdes Cruz Huerta y Daniel Geissert Kientz

DIVISION II

125 Fertilización química y biológica de *Phalaenopsis* (Orchidaceae) en condiciones de invernadero.

Jorge A. Espinosa Moreno, E. Araceli Gaytán Acuña, A. Enrique Becerril Román, David Jaen Contreras y Carlos Trejo López

133 Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía.

Clemente Gallegos-Vázquez, Emilio Olivares-Sáenz, Rigoberto Vázquez-Alvarado y Francisco Zavala-García

141 Niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de $N-NO_3$ en el extracto celular de peciolo de tomate de cáscara.

R. Castro-Brindis, P. Sánchez-García, A. Peña-Lomelí, G. Alcántar-González, G. Baca-Castillo y R. M. López-Romero

147 Inclinación de láminas de frijol durante el día.
*Eliseo Sosa Montes, María Luisa Ortega Delgado,
J. Alberto S. Escalante Estrada, E. Mark Engleman y
Victor A. González Hernández*

153 Efecto de inoculación con endomicorriza arbuscular y dosis creciente de fertilización fosfatada en el crecimiento de chapulixtle (*Dodonaea viscosa*).
Abdul Khalil Gardezi, Víctor Manuel Cetina Alcalá, Daniel Talavera Magaña, Ronald Ferrera-Cerrato, Francisco Rodríguez Neave y Mario Larqué Saavedra

DIVISION III

161 Labranza de conservación usando coberturas de abono orgánico en alfalfa.
José Dimas López-Martínez, Guadalupe Gutiérrez Puente y Salvador Berímen Padilla

NOTA DE INVESTIGACION

173 Sistema computarizado experto en diagnóstico nutrimental en naranjo.
Tomás Corona Saenz, Gustavo Almaguer Vargas y Ranferi Maldonado Torres

TERRA

MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

BOARD

President
Vicepresident
Secretary
Treasurer
Technical Adviser
Public Relations
National and International Events
Secretary
Voter
Voter

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro
M.C. José Cisneros Domínguez
Dr. Prometeo Sánchez García
Dr. Fernando de León González
Dra. Edna Alvarez Sánchez
M.C. Ricardo Torres Cossío

Dr. Francisco Gavi Reyes
Biól. Rogelio Oliver Guadarrama
M.C. Gaspar Romero Hernández

DIVISIONS AND DISCIPLINES

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

- Soil Genesis, Morphology and Classification
- Soil Physics
- Soil Chemistry
- Pollution

Division II: Soil - Climate - Biota Relationship

- Plant Nutrition
- Water - Soil - Plant - Atmosphere Relationship
- Soil Biology
- Technology and Fertilizer Use
- Water Management and Use

Division III: Use of the Soil Resource

- Soil Conservation
- Drainage and Restoration
- Soil Fertility
- Agrosystem Productivity

Division IV: Education and Technical Assistance

- Education
- Credit and Technical Assistance

TERRA Registration pending
Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science
April - June, 2000 Volume 18 Num. 2

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: +52 (5) 954 60 24 Fax: +52 (5) 954 80 76
e-mail: smcs@taurus1.chapingo.mx

EDITOR-IN-CHIEF
ASSOCIATE EDITOR
TECHNICAL EDITORS

Dr. Antonio Vázquez Alarcón
Dr. Javier Z. Castellanos
Dr. Gabriel Alcántar González
Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro
Dr. Juan José Peña Cabriales
Dr. Xavier X. Uvalle Bueno
Dra. Edna Alvarez Sánchez
Dr. Mateo Vargas Hernández
Dra. Carmen Gutiérrez Castorena
Dr. David Espinosa Victoria
M.C. Jorge Alvarado López
M.C. Langen Corlay Chee
Ina Aalmer de Aguilar
Profa. Diane Fumiko Miyoshi Udo

STYLE EDITORS

ENGLISH EDITOR

EDITORIAL STAFF

Cover design

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

NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

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

INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

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

TERRA

APRIL - JUNE, 2000 • VOLUME 18 • NUMBER 2

DIVISION I

- 93 Technical soil classifications in combination with local knowledge of lands, in Santa Maria Jajalpa, State of Mexico.
Erberto Raúl Alfaro Ortiz, Carlos Alberto Ortiz Solorio, Carlos Arturo Tavarez Espinosa, Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena, and Antonio Trinidad Santos
- 103 Quality of soil maps of the 'Ejido' Atenco in the State of Mexico.
Eduardo Lleverino González, C. A. Ortiz Solorio, and Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena
- 115 Electric charge of Andosols of 'Cofre de Perote', Veracruz, México.
Lourdes Cruz Huerta and Daniel Geissert Kientz

DIVISION II

- 125 Chemical and biological fertilizations of *Phalaenopsis* (Orchidaceae) under greenhouse conditions.
Jorge A. Espinosa Moreno, E. Araceli Gaytán Acuña, A. Enrique Becerril Román, David Jaen Contreras, and Carlos Trejo López
- 133 Nitrate and ammonium uptake by cactus pear in hydroponics.
Clemente Gallegos-Vázquez, Emilio Olivares-Sáenz, Rigoberto Vázquez-Alvarado, and Francisco Zavala-García
- 141 Toxicity, sufficiency and critical levels of $N-NO_3$ in petiole sap of husk tomatoes.
R. Castro-Brindis, P. Sánchez-García, A. Peña-Lomeli, G. Alcántar-González, G. Baca-Castillo, and R. M. López-Romero

147 Bean lamina inclination during the day.
*Eliseo Sosa Montes, María Luisa Ortega Delgado,
J. Alberto S. Escalante Estrada, E. Mark Engleman, and
Víctor A. González Hernández*

153 Inoculation with arbuscular endomycorrhizae and phosphorus
fertilization on growth of chapulixtle (*Dodonaea viscosa*).
*Abdul Khalil Gardezi, Víctor Manuel Cetina Alcalá, Daniel Talavera
Magaña, Ronald Ferrera-Cerrato, Francisco Rodríguez Neave,
and Mario Larqué Saavedra*

DIVISION III

161 Conservation tillage using organic fertilizer mulch in alfalfa.
*José Dimas López-Martínez, Guadalupe Gutiérrez Puente, and
Salvador Berúmen Padilla*

RESEARCH NOTE

173 Computerized expert system in nutritional diagnosis of orange
trees.
*Tomás Corona Saenz, Gustavo Almaguer Vargas, and
Ranferi Maldonado Torres*

**CLASIFICACIONES TECNICAS DE SUELOS EN
COMBINACION CON EL CONOCIMIENTO LOCAL SOBRE TIERRAS,
EN SANTA MARIA JAJALPA, ESTADO DE MEXICO**
**Technical Soil Classifications in Combination with Local Knowledge of Lands,
in Santa Maria Jajalpa, State of Mexico**

**Erberto Raúl Alfaro Ortiz¹, Carlos Alberto Ortiz Solorio¹, Carlos Arturo Tavarez Espinosa²,
Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena¹ y Antonio Trinidad Santos¹**

RESUMEN

Las clasificaciones técnicas de suelos se generan con propósitos específicos y con fines utilitarios. Para su aplicación se requiere contar con un mapa de suelos, ya que los objetos a clasificar son unidades cartográficas, reagrupando aquellas que resultan semejantes. En México se cuenta con mapas de suelos, escala 1:50 000, elaborados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), considerados como la información edáfica más detallada del país, que podría utilizarse como mapa base para la aplicación de las clasificaciones técnicas. Sin embargo, su calidad ha sido cuestionada, por lo que se ha propuesto sustituirlos con otros mapas y, además, las clasificaciones técnicas que se usan no se han elaborado en el país y requieren ser evaluadas. El objetivo de la presente investigación fue utilizar al conocimiento local sobre tierras como un marco de referencia para la aplicación y evaluación de dos clasificaciones técnicas de suelos, la de Capacidad-Fertilidad y la de los Suelos Superficiales. Considerando el conocimiento local que de sus tierras tienen los productores de hortalizas del ejido de Santa María Jajalpa, municipio de Tenango del Valle, estado de México, se elaboró un mapa de clases de tierras y se clasificaron a los suelos que las integran con el Sistema FAO/UNESCO (1974), para poder comparar sus resultados con la información publicada en la Carta Edafológica del INEGI. Se encontró que las subunidades reportadas en esa Carta no se presentan ni espacial ni nominalmente en el área. Con el sistema de

Capacidad-Fertilidad se identificaron tres grupos, uno de ellos quedó integrado por suelos con diferente productividad en hortalizas y se estableció además, que el sistema de clasificación de los Suelos Superficiales caracteriza con mayor detalle a las clases de tierras. El presente estudio permite concluir que el conocimiento local sobre clases de tierra y las clasificaciones técnicas son complementarios, y permiten definir con más precisión el potencial agrícola de los suelos.

Palabras clave: Clasificación taxonómica, Capacidad-Fertilidad, Episoles.

SUMMARY

Technical soil classifications are generated with specific purposes and practical objectives. For the application of these systems, it is necessary to have a soil map, because each mapping unit is classified and those that are similar are regrouped. Mexico has soil maps at 1:50 000 scales, made by the National Institute of Statistics, Geography and Informatics (INEGI), that can be used as base map for application of technical soil classifications. However, their quality has been questioned and many people prefer to use other maps, and moreover, the technical soil classification systems that are used have not been generated in Mexico, and they need evaluation. The objective of this paper was to use the local knowledge of lands as a reference for the application and evaluation of two technical soil classification systems, the Capacity-Fertility classification and Topsoil classification. A map of land classes was made taking into account the farmers knowledge, especially those producing vegetables, in the 'Ejido' of Santa María Jajalpa, municipality of Tenango del Valle, State of Mexico. The soils of land classes were classified with FAO/UNESCO system, 1974 version, to compare them with INEGI soil map. The results show that soil

¹ Colegio de Postgraduados, Especialidad de Edafología, 56230 Montecillo, Edo. de México. Tel./Fax: (5) 9510524.

² SEMARNAP, Periférico Sur 4209, Fracc. La Montaña, Delegación Tlalpan, 14210 México DF. Tel. (5) 6595704.

Recibido: Enero de 1999.

Aceptado: Septiembre de 2000.

subunits of INEGI chart do not exist in this 'ejido'. With Capacity-Fertility system three groups were identified, one was integrated by soils with different vegetable productivity, and the Topsoil classification system classified land classes with more detail. The conclusion was that the local knowledge of lands and technical soil classifications complement each other and allow a better definition of agricultural potentialities of soils.

Index words: Taxonomic classification, Capacity-Fertility, Topsoil.

INTRODUCCION

En México, a partir de los 80, se han investigado a los sistemas locales de clasificación de tierras en varias partes del país. Estos sistemas, al combinarse con el conocimiento técnico, han producido mapas precisos y exactos a escalas grandes (Ortiz, 1991). Por otro lado, en países desarrollados se cuenta con sistemas de clasificaciones técnicas de suelos, que les han sido útiles, que no son complejos ni costosos, y para poder adaptarlos en nuestro medio falta su evaluación.

Los productores esperan sistemas de clasificación que consideren al suelo como un recurso productivo (suelo superficial y/o capa arable), que respondan y orienten las necesidades de un mejor uso y manejo, principalmente las relacionadas con la fertilidad de los suelos y su fertilización.

A partir de lo anterior, se propone usar a los mapas de clases de tierras, generados con base en el conocimiento de los productores, como el marco de referencia geográfico para aplicar y evaluar diferentes sistemas de clasificaciones técnicas de suelos, aprovechando lo práctico y confiable que resulta la clasificación campesina de tierras, y la propia experiencia del productor con cultivos específicos, con el fin de seleccionar a los sistemas interpretativos que clasifiquen adecuadamente a los suelos de una región y que sean prácticos y útiles a los productores. Los habitantes de Santa María Jajalpa, considerada como el área de estudio ubicada en el estado de México, son una población con un conocimiento muy completo sobre sus tierras. Además, son parte de un pueblo indígena cuyo asentamiento en esa localidad data de tiempos prehispánicos, cuando todavía las tierras hortícolas del lugar eran parte de la laguna de Almoloya del Río.

Los dos sistemas de clasificación técnica de suelos aquí considerados son: el sistema por Capacidad-Fertilidad propuesto por Buol *et al.* (1975) y el sistema de clasificación de Suelos Superficiales (episoles, capas arables o topsoil) que propone la FAO (1995). El primer sistema, probado y utilizado en muchos países del continente, agrupa suelos de acuerdo con propiedades que influyen en la respuesta de los cultivos a la aplicación de fertilizantes. El segundo sistema se originó como una respuesta a las críticas realizadas a las clasificaciones taxonómicas de suelos, las cuales se basan en el subsuelo y le dan poca importancia a la capa superficial, que es la más significativa para agricultores, botánicos y forestales. El presente estudio se llevó a cabo en un área de 260 ha, con tierras de origen lacustre, dedicadas en su mayoría a la producción intensiva de hortalizas.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se localiza en el ejido de Santa María Jajalpa, en la subcuenca de la exlaguna de Almoloya. Forma parte del municipio mexiquense de Tenango del Valle, estado de México, a 35 km del Distrito Federal por la carretera federal (libre) entre las ciudades de México y Toluca.

Santa María Jajalpa colinda al norte con San Antonio La Isla, al sur con San Francisco Tepexoxuca, al este con San Pedro Techuchulco y Almoloya del Río y al oeste con Tenango de Arista, Rayón y Santiago Coaxustenco. Geográficamente se encuentra ubicada a 99°35'21" de longitud oeste y a 19°06'07" de latitud norte, con una altitud de 2585 m (INEGI, 1988). Cuenta en total con 15.42 km² de tierras agrícolas, de riego, humedad y temporal. El área del presente estudio comprende un total de 260 ha divididas en 440 parcelas de 16.5 m de ancho por 360 m de largo, distribuidas en tres tablas. Tiene un clima C(w2)(w), tipo templado subhúmedo con lluvias de verano (INEGI, 1988). De acuerdo con los datos meteorológicos de la estación Tenango de Arista, ubicada a sólo tres kilómetros de Santa María Jajalpa, la temperatura promedio anual es de alrededor de 13 °C con una precipitación promedio anual mayor que 800 mm.

Según el sistema original de FAO utilizado en las cartas edafológicas del INEGI (1970), en la región

estudiada se localizan las subunidades: Histosol eútrico, Vertisol pélico, Feozem háplico, Andosol mólico, Andosol órico y Andosol húmico. Específicamente en el área de estudio se encuentran Histosoles eútricos y, con mayor extensión, Vertisoles pélicos.

Metodología

La metodología para la elaboración del presente estudio consideró las etapas siguientes:

Clasificación local de tierras y su cartografía. La primera actividad fue establecer los contactos con las autoridades y líderes ejidales, con quienes se recorrió toda el área. Con el conocimiento empírico que tienen sobre sus tierras se caracterizaron cada una de las clases de tierras presentes y, además, se ubicaron sus linderos sobre un plano parcelario y se generó un mapa preliminar, con el cual se procedió a entrevistar a un mayor número de productores de hortalizas del ejido. Lo anterior con el fin de ampliar la información sobre las propiedades y/o características de los suelos que son diferentes de un lugar a otro y que influyen en el desarrollo de cultivos. Con esta información y con la verificación de los linderos se obtuvo el mapa definitivo de clases de tierras a escala 1:20 000.

Clasificación formal y comparación con la cartografía edáfica. A partir de la información de las clases de tierras y el mapa generado se seleccionaron los sitios de muestreo y se describieron los perfiles representativos de cada clase de tierras de acuerdo con el manual de Cuanalo (1990). En cada uno de estos perfiles de suelo se obtuvieron muestras por horizonte, para sus respectivos análisis físicos y químicos. Los suelos que integran a las clases de tierras se clasificaron con tres sistemas: FAO/UNESCO (1974); FAO/UNESCO/ISRIC (1990) y la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1994). Con el mapa de clases de tierras y la clasificación formal de los suelos acorde con el sistema FAO/UNESCO versión 1974 se realizó una comparación con respecto a la información reportada por la Carta Edafológica del INEGI, que en teoría deberían ser idénticas, espacial y nominalmente.

Clasificaciones técnicas de suelos y su aplicación. En el presente estudio se aplicaron dos clasificaciones técnicas de suelos: la de Capacidad-Fertilidad y la de Suelos Superficiales.

a) La Clasificación por Capacidad-Fertilidad propone tres niveles: Tipo, Subtipo y Modificadores. El **Tipo**,

se basa en la textura de la capa arable o de los primeros 20 cm de profundidad, cualquiera que sea menos profundo y cuenta con cuatro tipos, nombrados con letras mayúsculas: **S** = Arenoso: arena y arena migajosa; **L** = Franco: <35% de arcilla, excepto arenas y arena migajosa; **C** = Arcilloso: >35% de arcilla; y **O** = Suelo orgánico: >30% de materia orgánica en los primeros 50 cm. El **Subtipo** se usa sólo cuando existe un cambio en la textura dentro de los primeros 50 cm o una capa endurecida que impide el desarrollo radical. Para su identificación se emplean también letras mayúsculas: **S** = Subsuelo arenoso: arena y arena migajosa; **L** = Subsuelo Franco: <35% de arcilla, excepto arena y arena migajosa; **C** = Subsuelo arcilloso: >35% de arcilla; y **R** = Roca u otra capa endurecida que restrinja el desarrollo radical. Los **Modificadores** refieren a propiedades físicas o químicas que afectan la fertilidad de los suelos. Estos se pueden presentar en el suelo superficial, la capa arable o dentro de los 20 cm, cualquiera que sea menos profundo; o en el subsuelo. En los modificadores del subsuelo se emplea un asterisco (*). En el Cuadro 1 se presenta una lista de los modificadores usados en la clasificación de Capacidad-Fertilidad.

b) La Clasificación de los Suelos Superficiales según la FAO (1995) consiste en caracterizar a la parte superior de los suelos (topsoil o episoles). En el Cuadro 2 se presenta un resumen de los términos empleados para caracterizar a las propiedades de los suelos superficiales y en el Cuadro 3 la nomenclatura tentativa para la clasificación de los suelos superficiales (episoles), propuesta por la FAO (1994).

Las clasificaciones técnicas mencionadas se aplicaron una vez que se definió el mapa base y se realizó un segundo muestreo de suelos, específico para este fin. Particularmente, se seleccionaron tres sitios localizados en forma transversal a las unidades cartográficas; en cada sitio se obtuvieron muestras compuestas que provienen de nueve submuestras, las cuales fueron colectadas en forma de zig-zag como lo recomiendan Fitts y Waugh (1966), a efecto de lograr la mejor representatividad posible del área muestreada. Cada una de las submuestras y, consecuentemente cada muestra compuesta, fueron obtenidas para dos profundidades de acuerdo con la metodología de Buol *et al.* (1975); una de 0 a 20 cm y la otra de 20 a 50 cm. Durante el muestreo se generaron, en una primera aproximación, algunos de los parámetros

Cuadro 1. Modificadores de los Tipos y Subtipos del sistema de clasificación de suelos con base en su Capacidad-Fertilidad.

Modificador	Significado
*g (Gley)	Moteados con cromas ≤ 2 dentro de los primeros 60 cm y debajo de los horizontes A, o suelo saturado con agua por más de 60 días en la mayoría de los años.
*d (Seco)	Suelo seco por más de 60 días consecutivos por año, dentro de 20 a 60 cm de profundidad.
e (Baja CIC)	< 4 meq/100 g de suelo determinado por suma de bases + aluminio extraído por KCl 1N, o < 7 meq/100 g de suelo determinado por suma de cationes a pH 7, o < 10 meq/100 g de suelo determinado por suma de cationes + Al + H a pH 8.2.
*a (Toxicidad por Al)	$> 60\%$ de la CIC saturada con Al (por suma de bases + Al) en los primeros 50 cm o $> 67\%$ de la CIC saturada con Al (por suma de cationes a pH 7) en los primeros 50 cm, o $> 86\%$ de la CIC saturada con Al (por suma de cationes a pH 8.2) en los primeros 50 cm, o pH en agua (1:1) < 5.0 excepto en suelos orgánicos.
*h (Acido)	10 a 60% de la CIC saturada con Al (por la suma de bases + Al en los primeros 50 cm, o pH en agua (1:1) entre 5.0 y 6.0.
x (Minerales amorfos)	pH > 10 en NaF 1N, o la prueba del NaF en campo es positiva, u otras evidencias indirectas de la presencia de alófono como mineral de arcilla predominante.
v (Vertisol)	$> 35\%$ de arcilla muy plástica y pegajosa y $> 50\%$ de la fracción de arcillas expandibles (2:1), o COLE > 0.09 , o severo agrietamiento e hinchamiento del suelo.
*k (Deficiente en K)	$< 10\%$ de minerales meteorizables en la fracción limo y arena dentro de los primeros 50 cm, o un contenido de K intercambiable < 0.2 meq/100 g, o K $< 2\%$ de la suma de bases si ésta es < 10 meq/100 gramos.
*b (Calcáreo)	Carbonato de calcio libre dentro de 50 cm (efervescencia con HCl), o pH > 7.3 .
*s (Salino)	> 4 mmho cm^{-1} de conductividad eléctrica en pasta saturada a 25 °C dentro de 1 m de profundidad.
*n (Sódico)	$> 15\%$ de la CIC saturada con Na dentro de los primeros 50 cm.
*c (Cat clay)	Reacción en agua (pH, 1:1) < 3.5 cuando seco, moteados de jarosita con matices 2.5Y o más amarillos y cromas de 6 ó más altos dentro de 60 cm.

Fuente: Buol *et al.* (1975).

requeridos por el sistema de clasificación, como: profundidad, estructura, capas endurecidas, textura al tacto, color del suelo, reacción al HCl, el uso del suelo y las condiciones de desarrollo del o de los cultivos. Las muestras de suelos colectadas fueron homogeneizadas y preparadas para realizarles en el laboratorio los análisis físicos y químicos respectivos. Las clasificaciones técnicas se aplicaron una vez obtenidas las propiedades, de campo y de laboratorio:

RESULTADOS Y DISCUSION

Clasificación Local de Tierras y su Cartografía

La metodología para la cartografía de clases de tierras campesinas (Ortiz, 1991) establece que es necesario el conocimiento de los productores, motivo por el cual se buscó y obtuvo el apoyo de un comisario y dos líderes ejidales, con quienes se realizó un

recorrido, parcela por parcela, y se recabó la información primaria para construir la cartografía preliminar de clases de tierras; dicha cartografía fue trazada sobre un mapa parcelario del área de producción de hortalizas. Las personas entrevistadas conocían y diferenciaban las tierras existentes, nombrándolas según características visuales y/o uso y manejo, como son: color, textura, laboreo, material endurecido (para ellos tepetate) y desarrollo de cultivos, entre otros. Las clases de tierras del mapa preliminar fueron también identificadas por otros productores entrevistados y se confirmaron con ello cinco clases de tierras presentes en el área, denominadas: **Chiclosa, Flor de venida, Lama negra, Tepetate profundo y Tepetate superficial**. Adicionalmente a esta actividad, se llevó a cabo una revisión de los respectivos linderos y se obtuvo el mapa definitivo de clases de tierras que se presenta en la Figura 1.

Cuadro 2. Descripciones resumidas de las propiedades empleadas en la clasificación de los suelos superficiales (FAO, 1995).

Denominación	Significado
Altéricos	Superficie removida y mezclada con el material subsuperficial como resultado del cultivo
Arésicos	Capa superficial enriquecida de humus no mayor que 10 cm de espesor, con menos de 3% de materia orgánica, secos por más de tres meses consecutivos durante cada año
Brúnicos	Más de 1% de materia orgánica mineralizada, colores oscuros, saturación de bases de más de 35%
Cálcicos	Con 15% o más de carbonato de calcio equivalente
Exhaustivos	Químicamente degradado, cambios en las propiedades químicas producidos por el cultivo, con un abatimiento mayor que 30% en el rendimiento
Chéricos	Materia orgánica completamente mineralizada, negruzco, alta saturación de bases, de 30 cm de espesor
Cumúlicos	Acumulación de sedimentos finos por el riego
Drénicos	Drenados
Fólicos	Suelo superficial integrado totalmente por una acumulación de desechos
Hálicos	Salino dentro de los 15 cm de superficie en algún período del año ($CE > 15 \text{ dS m}^{-1}$)
Hídricos	Saturado de agua, material orgánico con densidad aparente menor que 0.1 Mg m^{-3} , o mineral con un valor de n mayor que 0.7
Jaroisíticos	Con motas comunes de jaroisita, amarillas
Módicos	Pobremente mezclada, materia orgánica con mineralización incompleta, más de 0.6% de carbono orgánico, colores negruzcos o grisáceos, baja saturación de bases (menor que 35%) y reacción del suelo (5.0), usualmente sin estructura
Orgánicos	A 30 cm de profundidad con más de 18% de C orgánico con 60% de arcilla ó 12% de C orgánico si hay ausencia de arcilla
Degradádicos	Físicamente degradados, cambios en las propiedades físicas por cultivo intenso (baja porosidad, baja infiltración, etc.)
Plaggen	Alto contenido de fosfatos por el continuo uso de estiércol
Redóxicos	Periódicamente saturados, moteados, visible actividad biológica, la reacción del suelo varía según la estación (5.0 a 8.5)
Sálicos	Salinos, conductividad eléctrica mayor que 4.5 dS m^{-1} dentro de los 15 cm de la superficie en algunos periodos del año
Vérticos	Con más de 30% de arcilla, muy duro, con estructura granular fina a media en la superficie y con grietas cuando seco
Soméricos	Duro, coherente o con una capa endurecida dentro de los 30 cm de la superficie
Vítricos	Presencia de vidrios y otros minerales asociados (más de 60%), alófono, y materia orgánica, baja densidad aparente (0.9 a 1.2 Mg m^{-3}), menos de 85% de retención de fosfatos
Elementos descriptivos adicionales	
Fragmentos gruesos	Gravoso: cuando contienen de 35 a 80% de fragmentos gruesos Muy gravoso, con 80% o más de fragmentos gruesos
Tierra fina	Arenoso. Arena y arena migajosa Francoso grueso, con menos de 18% arcilla Francoso fino, con 18 a 35% de arcilla Limoso grueso, con menos de 18% de arcilla y más de 15% de arena fina o gruesa Limoso fino, con 18 a 35% de arcilla y menos de 15% de arena fina o gruesa Arcilloso, con 35 a 60% de arcilla o más
Reacción del suelo	Acido con pH en agua menor que 5.0 Moderadamente ácido con pH en agua de 5.0 a 6.5 Neutral con pH en agua de 6.5 a 8.0 Alcalino con pH en agua mayor que 8.0

Clasificación Formal de los Suelos

En el Cuadro 4 se muestra la clasificación de los suelos que integran a las diferentes clases de tierras en la zona de estudio, con el sistema conocido como la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1994), se establece que todos son Entisols, que significa que son suelos recientes o muy jóvenes, por su origen lacustre.

La nomenclatura acerca de ellos, se refiere a problemas de inundación, por periodos cortos o largos que presentan, y a las características sobre los procesos de sedimentación o su profundidad, cuando son someros. Mientras que con el sistema FAO, en sus versiones 1974 y 1990, la nomenclatura sólo se refiere a la profundidad y a la sedimentación.

Cuadro 3. Nomenclatura tentativa para la Clasificación de los Suelos Superficiales o Episoles (FAO, 1994).

Nomenclatura	Significado
Kryepisoles	Congelados durante la mayor parte del año
Organepisoles	Con materiales orgánicos
Humanepisoles	Formado por actividad humana
Vadepisoles	Somero sobre roca o una capa endurecida
Truncepisoles	Con materiales del subsuelo, suelo truncado
Grumepisoles	Arcillosos con agrietamientos granulares
Estratoepisoles	Sedimentos recientes
Halepisoles	Salinos
Narimepisoles	Inundado o encharcado estacionalmente
Aquepisoles	Inundados, mostrando fuerte gleyización
Cinepisoles	Compactación superficial
Psammepisoles	Arenoso
Gypsepisoles	Yesíferos (más de 5% de yeso)
Tropepisoles	Suelos de zonas tropicales húmedas con una capa delgada de humus
Arescepisoles	Capa delgada ligeramente húmica en zonas tropicales con estaciones secas
Takyrepisoles	Arcillosos con un agrietamiento poligonal
Mazepisoles	Arcillosos, masivos o endurecidos
Chernepisoles	Con alto contenido de materia orgánica y saturación de bases, estructura migajosa
Brunepisoles	Alto contenido de materia orgánica y saturación de bases media

Comparación entre Clasificaciones

La carta edafológica del INEGI reporta dos subunidades de suelos en el área de estudio: Vertisoles pélicos e Histosoles eútricos, mientras que los suelos aquí clasificados con FAO (1974), a partir de las clases de tierras campesinas, se establecen: Fluvisoles eútricos, Fluvisoles districos y Litosoles [Leptosoles eútricos para FAO (1990)]. Según lo indicado en la metodología, a pesar de esperarse semejanzas en los dos mapas, de las dos subunidades que INEGI reporta, ninguna fue encontrada en el presente estudio. Razón por la cual se descartó el mapa de INEGI con sus subunidades propuestas y se optó por emplear como mapa base para la aplicación de las clasificaciones técnicas al mapa de clases de tierras.

Clasificación de Suelos de Acuerdo con su Capacidad-Fertilidad

En el Cuadro 5, se presentan tanto los tipos como los subgrupos y modificadores de cada clase de tierra.

El grupo "LRb" (31.6 ha) indica que la clase de tierra Tepetate superficial, tiene un suelo superficial con textura franca y está limitado con un material cementado (LR), alcalino y con presencia de CaCO₃

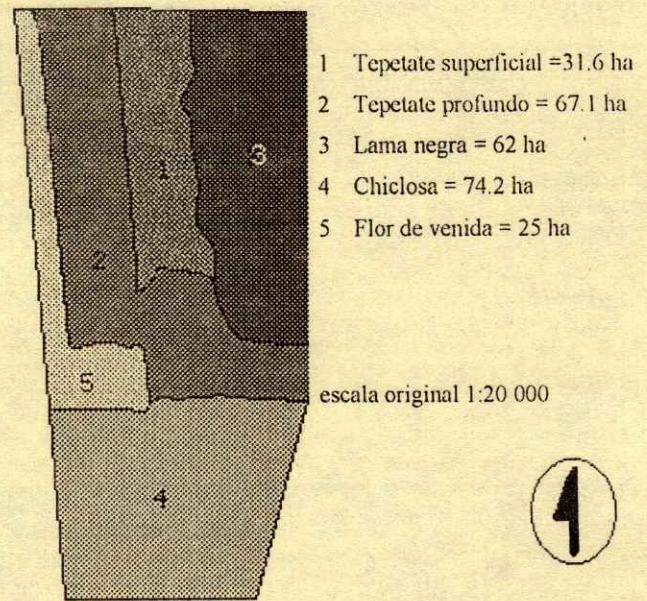


Figura 1. Mapa final de clases de tierras campesinas.

(LRb). El subgrupo "LRbk", tiene adicionalmente "k", que indica que en una parte del área (centro-sur) se presentan bajas reservas de potasio. Por lo tanto, se debe tomar en cuenta la presencia del material endurecido en la preparación del suelo, elección del cultivo y la aplicación de la fuente más adecuada de potasio en la fertilización. En la clase de tierra Tepetate profundo, el grupo principal es el Tipo "L" y el modificador "k", (Lk), suelo franco, tanto en la capa superficial como en el subsuelo con reservas bajas de potasio. Dentro de este grupo, el subgrupo con las literales "Lks" indica que en una parte del área hay presencia de sales (CE >4.5 dS m⁻¹), factor a considerar en el manejo del suelo y los cultivos. El grupo "Lk" constituye el grupo dominante en la clase de tierra Lama negra, similar al Tepetate profundo y donde además, en una parte, es necesario considerar el subsuelo, el cual puede presentar posibles pérdidas de nutrimentos debido a la presencia de una capa arenosa. El grupo principal "CL", en la tierra Chiclosa, significa que es un suelo arcilloso en el suelo superficial combinado con un subsuelo franco, presenta una parte con textura arcillosa en las dos capas y otra parte con reservas bajas de potasio. En general, para el manejo de estos suelos es necesario tomar en cuenta el suelo pesado y su dureza, tanto para las labores manuales como mecanizadas. También, debe considerarse la incorporación de potasio.

Cuadro 4. Resumen de las distintas clasificaciones de las tierras del área de estudio.

Clase de tierra	Taxonomía de suelos	FAO (1974)	FAO (1990)
Tepetate superficial	Lithic udorthents	Litosol	Leptosol eútrico
Tepetate profundo	Typic fluvaquents	Fluvisol eútrico	Fluvisol eútrico
Lama negra	Oxyaquic udifluvents	Fluvisol eútrico	Fluvisol eútrico
Chiclosa	Mollic udifluvents	Fluvisol eútrico	Fluvisol eútrico
Flor de Venida	Typic tropofluvents	Fluvisol distrito	Fluvisol distrito

principalmente, en la parte donde se reportaron bajas reservas del mismo (CLk). En la clase de tierra Flor de venida el grupo principal es el designado como "Lk", suelo franco con bajas reservas de potasio a considerar en el programa de fertilización.

Clasificación de Suelos de Acuerdo con el Suelo Superficial

Por las condiciones de clima, uso y manejo, y algunas características de los suelos del área de estudio, propiedades con la denominación Altérico, Obscúrico, Drénico y Plaggen se presentan en todos los suelos. Sin embargo, existen propiedades que son aplicables a suelos específicos, como puede observarse en el Cuadro 6. Es importante indicar que los suelos superficiales clasificados con el término Sáfico, se presentan en la mayoría de las clases de tierras del área de estudio y son importantes en la Lama negra, por ser el área con mayor contenido de sales, observados como manchones durante el tiempo de secas, que es el resultado de la mala calidad del agua de riego, esta característica es nombrada por los productores como **salitre**. La clasificación de los suelos superficiales Vérticos es aplicable a la tierra Chiclosa, ya que es un suelo muy pegajoso cuando está mojado, muy duro y

agrietado en seco y presenta dificultades para su manejo. Somérico es la clasificación del episol correspondiente a la tierra Tepetate superficial, que presenta una capa endurecida entre 20 y 24 cm de la superficie; en el perfil se observó la escasa presencia de raíces. Para la clase de tierra Flor de venida, el sistema propone el término Estratoepisol, nomenclatura que describe sus condiciones, es decir, son tierras que periódicamente reciben sedimentos aluviales.

Rendimientos en las Clases de Tierras

Las clases de tierra Flor de venida y Tepetate superficial presentaron los rendimientos más bajos, en tanto que las tierras Tepetate profundo, Lama negra y Chiclosa los más altos. Los productores hacen una diferenciación entre la clase de tierra Flor de venida y el resto, pero también detectan que en la tierra Tepetate superficial los rendimientos son limitados. Los rendimientos de cultivos como espinaca, cilantro, acelga y lechuga son mayores en la clase de tierra Lama negra que en la Chiclosa, debido a los contenidos nutrimentales, a la materia orgánica y su textura franca (hay mayor desarrollo de follaje). No obstante, cuando se trata de tubérculos (betabel) o cuando son granos (haba y maíz), los rendimientos son

Cuadro 5. Subunidad y grupo de suelo, área y porcentaje según su Capacidad-Fertilidad.

Clase de tierra	Subunidad (FAO 1974)	Grupos/clase	Grupo dominante	Area ha	%
Tepetate superficial	Litosol	LRb LRbk	LRb	31.6	12
Tepetate profundo	Fluvisol eútrico	Lk Lks	Lk	67.1	26
Lama negra	Fluvisol eútrico	Lk LSk	Lk	62	24
Chiclosa	Fluvisol eútrico	CL CLk C	CL	74.2	28
Flor de venida	Fluvisol distrito	Lk	Lk	25	10

Cuadro 6. Propiedades del Suelo Superficial, su descripción y los suelos que las presentan.

Propiedad	Descripción	Presente en suelos
Altérico	Superficie removida y mezclada con material del subsuelo como resultado del cultivo	Todos
Obscúrico	Más de 1% de materia orgánica mineralizada, colores oscuros, SB >35%	Todos
Drénico	Drenados	Todos
Bajas reservas de K	K intercambiable <0.2 meq/100 g	Lama, Tepetate profundo y Flor de venida
Plaggen	Alto contenido de fosfatos por el continuo uso de material orgánico y estiércol	Todos
Sálico	Escasamente salino, conductividad eléctrica de 4.5 dS m ⁻¹ dentro de los 15 cm de la superficie en algunos periodos del año	Parte del Tepetate profundo; Lama negra
Vértico	Más de 30% de arcilla, muy duro, con estructura granular fina a media en la superficie y con grietas cuando seco	Chiclosa
Somérico	Duro, coherente o capa endurecida dentro de los 30 cm de la superficie	Tepetate superficial
Estrato-episols	Sedimentos recientes (nomenclatura tentativa)	Flor de venida

¹ Con presencia de sales durante la estación seca y con cultivo bajo riego.

mejores en las segundas. Los cultivos de haba y maíz rinden más en las tierras Chiclosa y Tepetate profundo, aun cuando el tamaño de estos cultivos sean menores que los alcanzados en la tierra Lama negra. Se mencionó además, que los cultivos en la tierra Chiclosa soportan más las heladas que en la tierra Lama negra. En las tierras del ejido el desarrollo de los cultivos es diferente, lo que ha permitido que el productor haga una clasificación de las mismas.

Análisis Comparativo

En la Figura 2 se muestran los sistemas de clasificación (por Capacidad-Fertilidad y Suelo superficial) de las clases de tierras. Con el sistema por Capacidad-Fertilidad, las clases de tierras: Tepetate profundo, Lama negra y Flor de venida se clasificaron en el mismo grupo "Lk", que quiere decir que tienen un tipo de suelo franco, con bajas reservas de potasio

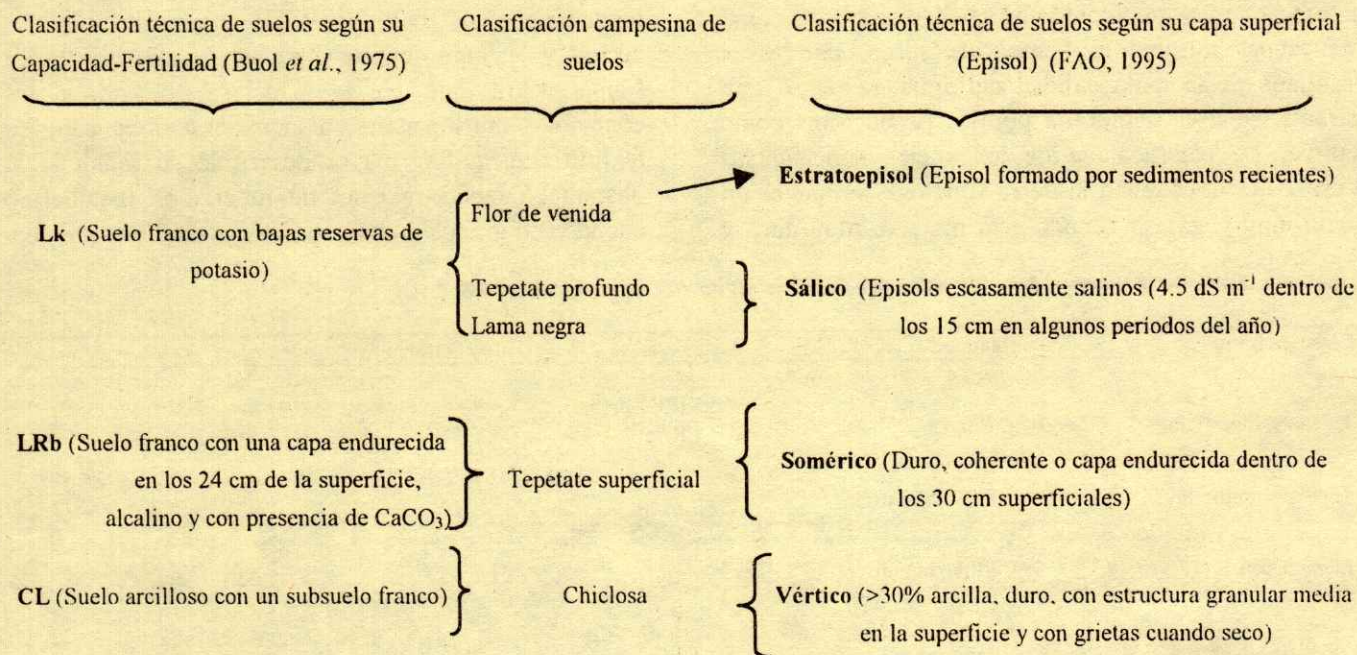


Figura 2. Esquema para el análisis comparativo de los sistemas de clasificación técnica.

(<0.2 meq/100 g). Mientras que, en la Clasificación de Suelos Superficiales, las clases de tierras Tepetate profundo y Lama negra pertenecen a un mismo grupo que es diferente al que pertenece las tierras de Flor de venida. Específicamente, clasifica a las dos primeras como Episoles sálicos (presencia de sales en algún periodo del año), y a la tierra Flor de venida como Estratoepisol (suelo formado por sedimentos recientes).

El sistema por Capacidad-Fertilidad presenta el inconveniente de agrupar a dos de las tierras más productivas del área con una menos productiva, debido a que sólo considera a las bajas reservas de potasio en su clasificación. Con dicho sistema son de esperarse limitaciones en la generalización de una recomendación de fertilizantes. En tanto que el sistema de clasificación de Suelos Superficiales, agrupó a los suelos del área con mayor detalle.

CONCLUSIONES

El conocimiento local de tierras, combinado con las clasificaciones técnicas de suelos, es una alternativa para definir el potencial agrícola de los suelos ya que ambas se complementan. La cartografía de las clases de tierras constituye un mapa base de calidad debido a que identifica y describe con precisión las distintas clases de tierras presentes en el área. Las clasificaciones técnicas, a pesar de generar resultados diferentes, permiten interpretar, cada una en su nivel, las causas que ocurren en el suelo y qué originan las diferentes clases de tierras del área.

RECOMENDACIONES

Las bajas reservas de potasio (K) en más de 50% de las tierras del área, y su no inclusión, según lo reportado por los agricultores, en los programas de fertilización indican posibles desbalances por deficiencias de dicho nutrimento. Por lo que se recomienda hacer experimentos para evaluar los contenidos de K y sus posibles efectos en la

producción de hortalizas en el área, considerando la capacidad productiva que los productores indican.

Se recomienda probar el sistema de clasificación técnico, de acuerdo con el Suelo Superficial que propone la FAO (Topsoil) en otras áreas, pues en el presente estudio fue el sistema que clasificó con más eficiencia a los suelos de las tierras del área.

LITERATURA CITADA

- Buol, S.W., P.A. Sánchez y R.B. Cate. 1975. Clasificación de suelos en base a su fertilidad. pp. 129-143. *In: Manejo de suelos en la América Tropical*. North Carolina State University, Raleigh.
- Cuanalo de la C., H.E. 1990. Manual para descripción de perfiles de suelo en el campo. Tercera edición. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- FAO. 1994. Practical topsoil classification (proposal). M.F. Purnell. Draft. FAO, Rome.
- FAO. 1995. Topsoil characterization for sustainable land management (revised draft). Land and Water Development Division Soil Resources, Management and Conservation Service. Rome.
- FAO/UNESCO. 1974. Definiciones de las unidades de suelos para el mapa de suelos del mundo. Dirección General de Estudios, Dirección de Agrología, México.
- FAO/UNESCO/ISRIC. 1990. Mapa mundial de suelos, leyenda revisada. Traducido por T. Carballas, F. Macías, F. Díaz F., M. Carballas y J.A. Fernández U. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Santiago de Compostela, España.
- Fitts, J.W. y D.L. Waugh. 1966. Estudio de la interpretación de suelos. Laboratorio e invernadero. Universidad Estatal de Carolina del Norte. Boletín Técnico No. 3.
- INEGI (CETENAL). 1970. Carta edafológica, hoja Tenango E-14-A-4B. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. INEGI, México.
- INEGI. 1988. Atlas nacional del medio físico de México. Primera reimpresión. INEGI, México.
- Ortiz S., C.A. 1991. Clasificaciones ca: apesinas de tierras. pp. 22-26. *In: Primer Seminario sobre Manejo de Suelos Tropicales en Chiapas*. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.
- Soil Survey Staff. 1994. Claves para la Taxonomía de Suelos. Trad. C.A. Ortiz S. y Ma. del C. Gutiérrez C. Publicación especial No. 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.

CALIDAD DE LOS MAPAS DE SUELOS EN EL EJIDO DE ATENCO, ESTADO DE MEXICO

Quality of Soil Maps of the 'Ejido' Atenco in the State of Mexico

Eduardo Lleverino González¹, C. A. Ortiz Solorio² y Ma. del C. Gutiérrez Castorena²

RESUMEN

La calidad de un mapa de suelos se evalúa en función de su precisión y exactitud. La precisión se refiere a la capacidad de predecir los suelos que se presentan dentro de una unidad cartográfica y la exactitud a la posición correcta de los linderos. En México, existen pocos trabajos sobre la evaluación de la calidad de mapas de suelos, lo cual motiva la realización del presente estudio que tiene como objetivo establecer cuantitativamente la calidad de tres diferentes mapas de suelos realizados en el ejido de San Salvador Atenco, estado de México; uno, proviene del Levantamiento de Suelos desarrollado por el Colegio de Postgraduados (CP), otro, de las Cartas Edafológicas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y el tercero, denominado como Clases de Tierras, del conocimiento de los agricultores. La calidad se evaluó a través de la selección, muestreo y análisis de 79 sitios, resultando que el mejor mapa es el de Clases de Tierras, al contar con una precisión de 76% y una exactitud de 94%, mientras que los mapas elaborados por el CP e INEGI tienen poca precisión, de 4 y 8%, y poca exactitud, 14 y 0%, respectivamente, y se clasifican como mapas de baja calidad.

Palabras clave: Levantamiento de suelos, precisión, exactitud.

SUMMARY

The quality of a soil map is evaluated in terms of its precision and accuracy. The precision is related to the capacity to predict a soil class within a map

¹ Instituto Tecnológico Agropecuario No. 28, 86250 Ocuilzapatlán, Tabasco, México.

² Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México.

Recibido: Noviembre de 1999.

Aceptado: Septiembre de 2000.

unit and the accuracy to the correct location of soil boundaries. In Mexico there are a few works on quality of soil map evaluations, and this study is related to the quality measure of three kinds of soil maps of the 'ejido' of Atenco in Mexico State. One was made by the 'Colegio de Postgraduados' (CP), an other by the 'Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática' (INEGI) and the third, named Land Classification Map, taking into account the knowledge of the farmers. Quality was evaluated through selection, sampling and analysis of 79 sites. The results show that the best soil map corresponds to land classes which has 76% precision and 94% accuracy, while the soil maps made by CP and INEGI show lower quality.

Index words: Soil survey, precision, accuracy.

INTRODUCCION

Un producto resultante de las metodologías denominadas levantamientos de suelos son los mapas, los cuales constituyen una fuente de información sobre la denominación y ubicación geográfica de cada clase de suelos en una área. En México, la publicación de mapas no cuenta con normas que regulen su escala, propósito y metodología; tampoco se conoce su calidad, aun cuando diferentes autores intuyen que es baja (Ortiz, 1999).

Eswaran *et al.* (1981), Brown (1988) y Arnold (1996) mencionan que la calidad de los mapas de suelos debe evaluarse a través de dos criterios fundamentales: precisión y exactitud. El concepto de precisión se define como el grado de dispersión que presentan las propiedades o denominaciones del suelo, alrededor de un concepto central o perfil típico para una unidad cartográfica (Brown, 1988) y está relacionado con las denominaciones de las unidades de suelos que aparecen en la leyenda y, más particularmente, se refiere a datos, resultado de análisis físicos, químicos y micromorfológicos de muestras de suelos. La precisión de un mapa se evalúa

a través de la pureza (Nordt *et al.*, 1991), que indica el grado con el cual las clases de suelo, como están indicadas en la leyenda del mapa, corresponden a información obtenida directamente en el terreno (Bregt *et al.*, 1992); y la forma más simple de evaluarla es calculando el porcentaje de sitios, escogidos al azar dentro de una unidad de mapeo, que corresponde a la clase de perfil indicada por la leyenda del mapa (Beckett y Burrough, 1971; Bie y Beckett, 1973).

Por otra parte, la exactitud de un mapa depende de la correcta ubicación de sus linderos, lo que implica evaluar su posición conjuntamente con el ancho de la línea con la cual se trazan en el mapa y que está directamente relacionada con la escala (Eswaran *et al.*, 1981; Arnold, 1996). Young y Stoekeler (1956) proponen que una manera sencilla de comprobar la exactitud de un lindero trazado en un mapa de suelos, consiste en regresar al terreno y comparar si en realidad existe o no el lindero. Se considera que un lindero es correcto cuando a ambos lados de él existen clases de suelos diferentes; para su análisis, proponen calcular el porcentaje respectivo de encontrar el lindero (exacto) o no encontrarlo (inexacto).

De lo anterior, se desprende que mapas con valores bajos de precisión y exactitud son mapas de calidad insuficiente y, por lo tanto, de poca utilidad para el usuario. Por el contrario, mapas con valores altos de precisión y exactitud son mapas de calidad excelente y, por lo tanto, útiles.

Los procedimientos cartográficos más ampliamente utilizados en México son los levantamientos de suelos realizados por la Dirección de Agrología e instituciones de enseñanza e investigación como el Colegio de Postgraduados, y las Cartas Edafológicas de INEGI. Ambos levantamientos de suelos han sido cuestionados debido a que los suelos encontrados en campo generalmente no corresponden a lo indicado en su leyenda o en su memoria (Gutiérrez, 1997; Ortiz, 1999); sin embargo, a pesar de la crítica, su calidad no se ha evaluado, por lo que se desconoce en qué porcentaje son mapas de deficiente calidad.

Ortiz *et al.* (1990) y Ortiz (1999) han mostrado que los estudios etnoedafológicos son una metodología alternativa a los levantamientos de suelos, son mapas elaborados a partir de información proporcionada por los productores y de bajo costo y rapidez, no obstante, es necesario comparar dicha metodología con los levantamientos de suelos y las cartas realizadas por

INEGI para cuantificar que tan "bueno" o "malo" es este mapa con respecto a otros levantamientos.

El objetivo de este estudio fue conocer la precisión y exactitud de tres mapas de suelos: Fases de Serie del CP, Carta Edafológica de INEGI y Clases de Tierras Campesinas.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del Area de Estudio

La presente investigación se realizó en el ejido de Atenco, estado de México, en una superficie de 685.5 ha y ubicado entre los meridianos 98°53'42" y 98°57'50" oeste y entre los paralelos 19°31'20" y 19°33'19" norte. El área tiene un clima del tipo BS Kw (W) (i) semiseco, de acuerdo con García (1968); la vegetación nativa es principalmente halófito y el uso del suelo es agrícola. Los suelos presentan un régimen de temperatura isotérmico y un régimen de humedad ústico (Van Wambeke, 1987). La geología corresponde al Cuaternario (Mooser, 1961), geomorfológicamente es una zona plana y los suelos se formaron a partir de sedimentos aluviales y lacustres. El ejido de Atenco se seleccionó porque en su área de influencia se han realizado diferentes tipos de mapas de suelos, entre los que se encuentran: a) Fases de Serie realizado por Cachón *et al.* (1974), b) la Carta Edafológica de INEGI (1982) con el sistema FAO/UNESCO (1970), y c) el de Clases de Tierra por Pájaro y Ortiz (1987) (Figura 1).

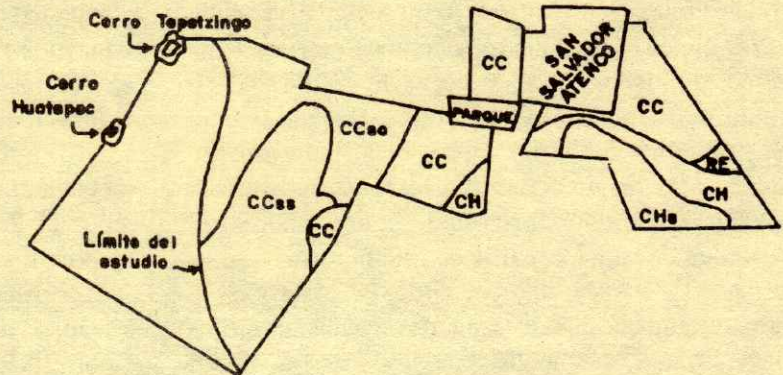
Metodología

La metodología empleada para la realización del presente estudio consta de los siguientes pasos: 1) definición de la estrategia de muestreo; 2) elaboración de guías para la identificación de suelos; 3) trabajo de campo y de laboratorio; y 4) análisis de resultados.

La **estrategia de muestreo** se basó en el trabajo de Burgess y Webster (1984a), donde se establece cómo definir el espaciamiento óptimo para detectar la mayoría de los linderos de una área, es decir, a través del producto entre el espaciamiento promedio entre linderos sucesivos en metros y el factor 0.52. Para el cálculo del valor promedio entre linderos se trazó una cuadrícula de un centímetro por lado,

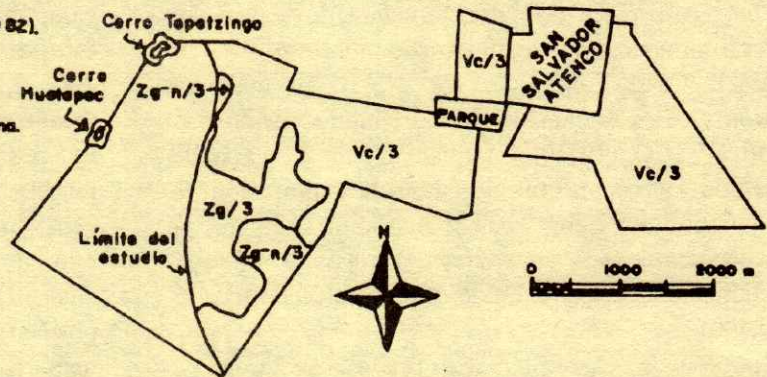
FASE DE SERIE (Cochón et al., 1974).

- CC** Chiconcuac, arcilla, típica.
- CCso** Chiconcuac, arcillosa, sódica.
- CCse** Chiconcuac, arcilla arenosa, salino sódica.
- CH** Chapingo, migajón limoso, típico.
- CHs** Chapingo, migajón limoso, somero.
- RE** Resurrección, migajón arcilloso, típico.



UNIDAD DE SUELO FAO/ Unesco, 1970 (INEGI, 1982).

- Vc/3** Vertisol Crómico/ Textura fina.
- Zgⁿ/3** Solonchak Oléyico- Fase Sódica/ Textura fina.
- Zg/3** Solonchak Oléyico/ Textura fina.



CLASE DE TIERRA (Pájaro y Ortiz, 1987).

- Ar** Arena.
- Bc** Blanco.
- Br** Barro.
- Ca** Coahuatlúe.
- La** Lama.
- So** Salina.

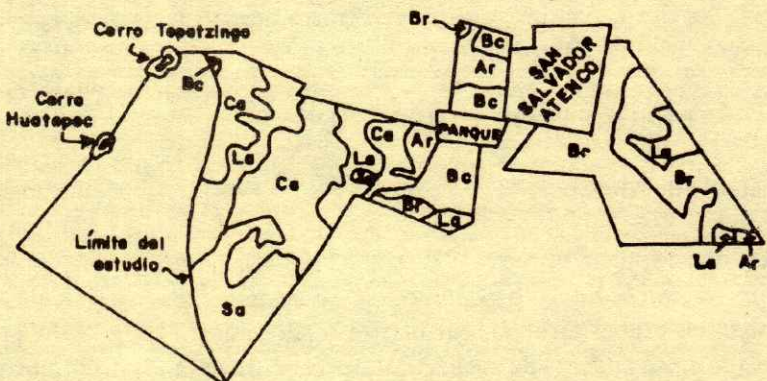


Figura 1. Tipos de mapas de suelos en el ejido Atenco, estado de México, según tres procedimientos.

independientemente de la escala (Ortiz, 1999) y sobre las líneas se estableció el espaciamento en m de cada dos linderos consecutivos. La cuadrícula tiene dos

direcciones: una norte-sur y otra, este-oeste y, por lo tanto, dos espaciamentos óptimos. Para evaluar la precisión se multiplicaron los espaciamentos óptimos

con el fin de conocer el área que representa cada sitio. Al dividir el área total entre la representativa de cada sitio se obtiene el número máximo de sitios de muestreo, de los cuales se seleccionan sólo 15%. La exactitud se calculó a través del espaciamiento óptimo promedio (de las dos direcciones). El método consiste en dividir a la longitud total de los linderos entre el espaciamiento óptimo promedio para conocer el número total de sitios; a partir de este número, sólo se selecciona 15% y, a diferencia de la precisión, el número se duplica, debido a que la evaluación de los linderos requiere del análisis de los sitios a ambos lados del lindero.

La elaboración de guías para la identificación de suelos para el mapa de Fases de Series se realizó con base en la memoria del Levantamiento de Suelos del Área de Influencia de Chapingo (Cachón *et al.*, 1974) y para la Carta Edafológica de INEGI, las guías se basaron en la Leyenda del Mapa Mundial de Suelos FAO/UNESCO (1970). En relación con el mapa de Clases de Tierras, no fue necesaria la elaboración de una guía porque se contó con el auxilio de una persona que conocía todas las tierras y las identificaría directamente en el campo, como lo establecen Ortiz *et al.* (1990).

En todos los casos se realizó **trabajo de campo** y, cuando se requirió, se obtuvieron muestras de suelos para su **análisis en laboratorio**.

El **análisis de los resultados** se realizó en forma discreta, es decir, con un sí o un no, error o acierto y calculando el porcentaje de aciertos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Estrategia de Muestreo

De acuerdo con Burgess y Webster (1984a), para definir el procedimiento óptimo de muestreo se requiere, en primer término, calcular el espaciamiento promedio entre linderos de suelos. Para ello, se trazó, a escala 1:50 000, una cuadrícula de un cm por lado, se dibujaron 15 líneas, con orientación norte-sur y ocho líneas, con orientación este-oeste y sobre cada línea se midió la distancia entre linderos consecutivos de suelos, expresando los resultados en metros. En el Cuadro 1 se reportan los distanciamientos entre linderos ordenados de menor a mayor. La característica más evidente en el Cuadro 1 es que el procedimiento que cuenta con el mayor número de

linderos, es el de Clases de Tierras y el de menor número, la Carta Edafológica, la cual cuenta con los mayores espaciamientos promedio en ambas direcciones, es decir, de alrededor de 700 m en la dirección este-oeste y 800 m en la dirección norte-sur.

Burgess y Webster (1984a) indican que una vez obtenido el espaciamiento promedio, éste se multiplica por el factor de 0.52 para generar el espaciamiento óptimo, y el más corto es el que tiene mayor capacidad para detectar linderos en el campo. En el caso de los mapas estudiados, los espaciamientos más cortos corresponden a los de las clases de tierras, con valores de 215.31 m en la dirección este-oeste y 216.75 m en la dirección norte-sur.

Con el fin de facilitar el trabajo de gabinete y el de campo, se adoptó para todos los casos una sola estrategia de muestreo para la precisión (200 m x 200 m), que corresponde a un sitio por cada 4 ha. Con lo anterior, la superficie total de estudio, que fue de 685.5 ha, al considerar únicamente 15% para su muestreo, se reduce a 103 ha ($685.5 \times 0.15 = 103$) y se genera un número de 25 sitios de muestreo (esto es, $103 / 4 = 25$), para los tres mapas a evaluar. Lo anterior coincide con lo propuesto en forma práctica por Burgess y Webster (1984b), quienes indican que el número de sitios de muestreo para establecer la precisión de un mapa debe ser mayor que 20.

En relación con la exactitud, el cálculo de sitios de muestreo se basó en el valor promedio de los espaciamientos óptimos en las dos direcciones, esto es 200 m; este valor divide a la longitud total de los linderos de cada mapa, para establecer el número máximo de sitios de observación sobre linderos y, a su vez, puede ser reducido a una muestra al considerar únicamente 15%, además como se requiere información a ambos lados del lindero, dicho número se duplica. Por ejemplo, en la Carta Edafológica se calculó una longitud total de linderos de 7010 m, que al dividirse entre 200 m, dio como resultado 35 sitios de muestreo potenciales. Estos 35 sitios se reducen a cuatro ($35 \times 0.15 = 4$) y al duplicarse, se convierten en ocho, que son los sitios con los cuales se evaluaron los linderos de ese mapa.

Es conveniente mencionar que los sitios para evaluar la exactitud se encuentran 50 m a cada lado del centro del lindero. En el Cuadro 2 se reportan el tamaño de muestra y el número de sitios de muestreo para los mapas de suelos bajo estudio. Los sitios de muestreo para evaluar la precisión fueron comunes

Cuadro 1. Distancias entre linderos de suelos consecutivos, en m, ordenados de menor a mayor y por tipo de mapa.

No.	Mapa de Fases de Serie		Mapa de INEGI		Mapa de Clases de Tierras	
	este-oeste	norte-sur	este-oeste	norte-sur	este-oeste	norte-sur
1	100	75	100	100	50	25
2	125	125	200	250	75	50
3	125	150	300	275	75	50
4	200	175	400	400	100	75
5	200	175	500	400	100	75
6	250	200	600	400	125	75
7	275	200	700	400	150	100
8	300	225	800	450	150	100
9	350	225	900	450	150	100
10	350	250	1000	650	150	100
11	375	325	1100	650	175	125
12	400	450	1200	675	200	150
13	425	475	1300	750	200	175
14	475	500	1400	775	200	175
15	500	500	1500	800	200	225
16	500	625	1600	875	200	225
17	550	675	1700	900	200	250
18	600	700	1800	900	250	250
19	650	775	1900	950	250	250
20	700	975	2000	975	275	275
21	725	1200	2100	1200	300	325
22	750	1525		1200	300	350
23	800	1625		1350	300	350
24	850	1825		1400	350	375
25	925			1550	350	375
26	950			1700	350	400
27	1025				400	400
28					400	400
29					400	425
30					475	425
31					475	425
32					500	450
33					550	450
34					550	500
35					550	500
36					550	500
37					575	525
38					575	575
39					600	600
40					600	600
41					625	600
42					650	700
43					800	700
44					850	725
45					925	900
46					1125	925
47					1225	1175
48					1250	1350
49						1550
Suma	13975	14025	20150	20425	19875	20425
Media	499.11	584.38	694.82	785.58	416.06	416.84

para todos los mapas; mientras que para la exactitud fueron específicos para cada tipo. El mapa que requiere el menor número de sitios para su evaluación

es la Carta Edafológica con 33, le sigue el mapa de Fases de Series con 39 y el que considera el mayor número es el mapa de Clases de Tierras con 57.

Cuadro 2. Tamaño de muestra y sitios de muestreo para la evaluación de la exactitud de tres tipos de mapas de suelos.

Tipo de mapa	No. de linderos	Longitud total m	No. total de sitios	Tamaño de muestra 15%	Sitios de muestreo
Fases de Serie	9	9880	49	7	14
Carta Edafológica	4	7010	35	4	8
Clases de Tierras	25	22180	110	16	32

La ubicación de todos los sitios fue al azar, la cual se muestra en la Figura 2.

Elaboración de Guías

La selección de las características para diferenciar a los suelos pertenecientes a una Fase de Serie, tuvo como requisito fundamental que fueran fáciles de identificar en el campo; particularmente, se consideraron el color, la textura, la estructura y la presencia o ausencia de una capa de color verde olivo, localmente denominada como jaboncillo. La guía simplificada se presenta en el Cuadro 3.

Para las subunidades de suelos y las características reportadas en el mapa del INEGI se seleccionaron nuevamente a la textura y el color y, además, a la vegetación, al relieve gilgai y a las caras de fricción.

En el Cuadro 4 se indican cómo se utilizaron en el campo los datos específicos de esta guía.

Precisión de las Unidades Cartográficas

La leyenda o la simbología de las unidades cartográficas indica la clase de suelo que debe estar presente dentro de una unidad. La cantidad de aciertos y errores correspondientes a 25 sitios analizados en el ejido de Atenco, estado de México, para evaluar la precisión de tres mapas de suelos se presentan en el Cuadro 5.

En el mapa de Fases de Serie, realizado por Cachón *et al.* (1974), se encontró un total de 24 errores; 21 de los cuales se originan porque en el campo no se presenta la capa de "jaboncillo" a las profundidades reportadas en la memoria del estudio:

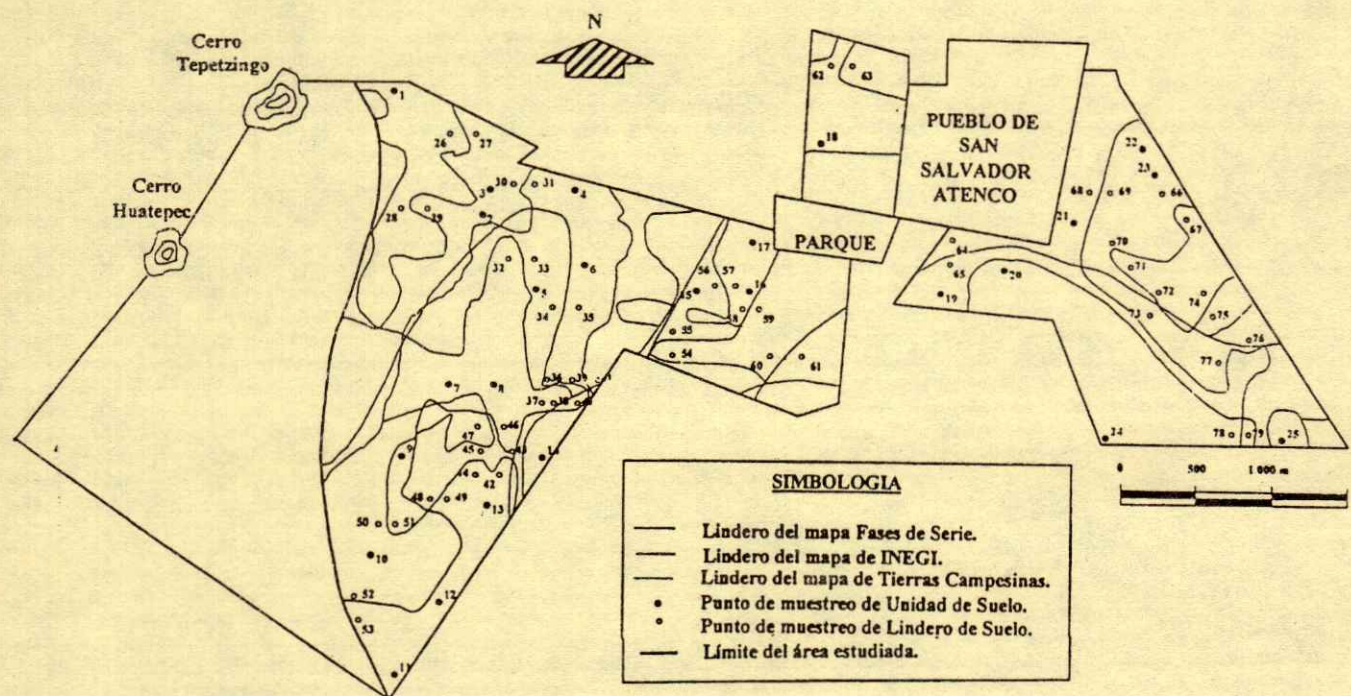


Figura 2. Localización de puntos de muestreo para la evaluación de mapas de suelos en el ejido de Atenco, estado de México.

Cuadro 3. Guía simplificada para identificar a suelos pertenecientes a diferentes Fases de Series en el ejido de Atenco, estado de México, a partir de la información reportada por Cachón *et al.* (1974).

Suelos que:	
1. En los primeros 30 cm presentan un color pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo y una textura migajón limosa, y:	
a) Están limitados por un estrato cementado a 30 cm de color pardo pálido (10YR 7/4) en húmedo	Chapingo, migajón limoso, somera (CHsa)
b) En los siguientes 30 cm se presenta un estrato de color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo y textura arcillosa, debajo del cual subyace un estrato de color pardo muy oscuro (10YR 3/3) en húmedo y textura migajón limoso	Chapingo, migajón limoso, típico (CH)
2. Tienen un estrato superficial de color pardo rojizo oscuro (5YR 2/2) o gris oscuro (5YR 3/1) en húmedo y textura arcillosa o arcillo arenosa, con jaboncillo después de los:	
a) 15 cm de profundidad	Chiconcuac, arcillo arenoso, salina-sódica (CCss)
b) 40 cm de profundidad	Chiconcuac, arcilloso, sódica (CCso)
c) 60 cm de profundidad	Chiconcuac, arcilla, típico (CC)
3. Tienen un estrato superficial de color pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo y textura migajón arcilloso; seguido de un estrato de color pardo rojizo oscuro (5YR 3/3) en húmedo, que cambia a pardo rojizo (5YR 2/2) en húmedo con la profundidad, ambos con textura arcillosa	Resurrección, migajón arcilloso, típico (RE)

los otros tres errores están relacionados con la falta de coincidencia en las características de textura y color del suelo. Los resultados indican que este mapa tiene 4% de precisión, menor que el valor de 7.61%, reportado por Mullan (1973) en una área mayor para este levantamiento, lo cual significa que este mapa presenta una precisión baja.

En la Carta Edafológica del INEGI (1982) se determinaron 23 errores; 10 de ellos se deben a una mala clasificación ya que resultan ser Fluvisoles y no los Vertisoles y Solonchacs reportados en el mapa; en los otros 13 casos, los errores están relacionados con la textura, la cual resultó media en lugar de fina como fue reportada. Ocho por ciento de precisión de esta Carta la clasifica como de una calidad baja.

Por otra parte, el mapa de Clases de Tierras presentó seis errores, tres se deben a la confusión de tierras cacahuatudas, que en el campo resultaron blancas, en dos casos se reportó como tierra cacahuatuda a una lama y a una salina, y en el sexto error se reportó como salina a una tierra cacahuatuda; con estos resultados este mapa obtuvo 76% de precisión, lo cual significa que es un mapa de excelente calidad.

En Estados Unidos y Holanda, el valor de precisión promedio en sus Levantamientos de Suelos está cerca de 50% (Beckett y Webster, 1971; Bie y Beckett, 1973; Nordt *et al.*, 1991); aun cuando en cada uno de estos países se establece que deben alcanzar un valor de pureza de 85% y 70%, respectivamente (Beckett y Webster, 1971). Lo anterior indica que esta evaluación es muy rigurosa, por lo que es necesario tomar en cuenta la variabilidad de las propiedades de los suelos en el área de interés y los objetivos perseguidos. de esta manera, los beneficios de la evaluación resultarán mayores (Beckett y Webster, 1971).

En México no existe un parámetro que indique el nivel de calidad que deba cumplir un mapa de suelos debido a la falta de trabajos en esta área del conocimiento (Mullan, 1973; SEMARNAP, 1999); sin embargo, la diferencia encontrada en el presente estudio puede servir de base para trabajos posteriores y definir el nivel de precisión o pureza que puede alcanzarse en Levantamientos de Suelos realizados dentro del país. El porcentaje de 76, obtenido por el mapa de Clases de Tierras, supera el porcentaje de 70 especificado en Holanda, aunque no así el porcentaje

Cuadro 4. Guía simplificada para identificar a Subunidades de suelos, Fases y Texturas superficiales de acuerdo con la Leyenda del Mapa Mundial de Suelos FAO/Unesco (1970) en el ejido de Atenco, estado de México.

A. Para Subunidades:

Suelos que:

1. Tienen 30% o más de arcilla cuando menos hasta 50 cm de profundidad, que se identifica por su dureza en seco, porque rebota el pico y deja caras de deslizamiento, con grietas y relieve gilgai y en húmedo es un material pegajoso y además presentan un color:

a) Pardo oscuro en la superficie (chroma en húmedo menor que 1.5)

Vertisol pélico (Vp)

b) Rojo en la superficie (chroma en húmedo mayor que 1.5)

Vertisol crómico (Vc)

2. Tienen un color claro en la superficie con cambios texturales contrastantes en la profundidad

Fluvisol eútrico (Je)

3. Presentan vegetación resistente a la salinidad, como el pasto salado (*Distichlis spicata*), zacahuistle (*Eragrostis obtusiflora*) y romerito (*Suaeda torreyana*) y:

a) Presencia de agua entre 50 y 100 cm

Solonchak gléyico (Zg)

b) Sin presencia de agua hasta 100 cm

Solonchak órtico (Zo)

B. Para Fases

Suelos que dentro de 125 cm de su superficie presentan una estructura columnar y una sensación jabonosa al tacto cuando húmeda

Fase sódica (n)

C. Para Texturas

Suelos que al tacto:

1. Son duros cuando secos y pegajosos cuando húmedos

Textura fina (3)

2. Muestran características intermedias a las texturas finas y las texturas gruesas

Textura media (2)

3. Son sueltos en seco y no pegajosos en húmedo

Textura gruesa (1)

de 85 para Estados Unidos. Es importante mencionar que los valores bajos obtenidos en los mapas de INEGI y de Fases de Serie indican que en México es necesario evaluar primero los diferentes levantamientos existentes antes de proceder a hacer una correlación de suelos entre levantamientos de una misma área geográfica, ya que si los trabajos son de mala calidad, tal correlación no existe.

Exactitud de Linderos

En el Cuadro 6 se muestran los resultados de la evaluación de la exactitud para los tres mapas de suelos estudiados. Al verificar los linderos de suelos del mapa de Fases de Serie en campo (siete sitios), se determinó que en seis de ellos no existían linderos, al presentar al mismo suelo a ambos lados del supuesto

límite, y sólo uno fue real. Esto significa que los linderos de este mapa tienen 14% de exactitud.

Con la información proporcionada en el mapa del INEGI no se encontró ningún lindero en los cuatro sitios seleccionados (0% de exactitud) y en el caso del mapa de Clases de Tierras, en 14 sitios existen límites reales y dos fueron falsos, es decir, presenta 88% de exactitud. Con estos resultados se puede establecer, de acuerdo con los linderos de las unidades de suelos, que la calidad es insuficiente para los mapas Fases de Serie e INEGI, y es excelente para el mapa de Clases de Tierras.

Ortiz (1999) menciona que el procedimiento utilizado para delimitar linderos en los tres mapas fue diferente: en la Carta de INEGI se ubicaron por medio de fotointerpretación sin verificarlos en campo; en el mapa de Fases de Serie se realizaron perfiles de suelo

Cuadro 5. Evaluación de la precisión de las unidades cartográficas de tres mapas de suelos.

Punto de muestreo	Unidad reportada en el mapa			Acierto (A) o error (E)		
	Fases de Serie	INEGI	Tierras Campesinas	Fases de Serie	INEGI	Tierras Campesinas
1	CCso	Vc/3	Cacahuatuda	E	E	A
2	CCso	Vc/3	Lama	E	E	A
3	CCso	Vc/3	Lama	E	E	A
4	CCso	Vc/3	Cacahuatuda	E	E	A
5	CCss	Vc/3	Cacahuatuda	E	E	A
6	CCso	Vc/3	Cacahuatuda	E	E	A
7	CCss	Zg/3	Cacahuatuda	E	E	E
8	CCss	Zg/3	Cacahuatuda	E	E	E
9	CCss	Zg/3	Cacahuatuda	E	E	A
10	CCss	Zg/3	Salina	E	E	E
11	CCss	Zg-n/3	Salina	E	E	A
12	CCss	Zg-n/3	Salina	E	E	A
13	CCss	Zg-n/3	Salina	E	E	A
14	CC	Vc/3	Cacahuatuda	E	E	A
15	CC	Vc/3	Cacahuatuda	E	E	A
16	CC	Vc/3	Arena	E	E	E
17	CC	Vc/3	Arena	E	E	E
18	CC	Vc/3	Arena	E	E	E
19	CH	Vc/3	Blanca	A	E	A
20	CHs	Vc/3	Blanca	E	E	A
21	CC	Vc/3	Blanca	E	E	A
22	CC	Vc/3	Barro	E	A	A
23	CC	Vc/3	Barro	E	A	A
24	CHs	Vc/3	Blanca	E	E	A
25	CH	Vc/3	Lama	E	E	A
Total de aciertos				1	2	19
Total de errores				24	23	6

CC = Chiconcuac, arcilla, típica. CH - Chapingo, migajón limoso, típico. so = sódica. ss = salino sódica. s = somera. Vc/3 = Vertisol crómico, textura fina. Zg/3 = Solonchak gléyico, textura fina. Zg-n/3 = Solonchak gléyico-fase sódica, textura fina.

y barrenaciones en campo pero tampoco se verificaron, mientras que en el mapa de Tierras Campesinas la actividad metodológica inicial comienza con el trazo de los linderos.

A partir de los resultados del presente estudio, el procedimiento cartográfico de Clases de Tierras se convierte en una opción para generar mapas de suelos de calidad. Además, Ortiz (1999) señala que este procedimiento es barato, rápido y el conocimiento de las clases de tierras lo proporciona directamente el productor.

Finalmente, es conveniente indicar que los datos anteriores resultan críticos para el país, debido a que mapas técnicos como el de Cachón *et al.* (1974) y los elaborados por la Dirección de Agrología se utilizan con fines de planeación, para la distribución de

cultivos, la fertilización, la conservación de suelos o el manejo del suelo (Macías, 1970; Ortiz y Ortiz, 1990) y, de igual forma, las cartas del INEGI, a escala 1:50 000, 1:250 000 y 1:1 000 000, se consideran como información básica para muchos trabajos de investigación y para la aplicación de nuevas tecnologías como los sistemas de información geográfica, sin conocer la calidad que poseen.

CONCLUSIONES

El mapa de Clases de Tierras del ejido de Atenco, estado de México, es preciso y exacto y, por lo tanto, de mayor calidad que los mapas Fases de Serie y la Carta Edafológica de INEGI. El alto porcentaje de precisión y de exactitud obtenido con el mapa de

Cuadro 6. Evaluación de la exactitud de los linderos de tres mapas de suelos.

Sitio No.	Fases de Serie		INEGI		Clases de Tierras	
	Puntos de muestreo	Acierto (A) o error (E)	Puntos de muestreo	Acierto (A) o error (E)	Puntos de muestreo	Acierto (A) o error (E)
1	34 y 35	E	32 y 33	E	26 y 27	A
2	38 y 39	E	36 y 37	E	28 y 29	A
3	40 y 41	E	42 y 43	E	30 y 31	A
4	60 y 61	E	52 y 53	E	44 y 45	A
5	64 y 65	E			46 y 47	A
6	72 y 73	E			48 y 49	A
7	76 y 77	A			50 y 51	A
8					54 y 55	A
9					56 y 57	A
10					58 y 59	A
11					62 y 63	E
12					66 y 67	A
13					68 y 69	A
14					70 y 71	A
15					74 y 75	E
16					78 y 79	A
Total de aciertos		1		0		14
Total de errores		6		4		2

Clases de Tierras permite recomendar a este procedimiento cartográfico como una alternativa para generar mapas de suelos de calidad en México.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al M.C. David Pájaro Huertas y al Dr. Alberto Castillo Morales del Colegio de Postgraduados, sus correcciones y sugerencias.

LITERATURA CITADA

- Arnold, R.W. 1996. Soil survey reliability: minimizing the consumer's risk. pp. 13-20. *In*: W.D. Nettleton, A.G. Hornsby, R.B. Brown y T.L. Coleman (eds.). Data reliability and risk assessment in soil interpretations. Proceedings of Symposium at the Soil Science Society of America Annual Meeting. Cincinnati, Ohio.
- Beckett, P.H.T. y P.A. Burrough. 1971. Comparison of the utilities of soil maps produced by different survey procedures, and to different scales (IV). *In* the relation between cost and utility in soil survey. *Soil Sci.* 22: 466-480.
- Beckett, P.H.T. y R. Webster. 1971. Soil variability: A review. *Soils Fert.* 34: 1-15.
- Bie, S.W. y P.H.T. Beckett. 1973. Comparison of four independent soil surveys by airphoto interpretation. Paphos area (Cyprus). *Photogrametria* 29: 189-202.
- Bregt, A.K., J.J. Stoorvogel, J. Bouma y A. Stein. 1992. Mapping ordinal data in soil survey: a Costa Rican example. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 525-531.
- Brown, R.B. 1988. Concerning the quality of soil survey. *Soil Water Conserv.* 43: 452-455.
- Burgess, T.M. y R. Webster. 1984a. Optimal sampling strategies for mapping soil types. I. Distribution of boundary spacings. *Soil Sci.* 35: 641-654.
- Burgess, T.M. y R. Webster. 1984b. Optimal sampling strategies for mapping soil types. II. Risk functions and sampling intervals. *Soil Sci.* 35: 655-665.
- Cachón A., L.E., H. Nery G. y H.E. Cuanalo de la C. 1974. Los suelos del área de influencia de Chapingo. Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Eswaran, H., T.R. Forbes y M.C. Laker. 1981. Soil map parameters and classification. pp. 37-57. *In*: Soil Resource Inventories and Development Planning. Proceeding of Workshops at Cornell University 1977-1978. Technical Monograph No. 1. Soil Management Support Services. Soil Conservation Service, US Department of Agriculture, Washington, DC.
- FAO/UNESCO. 1970. Clave de unidades de suelos para el mapa de suelos del mundo. Traducción de E. Garcia A. 1974. Dirección de Agrología, Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D.F.
- García, E. 1968. Los climas del Valle de México según el Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Modificada por la Autora. (Serie de sobretiros 6). Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Gutiérrez C., Ma. del C. 1997. Los suelos de la ribera oriental del Ex Lago de Texcoco (Macro y micromorfología). Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- INEGI. 1982. Carta Edafológica de Texcoco, Estado de México. Texcoco E14B21. Escala 1: 50 000. Dirección General de

- Geografía. Secretaria de Programación y Presupuesto. México, DF.
- Macias V., M. 1970. Estudio de Suelos de la República Mexicana. Departamento de Agrología. Secretaria de Recursos Hidráulicos. México, DF.
- Mooser, F. 1961. Informe sobre la geología de la Cuenca del Valle de México. DF. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México.
- Mullan, E. 1973. La evaluación cuantitativa de un levantamiento de suelos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Nordt, L.C., J.S. Jacob y L.P. Wilding. 1991. Quantifying map unit composition for quality control in soil survey. pp. 183-197. *In*: M.J. Mausbach y L.P. Wilding (eds.). Spatial variabilities of soils and landforms. Soil Science Society of America. Special Publication 28. Madison, Wi.
- Ortiz S., C.A. 1999. Los levantamientos etnoedafológicos. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Ortiz S., C.A., D. Pájaro H. y V.M Ordaz Ch. 1990. Manual para la Cartografía de Clases de Tierras Campesinas. Cuaderno de Edafología 15. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Ortiz V., B. y C.A. Ortiz S. 1990. Edafología. 7a edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Pájaro H., D. y C.A. Ortiz S. 1987. El levantamiento de suelos y su relación con la clasificación y cartografía de las clases de tierras campesinas. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Mimeo).
- Rivera D., J.M., A. Aguilar S., F. Orozco Ch. y A. Torres E. 1991. Las investigaciones pedológicas en México. p. 1. *In*: Memorias del XXIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Pachuca, Hidalgo, México.
- SEMARNAP. 1999. Proyecto de Norma Oficial Mexicana para la Cartografía y Clasificación de Suelos. México, DF. (Mimeo).
- Van Wambeke. 1987. Soil moisture and temperature regimes of Central America Caribbean, Mexico. Soil Management Support Service. Soil Conservation Service. USDA. Technical Monograph No. 16. Cornell University, Ithaca, New York.
- Young, H.E. y E.G. Stoeckeler. 1956. Quantitative evaluation of photo interpretation mapping. Photogramm. Eng. 22: 137-143.

CARGA ELECTRICA DE LOS ANDOSOLES DEL COFRE DE PEROTE, VERACRUZ, MEXICO

Electric Charge of Andosols of 'Cofre de Perote', Veracruz, Mexico

Lourdes Cruz Huerta¹ y Daniel Geissert Kientz¹

RESUMEN

Este estudio es una contribución al conocimiento de la carga eléctrica de los suelos de origen volcánico en México, cuyas características son poco conocidas. Su propósito es determinar la capacidad de adsorción iónica y el punto de carga cero (PCC) en los horizontes A y Bw de tres Andosoles úmbricos y dos Andosoles háplicos de la región del Cofre de Perote, Veracruz. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aniónico (CIA) se determinó con el método de Itami *et al.* (1996) y el PCC, con el método de titulación salina de Sakurai *et al.* (1988). En los suelos estudiados predomina la carga variable: CIC y CIA variaron con el pH de acuerdo con una función cuadrática. En promedio, las cargas negativas (CIC) son de magnitud superior a las positivas (CIA) a pH 7 (CIC=15.27 y CIA=8.06 cmol kg⁻¹) y al pH natural del suelo (CIC=12.18 y CIA=8.68 cmol kg⁻¹), salvo en el horizonte Bw de los Andosoles úmbricos (CIC=9.20 y CIA=10.41 cmol kg⁻¹, al pH natural). La CIC pH 7 es siempre superior a la CIC pH natural y a la CIC efectiva. Los valores de PCC son en promedio más bajos en los horizontes A (4.7) que en los Bw (5.1), debido al mayor contenido de C orgánico. Los factores que influyen en la magnitud de PCC son los contenidos de óxidos de Fe y de carbono orgánico, y la abundancia de los complejos Al/Fe-humus.

Palabras clave: Intercambio iónico, suelos de origen volcánico, carga variable, punto de carga cero.

SUMMARY

This study concerns the electric charge of volcanic ash soils in Mexico, whose characteristics are not well-known. The purpose is to determine the capacity of ion adsorption and the zero point of charge (ZPC) in A and Bw horizons of three Umbric andosols (Typic hapludand and

Dystric hapludand) and two Haplic andosols (Dystric vitric haplustand) of the region of the 'Cofre de Perote', Veracruz. The cationic and anionic exchange capacity (CEC and AEC) were determined with the method of Itami *et al.* (1996) and the ZPC with the method of saline titration of Sakurai *et al.* (1988). In the studied soils the variable charges prevail: CEC and AEC vary with the pH according to a quadratic function. The negative charges (CEC) are higher in magnitude than the positive charges (AEC) at pH 7 (CEC=15.27 y AEC=8.06 cmol kg⁻¹) and at the natural pH of the soil (CEC=12.18 and AEC=8.68 cmol kg⁻¹), except in the Bw horizon of the Umbric andosols (CEC=9.20 y AEC=10.41 cmol kg⁻¹ at natural pH). CEC 7 is always higher than CEC at natural pH and effective CEC. Average values of ZPC are lower in the A horizons (4.7) than in Bw (5.1), due to higher content of organic carbon. The factors that influence the magnitude of ZPC are Fe oxides and organic carbon contents, and the abundance of Al/Fe-humus complexes.

Index words: Ionic exchange, volcanic ash soils, variable charge, zero point of charge.

INTRODUCCION

Naturaleza de la Carga Eléctrica del Suelo

La carga total (σ_p) de una partícula de suelo es la resultante de dos componentes: la carga permanente y la carga variable. La carga permanente (σ_o) está constituida por el complejo de esfera externa y por la capa difusa. Se origina por la sustitución isomórfica del Si de la capa tetraédrica de los aluminosilicatos por iones de tamaño similar, pero de valencia diferente. La carga variable está constituida por la carga protónica, la de la capa difusa y por la carga del complejo de esfera interna y externa. La carga protónica (σ_H) es la diferencia entre los moles de protones (q_H) y los moles de hidróxilos (q_{OH}), acomplejados por superficies activas orgánicas, como el humus, e inorgánicas, como los óxidos hidratados y los aluminosilicatos de tipo caolinita y haloisita. Los protones de la capa difusa (σ_d), así como la carga proveniente del

¹ Instituto de Ecología A.C., Apartado Postal 63, 91000 Xalapa, Ver. e-mail: cruzl@ecologia.edu.mx

Recibido: Febrero de 2000.
Aceptado: Septiembre de 2000.

complejo de esfera externa, intervienen tanto en la carga variable como en la permanente. La carga del complejo de esfera externa (σ_{ee}) y la del complejo de esfera interna (σ_{ei}) se incrementan únicamente por los constituyentes de la solución del suelo que están adsorbidos en la superficie de las partículas. La carga total se define entonces como: $\sigma_p = \sigma_o + \sigma_H + \sigma_{ei} + \sigma_{ee} + \sigma_d$. La carga permanente es generalmente negativa, mientras que σ_{ei} , σ_{ee} y σ_H (y por lo tanto σ_p) pueden ser positivas, nulas o negativas, dependiendo de la composición mineral y orgánica del suelo (Sposito, 1984; Barrow, 1987).

Los suelos con predominio de aluminosilicatos laminares de tipo 2:1 (montmorillonita, vermiculita e illita) y de tipo 2:2 (clorita), se les identifica con la carga permanente. Los suelos con mezcla de minerales 2:1 y de hidróxidos de Al y Fe, tanto cristalinos como amorfos (alófono), se les llama de carga variable (Sánchez, 1976). En ellos, σ_H domina a σ_o y los cambios en el pH influyen fuertemente en el desarrollo de la carga superficial (Sposito, 1989). No obstante, es difícil considerar a las cargas variables y permanentes como entidades físicas separadas, puesto que tanto los minerales arcillosos como los óxidos hidratados de Fe y Al pueden exhibir eventualmente ambos tipos de cargas.

Puntos de Carga Cero

Son valores de pH asociados con condiciones específicas, bajo las cuales uno o más componentes de la carga superficial se igualan a cero. Sposito (1984) reconoce cuatro puntos de carga cero:

Punto de carga cero convencional (PCC). Es el valor de pH en el que la carga total de la partícula es igual a cero. Esta condición se produce cuando la carga disociada o difusa (σ_d) se anula. El PCC puede ser medido directamente en experimentos de movilidad electroforética y en estudios de estabilidad coloidal. El PCC señala la ausencia de iones adsorbidos que se muevan libremente y el aumento de las fuerzas interpartículas, que producen la coagulación. Los suelos de carga variable tienden a exhibir valores de pH cercanos al PCC.

Punto cero de carga protónica neta (PCCPN). Es el valor de pH al cual σ_H se anula. Puede medirse por titulación potenciométrica, a condición de que reaccionen únicamente los grupos funcionales selectivos de protones de la fase sólida del suelo.

Punto cero de efecto salino (PCES). Se determina por el método de titulación potenciométrica; el PCES corresponde al punto de intersección común de varias gráficas de σ_H vs pH, obtenidas al emplear el mismo

electrolito saturante a diferentes fuerzas iónicas. Otro método para evaluar el PCES se basa en la medición del pH de suspensiones de suelo con un electrolito saturante a dos fuerzas iónicas diferentes, inicialmente ajustadas a un rango de valores de pH, el cual incluye el PCES. Una vez que las suspensiones alcanzaron el equilibrio, el valor de pH registrado que no cambia por efecto de la fuerza iónica, se designa como PCES.

Punto cero de carga neta (PCCN). Es el valor de pH al cual la carga neta de los iones adsorbidos, aparte de los representados por σ_H , se iguala a cero. Si q^+ y q^- representan los moles de carga catiónica y aniónica adsorbidos, entonces $q^+ = q^-$ al PCCN. Es el valor de pH al cual $q_{Na} = q_{Cl}$ cuando se emplean Na^+ y Cl^- como iones índice. Evidentemente, el valor de PCCN dependerá de la elección de los iones índice, aunque la experiencia demuestra que esta dependencia es muy pequeña, cuando los iones seleccionados (Li, Na, Cl, ClO_4 y NO_3) están adsorbidos no específicamente (electrolitos indiferentes). En el presente trabajo se empleó NaCl como electrolito saturante, porque tanto Na^+ como Cl^- forman exclusivamente complejos de esfera externa, por lo que es probable que el PCC, el PCCN y el PCES sean iguales (Sposito, 1984; 1989).

De acuerdo con Sakuray *et al.* (1988), el Punto de Carga Cero (PCC), empleado en este trabajo, es el valor de pH al cual la carga variable es nula y prevalece sólo la carga permanente. Este método es coherente con la teoría, permite determinar el PCC mediante un experimento simple y accesible a cualquier laboratorio de campo, y hace posible una interpretación sencilla de los resultados.

Carga Variable de los Andosoles

La carga variable es una característica fisicoquímica de los Andosoles, la cual está relacionada principalmente con los contenidos de Fe y Al activos, y con el humus (Nanzio *et al.*, 1993). Cavallaro y McBride (1984) precisan que los óxidos de Fe y Al pueden cubrir una gran parte del área superficial de la fracción arcillosa y, por ser hidratados y altamente reactivos, bloquear los sitios de carga negativa permanente, haciendo que predomine la carga variable.

Wada y Okamura (1980) observaron que en los horizontes A, la carga positiva es casi inexistente entre un pH de 5 a 8.5, mientras que la carga negativa predomina. La magnitud de ésta se reduce notablemente con la disminución del pH, debido a un decremento de la

ionización de los grupos carboxilos del humus y a su bloqueo por hidróxidos de Al y Fe. Asimismo, su variación depende de la concentración del electrolito y de la abundancia del carbono orgánico (8 a 17 %), más no de la composición mineralógica de las arcillas. En los horizontes B coexisten las cargas variables negativas y positivas, con dominio de las negativas, debido principalmente a la presencia del alófono y de la imogolita (Okamura y Wada, 1983).

El PCC de los Andosoles depende de los contenidos de aluminio extractable en oxalato (Alo) y en citrato-ditionito (Ald), y de la abundancia de alófono, mismos que tienden a incrementarlo. Por el contrario, la materia orgánica disminuye este valor y las arcillas cristalinas con carga negativa permanente podrían incluso provocar que el PCC fuera nulo o inexistente (Sakurai *et al.*, 1989).

Los Andosoles del Cofre de Perote exhiben carga variable, debido a sus altos contenidos de materia orgánica, de óxidos hidratados de Al y Fe, y de alófono (Cruz y Campos, 1997). Sin embargo, aún no se ha podido cuantificar con precisión el número de sitios de intercambio positivos y negativos, porque el método convencional para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$ pH 7.1N), no es adecuado para suelos con carga variable. Además, se desconoce en qué medida las propiedades de los horizontes del suelo influyen en la carga variable de los Andosoles. Por tal motivo, este trabajo propone determinar las características de la carga eléctrica (signo y magnitud de la carga variable) y el valor del PCC de los suelos del Cofre de Perote, así como establecer relaciones entre la carga eléctrica y los contenidos de carbono orgánico, de alófono y de óxidos de Fe y Al.

MATERIALES Y METODOS

Muestreo y Descripción de los Suelos

Se estudiaron cinco suelos representativos de la región del Cofre de Perote, seleccionados con base en una zonificación geomorfo-edafológica previa (Geissert *et al.*, 1994). Los cuatro primeros fueron caracterizados y clasificados por Meza (1996) de acuerdo con el Soil Survey Staff (1992) y FAO-UNESCO (1990) y el último por Ramírez (1998). Los pedones COF40A (Typic hapludand) y COF40B (Typic hapludand) corresponden a Andosoles úmbricos de clima húmedo; COF58 (Dystric vitric haplustand) y COF 59 (Dystric vitric haplustand) son Andosoles háplicos de clima subhúmedo. El pedón PM40 (Dystric haplustand) es un Andosol úmbrico de clima subhúmedo. El material parental de estos suelos es un flujo de ceniza con bloques, cubriendo una lava de dacita-andesita. Sus características ambientales se presentan en el Cuadro 1.

Métodos Analíticos Generales

El pH del suelo se midió por potenciometría en agua (pH H_2O suelo:solución 1:2) y en KCl 1N (pH KCl). La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) corresponde a la suma de las bases intercambiables Na, K, Ca y Mg, más la acidez intercambiable (Al + H). El carbono orgánico se determinó por el método de Walkley-Black. Alo, Feo y Sio se extrajeron con oxalato ácido a pH 3; Alp y Fep con pirofosfato de sodio 0.1M a pH 10; el Ald y el Fed con ditionito-citrato-bicarbonato; y posteriormente se cuantificaron por EAA. El

Cuadro 1. Características ambientales de los suelos estudiados.

Pedón [†]	Altitud	Precipitación anual	Temperatura media anual	Clima	Uso del suelo
	m	mm	°C		
COF40A	2960	1600	9	Templado semi-frío, húmedo	Bosque de oyamel y pino
COF40B	2950	1600	9	Templado, semi-frío, húmedo	Cultivo de papa
COF58	3120	800	8	Templado semi-frío, subhúmedo	Bosque de oyamel y pino
COF59	3070	900	10	Templado semi-frío, subhúmedo	Cultivo de papa
PM40	3085	1000	9.5	Templado semi-frío, subhúmedo	Bosque de oyamel perturbado

[†] El material parental de los cinco es: flujo de cenizas y bloques/lava.

contenido de alófono se calculó multiplicando SiO por 5, 6 y 7, considerando Al/Si igual a 1.0, 1.5 y 2.0 (Parfitt, 1990). El contenido de ferrihidrita se estimó con la relación: % ferrihidrita = % Feo x 1.7 (Mizota y Van Reeuwijk, 1989).

Determinación de la Capacidad de Adsorción de Iones

Se aplicó el método descrito por Itami *et al.* (1996) basado en las indicaciones de Van Raij y Peech (1972), para cuantificar las cargas positivas y negativas de los suelos con carga variable. Es un método de adsorción de iones, que emplea una solución de NaCl 0.05M, la cual permite una evaluación más exacta de las cargas negativas, con respecto al método convencional, que emplea una solución de CH₃COONH₄ 1N pH 7; dicha solución es más concentrada y, en algunos suelos, extrae formas no intercambiables de cationes, lo que conduce a una sobreestimación de la carga activa (Nanzio *et al.*, 1993). El procedimiento utilizado se describe a continuación:

(a) Saturación: se colocó 1 g de suelo en un frasco de plástico de 50 mL previamente pesado; se le agregaron 25 mL de NaCl 1M y se agitó por 30 min; luego se centrifugó y se desechó el decantado. Este proceso se repitió dos veces más.

(b) Equilibrio: las muestras se lavaron cinco veces con 25 mL de NaCl 0.05M y el pH se ajustó al valor deseado en un rango de 3 a 7. Se les agregaron 20 mL de la solución de NaCl y se le dejó actuar durante dos días a fin de lograr el equilibrio; en este período se reajustó el pH al valor deseado, con adición de HCl ó NaOH. Después del equilibrio, los contenidos se centrifugaron y se tomó el pH final del sobrenadante, en el cual se midió la concentración de Na y de Cl.

(c) Desplazamiento: se pesaron los frascos más la solución adsorbida de NaCl. Los suelos se lavaron cinco veces con 25 mL de NH₄NO₃ 0.5M; luego se centrifugaron y se decantaron. En las soluciones resultantes combinadas, se analizaron el Na y Cl, y se calculó la cantidad de cada ion adsorbido a cada pH en equilibrio. Las concentraciones de Na y Cl se determinaron por fotometría de emisión y por potenciometría, respectivamente.

Las cantidades de cationes y aniones retenidas se expresaron como equivalentes de cargas negativas (CIC) y positivas (CIA), respectivamente. Los resultados se corrigieron por la solución salina adsorbida, cuya concentración se considera la de la solución en equilibrio. Las muestras se trabajaron por duplicado.

Determinación de PCC

El método de titulación salina propuesto por Sakurai *et al.* (1988) es ideal para la caracterización de suelos, porque es simple y sus resultados reproducibles. Está basado en el principio de que las superficies de las arcillas presentan cargas netas negativas, las cuales se incrementan con la adición de electrolitos en medio básico, debido a la deprotonación de los grupos OH⁻ superficiales y a la liberación de iones H⁺ a la solución del suelo, lo que provoca una disminución del pH de la suspensión. Inversamente, la adición de electrolitos en medio ácido reduce las cargas negativas e incrementa el pH de la suspensión.

Procedimiento. Se colocaron 4 g de suelo en cada uno de seis frascos de 100 mL. Se adicionaron 20 mL de agua desionizada y luego HCl ó NaOH 0.1N, hasta obtener un pH aproximado de 3, 4, 5, 6, 7 y 8, con agitación magnética constante; posteriormente, se llevó a un volumen final de 40 mL con agua desionizada. Durante cuatro días, se dejó que el suelo se equilibrara a temperatura ambiente, agitando ocasionalmente, y entonces se midió el pH en equilibrio (pH₁). Se adicionó 1 mL de NaCl 2N, se agitó recíprocamente por 3 h e inmediatamente después se midió el valor del pH (pH₂). Para cada frasco, se calculó el valor delta pH = pH₂ - pH₁ y se graficó delta pH (x) vs pH₁ (y) para determinar el punto donde delta pH = 0. Este corresponde al PCC, que es el valor de pH que no varía con la concentración salina. Este procedimiento se realizó por duplicado.

RESULTADOS Y DISCUSION

Capacidad de Adsorción de Iones

En todos los suelos estudiados, las cargas eléctricas negativas (CIC) y positivas (CIA) varían con el pH de la solución (Figura 1), lo que coincide con lo observado por otros autores (Wada y Okamura, 1980; Okamura y Wada, 1983). En los horizontes A, la reducción importante de la CIC al bajar el pH se atribuye principalmente a la disminución de la ionización de los grupos carboxilos del humus, por un posible bloqueo de los hidróxidos de Al y Fe. En los horizontes B, los valores de la CIC son siempre más bajos y su variación con el pH es menor, sobre todo en los Andosoles háplicos COF58 y COF59. En los Andosoles úmbricos, la CIA de los horizontes A aumenta de manera irregular con el incremento del pH y en los horizontes B disminuye. En los Andosoles háplicos y en el PM40, la CIA disminuye ligeramente con el aumento

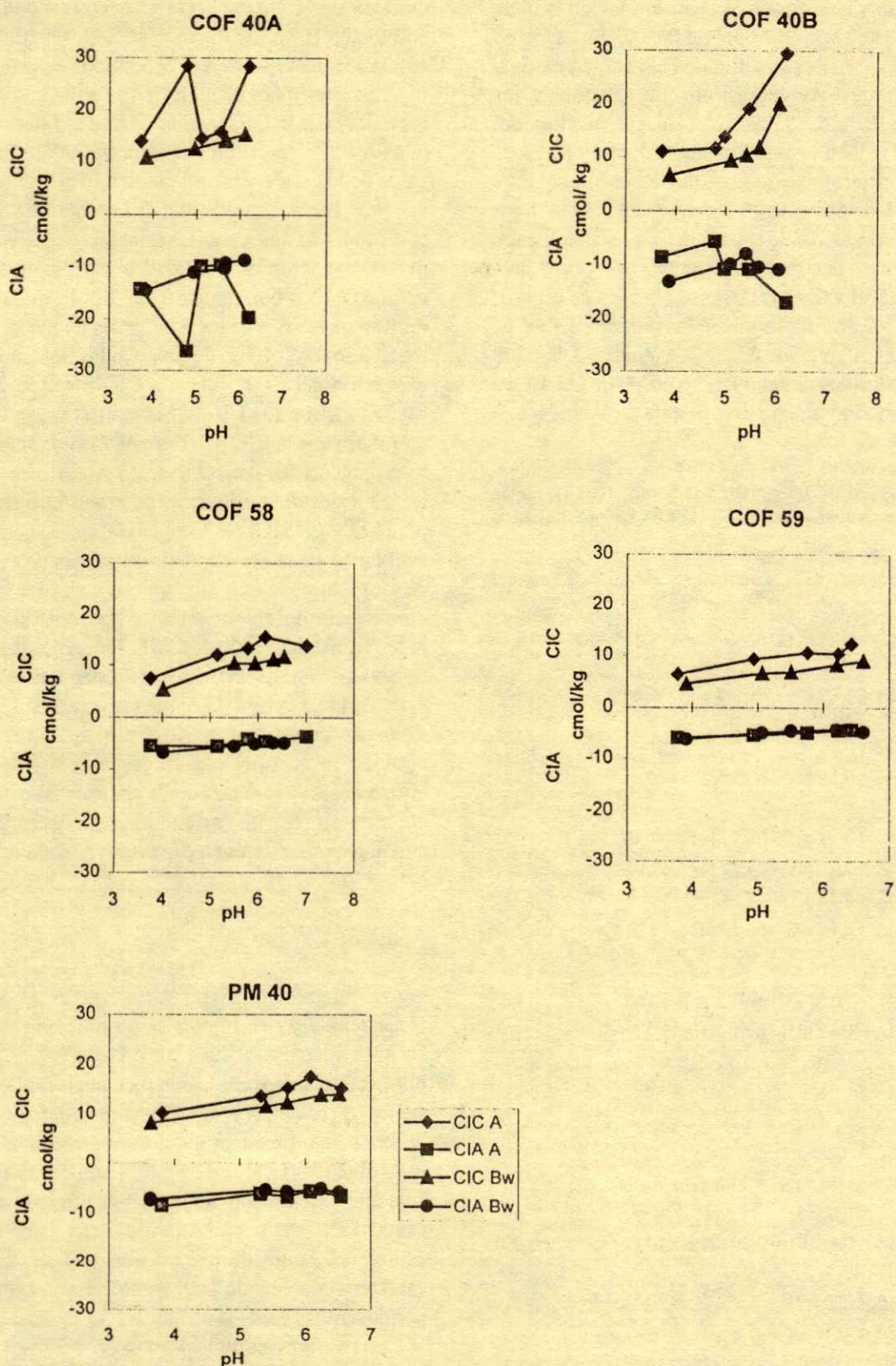


Figura 1. Variación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y de la capacidad de intercambio aniónico (CIA) con el pH en los suelos estudiados.

del pH, de manera uniforme y casi similar en ambos horizontes; en estos suelos, el pH de la solución tiene un efecto limitado sobre la variabilidad de la carga positiva.

Las ecuaciones de regresión que describen las variaciones de la CIC y de la CIA en función del pH (Cuadro 2), son generalmente cuadráticas. Los coeficientes de determinación r^2 de la CIC oscilaron entre 0.83 y 0.99 en los horizontes A y entre 0.92 y 1.00 en los horizontes B. Los valores de r^2 para la CIA oscilaron entre 0.79 y 1.00 para los horizontes A, y entre 0.88 y 0.99 para los horizontes B; el valor más bajo se observó en el suelo PM 40-Bw ($r^2 = 0.88$). La forma de los gráficos de la CIC en los horizontes A coincide con los de Wada y Okamura (1980) para Andosoles de Japón, pero no así de la CIA, ya que en el mencionado trabajo ésta es nula o casi nula. Los

Cuadro 2. Ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y de la capacidad de intercambio aniónico (CIA) de los suelos estudiados.

Horizonte	Ecuación	r^2
COF40A		
A1	CIC = $17.13 \text{ pH}^3 - 255.53 \text{ pH}^2 + 1250.2 \text{ pH} - 1982.2$	0.85
	CIA = $17.9 \text{ pH}^3 - 267.48 \text{ pH}^2 + 1306.8 \text{ pH} - 2066.9$	0.79
Bw	CIC = $0.25 \text{ pH}^2 - 0.47 \text{ pH} + 8.86$	1.00
	CIA = $0.39 \text{ pH}^2 - 6.36 \text{ pH} + 33.25$	0.97
COF40B		
Ap	CIC = $4.41 \text{ pH}^2 - 36.15 \text{ pH} + 84.32$	0.99
	CIA = $2.79 \text{ pH}^2 - 24.23 \text{ pH} + 59.93$	0.84
Bw	CIC = $4.55 \text{ pH}^2 - 45.84 \text{ pH} + 124.5$	0.92
	CIA = $6.19 \text{ pH}^2 - 66.59 \text{ pH} + 187.74$	0.99
PM40		
A1	CIC = $-0.67 \text{ pH}^2 + 9.13 \text{ pH} - 15.03$	0.83
	CIA = $0.57 \text{ pH}^2 - 6.61 \text{ pH} + 25.43$	0.89
Bw	CIC = $-0.10 \text{ pH}^2 + 3.00 \text{ pH} - 1.44$	0.99
	CIA = $0.38 \text{ pH}^2 - 4.34 \text{ pH} + 17.94$	0.88
COF58		
A1	CIC = $-0.90 \text{ pH}^2 + 11.81 \text{ pH} - 24.51$	0.94
	CIA = $-0.15 \text{ pH}^2 + 1.04 \text{ pH} + 3.84$	0.80
Bw	CIC = $0.05 \text{ pH}^2 + 1.98 \text{ pH} - 3.22$	0.99
	CIA = $-0.65 \text{ pH}^2 - 7.29 \text{ pH} + 25.33$	0.99
COF59		
Ap	CIC = $-0.24 \text{ pH}^2 + 4.42 \text{ pH} - 6.93$	0.93
	CIA = $-0.10 \text{ pH}^2 + 0.47 \text{ pH} + 5.63$	1.00
Bw	CIC = $0.07 \text{ pH}^2 + 0.94 \text{ pH} - 0.14$	0.99
	CIA = $0.42 \text{ pH}^2 - 5.05 \text{ pH} + 19.54$	0.97

gráficos de la CIC y de la CIA correspondientes a los horizontes B de los mismos suelos (Okamura y Wada, 1983) son semejantes a los obtenidos en este trabajo.

Las ecuaciones de regresión se utilizaron para calcular los valores de la CIC y de la CIA al pH natural del suelo (Cuadro 3). De la diferencia entre ambas se obtuvo el valor de la carga neta, anteponiendo el signo de la carga que predomina. La magnitud de la carga neta al pH natural confirma que las cargas variables negativas (CIC pH natural) superan en cantidad a las positivas (CIA pH natural) en los horizontes A1 ó Ap; lo mismo ocurre en los horizontes Bw de los Andosoles háplicos, del suelo de transición PM 40 y de los Andosoles úmbricos, con excepción del COF 40B. La CIC pH 7 es en todos los casos superior a la CIC al pH natural y a la CICe, lo que corrobora que la CIC pH 7 es una medida sobrestimada de la carga eléctrica negativa en los Andosoles.

El valor de ΔpH , definido como la diferencia entre pH H₂O y pH KCl, se usa generalmente como indicador cualitativo de la presencia de minerales de carga variable en los Andosoles. Un valor negativo significa la dominancia de coloides con carga positiva y un valor positivo sugiere la presencia de coloides con carga negativa (Tan, 1993). En los horizontes A estudiados, ΔpH varía de 0.13 a 0.86, mientras que en los horizontes B, oscila de -0.72 a 0.93 (Cuadro 3). Los índices de correlación de ΔpH con la carga neta ($r = -0.77$ para horizontes A; $r = -0.80$ para horizontes B) demuestran que el primero es un estimador satisfactorio, no sólo cualitativo sino también cuantitativo, de la carga eléctrica del suelo.

Punto de Carga Cero

La intersección de las curvas de titulación salina con el eje delta pH = 0 (Figura 2), proporciona el valor de pH correspondiente al PCC. Cuando las dos curvas generadas por los duplicados coinciden plenamente, el valor de PCC se lee directamente de la gráfica, pero cuando éstas difieren, se promedian los dos valores de la intersección para obtener el valor de PCC. Cada curva presentó una sola intersección con delta pH = 0, por lo cual el valor de pH al PCC es único. Además, este valor se mantiene dentro del rango de pH de trabajo (pH 3), lo que es característico cuando las cargas variables dominan a las permanentes (Parks, 1967).

Los valores de PCC varían de 4.22 a 5.47 para los horizontes A, y de 3.77 a 6.06 para los horizontes B (Cuadro 3). Se observan en la mayoría de los casos

Cuadro 3. Valores de CO, pH, punto de carga cero (PCC), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y capacidad de intercambio aniónico (CIA) y de carga neta de los suelos estudiados.

Horizonte	CO	pHH ₂ O	pHKCl	ΔpH ¹	PCC	pHKCl-PCC	pH natural ¹	CICpH natural [§]	CIAPh natural [§]	Carga neta [†]	CICe	CICpH7	CIAPh7
	%									emol kg ⁻¹			
COF40A													
A1	6.67	4.85	4.54	0.31	4.71	-0.17	4.70	27.36	24.86	-2.50	4.07	28.31	19.86
Bw	2.73	5.29	5.35	-0.06	5.40	-0.05	5.32	13.44	10.46	-2.98	2.05	15.16	8.73
COF40B													
Ap	13.34	4.64	4.51	0.13	4.21	0.30	4.58	11.27	7.49	-3.78	7.25	29.43	16.97
Bw	4.29	4.48	5.20	-0.72	5.61	-0.41	4.84	9.20	10.41	1.21	0.94	13.51	11.40
COF58													
A1	3.48	5.97	5.39	0.58	5.53	-0.14	5.68	13.54	4.91	-8.63	7.87	13.79	3.74
Bw	1.10	6.38	5.99	0.39	5.97	0.02	6.19	10.96	5.12	-5.84	5.38	11.57	4.95
COF59													
Ap	3.07	5.63	5.19	0.44	4.72	0.47	5.02	9.21	2.06	-7.15	Sd	12.04	4.90
Bw	1.68	5.70	5.28	0.42	3.67	1.61	4.48	5.47	4.48	-0.99	3.01	8.96	4.70
PM40													
A1	6.55	5.62	4.76	0.86	4.36	0.40	5.19	14.30	6.48	-7.82	17.26	15.28	6.50
Bw	0.99	5.83	4.90	0.93	4.71	0.19	5.37	11.79	5.59	-6.20	9.73	14.08	5.86

¹ (pHH₂O - pHKCl)

² (pHH₂O + pHKCl)/2

[§] Calculado con las ecuaciones de regresión del Cuadro 4.

[†] (CIC - CIA) al pH natural.

CO = Carbono orgánico. CICe = Capacidad de intercambio catiónico efectivo. Sd = Sin determinar.

Cuadro 4. Valores de la extracción selectiva de Fe, Al y Si en los suelos estudiados.

Horizonte	Al _o	Fe _o	Si _o	Al _p	Fep	Al _d	Fed	Alp/Al _o	Fep/Fe _o	Ferrihidrita	Alófano	
	%							%				
COF40A												
A1	3.02	0.76	1.50	1.29	0.11	2.35	1.83	0.43	0.14	1.29	6.90	
Bw	4.87	1.43	2.58	0.60	T	1.76	2.39	0.12	0	2.43	14.90	
COF40B												
Ap	2.59	1.00	0.68	1.61	0.69	2.34	1.09	0.62	0.69	1.7	10.0	
Bw	5.97	1.73	3.12	0.74	0.16	2.45	1.96	0.12	0.09	2.94	16.13	
COF58												
A1	1.82	0.38	0.90	0.60	T	1.07	1.30	0.33	0	0.65	6.07	
Bw	2.47	0.38	1.38	0.49	T	0.55	1.27	0.20	0	0.65	6.54	
COF59												
Ap	1.99	0.53	1.18	0.36	T	0.67	0.70	0.18	0	0.90	5.43	
Bw	2.50	0.73	1.55	0.23	T	0.41	0.29	0.09	0	1.24	5.71	
PM40												
A1	1.87	0.42	0.45	0.96	0.32	1.24	1.21	0.51	0.76	0.71	6.47	
Bw	1.34	0.49	0.70	0.48	0.19	0.63	1.68	0.36	0.39	0.83	5.51	

T: trazas.

valores más ácidos en los horizontes superficiales, lo cual se debe al mayor contenido de materia orgánica que, con sus grupos funcionales, disminuye el pH del suelo. La magnitud de estos valores es similar a los obtenidos por Sakurai *et al.* (1989) en Andosoles de Japón (PCC = 4.74 a 5.18), e indica nuevamente la dominancia de minerales

con carga variable, ya que los minerales arcillosos con carga negativa permanente presentan valores de PCC más bajos.

Los contenidos de CO, Fep, Alp, Feo, ferrihidrita y alófano (Cuadro 4) y las relaciones Alp/Al_o y Fep/Fe_o, presentan altos índices de correlación con el PCC en los

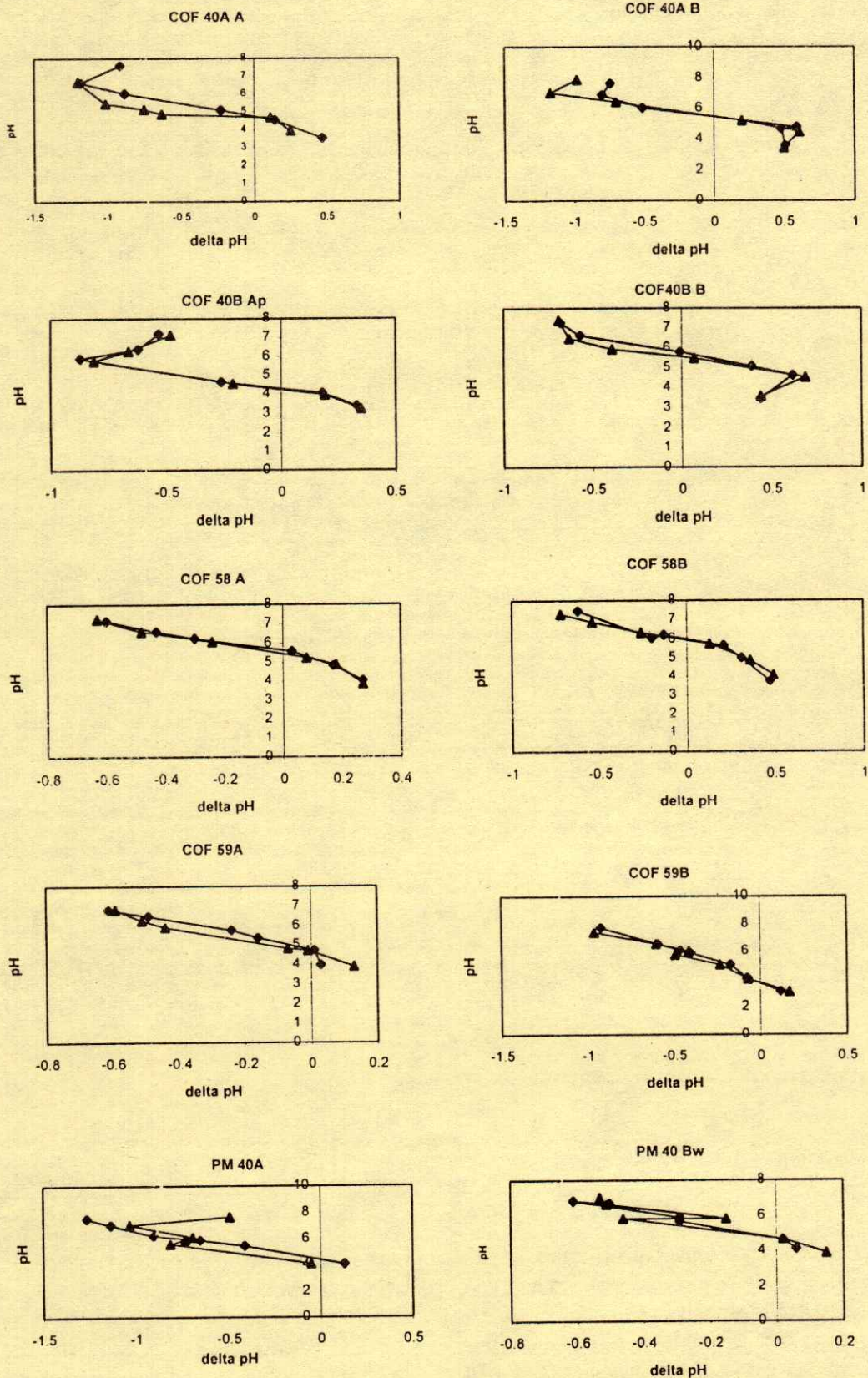


Figura 2. Determinación gráfica del punto de carga cero (PCC) de los suelos estudiados.

Cuadro 5. Indices de correlación (r) entre el punto de carga cero (PCC) y algunas características químicas de los suelos estudiados.

Horizonte	Alp/Alo	Fep/Feo	Fep	Alp	Fed	CO	Feo	Ferrihidrita	Alófano
A	-0.84	-0.79	-0.76	-0.61	ns	-0.68	-0.60	-0.59	-0.58
Bw	ns	ns	ns	0.79	0.68	ns	ns	ns	ns

ns: no significativo

horizontes A (Cuadro 5). Estas asociaciones indican que los complejos Al y Fe-humus, los óxidos de Fe amorfos, el CO y el alófano afectan negativamente la magnitud del PCC. En los horizontes B, las correlaciones altas que se obtuvieron con Alp y Fed indican que son los complejos Al-humus y los óxidos cristalinos de Fe los que incrementan el valor del PCC.

Los valores del PCC de los horizontes A de los suelos cultivados (COF40B y COF59) son notoriamente más ácidos que sus homólogos de bosque (COF40A y COF58), tanto en los Andosoles úmbricos como en los háplicos, lo cual puede deberse al aporte de materiales orgánicos de fácil mineralización, como fue demostrado en otros suelos de carga variable (Benites y Mendonça, 1998) o de fertilizantes fosfatados (Wann y Uehara, 1978), que se utilizan como enmiendas en los suelos estudiados.

En los suelos del Cofre de Perote, el pH tiende a acercarse al PCC ($\text{pHKCl} - \text{PCC} = -0.41$ a 0.47), lo que confirma lo establecido originalmente por Hendershot y Lavkulich (1978) y Wann y Uehara (1978). En estas condiciones, CIC y CIA varían poco y se mantienen en una situación de estabilidad coloidal, indicada por el PCC (Zelazni *et al.*, 1996), que contribuye a la conservación de la fertilidad química de estos suelos. Lo anterior se confirma por la correlación obtenida entre los valores de ($\text{pHKCl} - \text{PCC}$) y la CIC al pH natural ($r = -0.70$). En el Cuadro 2 se aprecia que los Andosoles úmbricos y háplicos de bosque exhiben los valores menores de ($\text{pHKCl} - \text{PCC}$), lo que corrobora su mayor tendencia a la estabilidad eléctrica, con respecto a los suelos cultivados. El horizonte Bw del pedón COF59 presenta la diferencia más elevada ($\text{pHKCl} - \text{PCC} = 1.61$) y el PCC más bajo (3.67), lo cual puede deberse a que este horizonte muestra el menor contenido de Alp, Fed y Ald que los demás horizontes.

CONCLUSIONES

Los Andosoles del Cofre de Perote se caracterizaron por presentar carga variable dependiente del pH. Las cargas negativas variables son de magnitud mayor que las positivas, tanto a pH natural como a pH 7. Asimismo, la

carga neta de los suelos fue negativa en los Andosoles úmbricos como en los háplicos, con excepción del suelo COF40B-Bw.

Los valores de PCC fueron más ácidos en los horizontes superficiales. Los factores que se correlacionaron más significativamente con el PCC y que afectaron su magnitud en los horizontes A, fueron los contenidos de Feo, Alp, Fep, CO, alófano y ferrihidrita, así como las relaciones Alp/Alo, Fep/Feo, lo que sugiere la acción de complejos Al, Fe - humus y óxidos amorfos de Fe, mientras que en los horizontes B, los parámetros que tuvieron alguna influencia fueron Fed y Alp.

LITERATURA CITADA

- Barrow, N.J. 1987. Reactions with variable-charge soils. Special issue. Fertilizer Research 14: 49-53.
- Benites, V.M. y E.S. Mendonça. 1998. Propiedades electroquímicas de un solo electropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de materia orgánica. R. Bras. Ci. Solo 22: 215-221.
- Cavallaro, N. y M.B. McBride. 1984. Effect of selective dissolution on charge and surface properties of an acid soil clay. Clays and Clay Minerals 32: 283-290.
- Cruz H., L. y A. Campos C. 1997. Propiedades químicas y morfológicas de una secuencia de suelos con material volcánico de diferentes grados de alteración. Terra 15: 267-278.
- FAO-UNESCO. 1990. Mapa Mundial de Suelos. Leyenda revisada. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 60. Roma.
- Geissert, D., D. Dubroeuq, A. Campos y E. Meza. 1994. Carta de unidades geomorfo-edaforológicas de la región natural Cofre de Perote, Veracruz, México. Escala 1:75 000. Instituto de Ecología-ORSTOM-CONACyT.
- Hendershot, W.H. y L.M. Lavkulich. 1978. The use of zero point of charge (ZPC) to assess pedogenic development. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 468-472.
- Itami, K., T. Kosaki y K. Kyuma. 1996. Evaluation of relationship between dispersibility of soils and charge characteristics using a modified ion adsorption method; an example of soils from Wakayama Prefecture, Japan. Soil Sci. Plant Nutr. 42: 521-530.
- Meza P., E. 1996. Estudio comparativo de las propiedades físicas e hídricas entre los Andosoles de cultivo y de bosque del Cofre de Perote, Estado de Veracruz, México. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología), Universidad Nacional Autónoma de México, México DF.
- Mizota, C. y L.P. van Reeuwijk. 1989. Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic material in diverse climatic regions. Soil Monograph 2. ISRIC, Wageningen, The Netherlands.
- Nanzio, M., R. Dahlgren y S. Shoji. 1993. Chemical characteristics of volcanic ash soils. pp 145-187. In: S. Shoji, Nanzio y Dahlgren

- (eds.). Volcanic ash soils, genesis, properties and utilization. Developments in Soil Sci. 21. Elsevier, The Netherlands.
- Okamura, Y. y K. Wada. 1983. Electric charge characteristics of horizons of ando (B) and red-yellow B soils and weathered pumices. *Soil Sci.* 34: 287-295.
- Parfitt, R.L. 1990. Allophane in New Zealand. A review. *Aust. J. Soil Res.* 28: 343-360.
- Parks, G.A. 1967. Aqueous surface chemistry of oxides and complex oxide minerals. *Adv. Chem.* 67: 121-160.
- Ramírez S., M. 1998. Influencia de la actividad humana sobre las propiedades edáficas del horizonte A, en los paisajes de una cuenca del parque nacional Cofre de Perote, Veracruz. Tesis de Licenciatura en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Sakurai, K., Y. Ohdate y K. Kyuma. 1988. Comparison of salt titration and potentiometric titration methods for the determination of zero point of charge (ZPC). *Soil Sci. Plant Nutr.* 34: 171-182.
- Sakurai, K., Y. Ohdate, y K. Kyuma. 1989. Factors affecting zero point of charge (ZPC) of variable charge soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 35: 21-31.
- Sánchez, A.P. 1976. Properties and management of soils in the tropics. John Wiley and Sons.
- Soil Survey Staff. 1992. Keys to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph No. 19, 5a edic., Pocahontas Press, Inc., Blacksburg, VI, USA.
- Sposito, G. 1984. The surface chemistry of soils. Oxford University Press.
- Sposito, G. 1989. The chemistry of soils. Oxford University Press.
- Tan, H.K. 1993. Principles of soil chemistry. 2nd edition. Marcel Dekker, Inc.
- Van Raij, B. y M. Peech. 1972. Electrochemical properties of some oxisols and alfisols of the tropics. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36: 587-593.
- Wada, K. y Y. Okamura. 1980. Electric charge characteristics of ando A1 and buried A1 horizon soils. *Soil Sci.* 31: 307-314.
- Wann, S.S. y G. Uehara. 1978. Surface charge manipulation of constant surface potential soil colloids: I. Relation to sorbed phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 565-570.
- Zelazni, L.W., L. He y A. Vanwormhoudt. 1996. Charge analysis of soils and anion exchange. pp. 1231-1253. *In:* D.L. Sparks (ed.) Methods of soil analysis. Chemical Methods. Part 3. Madison, Wisconsin, USA.

FERTILIZACION QUIMICA Y BIOLOGICA DE *Phalaenopsis* (Orchidaceae) EN CONDICIONES DE INVERNADERO

Chemical and Biological Fertilization of *Phalaenopsis* (Orchidaceae) under Greenhouse Conditions

Jorge A. Espinosa Moreno, E. Araceli Gaytán Acuña¹, A. Enrique Becerril Román,
David Jaen Contreras y Carlos Trejo López

RESUMEN

La nutrición en el cultivo de las orquídeas suele convertirse en un problema relevante cuando existe poco uso de fertilizantes y desconocimiento en la forma de suministrarlos. Se reconoce que un eficiente empleo de los mismos, entre otras ventajas, permite acelerar el crecimiento vegetativo, aumentar la precocidad en la floración y promover una conveniente relación simbiótica con hongos endomicorrízicos. Con base en lo expuesto, el objetivo de esta investigación fue conocer los efectos de cuatro fórmulas comerciales de fertilización, con y sin micorrizas, sobre el desarrollo y crecimiento de *Phalaenopsis*. Se utilizó tezontle rojo como sustrato. El diseño estadístico utilizado fue en bloques al azar, de ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Las fórmulas de los fertilizantes fueron: 20-20-20, 19-31-17, 15-30-15 (solubles) y 13-13-13 (lenta liberación) con y sin micorrizas, respectivamente. El tratamiento 19-31-17 sin micorrizas presentó mayor número de botones en el primer muestreo, mayor número de flores al momento del corte y 38 días de vida postcosecha. El tratamiento 15-30-15 con micorrizas produjo el mayor número de botones en el segundo muestreo. La longitud de flores fue aceptable y de calidad comercial, aunque de florecimiento tardío. En este experimento se logró la micorrización de plantas adultas de *Phalaenopsis*.

Palabras clave: *Rhizoctonia solani*, *fertilizante*, *micorriza*.

SUMMARY

The effect of four commercial formula fertilizers, 20-20-20, 19-31-17, 15-30-15 (water soluble), and

¹ Programa de Fruticultura, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, 56230 Montecillo, Estado de México.

Recibido: Noviembre de 1997.
Aceptado: Julio de 2000.

13-13-13 (slow release) with mycorrhiza and without mycorrhiza, were tested on the growth and development of *Phalaenopsis* under greenhouse conditions. Small diameter volcanic gravel was used as a substrate and a complete randomized block design was used with eight treatments and four replications. Results indicated that in the first sampling treatment 19-31-17 without mycorrhiza had more buds and flowers at the first cutting and a shelf-life of 38 days. In the second sampling, treatment 15-30-15 with mycorrhiza had the highest number of buds with acceptable flower length and commercial quality, although opening was delayed. In this experiment, the adult *Phalaenopsis* plants adapted well to mycorrhiza.

Index words: *Rhizoctonia solani*, *fertilizer*, *mycorrhiza*.

INTRODUCCION

De los problemas más comunes e importantes para el cultivo de orquídeas destaca la nutrición, debido al poco uso de los fertilizantes y desconocimiento de cómo suministrarlos eficientemente para acelerar el crecimiento y desarrollo vegetativo, aumentar la precocidad en la floración, prolongar la vida postcosecha e incrementar la calidad comercial. Por otro lado, la fertilización adecuada de estas plantas permite el establecimiento de una asociación simbiótica entre los hongos endomicorrízicos y las raíces de las orquídeas, que pueden reducir los requerimientos de los fertilizantes y, en consecuencia, los costos de producción.

La nutrición puede ser mejorada por micorrizas. Strullu (1982) menciona que el hongo micorrízico estimula el crecimiento del hospedante; esta particularidad es más significativa, cuanto más débil es la concentración de nutrimentos en el medio. La micorrización actúa especialmente en la nutrición fosforada y, además, otros nutrimentos pueden estar

incluidos: zinc, azufre y potasio. En cuanto al nitrógeno, amonio es la fuente principal, algunas especies hongos micorrizicos poseen nitrato reductasa, lo que posibilita el aprovechamiento de los nitratos, aunque los mecanismos no son totalmente conocidos (Plenchete, 1982).

Wang y Gregg (1994), al utilizar 20-8.6-16 (N-P-K), durante dos ciclos de floración, en tres niveles (0.25, 0.5 y 1.0 g L⁻¹) en forma soluble aplicado en el agua de riego, observaron que las plantas presentaron diferencias significativas en la emergencia de la inflorescencia, días a floración, de *Phalaenopsis*, siendo los mejores niveles 0.25 y 0.5 g L⁻¹ y para la longitud del tallo 1.0 g L⁻¹.

Manrique (1993) encontró que las orquídeas necesitan pequeñas cantidades de fertilizantes, pues tienen un crecimiento lento, e indica que en los géneros *Cymbidium* y *Phalaenopsis* las aplicaciones de 100, 50 y 25 mg kg⁻¹ de N, K y Mg, respectivamente, son óptimas. Para *Cattleya* se obtiene un crecimiento óptimo con 50 mg kg⁻¹ de N, P y K. Salinger (1991) menciona para *Cymbidium* que es posible utilizar fertilizantes de lenta liberación como el Osmocote®; estos fertilizantes pueden ser de corto o largo plazo; los de corto plazo (1 a 4 meses) aportan 70-31-58 g m⁻³ de N, P y K, respectivamente; los de largo plazo (1 a 8 meses) aportan 360-52-200 g m⁻³ de N, P y K. Cuando se cultivan las orquídeas en corteza pura (2.35 a 4.75 mm de tamaño de partícula) se adicionarán 2 kg de caliza dolomítica m⁻³ al sustrato más un riego diario con una solución nutritiva de 120 a 150N-30P-75K en mg L⁻¹.

Plenchete (1982) menciona que el tipo de micorriza presente en las orquídeas son endomicorrizas, el simbionte fúngico corresponde a Basidiomicetos, tales como *Rhizoctonia*, *Tulasnella*, *Thanatephorus* y *Ceratobasidium*, cuando éstos se establecen en las células del hospedero dan lugar a una estructura en forma de ovillos o pelotones de hifas, que en la naturaleza condicionan el desarrollo del hospedante con las siguientes manifestaciones biológicas que mejoran el desarrollo; el hongo proporciona el carbono total o parcialmente cuando la planta está en etapas no autotróficas, y también protección contra enfermedades (Plenchete, 1982).

Con base en lo expuesto, la presente investigación tuvo como finalidad conocer los efectos de cuatro fórmulas de fertilización con y sin micorrizas sobre el desarrollo del híbrido *Phalaenopsis*.

MATERIALES Y METODOS

Localización del Sitio Experimental

El experimento se estableció en octubre de 1996 en condiciones de invernadero. La temperatura en el invernadero se mantuvo entre una máxima de 29 °C y una mínima de 12 °C. Para ese propósito se utilizó un sistema de enfriamiento de aire con paneles húmedos durante el día (NPC, negative pressure cooling). Durante la noche se utilizó un sistema de calefacción con quemadores de gas. La radiación global mensual para 1996 (de octubre a diciembre) fue de 453.73 cal cm⁻² día⁻¹ y para 1997 (de enero a septiembre) de 499.17 cal cm⁻² día⁻¹ (Servicio Meteorológico del Colegio de Postgraduados), y una humedad relativa ajustada a 75%.

Materiales Utilizados

Se utilizó un híbrido interespecífico, producido *in vitro* y sin inoculación del endosimbionte en el vivero Xicoflor en el municipio Agua Fria, estado de Puebla. Como sustrato se utilizó tezontle con las siguientes características físico-químicas: conductividad eléctrica (CE) 0.310 dS m⁻¹; pH 5.20; Dap 0.54 g cm⁻³; Dr 1.76 g m⁻³; cationes solubles: Ca 0.82; Mg 0.54; Na 0.54 y K 1.73 (cmol L⁻¹). El tezontle se esterilizó con H₂SO₄ al 4% después se enjuagó con agua destilada. Previo al trasplante, las plantas (de tres años de edad) se sumergieron en una solución de captán al 2%. Después se enjuagaron con agua destilada estéril. En macetas de 15.24 cm de diámetro, a las cuales se les adicionó tezontle hasta la mitad, se colocó la planta que venía a raíz desnuda, y se procedió a llenar las macetas con tezontle, dejando bien fijadas las plantas e inmediatamente se aplicó un riego pesado sin solución nutritiva.

Manejo del Experimento

El experimento se inició el 22 de octubre de 1996 y se concluyó el 30 de abril de 1997. Las mezclas de fertilizantes se prepararon de acuerdo con las fórmulas establecidas por el proveedor, y se aplicaron dependiendo del tipo de fertilizante, se realizaron tres aplicaciones en el caso del Osmocote de liberación lenta (1 g por maceta cada mes) y los fertilizantes

Peters y Orchids (1.75 g en 4 L de agua) al realizar la disolución se usó la misma agua del productor y se estandarizó a pH de 5.7. Las plantas recibieron un riego cada siete días o cuando el sustrato se observó completamente seco; no se realizó un control de plagas y enfermedades; las malezas se controlaron en forma manual.

Arreglo y Diseño Experimental

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos resultantes de la combinación de las dosis de fertilización y la inoculación o no de micorrizas se describen a continuación: a) Peters: 20-20-20 sin micorriza (SM) testigo; b) Orchids: 19-31-17 SM; c) Peters: 15-30-15 SM; d) Osmocote: 13-13-13 SM; e) Peters: 20-20-20 con micorriza (CM); f) Orchids: 19-31-17 CM; g) Peters: 15-30-15 CM; h) Osmocote: 13-13-13 CM.

Variables Estudiadas

Días a floración. Se consideró desde el inicio del experimento hasta lograr la floración, cuando en la inflorescencia se abría la primera flor.

Longitud de flor. Esta variable se tomó en la primera flor de la inflorescencia, tomando en cuenta una línea horizontal a la mitad de la flor contrario a su plano de simetría de la misma (simetría bilateral), expresada en centímetros.

Días al corte de la inflorescencia. Se considera desde el inicio de la investigación hasta que abrieron tres flores en la inflorescencia.

Número de flores al corte de la inflorescencia. Para realizar el corte de la inflorescencia se tomó un promedio de tres flores abiertas mínimo y también se consideraron los botones próximos a abrir (estos últimos se reconocieron por el tamaño y cambio de color).

Número de botones al corte de la inflorescencia. Se efectuaron dos muestreos para esta variable: el primero el 20 de marzo de 1997 y el segundo el 10 de abril del mismo año; se contaron los botones presentes en las inflorescencias al momento del muestreo, sin tomar en cuenta las flores y los botones abortados.

Determinación de la concentración de nutrimentos en diferentes órganos de las plantas, N, P, K y Ca. Esta variable se determinó al final de la investigación

en raíces, hojas, escapos y flores. Para ello se lavaron las muestras con agua destilada y se enjuagaron con agua desionizada, posteriormente se secaron por 72 h a 70 °C para obtener la materia seca, la cual se obtuvo de la mezcla de las tres repeticiones de cada tratamiento y se sometieron a digestión húmeda. Se determinó nitrógeno por el método de microkjeldahl (Chapman, 1973), determinación de fósforo total mediante el método de vanadato-molibdato amarillo (Chapman, 1973), determinación de potasio, calcio y magnesio por absorción atómica (Bradfield y Spencer, 1965).

Vida postcosecha y calidad para *Phalaenopsis*. Se preparó una solución con el preservador Classico chrysal 1.2 g L⁻¹ en agua destilada. En tubos de ensaye (25 X 150 mL) se colocaron los tallos florales (escapos) en condiciones ambientales no controladas; la calidad de la planta se evaluó por longitud de flor y vida de postcosecha.

Inoculación en plantas. Para *Phalaenopsis* se usó una dosis de 100 esporas de *Rhizoctonia solani* por planta. El hongo fue proporcionado por el Laboratorio de Fitopatología del Instituto de Fitosanidad del Colegio de Postgraduados. La inoculación se realizó mediante el método de inyección con jeringa hipodérmica; para ello se insertó la aguja en el pseudobulbo y se inyectó la suspensión de esporas a nivel del cortex.

Intensidad y grado de colonización micorrízica. Se utilizó la metodología de Phillips y Hayman (1970) para evaluar la intensidad y grado de colonización de los tejidos por el hongo; mediante microscopía electrónica de barrido y de transmisión, además se usó la microscopía fotónica propuesta por Duddridge y Read (1982). Los tejidos se fijaron en FAA (formaldehído, ácido acético, etanol), la inclusión se hizo con parafina histológica. Las secciones del tejido se hicieron de 8 y 12 µm; los cortes se tiñieron con safranina y verde fijo. La observación microscópica de la superficie de la hifa fue facilitada por la acción del ácido tricloroacético, seguido por el blanqueamiento del tejido fungal en la noche con dioxano-ácido propiónico.

Análisis de Datos

En las variables dependientes de los tratamientos se realizó un análisis de varianza para un arreglo de bloques completos al azar y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey a un nivel de

significación de 95%, a excepción de las variables vida postcosecha, días al corte de la inflorescencia de *Phalaenopsis* y determinación de la concentración foliar de N, P, K y Ca.

RESULTADOS Y DISCUSION

La evaluación de las variables estudiadas se realizó a partir de que se estableció el experimento (22 de octubre de 1996) hasta que se cosecharon las inflorescencias (30 de abril de 1997).

Días a Floración (DFLO)

El análisis de varianza indicó que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos de los fertilizantes utilizados; en el tratamiento 13-13-13 sin micorriza (SM) los días a floración se presentaron a los 132.25 días de su inicio, mientras en el tratamiento 20-20-20 SM la floración se presentó a los 184 días. Wang y Gregg (1994), estudiando dos ciclos de floración para *Phalaenopsis*, utilizando 0.25, 0.5 y 1.0 g L⁻¹ de fertilizante soluble "Peters" (20-8.6-16.6) en cada riego, obtuvieron un intervalo de 123 a 124 días a la floración para el primer ciclo, y de 96 a 99 días para el segundo ciclo. Cabe señalar que en el presente estudio sólo se estudió un ciclo de floración (Cuadro 1).

Días al Corte de la Inflorescencia (DCOR)

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos estudiados. El de menor número de días al corte fue el tratamiento 13-13-13 con micorriza

(CM) (183.5 días) y el de más días fue 15-30-15 CM (192.5 días).

Número de Flores al Corte de la Inflorescencia (FLO-CO)

Esta variable presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos al realizar la comparación de medias de Tukey. Los tratamientos 19-31-17 y 15-30-15 CM (3.5 y 3.25 flores, respectivamente) presentaron el mayor promedio en número de flores al momento del corte, efectos probablemente atribuibles al contenido de P en su formulación; en tanto que el tratamiento 13-13-13 (0.50 flores) presentó el menor promedio en el número de flores, así como mayor senescencia de botones y menor cantidad de inflorescencias cosechadas. Similar efecto se observó en el tratamiento 20-20-20 CM (0.75 flores), aunque éste tuvo flores de mayor calidad.

Las especies de *Phalaenopsis* difieren en el número de flores en la inflorescencia (Sessler, 1978; McVaugh, 1985; Krisa, 1993; Kuang y González, 1993), de las cuales además se han originado muchos híbridos interespecíficos con una gran variedad en el número de flores. Wang y Gregg (1994) mencionan que en un estudio realizado durante dos ciclos de floración se obtuvieron el promedio de seis a ocho flores para el primer ciclo y de 0.5 a 7.8 para el segundo ciclo. En esta investigación el criterio para el número de flores se consideró a dos variables: días al corte de la inflorescencia (FLO-CO), y vida de postcosecha (UPOST) en que llegaron a abrir nuevos botones florales lo que representó un valor intermedio (3.5 flores), debido a que el origen de estas plantas es

Cuadro 1. Relación hoja/raíz promedio por tratamiento y medias de variables de producción en plantas de *Phalaenopsis*.

Tratamiento	H/R [†]	FLO-CO	B1	B2	B3	DFLO	DCOR	VPOST	PINF
15-30-15 CM	0.660	3.25	5.75	5.5	0.50	178.50	192.5	33.0	16.18
13-13-13 SM	0.565	0.50	4.25	1.5	4.50	132.25	190.0	25.0	2.89
15-30-15 SM	0.451	2.66	5.66	5.5	4.00	180.33	188.0	21.7	21.83
19-31-17 CM	0.614	1.75	3.75	3.5	1.50	133.50	185.0	34.6	10.42
20-20-20 SM	0.486	2.25	4.50	4.0	2.00	184.00	188.7	30.0	15.36
19-31-17 SM	0.438	3.50	5.75	4.2	1.25	178.50	185.7	38.0	19.20
20-20-20 CM	0.493	0.75	5.00	3.0	6.00	179.00	187.5	21.5	4.99
13-13-13 CM	0.307	1.75	4.75	2.2	1.75	174.25	183.5	27.7	12.52

[†] H/R = Relación hoja/raíz peso seco.

FLO-CO = Número de flores al corte.

B1 = Número de botones 1^{er} corte y muestreo.

B2 = Número de botones 2^o corte y muestreo.

B3 = Número de botones en abscisión.

DFLO = Días a floración.

DCOR = Días al corte de la inflorescencia.

VPOST = Vida postcosecha, en d.

PINF = Peso de la inflorescencia, en g.

in vitro y se desarrollaron en condiciones ambientales diferentes a las realizadas por los autores citados.

Número de Botones al Corte de la Inflorescencia (B1, B2)

Aunque no se presentaron diferencias estadísticamente significativas, se pueden observar diferencias numéricas entre los tratamientos. Las fórmulas 19-31-17 SM, 15-30-15 CM y 15-30-15 SM con 6.75, 5.75 y 5.66 botones por inflorescencia, respectivamente, para el primer muestreo; para el segundo muestreo 5.5, 5.5 y 4.25 botones para los tratamientos 15-30-15 SM, 15-30-15 CM y 19-31-17 SM, respectivamente, fueron los tratamientos que presentaron el mayor número de botones en los muestreos realizados.

Los tratamientos que presentaron mayor número de botones corresponden a las dosis altas de fósforo en su formulación 15-30-15 y 19-31-17, con 22.5 y 23.25 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente. Estas fórmulas son apropiadas para floración (Sessler, 1978; Kuang y González, 1993).

Número de Botones en Abscisión

Existieron inflorescencias en las cuales la mayoría de los botones fueron abortados, como fue el caso de los tratamientos 13-13-13 SM y 20-20-20 CM, trayendo como consecuencia la disminución del número de flores al momento del corte; los tratamientos con menos botones en abscisión corresponden a 19-31-17 CM, 19-31-17 SM y 15-30-15 CM. Este fenómeno se empezó a presentar desde el 10 de abril de 1997 hasta el corte de la última inflorescencia en todos los tratamientos, sin embargo, al realizar el análisis estadístico no hubo diferencias significativas.

Las posibles causas de la abscisión pueden ser: Las concentraciones a nivel crítico o bajo de calcio son 2.0 ó 1.0 a 1.49% en hojas según Reuter y Robinson (1988) y Benton *et al.* (1991), respectivamente. Por lo tanto, la deficiencia de este nutrimento pudo causar abscisión de flores, así lo consideran Hewitt (1963), Millikan y Hanger (1964) y Nightingale y Smith (1968). En esta investigación el promedio encontrado en hojas SM o CM fue de 0.61 ó 0.66 mg g^{-1} siendo bajo respectivamente (Cuadro 2); no se controló calcio, sólo se utilizó la dosificación empleada por los

productores, lo cual permite concluir que el nivel de calcio en botones no fue el óptimo.

Además, donde se realizó el experimento, para controlar las bajas temperaturas, se recurrió a un sistema de calentamiento con quemadores de gas, se estima que se presentaron diferentes concentraciones de etano, propileno y etileno (Hicenton, 1988), que pudiendo haber propiciado la abscisión, en particular el etileno que es reconocido por su capacidad de inducir senescencia de flores, entre ellas la de algunos géneros de orquídeas (Danula y Reid, 1985).

Longitud de la Primera Flor

Para esta variable no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio, pero numéricamente el tratamiento 15-30-15 SM presentó la mayor longitud (8.9 cm) y los tratamientos 20-20-20 CM y 13-13-13 SM (ambos con 4 cm) fueron los de menor longitud.

La American Orchid Society (1988) indica como longitud promedio para flores de *Phalaenopsis* 7.8 cm; en este estudio se registró un promedio de 8.4 cm para los mejores tratamientos, cuyo efecto está asociado con mayor contenido de fósforo.

Vida Postcosecha

Para esta variable el tratamiento con mayor número de días de postcosecha fue el 19-31-17 SM (38 días). El de 20-20-20 CM tuvo el menor período (21.5 días); sin embargo, este tratamiento superó el período de postcosecha de la inflorescencia producida por el testigo. Se incluyó para fines de comparación una exposición durante 15 días de vida de florero en las mismas condiciones. No se hizo análisis estadístico de estos datos. Los resultados obtenidos concuerdan con lo mencionado por Goh y Arditti (1981) quienes dicen que para esta planta las flores tienen una longevidad de 35 días, sin mencionar si es de vida postcosecha en maceta o florero (Cuadro 1).

Concentración de Nutrientes en Raíces, Hojas, Escapos y Flores

Se encontraron diferentes concentraciones de nutrientes en los órganos de las plantas de *Phalaenopsis* (Cuadro 2). Smith (1988) indica que las diferencias genotípicas, edad del tejido y la interacción

de los nutrimentos con el ambiente son factores que influyen en la concentración de los nutrimentos en una planta. Benton *et al.* (1991) mencionan que la concentración de los nutrimentos difiere no solamente entre plantas, sino también en los órganos de la misma, el estado fisiológico del tejido, posición del tejido en la planta y disponibilidad de los nutrimentos en el sustrato, lo cual se corrobora con los resultados obtenidos. Partiendo de la premisa y observaciones realizadas por los autores citados, se puede apreciar que la concentración de N, P y K en raíces de plantas micorrizadas fueron concentraciones más altas de estos nutrimentos en todos los tratamientos a excepción del tratamiento 19-31-17 CM (Cuadro 2). Barea (1991) considera que el incremento del contenido de nitrógeno en las plantas micorrizadas está relacionado con la nutrición fosforada que promueven las micorrizas al aumentar la concentración de fósforo en las plantas, se satisfacen los elevados requerimientos de ATP que conlleva el proceso de fijación de N₂. En hojas, el P y K presentan los valores más altos en los tratamientos 20-20-20 CM y 19-31-17 CM; basándose en la tabla de interpretación de concentración foliar de Benton *et al.* (1991), los niveles nutrimentales encontrados (Cuadro 2) son suficientes. En flores se observó que los niveles de N, P y K en los tratamientos 13-13-13 CM y 19-31-17 CM tuvieron las concentraciones más elevadas de estos nutrimentos (Cuadro 1). Lo anterior permite concluir, a falta de tablas de interpretación para raíces y flores, que la combinación de fertilización, con inoculación de micorrizas, trae como consecuencia una respuesta positiva en la producción de orquídeas (Poole y Seeley, 1978).

Observación y Muestreo de Micorrizas en las Raíces

En el microscopio se observaron la formación de los pelos epidérmicos y la división del meristemo apical, posteriormente se diferenció un meristemo corto y se aumentó considerablemente, indicando el firme establecimiento de la condición simbiótica. La proliferación del hongo se restringió a la región cortical, sin embargo, en la región central de la raíz, el hongo sufrió una desorganización celular y el grosor de la hifa perdió su forma regular. Con la división de células en el meristemo, la hifa rápidamente penetró las nuevas células y comenzó la formación de los pelotones, los cuales se digirieron durante el

Cuadro 2. Concentración de nutrimentos en diferentes órganos de plantas de *Phalaenopsis* (mg g⁻¹).

	Tratamiento [†]	N	P	K	Ca
Raíces	13-13-13 SM	16.1	4.0	16.1	0.64
	20-20-20 SM	21.4	5.3	15.1	0.52
	15-30-15 SM	17.5	5.0	13.1	0.05
	19-31-17 SM	20.0	8.3	20.0	0.43
	13-13-13 CM	19.6	4.5	19.0	0.43
	20-20-20 CM	23.1	6.5	24.3	0.39
	15-30-15 CM	19.3	7.0	19.4	0.34
	19-31-17 CM	17.9	8.1	15.7	0.67
Hojas	13-13-13 SM	20.3	4.3	17.4	0.84
	20-20-20 SM	23.5	5.0	30.5	0.72
	15-30-15 SM	16.1	7.8	23.3	0.25
	19-31-17 SM	18.6	5.3	31.4	0.63
	13-13-13 CM	20.7	0.4	24.9	0.63
	20-20-20 CM	19.3	5.3	42.6	0.59
	15-30-15 CM	15.1	4.7	21.3	0.54
	19-31-17 CM	17.9	5.9	40.0	0.87
Escapos	13-13-13 SM	19.6	5.5	25.6	0.08
	20-20-20 SM	20.3	5.8	24.6	0.09
	15-30-15 SM	17.5	7.2	29.8	0.10
	19-31-17 SM	19.3	0.5	20.3	0.10
	13-13-13 CM	18.4	2.8	25.6	0.07
	20-20-20 CM	16.8	0.5	22.0	0.06
	15-30-15 CM	13.7	5.5	33.5	0.07
	19-31-17 CM	18.2	5.0	12.8	0.06
Flores	13-13-13 SM	13.3	0.8	53.1	0.19
	20-20-20 SM	20.0	0.7	48.2	0.17
	15-30-15 SM	16.1	0.6	43.6	0.12
	19-31-17 SM	10.5	7.8	44.2	0.02
	13-13-13 CM	17.5	4.5	42.2	0.12
	20-20-20 CM	9.1	0.8	50.3	0.16
	15-30-15 CM	15.4	0.7	43.0	0.16
	19-31-17 CM	19.3	6.7	47.8	0.08

[†] SM = sin micorrizas. CM = con micorrizas.

crecimiento de las plantas. Conforme, las raíces absorbentes eran formadas por las plantas y fueron infectadas por el hongo de los tratamientos 15-30-15 CM y 13-13-13 CM.

Con base en los resultados obtenidos se puede mencionar que las dosis y las formulaciones de fertilización influyen en la eficiencia de la micorriza. Por ejemplo, en el Cuadro 1 se puede comparar el efecto inducido por el tratamiento 15-30-15 CM en las variables de producción en relación con el tratamiento 19-31-17 CM. Son evidentes las ventajas del primer tratamiento antes mencionado.

CONCLUSIONES

1. El tratamiento 19-31-17 SM presentó mayor número de botones en el primer muestreo, mayor número de flores al momento del corte y 38 días de vida postcosecha.
2. El tratamiento 15-30-15 CM presentó la relación hoja/raíz peso seco más alta, produjo el mayor número de botones en el segundo muestreo, el menor número de botones en abscisión; la longitud de flores fue aceptable y de calidad comercial, aunque de florecimiento tardío.
3. La concentración de N, P y K en raíces de las plantas micorrizadas tuvieron los valores más altos de estos nutrimentos en los tratamientos 13-13-13 CM, 20-20-20 CM y 15-30-15 CM.
4. Se comprobó la micorrización de las plantas adultas de *Phalaenopsis* con *Rhizoctonia solani* en los tratamientos 15-30-15 CM y 13-13-13 CM:

LITERATURA CITADA

- American Orchid Society. 1988. Manual sobre el cultivo de orquídeas. González J.D., F. Henríquez y M. de Satori (trds.) American Orchid Society, Inc. USA.
- Barea, J.M. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. *Adv. Soil Sci.* 15: 1-40.
- Benton Jr., J.J., B. Wolf y H.A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide.* Micro-Macro Publishing, Inc. USA.
- Bradfield, E.G. y D. Spencer. 1965. Leaf analysis as a guide to the nutrition of fruit crops: Determination of magnesium, zinc, and copper by atomic absorption spectroscopy. *J. Sci. Food Agr.* 16: 33-38
- Chapman, H. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Trillas. México.
- Danula, M. y M.S. Reid. 1985. The role of plant hormones in the postharvest life of the cut flower. *Acta Horticulturae* 167: 79-93
- Duddridge, J.A. y D.J. Read. 1982. An ultrastructural analysis of the development of mycorrhizas in *Monotropa hypopitys* L. *New Phytol.* 92: 203-214.
- Goh, C.J. y J. Arditti. 1981. Orchidaceae. pp. 309-335. *In: CRC Handbook of flowering.* Vol. 1.
- Hicenton, P.R. 1988. CO₂ enrichment in the greenhouse. Principles and practice. *Growers Handbook Series.* A.M. Armitage (ed.). Timber Press Portland, Oregon.
- Hewitt, E.S. 1963. Plant physiology: pp. 137-360. *In: F.C. Steward (ed.). The essential nutrient elements: requirements and interactions in plants.* Academic Press, USA.
- Krisa, B. 1993. Orquídeas: Joyas vivientes. pp. 94-129. *In: Enciclopedia de plantas con flor.* Susaeta, España.
- Kuang, J.C. y L. González V. 1993. Introducción al cultivo y manejo de las orquídeas. Inst. Nac. de Aprendizaje. Dirección de Docencia. Fitotecnia. San José, Costa Rica.
- Manrique, L.A. 1993. Greenhouse crops: A review. *J. Plant Nutrition* 16(12): 2411-2477.
- McVaugh, R. 1985. Flora Novo-Galiciana. A descriptive account of the vascular plants of Western Mexico. *Orchidacea* 16: 363. University of Michigan, USA.
- Millikan, C.R. y B.C. Hanger. 1964. Effect of calcium level in the substrate on the distribution of Ca-45 in subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). *Aust. J. Biol. Sci.* 17: 823-844.
- Nightingale, H.I. y R.L. Smith. 1968. Collapse of alfalfa petioles and their calcium content. *Agron. J.* 60: 475-477.
- Phillips, J.M. y D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Plenchette, Ch. 1982. Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules (VA): Un potentiel à exploiter en agriculture. *Phytoprotection* 63: 86-102.
- Poole, A.H. y J.G. Seeley. 1978. Nitrogen, potassium and magnesium nutrition of three orchid genera. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103(4): 485-488.
- Reuter, D.J. y J.B. Robinson. 1988. *Plant analysis. An interpretation manual.* Inkata Press, Melbourne, Sidney, Australia.
- Salinger, J.S. 1991. *Cymbidium.* pp. 245-259. *In: Producción comercial de flores.* Acribia, España.
- Sessler, J.G. 1978. *Orchids and how to grow them.* 1st ed. Prentice-Hall, Inc. Englewood, Cliffs, N.J.
- Smith, F.W. 1988. Interpretation of plant analysis. Concepts and principles. pp. 1-12. *In: D.J. Reuter y J.E. Robinson (eds.) Plant analysis. An interpretation manual.* Inkata Press, Melbourne, Sydney, Australia.
- Strullu, D.G. 1982. L'association mycorrhizienne. *Comptes rendues des séances de l'Académie d'Agriculture de France* 68(5): 344-346.
- Wang, Y.T. y L.L. Gregg. 1994. Medium and fertilizer affect the performance of *Phalaenopsis* orchids during two flowering cycles. *HortSci.* 29(4): 269-271.

ABSORCION DE NITRATO Y AMONIO POR PLANTAS DE NOPAL EN HIDROTONIA

Nitrate and Ammonium Uptake by Cactus Pear in Hydroponics

Clemente Gallegos-Vázquez¹, Emilio Olivares-Sáenz, Rigoberto Vázquez-Alvarado y Francisco Zavala-García²

RESUMEN

El nitrógeno (N) es el elemento de mayor influencia en el crecimiento de cualquier cultivo y del nopal para nopalito (*Opuntia ficus-indica*). Sin embargo, son muy escasos los estudios que se han realizado para establecer las bases relacionadas con la fuente, dosis y época de suministro del fertilizante nitrogenado en función de la capacidad de extracción y selectividad por la planta del nopal. El objetivo del presente trabajo fue detectar la cinética de la absorción de los iones NO_3^- y NH_4^+ en *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en función de la fuente nitrogenada en la solución nutritiva. Para tal efecto se usó $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ y $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ como fuentes de N a una concentración de 150 mg L^{-1} . Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con siete repeticiones. La unidad experimental estuvo representada por una planta. La velocidad de absorción de los iones se estimó por el método de agotamiento en la solución. En los resultados se observó una mayor absorción de nitrógeno con N- NO_3 como fuente nitrogenada en la solución nutritiva; esta mayor absorción de N- NO_3 se asoció con una mayor producción de materia seca de los brotes y un incremento en el pH de la solución nutritiva comparado con el N- NH_4 .

Palabras clave: Metabolismo del N, fuentes de N, reducción del nitrato, *Opuntia*.

¹ Centro Regional Universitario Centro Norte, Universidad Autónoma Chapingo. Apartado Postal 196, 98000 Zacatecas, Zac., México. Telefax (492) 46147.
e-mail: clemgava5@hotmail.com

² Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Apartado Postal 358, 66450 San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. Telefax (824) 80022.

Recibido: Junio de 1998.

Aceptado: Octubre de 2000.

SUMMARY

Nitrogen (N) is the element that most influences growth of all crops, including cactus pear (*Opuntia* sp.) grown for 'nopalitos.' However, there are few studies that establish the bases relative to source, dosage, and time of application of nitrogenous fertilizers in function of the plant's capacity for extraction and selectivity. The objective of this study was to study kinetic absorption of NO_3^- and NH_4^+ ions by *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ were used as sources of nitrogen at a concentration of 150 mg L^{-1} . The experimental design was randomized complete block with seven replications. The experimental unit was one plant. The speed of ion absorption was estimated with the depletion method. Results showed higher nitrogen absorption with N- NO_3 as the nitrogen source in the nutrient solution. Absorption was associated with higher production of dry matter in the young pads and a higher pH in the nutrient solution compared with plants with N- NH_4 as the nitrogen source.

Index words: N metabolism, N sources, nitrate reduction, *Opuntia*.

INTRODUCCION

En estudios de fertilidad y nutrición de agaves y cactus, se ha dado mayor énfasis al nitrógeno (N), debido a que este elemento tiene mayor influencia en su crecimiento (Nobel, 1988). En México, la gran mayoría de los trabajos realizados sobre este tema se han llevado a cabo mediante tratamientos de prueba y error, sin que existan las bases teóricas y técnico-científicas relacionadas con las fuentes, dosis y épocas de aplicación de los nutrimentos en función de la capacidad de extracción y selectividad de los mismos por la planta del nopal.

Epstein (1972), Mengel y Kirkby (1987), Jingquan y Dewei (1988), Hageman (1992), Maldonado (1993) y Salisbury y Ross (1994) han documentado ampliamente que las plantas pueden utilizar NO_3^- y NH_4^+ como fuente de nitrógeno. Sin embargo, no está perfectamente definida la forma de nitrógeno (NO_3^- o NH_4^+) adecuada para obtener la máxima productividad de la cosecha. Mengel y Kirkby (1987) reportaron los resultados de diversos trabajos, a partir de los cuales se estableció que muchas especies de plantas crecen mejor cuando son suministradas con NO_3^- que con sales de NH_4^+ . Hageman (1992) consideró que tal respuesta es válida, especialmente cuando las condiciones culturales son optimizadas para cada fuente de N, reconociendo que bajo muchas condiciones de campo, la pregunta es difícil de responder debido a que bajo condiciones favorables para el crecimiento de la planta, los microorganismos del suelo convierten rápidamente el NH_4^+ a NO_3^- . Al respecto, Mengel y Kirkby (1987) agregaron que en contraste con el NO_3^- , el NH_4^+ , debido a sus propiedades catiónicas, es fuertemente adsorbido por arcillas minerales cargadas negativamente, tales como la illita, vermiculita y montmorillonita. Estos autores reportan que los suelos ricos en este tipo de arcillas, contienen frecuentemente cantidades que pueden mediar entre 2000 y 3000 kg ha^{-1} de NH_4^+ fijado.

En relación con los efectos de N- NO_3^- y N- NH_4^+ , solos o combinados, ha sido documentado que una proporción óptima de NH_4/NO_3 favorece el crecimiento de la planta de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Jingquan y Dewei, 1988) y rendimiento (Kwak *et al.*, 1989), mientras que una absorción y acumulación excesivas de NH_4^+ pueden causar toxicidad y concentración baja de Ca y Mg en el tejido de tomate (Jingquan y Dewei, 1988). De acuerdo con Sandoval (1992), en el caso del trigo (*Triticum aestivum* L.), es posible obtener una mayor producción de grano y de materia seca cuando se emplea NH_4^+ en relaciones menores que o iguales a 50% de la cantidad de N que cuando la planta es suministrada exclusivamente con NO_3^- .

Hageman (1992), después de realizar un análisis del efecto de las formas de N sobre el crecimiento de las plantas, concluyó que, pareciera que "no existe nada nuevo bajo el sol" y que las conclusiones logradas por Arnon en 1937, hoy día parecen ser igualmente válidas, en el sentido de que las sales de NO_3^- son consideradas como la "caja de caudales" para la producción de plantas. Sin embargo, existen excepciones para este enunciado, ya que la fuente

preferente para el crecimiento de la cosecha depende de la especie de la planta y otros factores ambientales, como temperatura y humedad. En este contexto, Griffith y Streeter (1994) reportaron que bajo temperaturas frías y condiciones de suelo húmedo (con frecuencia inundado), el NH_4^+ es la forma nitrogenada más importante para el crecimiento y desarrollo del ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam. cv. Surrey).

Asimismo, Cao y Tibbitts (1994) argumentaron que el valor del pH en la zona de raíces es influenciado por la forma nitrogenada (NH_4^+ o NO_3^-) que se utiliza en la fertilización; con fertilización y absorción de NO_3^- , el valor del pH se incrementa, mientras que con fertilización y absorción de NH_4^+ el pH se disminuye. Se ha reportado que la temperatura y el pH del medio radicular afectan diferencialmente la absorción de ambos tipos de iones. Hageman (1992) sostuvo que la absorción de NH_4^+ fue altamente dependiente de la temperatura (óptima 27 °C) cuando el pH fluctuó entre 4.0 y 6.5 y fue independiente de ésta a un intervalo de pH de 6.5 a 8.5. En tanto, la absorción de NO_3^- fue altamente dependiente de la temperatura con un óptimo de 35 °C.

La absorción de cualquiera de las dos formas nitrogenadas ha sido asociada con condiciones favorables de pH existentes en el medio de crecimiento. Se ha encontrado en varias especies de cultivos que los incrementos en el pH promueven la absorción de NH_4^+ , mientras que una reducción del mismo favorece la absorción de NO_3^- (Cao y Tibbitts, 1994). En general, un medio nutritivo con un pH de 4.5 a 6.0 se considera óptimo para la absorción de NO_3^- , mientras que un pH de 6.0 a 7.0 se considera el óptimo para el NH_4^+ (Hageman, 1992).

Finalmente, el N absorbido por las raíces de las plantas es trasladado en el xilema a las partes superiores de la planta. La forma en la cual el nitrógeno es transportado depende de la fuente de N absorbida y del metabolismo de la raíz. La forma y cantidad de nitrógeno suministrado a la planta puede influenciar la separación y acumulación de carbohidratos en diferentes partes de la misma, debido a diferencias en requerimientos energéticos de la absorción y asimilación del N- NH_4 y N- NO_3 . En medios hidropónicos, Jingquan y Dewei (1988) evaluaron el efecto de diferentes formas de nitrógeno en tomate y reportan que los tratamientos consistentes en NH_4^+ solo y NH_4^+ más amidas produjeron el contenido de azúcares solubles más alto; sin embargo,

los autores recomendaron que se requerian de más estudios para dilucidar si este incremento en el azúcar soluble fue causado por la absorción directa del NH_4^+ sin la necesidad del proceso de la reducción asimilable del NO_3^- .

Aunque el efecto de la forma de nitrógeno sobre el crecimiento de las plantas ha sido objeto de un gran número de estudios, aún existen fuertes discrepancias en los resultados (Mengel y Kirkby, 1987; Cao y Tibbitts, 1994; Griffith y Streeter, 1994; Osaki *et al.*, 1995a,b), sobre todo si se consideran la especie de la planta y otros factores ambientales, tales como temperatura, humedad y pH del suelo. En adición a lo anterior, el estado nutrimental mineral de las plantas, el cual afecta de muchas maneras su actividad metabólica, ha sido estudiado en detalle para plantas C_3 y C_4 , en tanto que las plantas CAM en general y el nopal en particular han recibido una escasa atención, de manera que son pocos los estudios que revelan el efecto de los iones minerales sobre este tipo de plantas (Nobel, 1983).

Con base en lo precedente, se realizó el presente experimento en el cual se estableció como objetivo principal estudiar la cinética de la absorción de los iones NO_3^- y NH_4^+ en nopal en función de la fuente nitrogenada en una solución hidropónica.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se desarrolló en las instalaciones de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Se utilizaron plantas del clon de nopal para verdura *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., las cuales se habían establecido previamente en macetas de 25 cm de diámetro por 25 cm de altura, con drenaje en el fondo; se usó arena de río (Cuadro 1) como medio de soporte.

La arena de río se pasó por una malla de 2 mm y se lavó con una solución de ácido sulfúrico (0.2%). Las plantas se establecieron en el mes de junio de 1995 y se mantuvieron por un periodo de ocho meses; se les suministraron dos riegos por semana con una solución nutritiva estándar, utilizada con éxito por

Calderón (1997) en estudios de tres especies de nopal, cuya composición fue la siguiente: N (150 mg L^{-1}), P (40 mg L^{-1}), K (225 mg L^{-1}), Ca (210 mg L^{-1}), Mg (40 mg L^{-1}), Fe (12 mg L^{-1}), Mn (2 mg L^{-1}), Cu (0.1 mg L^{-1}), Zn (0.25 mg L^{-1}), Mo (0.05 mg L^{-1}) y B (0.6 mg L^{-1}).

Las plantas enraizadas se extrajeron mediante lavado con agua corriente de manera de no lastimar la raíz, la cual se lavó además con agua destilada, y finalmente fueron transferidas el 12 de marzo de 1996 a recipientes de plástico con soluciones nutritivas aireadas, con un pH que se ajustó a 5.8. Las cubiertas de los recipientes se acondicionaron a fin de dar cabida a las plantas, cada agujero se ajustó con hule espuma para una mejor posición de los cladodios y evitar en lo posible pérdidas de solución por evaporación; asimismo a cada tapa se le hicieron dos orificios, uno para la toma de muestras y reposición de solución y otro para el acceso de las mangueras de aireación.

Las plantas se mantuvieron por un periodo de diez días con la solución nutritiva al 50% de la concentración original. Posteriormente, la solución nutritiva se volvió a cambiar por otra con 50 % de la concentración inicial pero sin nitrógeno; las plantas se mantuvieron en esta condición durante otro periodo de 10 días con el propósito de inducir la absorción de nitrógeno. Después de este tiempo, las soluciones se cambiaron por aquellas que incluyeron N- NO_3^- y N- NH_4^+ : $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ y $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Las dos soluciones nutritivas se prepararon a la misma concentración (150 mg L^{-1} de N). En el Cuadro 2 se presenta la composición química completa de las soluciones nutritivas utilizadas, en tanto que en el Cuadro 3 se presentan las concentraciones de aniones y cationes de ambas soluciones.

Para evitar la posible nitrificación, antes de diluir el $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ se aplicó el inhibidor de la nitrificación N-SERVE 24 a razón de 2% (peso/peso) con base en N- NH_4 suministrado.

Los tratamientos evaluados fueron: $\tau_1 = \text{N-NO}_3^-$ y $\tau_2 = \text{N-NH}_4^+$, como fuentes de nitrógeno. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar, con siete

Cuadro 1. Algunas características físicas y químicas del sustrato utilizado en este estudio.

Textura			CC [†]	PMP	HA	pH	CE	N	K	Ca	Mg
Arcilla	Limo	Arena									
----- % -----			----- % -----			dS m ⁻¹		%		----- mg L ⁻¹ -----	
4.0	6.0	90.0	5.84	3.5	2.27	7.6	0.081	0.07	6.4	38.2	10.5

[†] CC = Capacidad de campo. PMP = Punto de marchitez permanente. HA = Humedad aprovechable. CE = Conductividad eléctrica.

Cuadro 2. Composición de las dos soluciones nutritivas de acuerdo con las fuentes nitrogenadas utilizadas.

Elemento	Concentración mg L ⁻¹	Fuente (Comp. químico)	Cantidad requerida	
			Tratamiento	
			N-NO ₃	N-NH ₄
----- g 100 L ⁻¹ -----				
N	150	KNO ₃	2.163	-
		Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	123.90	-
		(NH ₄) ₂ SO ₄	-	70.809
P	40	KH ₂ PO ₄	17.56	17.560
K	225	K ₂ SO ₄	37.056	38.923
Ca	210	CaCl ₂ ·2H ₂ O	-	58.153
Mg	40	MgSO ₄ ·7H ₂ O	41.078	41.078
g para preparar 1000 L de solución patrón				
B	0.6	H ₃ BO ₃	3.4320	3.4320
Mn	2.0	MnSO ₄ ·4H ₂ O	0.6091	0.6091
Zn	0.2	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.8794	0.8794
Cu	0.1	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.3929	0.3929
Mo	0.05	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	0.0920	0.0920
Fe	12.0	Maxiquel Fe 930 [†]	71.42	71.42

[†] El Fe se aplicó en forma de EDTA con 7% de Fe.

repeticiones. La unidad experimental consistió en una planta.

Se tomaron muestras (25 mL) de la solución nutritiva de cada contenedor a los 5, 10, 15, y 20 días después del inicio del ensayo (DDIE), manteniendo el volumen constante mediante la adición diaria de agua deionizada, sin cambiar la solución; asimismo, se determinaron diariamente el pH y la temperatura de la solución; para ello se utilizaron el potenciómetro y un sistema de termopares, respectivamente. La determinación de N-NO₃ se hizo mediante el método para el análisis de agua y aguas residuales propuesto por Clesceri *et al.* (1989). Para la determinación del N-NH₄ se utilizó el método Kjeldahl. La velocidad de absorción de los iones se estimó por el método de agotamiento empleado por Olivares (1987), a partir del cual se construyeron las curvas de absorción para cada ion respectivo.

En la etapa final del ensayo (20 DDIE), 25 días después de establecidos los tratamientos, se tomaron

muestras de raíz y tallo (cladodio basal y brotes), las cuales se secaron a 65 °C durante 72 horas y se cuantificó tanto la materia seca de los brotes producidos (MSB) como la de la raíz (MSR).

Para el análisis estadístico se empleó el software del Statistical Analysis System (SAS, ver. 6.11) disponible para el ambiente windows; también se incluyó el análisis de varianza y correlación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados del experimento (Cuadro 4) indican que existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los niveles de absorción de nitrógeno en función de la fuente nitrogenada en la solución nutritiva. Estas diferencias se mostraron en cada fecha de observación (Figura 1) y en la absorción acumulada; se registró una mayor absorción de nitrógeno en el tratamiento que incluyó N-NO₃ comparado con el que se suministró N-NH₄.

Cuadro 3. Balance de aniones y cationes de las dos soluciones nutritivas empleadas (meq L⁻¹).

Cationes	Solución nutritiva (tratamiento)						
	N-NO ₃		N-NH ₄				
	Cationes	Aniones	Cationes	Aniones			
		NO ₃ ⁻	10.70	NH ₄ ⁺	10.70		
K ⁺	5.76	H ₂ PO ₄ ⁻	1.29	K ⁺	5.76	H ₂ PO ₄ ⁻	1.29
Ca ⁺⁺	10.50	SO ₄ ²⁻	7.59	Ca ⁺⁺	10.50	SO ₄ ²⁻	18.46
Mg ⁺⁺	3.33			Mg ⁺⁺	3.33	Cl ⁻	7.91

Cuadro 4. Nitrógeno absorbido en diferentes fechas de medición y materia seca producida por plantas de *Opuntia ficus-indica* en condiciones de hidroponia.

Fuente nitrogenada	Absorción acumulada de nitrógeno				MSB	MSR
	5 DDIE [†]	10 DDIE	15 DDIE	20 DDIE		
	----- mg L ⁻¹ -----				----- g planta ⁻¹ -----	
N-NO ₃	38.457 a	83.07 a	130.80 a	137.35 a	51.759 a	25.177 a
N-NH ₄	29.800 b	68.86 b	111.68 b	131.54 a	41.782 b	20.833 a

Medias con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes α=0.05.

[†] DDIE = Días después de iniciado el ensayo. MSB = Materia seca en brotes. MSR = Materia seca en raíz

Aunque el efecto de la forma nitrogenada sobre el crecimiento de las plantas ha sido objeto de un gran número de estudios, aún existen fuertes discrepancias en los resultados, se acepta que la fuente preferente depende de la especie de la planta y otros factores ambientales. Para el caso particular de la planta de nopal en soluciones nutritivas aireadas, la mayor absorción de nitrógeno en forma de N-NO₃, se asoció también con una mayor cantidad de materia seca de los brotes producidos (MSB), en promedio fue 20% mayor que cuando se suministró N-NH₄ (Cuadro 4) y se observó una tendencia similar en materia seca de la raíz, aunque no se registraron diferencias estadísticamente significativas.

En la Figura 1 se aprecia una tendencia clara de la mayor absorción de nitrógeno en forma de N-NO₃; sin embargo, se registró una deflexión en la absorción de ambos tipos de iones en la última fecha de observación (20 DDIE), siendo de mayor magnitud en el caso del N-NO₃. Esta tendencia podría ser, en cierto modo, debido a que para la última fecha se había consumido aproximadamente 96% del N-NO₃ suministrado en la solución nutritiva, lo cual guarda

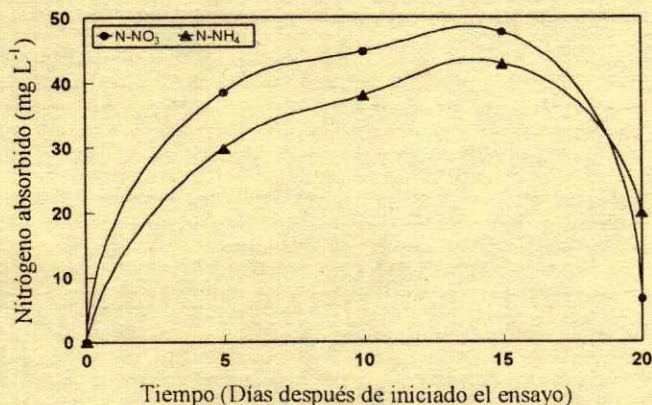


Figura 1. Dinámica de absorción de N-NO₃ y N-NH₄ en plantas de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. por periodo de muestreo en condiciones de hidroponia.

correspondencia con lo reportado por Santos *et al.* (1992), Lainé y Boucaud (1995) y Sood *et al.* (1995), quienes encontraron que la cinética de la absorción del nitrógeno es dependiente de la concentración del mismo.

Con los resultados anteriores se puede sostener que las plantas de nopal, al igual que muchas especies de plantas [Mengel y Kirkby (1987); Hageman (1992)], presentan tasas de absorción más altas y crecen mejor cuando son suministradas con NO₃⁻ que con sales de NH₄⁺.

En la Figura 2 se presenta la variación del pH de la solución nutritiva producida por las plantas de nopal al ser sometidas a los tratamientos de fuentes nitrogenadas. Los cambios registrados revelan un ligero incremento del pH de la solución nutritiva suministrada con NO₃⁻, en tanto que en el caso del tratamiento sobre la base de NH₄⁺ la modificación del pH fue a la baja en forma más marcada. El monitoreo del pH se realizó diariamente durante los 20 días que se mantuvo el experimento; sin embargo, únicamente se confeccionaron gráficas de los valores de los

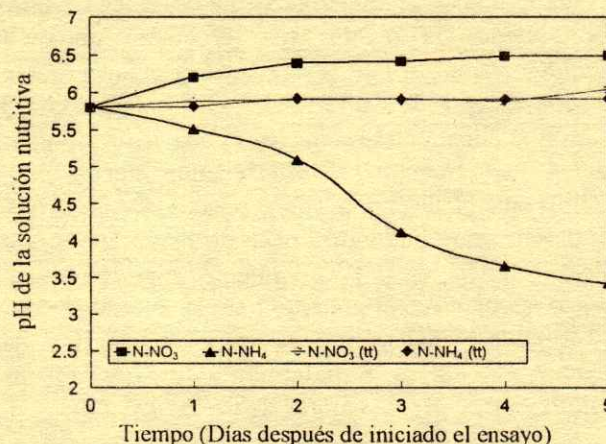


Figura 2. Cambios en el pH de la solución nutritiva producidos por plantas de *Opuntia ficus-indica* L. Mill sometidas a dos tratamientos de fuentes nitrogenadas. (tt = tratamiento testigo).

primeros cinco DDIE en virtud de que a partir de esa fecha, el pH de la solución suministrada con NH_4^+ se ajustó diariamente a pH de 5.8 unidades mediante la adición de KOH 0.5 N.

Los cambios del pH de la solución nutritiva, en el tiempo, pueden explicarse a partir del principio de electroneutralidad de las células de la planta: la carga total de cationes es igualada a la carga de aniones. Cuando un catión es absorbido por la raíz, un anión también es absorbido o un catión es liberado; así, la absorción de NH_4^+ puede ser acompañada de la liberación de H^+ y afecta con ello el pH de la vecindad de la raíz. La absorción del NO_3^- es de tipo activo, ya que su transporte al interior de la célula se reduce considerablemente cuando se inhibe la síntesis de ATP y se acepta que el NO_3^- es cotransportado con H^+ (Maldonado, 1993), con una estequiometría de $2\text{H}^+:\text{NO}_3^-$, lo cual explica la alcalinización del medio externo cuando las plantas absorben NO_3^- . Al respecto, Salisbury y Ross (1994) establecieron que los incrementos en el pH de la solución nutritiva se deben a que la absorción de NO_3^- se acompaña de absorción de H^+ o excreción de OH^- para mantener el balance de cargas. Este tipo de comportamiento ha sido documentado con anterioridad por diversos autores [Marschener (1986); Nobel (1988); Hageman (1992); Cao y Tibbitts (1994); Salisbury y Ross (1994)], con lo que se confirma que con el suministro y la absorción de NO_3^- disminuye la concentración de H^+ , mientras que con el suministro de NH_4^+ el valor del pH disminuye.

La magnitud de la reducción del pH de la solución suministrada con N- NH_4 puede explicar en cierta medida la menor producción de materia seca de tallos y raíces de las plantas que crecieron en dicho tratamiento, puesto que se registraron reducciones de pH por debajo de valores de 4.0, lo cual guarda correspondencia con lo reportado por Dirr (1975) para plantas de *Viburnum plicatum* cuando crecen en un medio con pH de 3.0 a 4.0 y se suministra N- NH_4 , condiciones que generaron peso de materia fresca de tallos y raíces significativamente más bajo, que cuando se mantuvo el pH bajo pero se suministró el N en forma de N- NO_3 o N- NO_3 más N- NH_4 , o bien que cuando se utilizó cualquiera de las mismas combinaciones pero a valores de pH de 7.0 a 8.0.

CONCLUSIONES

1. Las plantas de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., en condiciones de hidroponía, absorbieron más N cuando

fueron suministradas con N- NO_3 , que con sales de N- NH_4

2. Los valores de absorción más altos de N- NO_3 resultaron en una mayor producción de materia seca, con lo que se confirma que el nopal, así como muchas otras especies vegetales, crece mejor cuando se suministra esta forma nitrogenada.

3. El pH de la solución nutritiva cambió durante el desarrollo del experimento, se elevó en el tratamiento de N- NO_3 y disminuyó en el tratamiento con N- NH_4 , debido al balance de cargas o principio de electroneutralidad.

LITERATURA CITADA

- Amon, D.I. 1937. Ammonium and nitrate nitrogen nutrition of barley of different seasons in relation to hydrogen-ion concentration, manganese, copper and oxygen supply. *Soil Sci.* 44: 91-120.
- Calderón P., N., A.A. Estrada L. y J. de J. Martínez H. 1997. Efecto de la salinidad en el crecimiento y absorción nutricional de plantas micropropagadas de nopal (*Opuntia* spp.). pp. 165-166. In: R. Vázquez A., C. Gallegos V., N.E. Treviño H. y Y. Díaz T. (eds.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del 7o Congreso Nacional y 5o Internacional. Universidad de Monterrey, NL., México.
- Cao, W. y T.W. Tibbitts. 1994. Responses of potatoes to solution pH levels with different form of nitrogen. *J. Plant Nutr.* 17: 109-126.
- Clesceri, L.S., A.E. Greenberg y R.R. Trussell. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. 17th ed. American Public Health Association, Washington, D.C., USA.
- Dirr, M.A. 1975. Effect of nitrogen form and pH on growth, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ and total N content of container-grown doublefile viburnum. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 100: 216-218.
- Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. John Wiley Inc., New York.
- Griffith, S. M. y D. Streeter. 1994. Nitrate and ammonium nutrition in ryegrass: changes in growth and chemical composition under hydroponic conditions. *J. Plant Nutr.* 17: 71-81.
- Hageman, R.H. 1992. Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. pp. 67-88. In: R.D. Hauck, J.D. Beaton, C.A.I. Goring, R.G. Hoefl, G.W. Randall y D.A. Russel (eds.). Nitrogen in crop production. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Society of America. Madison, WI, USA.
- Jingquan, Y. y C. Dewei. 1988. Effects of different nitrogen forms on tomato grown in carbonized rice hull. *Soiless Culture* 4: 51-61.
- Kwak, Y.W., B.H. Min y J.M. Lee. 1989. Effects of nitrogen source on growth and fruit development of tomatoes grown in nutrient solution. *Cated Papers Abstracts of Communicated Horticultural Science* 7: 60-61.
- Lainé P., A.O. y J. Boucaud. 1995. Shoot control of nitrate uptake rates by roots of *Brassica napus* L.: Effects of localized nitrate supply. *Planta* 196: 77-83.

- Maldonado, J.M. 1993. Asimilación del nitrógeno y del azufre. pp. 215-236. In: J. Azcon B. y M. Talon. Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana-McGraw-Hill, Madrid.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London.
- Mengel, K. y E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. International Potash Institute, Bern.
- Nobel, P.S. 1983. Nutrient levels in cacti-relation to nocturnal acid accumulation and growth. Amer. J. Bot. 70: 1244-1253.
- Nobel, P.S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press. USA.
- Olivares S., E. 1987. Physiological differences in alfalfa populations selected for high and low P concentration. Dissertation for the Degree Doctor of Philosophy. New Mexico State University, Las Cruces, N. M.
- Osaki, M., J. Shirai, T. Shinano y T. Tadano. 1995a. ^{15}N -Allocation of $^{15}\text{NH}_4 - \text{N}$ and $^{15}\text{NO}_3 - \text{N}$ to nitrogenous compounds at the vegetative growth stage of potato plants. Soil Sci. Plant Nutr. 41: 699-708.
- Osaki, M., J. Shirai, T. Shinano y T. Tadano. 1995b. Effects of ammonium and nitrate assimilation on the growth and tuber swelling of potato plants. Soil Sci. Plant Nutr. 41: 709-719.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F.
- Sandoval V., M., G. Alcántar G., J.L. Tirado T. y A. Aguilar S. 1992. Effect of the NH_4/NO_3 ratio on GS and PEPCase activities and on dry matter production in wheat. J. Plant Nutr. 15: 2545-2557.
- Santos, Y., J.M. Almeida y R. Salema. 1992. Influence of nitrogen nutrition on growth, nitrate reductase and nitrite reductase of seedlings of maize (*Zea mays* L. cv. LG12). J. Plant Nutr. 15: 2531-2544.
- Sood, Ch. R., S.V. Chanda y Y.D. Singh. 1995. Effect of plant growth regulators on nitrate uptake and its reduction in radish cotyledons. J. Plant Nutr. 18: 2595-2607.

NIVELES CRITICOS, DE SUFICIENCIA Y TOXICIDAD DE N-NO₃ EN EL EXTRACTO CELULAR DE PECIOLOS DE TOMATE DE CASCARA

Toxicity, Sufficiency and Critical Levels of N-NO₃ in Petiole Sap of Husk Tomatoes

R. Castro-Brindis¹, P. Sánchez-García¹, A. Peña-Lomeli², G. Alcantar-González¹, G. Baca-Castillo¹ y R. M. López-Romero¹

RESUMEN

Con el propósito de generar información acerca de los niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de concentración de N-NO₃ en el extracto celular de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y su relación con el rendimiento, se estableció el presente trabajo. La investigación se realizó en invernadero de agosto a diciembre de 1997, en un sistema hidropónico abierto con riego por goteo, se usó "tezontle" rojo como sustrato y la solución nutritiva de Steiner. Se evaluaron seis potenciales osmóticos (-0.018, -0.036, -0.054, -0.072, -0.090 y -0.108 MPa) y se determinó el efecto de la disponibilidad diferencial de nutrimentos en el medio de crecimiento de la raíz sobre el potencial de rendimiento de la planta; también se estableció el grado de correlación entre los niveles críticos de N-NO₃ en el extracto celular de los pecíolos de las Hojas 3, 4 y 5, durante cuatro fases fenológicas de la planta. Los resultados obtenidos mostraron que el contenido de N-NO₃ es un buen índice para conocer el estado nutrimental de la planta y su relación con el potencial de rendimiento.

Palabras clave: Nitratos, hidroponía, diagnóstico.

SUMMARY

The purpose of this experiment was to obtain information on toxicity, sufficiency and critical levels of N-NO₃ in husk tomatoes (*Physalis ixocarpa* Brot.) and their relationship to yield. The study was conducted under a greenhouse from August to December 1997 in an open hydroponics system with drip irrigation. Red "tezontle" (volcanic gravel) was used as the growing medium with Steiner nutrient

¹ Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Texcoco, Estado de México.

² Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, 56230 Chapingo, Estado de México.

Recibido: Agosto de 1998.
Aceptado: Febrero de 2000.

solution. The effect of differential availability of nutrients in the root growth medium on the yield potential of the plant was determined. The degree of correlation between the critical levels of N-NO₃ in the petiole sap in leaves 3, 4, and 5 was established during four phenological phases of the plant. The results obtained show that the content of N-NO₃ is a good index of the nutrimental status of husk tomatoes and its yield potential.

Index words: Nitrates, soil-less culture, diagnosis.

INTRODUCCION

La expresión del potencial de rendimiento de los cultivos depende de varios factores, los internos del vegetal que están determinados por su constitución genética y otros que son de tipo externo como las condiciones climáticas, las características del suelo, factores nutrimentales, la técnica de producción y los factores bióticos. De éstos, algunos salen de manera absoluta del control humano (factores climáticos en los cultivos abiertos), otros en alguna medida pueden ser objeto de control (plagas y enfermedades), mientras que otros, como los factores nutrimentales, pueden ser controlados de manera precisa (López y Chueca, 1985; Martin-Prével et al., 1987).

Para controlar las condiciones nutrimentales de los cultivos, el diagnóstico nutrimental en el extracto celular es una herramienta útil para identificar intervalos de concentración nutrimental asociados con deficiencias, toxicidades o desbalances nutrimentales en diferentes fases fenológicas de la planta y su relación con su potencial de rendimiento (Cary, 1971; Fageria et al., 1991).

El análisis de extracto celular permite identificar y prever, desde las primeras etapas de cultivo, alguna manifestación de alteración nutrimental que afecte el rendimiento del cultivo y resume no solamente la relación planta suelo, sino también la acción de otros factores ambientales que influyen sobre el desarrollo de la planta. Por lo tanto, si se conoce una situación anormal en la nutrición de la planta, en etapas

tempranas de la misma, se puede buscar en el suelo y en los factores ambientales la causa que está produciendo esa anomalía. La mayoría de los trabajos reportan el análisis de extracto celular para diagnosticar el contenido de N-NO₃ en el extracto celular del peciolo y/o xilema, para determinar el estado nutrimental del cultivo (Constable *et al.*, 1991; Huett y White, 1991; Fox *et al.*, 1994; Schmidhalter, 1994; Westcott y Knox, 1994).

A pesar de que el cultivo de tomate de cáscara es una de las cinco hortalizas más importantes en México por su superficie cultivada, con aproximadamente 30 000 ha (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, SARH, 1993), no existe información básica y aplicada relacionada con el manejo de las condiciones nutrimentales de la planta y su relación con su rendimiento. En la medida que se cuente con esta información, será posible realizar ajustes de las prácticas de fertilización que favorezcan la expresión de rendimiento del cultivo y que permita, a la vez, hacer más eficiente el uso de los recursos suelo, planta, fertilizante y ambiente de que se dispone.

Por lo anteriormente dicho, el presente trabajo consistió en generar los niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de concentración de N-NO₃ en el extracto celular de peciolo de tomate de cáscara, en cuatro fases fenológicas y determinar su relación con el rendimiento, partiendo de la hipótesis de que las condiciones nutrimentales del cultivo en una determinada fase fenológica están relacionadas con el rendimiento.

MATERIALES Y METODOS

Para determinar las características nutrimentales del tomate de cáscara se evaluaron seis tratamientos, que consistieron en seis niveles de concentración (25, 50, 75, 100, 125 y 150%) de la solución nutritiva universal de Steiner (1984) generando, por lo tanto, seis niveles de potencial osmótico (Cuadro 1). Esto es

con el propósito de simular diferentes grados de disponibilidad nutrimental en el medio de crecimiento de la raíz y observar su efecto en el contenido de N-NO₃ en el extracto celular de la planta en cuatro fases fenológicas de desarrollo (Cuadro 2), además de determinar su relación con el rendimiento potencial del cultivo. Cada tratamiento se repitió cuatro veces y se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$) y un análisis de correlación; la unidad experimental fue una planta. Se utilizó un sistema hidropónico abierto con el propósito de no alterar la concentración iónica y el valor de pH, además de mantener de manera constante las características originales de la solución nutritiva de acuerdo con los tratamientos (Asher y Edwards, 1983). En el invernadero se colocaron seis módulos hidropónicos, cada uno de estos consistió en un depósito para la solución nutritiva con una capacidad de 200 litros, con tubería y una válvula de compuerta de PVC; todo el material utilizado para construir los módulos hidropónicos fue de material plástico con la finalidad de evitar el riesgo de provocar reacciones químicas con la solución nutritiva mediante el empleo de piezas metálicas. En cada uno de los módulos se colocaron ocho líneas regantes de material plástico semirrígido de 12 mm de diámetro para cuatro hileras de plantas; es decir, dos por cada hilera. La aplicación de la solución nutritiva se efectuó mediante dos emisores (2 L h⁻¹) autocompensables, colocados a una distancia de 50 cm sobre la línea regante por cada contenedor. El contenedor consistió en un recipiente plástico de 20 L de capacidad y se perforó para permitir el drenaje de la solución nutritiva, además se relleno con arena de tezontle rojo con una granulometría aproximada de 4 a 6 mm (Baca, 1983). Cada contenedor contenía una planta de tomate de cáscara. Las soluciones nutritivas de los tratamientos se prepararon a partir de soluciones concentradas (0.5 a 2.0 N), utilizando sales

Cuadro 1. Composición iónica y potencial osmótico de los tratamientos.

Tratamiento	Conc. %	Especies iónicas						PO MPa
		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
		----- cmol L ⁻¹ -----						
1	25	3.00	0.25	1.75	1.75	2.25	1.0	-0.018
2	50	6.00	0.50	3.50	3.50	4.50	2.0	-0.036
3	75	9.00	0.75	5.25	5.25	6.75	3.0	-0.054
4	100	12.0	1.00	7.00	7.00	9.00	4.0	-0.072
5	125	15.0	1.25	8.75	8.75	11.25	5.0	-0.090
6	150	18.0	1.50	10.5	10.50	13.50	6.0	-0.108

Conc. = Nivel de concentración de macronutrientes con relación a la solución nutritiva universal de Steiner. PO = Potencial osmótico.

Cuadro 2. Identificación de las fases fenológicas de desarrollo en la planta de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.).

Fase fenológica	Características de la planta				dde
	Hojas	Nivel de bifurcación	NBT.	Flores	
1	27 - 30	2	3	2	20
2	70 - 100	3 - 4	7 - 15	6 - 10	27
3	120 - 200	6 - 7	63 - 127	12 - 17	34
4 [†]	400 - 800	10 - 16	†	100 - 150	54

NBT. = Número de bifurcaciones en el tallo. dde = Días después del establecimiento del experimento.

† = Fase fenológica cuatro correspondiente al inicio de cosecha. † = No cuantificado.

grado reactivo (marca Monterrey) y agua de pozo profundo. Para la preparación de las soluciones nutritivas se consideró el contenido de aniones y cationes cuantificados en el análisis fisicoquímico del agua. La concentración de micronutrientes de las soluciones nutritivas permaneció constante en todos los tratamientos evaluados y fue la siguiente (en mg L⁻¹): B 0.86, Mn 1.6, Zn 0.02, Cu 0.01 y Fe 10.0 (Baca, 1995).

Las plántulas de tomate de cáscara que se usaron en el experimento tenían una edad de 25 días, inicialmente éstas se regaron con una solución nutritiva (Steiner) diluida al 20% para evitar daños por quemadura. Las características de las plántulas al momento de establecer el experimento fueron las siguientes: 6.0 cm de altura, 2.1 mm de diámetro y cuatro hojas verdaderas totalmente expandidas. El material vegetal que se utilizó en el experimento fue una familia de medios hermanos maternos (F27) obtenida a partir de la variedad "CHF1-Chapingo" de la Universidad Autónoma Chapingo.

La aplicación de las soluciones nutritivas fue de manera progresiva, debido a que en resultados de investigaciones previas (Castro *et al.*, 1997, sin publicar) se detectó que en las etapas iniciales de desarrollo de esta planta, el sistema de raíces es muy sensible a daños provocados por alto potencial osmótico de la solución nutritiva. Durante la primera semana a partir de que se inició el experimento se aplicó la solución nutritiva diluida al 25% (Tratamiento 1) a todas las plantas; a partir de la segunda semana se incrementó la concentración de la solución nutritiva al 50% (Tratamiento 2) excepto en las plantas que permanecerían en el Tratamiento 1; en la tercera semana se incrementó la concentración de la solución nutritiva al 75% (Tratamiento 3) excepto en las plantas de los Tratamientos 1 y 2; finalmente, a partir de la cuarta semana todas las plantas quedaron establecidas en los tratamientos con su respectivo nivel de concentración. Los riegos se realizaron tres veces durante el día (8:00, 12:00 y 16:00 h), dos de ellos con solución nutritiva y uno con agua acidulada

(pH = 5) con el propósito de evitar la acumulación de sales en el sustrato y no afectar los procesos de absorción-transpiración de las plantas. La cantidad de solución nutritiva o agua acidulada que se aplicó en cada riego fue variable y estuvo determinada principalmente por la edad de las plantas; durante las primeras dos semanas se aplicó 0.25 litros, 0.50 litros en las siguientes dos semanas, 0.75 litros en las siguientes cuatro semanas y a partir de la semana nueve hasta el final del experimento se aplicó un litro por riego. Para mantener la posición vertical de las plantas se colocó un sistema de tutores por cada hilera de plantas.

La parte de la planta que se tomó para obtener el extracto celular, fueron los peciolo de las Hojas 3, 4 y 5 numeradas a partir del ápice del tallo y la sección de éste en la que se encuentran insertos esos peciolo (Tserling, 1990). Las muestras se tomaron entre las 9:00 y las 10:00 h, se colocaron en bolsas de polietileno oscuro y se trasladaron inmediatamente al laboratorio en un recipiente con hielo (Alcántar y Sandoval, 1999). Después de limpiar rápidamente la muestra con agua destilada, el extracto celular fue extraído por maceración en un mortero de porcelana hasta obtener 3 a 4 mL (Hernando y Cadahia, 1973).

La determinación de la concentración de N-NO₃ se realizó a partir de un mililitro de extracto celular, por espectrofotometría (Spectronic 20) a una longitud de onda de 410 nm (Rusin, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo con el análisis de los resultados, se observó que la concentración de N-NO₃ en el extracto celular de la planta se incrementó en función de diferentes grados de disponibilidad nutrimental en la zona de raíces y a través de las distintas fases de desarrollo (Cuadro 3). Se observó también que la producción promedio de fruto por planta aumentó con la disponibilidad nutrimental creciente; pero alcanza un valor máximo en las plantas establecidas en las condiciones nutrimentales del Tratamiento 3 (solución

Cuadro 3. Efecto de tratamientos sobre la concentración de N-NO₃ en el extracto celular de peciolo de la planta de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en cuatro fases fenológicas y su relación con el rendimiento.

PO ¹	Fase fenológica				Rendimiento
	1	2	3	4	
MPa	mg L ⁻¹				kg planta ⁻¹
-0.018	600	497	633	1087	1.187 d
-0.036	833	552	934	1173	2.161 c
-0.054	1103	1247	1195	1250	3.000 a
-0.072	1103	1439	1576	1579	2.877 ab
-0.090	1103	1753	1696	1402	2.528 b
-0.108	1103	1482	1847	2012	2.945 a

Los valores con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

¹ PO = Potencial osmótico de la solución nutritiva.

nutritiva al 75%), a partir de ese punto el rendimiento disminuye. Esto significa que la determinación de N-NO₃ en el extracto celular de peciolo y tallo en diferentes fases fenológicas de desarrollo del cultivo es un índice aceptable de la respuesta de la planta a las condiciones nutrimentales donde se desarrolla (Huett y White, 1991; 1992a,b). Este tipo de información es importante, ya que permite determinar desde etapas tempranas del desarrollo del cultivo cuál será su posibilidad de producción y permite, además, establecer las medidas prácticas necesarias de corrección nutrimental mediante el ajuste de la cantidad y/o tipo de fertilizante que debe aplicarse (Nielsen, 1971). Esta información permitió establecer que, desde las primeras etapas de desarrollo de este cultivo, existió un intervalo crítico de concentración de N-NO₃ en el extracto celular de peciolo y tallos que está relacionado con las condiciones nutrimentales de la planta que le permiten expresar un mayor rendimiento (Cuadro 4), ya que los coeficientes de correlación entre la concentración de N-NO₃ y el rendimiento fueron positivos y significativos durante las cuatro fases fenológicas del cultivo; es decir, fase 1 $r^2 = 0.83$ *, fase 2 $r^2 = 0.74$ *, fase 3 $r^2 = 0.75$ * y fase 4 $r^2 = 0.73$ *. Con base en estos datos, ese intervalo crítico de N-NO₃ se encontró en el extracto celular de las plantas de los Tratamientos 3 y 4 (soluciones nutritivas al 75 y 100%, respectivamente), como se observa en el Cuadro 4, ya que a partir de esos valores se observó que cuando existió una menor concentración de N-NO₃ el potencial de rendimiento del cultivo se vio limitado en aproximadamente 40% y cuando se obtiene una concentración de N-NO₃ más alta, el rendimiento disminuye en aproximadamente 10%. De esta manera, los niveles críticos de concentración de N-NO₃, que pueden emplearse como

Cuadro 4. Rangos de concentración de N-NO₃ en el extracto celular de peciolo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en cuatro fases fenológicas y su relación con el rendimiento promedio potencial por planta.

Fase fenológica	Deficiente	Optimo	Exceso
	mg L ⁻¹		
1	600 - 800	Aprox. 1 000	> 1 100
2	400 - 600	1 200 - 1 400	1 500 - 1 700
3	600 - 900	1 100 - 1 500	1 600 - 1 800
4	1 000 - 1 200	1 200 - 1 500	1 500 - 2 000
Rendimiento (kg planta ⁻¹)	1.67	2.93	2.73

índices de las condiciones del cultivo y la relación con su rendimiento potencial, quedaron establecidos como se muestra en el Cuadro 4. A pesar de que la concentración de N-NO₃ en el extracto celular aumenta, la disminución del rendimiento no es tan drástica (10% aproximadamente); sin embargo, es necesario considerar que, para poder lograr esos niveles de concentración de N-NO₃ en el extracto celular, sería necesario emplear cantidades muy elevadas de fertilizantes, ello implicaría incrementos innecesarios en los costos de producción del cultivo; además, si se toman en cuenta otros aspectos, como la eficiencia con la cual se recuperan los fertilizantes que se aplican al suelo, esto ocasionaría problemas de contaminación al ambiente (Noordwijk y De Willigen, 1986; Olsen *et al.*, 1993). Otro aspecto, que debe tomarse en cuenta, es que en la medida que se incrementa la concentración de N-NO₃ en el extracto celular aumenta también el contenido de nitratos (NO₃) en el fruto, lo cual afecta su calidad. Así, la determinación de la concentración de N-NO₃ en el extracto celular del cultivo de tomate de cáscara, es un índice que refleja el estado nutrimental de la planta como respuesta a diferentes condiciones nutrimentales, como lo encontraron también Huett y White (1991; 1992a,b) para los cultivos de calabacita, col y papa.

CONCLUSIONES

La determinación de N-NO₃ en el extracto celular de los peciolo de las Hojas 3, 4 y 5 y de la sección del tallo donde se encuentran insertos éstos, es un índice que permite conocer el estado nutrimental y su relación con el rendimiento, en diferentes fases fenológicas del cultivo de tomate de cáscara.

Los niveles óptimos de N-NO₃ en el extracto celular de peciolo de tomate de cáscara para la fase

fenológica 1 son 1000 mg L⁻¹, para la fase 2 1200 a 1400, fase 3 1100 a 1500 y para la fase 4 1200 a 1500 mg L⁻¹.

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, AC. Chapingo.
- Asher, C.J. y D.G. Edwards. 1983. Modern solution culture techniques. pp. 94-119. In: A. Pierson, Göttingen y M.H. Zimmermann, Harvard. Encyclopedia of plant physiology. Vol. 15A. Springer-Verlag, Germany.
- Baca C., G.A. 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de los riegos, el sustrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Baca C., G.A. 1995. Notas del curso de cultivos hidropónicos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Cary, R.P. 1971. The irrationality of using leaf analysis as a unique reference to citrus fertilizer requirement. pp. 15-27. In: R.M. Samish. Recent advances in plant nutrition. Vol. 1. Gordon and Breach Science Publishers. New York, USA.
- Constable, G.A., I.J. Rochester, J.H. Betts y D.F. Herridge. 1991. Prediction of nitrogen fertilizer requirement in cotton using petiole and sap nitrate. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 22: 1315-1324.
- Fageria, N.K., B.C. Baligar y C.A. Jones. 1991. Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- Fox, R.H., W.P. Piekielek, K.E. McNeal, J.S. Schenk y J.D. Toth. 1994. Quick test for assessing nitrogen fertilizer need of maize in humid regions. pp. 113-114. In: Vol. 5B. Memorias del 15° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Gro., México.
- Hernando, V. y C. Cadahia. 1973. El análisis de savia como índice de fertilización. Manuales de Ciencia Actual No. 7. CSIC, Instituto de Edafología y Biología Vegetal, Madrid, España.
- Huett, D.O. y E. White. 1991. Determination of critical nitrogen concentrations of zucchini squash (*Cucurbita pepo* L.) cv. Blackjack grown in sand culture. Australian J. Exp. Agric. 31: 835-842.
- Huett, D.O. y E. White. 1992a. Determination of critical nitrogen concentrations of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Sebago), grown in sand culture. Australian J. Exp. Agric. 32: 765-772.
- Huett, D.O. y E. White. 1992b. Determination of critical nitrogen concentrations of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Montello), grown in sand culture. Australian J. Exp. Agric. 32: 759-764.
- López G., J. y A. Chueca S. 1985. Papel biológico de los nutrientes en la planta. pp. 1-41. In: M. Lachica G. y C. González O. Nutrición vegetal, algunos aspectos químicos y biológicos. Estación Experimental de Zaidin. Granada, España. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Santiago, Chile.
- Martin-Prével, P., J. Gagnard, P. Gautier y J. Benton J. Jr. 1987. Plant analysis, as a guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops. Lavoisier Publishing Inc. New York, USA.
- Nielsen, J.M. 1971. Diagnosis and control of nutritional disorders in cereals based on inorganic tissue analysis. pp. 63-73. In: M. Samish R. Recent advances in plant nutrition. Vol. 1. Gordon and Breach Science Publishers. New York, USA.
- Noordwijk, M. y P. de Willigen. 1986. Quantitative root ecology as element of soil fertility theory. Neth. J. Agric. Sci. 34: 273-281.
- Olsen, J.K., P.J. Lyons y M.M. Kelly. 1993. Nitrogen uptake and utilization by bell pepper in subtropical Australia. J. Plant Nutrition 16: 177-193.
- Rusin, G.G. 1990. Métodos físico-químicos de análisis de fertilidad de suelos y nutrición de cultivos. Editorial Agropromizdat, Moscú, URSS.
- SARH. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1993. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo 1. Secretaria de Programación y Presupuesto. México, DF.
- Schmidhalter, U. 1994. On-farm soil nitrate test. pp. 115-116. In: Vol. 5A Memorias del 15° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Gro. México.
- Steiner, A.A. 1984. The universal solution. ISOSC. pp. 633-649. In: Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands.
- Tserling, V.V. 1990. Diagnóstico de la nutrición de los cultivos agrícolas. Editorial Agropromizdat, Moscú, URSS.
- Westcott, M.P. y M.L. Knox. 1994. Kinetics of soil-plant nitrate relations in potato and peppermint: a model for derivative diagnosis. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25: 469-478.

INCLINACION DE LAMINAS DE FRIJOL DURANTE EL DIA

Bean Lamina Inclination During the Day

Eliseo Sosa Montes¹, María Luisa Ortega Delgado¹, J. Alberto S. Escalante Estrada¹,
E. Mark Engleman¹ y Víctor A. González Hernández²

RESUMEN

Ya que probablemente la alta intensidad luminosa provoca respuestas de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) que reducen el daño causado a su aparato fotosintético, se realizó un estudio para evaluar la planta de frijol bajo condiciones de sol y sombra, tratando de buscar algunas variables dependientes del sombreo. Inicialmente se sometieron plántulas de frijol a condiciones de sol y sombra artificial (radiación fotosintéticamente activa de 1120 y 710 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y se midieron las alturas de las plantas y longitudes de las hojas simples. Se observó que las plántulas de frijol responden al sombreo, aumentando su altura ($P < 0.05$). Posteriormente, se midieron los ángulos de peciolos y láminas en plantas de girasol (*Helianthus annuus* L.) var. Victoria, maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus coccineus* L.) cv. Ayocote y frijol (*P. vulgaris* L.) cv. Morita. En contraste con las láminas de girasol, se encontró una curva cuadrática muy característica en plantas de frijol ($P < 0.05$). Finalmente, se efectuó un trabajo con mayor número de repeticiones bajo condiciones naturales de sol y nubosidad empleando frijol (*P. vulgaris* L.) cv. Michoacán 12-A-3. La inclinación máxima para el cultivar Michoacán 12-A-3 fue a las 13:02 h (sol) y 12:55 h (nubosidad) ($P > 0.05$), y los ángulos laminares fueron estadísticamente diferentes 137 y 98° ($P < 0.01$) para días soleados y nublados, respectivamente.

Palabras clave: *Phaseolus*, sombreo, ángulo laminar.

¹ Especialidad de Botánica, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Estado de México, México.

² Especialidad de Fisiología Vegetal, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, 56230 Montecillo, Estado de México, México.

Recibido: Mayo de 1999.

Aceptado: Julio de 2000.

SUMMARY

Since high light intensities produce responses of bean plants that probably reduce damage to the photosynthetic apparatus, a study was performed to assess responses of these plants under sun and shade conditions, searching for some shade-sensitive dependent variables. First, bean seedlings were observed under full sun and artificial shade (photosynthetic active radiation of 1120 and 710 μmol of photons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), and plant heights and lengths of simple leaf were measured. It was found that the plants responded to shade by increasing their height ($P < 0.05$). Afterwards, lamina and petiole angles were obtained in sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) var. Victoria, corn (*Zea mays* L.), bean plants (*Phaseolus coccineus* L.) cv. Ayocote and bean plants (*P. vulgaris* L.) cv. Morita. In contrast to sunflower plants, bean laminae showed a very characteristic quadratic pattern of laminar inclination ($P < 0.05$). Finally, an experiment was conducted under natural sunny and cloudy conditions. This last trial was performed on bean plants (*P. vulgaris* L.) cv. Michoacán 12-A-3 and had more replications than the others. The maximum degree of inclination was at 13:02 h (sunny) and 12:55 h (cloudy) ($P > 0.05$), but the laminar inclinations were statistically different 137 and 98° for sunny and cloudy days, respectively ($P < 0.01$).

Index words: *Phaseolus*, shade, laminar angle.

INTRODUCCION

El fenómeno de orientación de la hoja ha sido estudiado ampliamente, ya sea como movimiento irreversible o reversible. La respuesta puede o no estar relacionada con la dirección del estímulo denominándose trópica o nástica, respectivamente (Bidwell, 1979; Salisbury y Ross, 1992). Las leguminosas como *Phaseolus vulgaris* son nictinásticas, es decir, inclinan sus hojas hacia abajo en forma reversible al aproximarse la noche (Satter y Galston, 1981): incluso, las hojas de esta planta tienen

ángulos laminares negativos en la noche. El movimiento para evadir la luz se denomina paraheliotropismo (Yu y Berg, 1994). Es común observar este tipo de respuestas en leguminosas y se asocian con el movimiento de células motoras debido al cambio de concentración de iones K^+ o H^+ (Wilkins, 1990). La orientación de las plantas hacia la luz tiende a mejorar la fotosíntesis (Long *et al.*, 1994; Von Arnim y Deng, 1996). Por otro lado, puede ser un mecanismo para la protección contra altas intensidades de luz, puesto que dentro de las respuestas de protección de la planta se menciona el cambio de ángulo foliar para impedir la absorción excesiva de luz (Demmig-Adams y Adams, 1992). Además, el sombreado (disminución de la absorción de luz) en frijol no afecta el rendimiento en grano (Escalante, 1980). Es posible que a) el cambio de ángulo foliar en las hojas más interiores del dosel en *P. vulgaris* sea una medida para protegerse de la fotoinhibición (inhibición de la fotosíntesis debida a altas intensidades de luz) y que b) el sombreado en horas de alta intensidad luminosa disminuya el ángulo foliar a fin de mejorar la fotosíntesis. El objetivo del presente trabajo fue conocer el momento de máxima inclinación del ángulo foliar durante el día y calcular los ángulos foliares máximos bajo condiciones de sol y de sombra.

MATERIALES Y METODOS

Como ensayo preliminar se realizó un experimento en Montecillo, México, durante el verano de 1997, para ratificar lo que ya se conoce respecto a muchas especies, es decir, que las alturas de las plantas y longitudes de las hojas aumentan bajo condiciones de sombreado (Salisbury y Ross, 1992). Se sembraron 12 plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Michoacán 12-A-3 en sol y 12 plantas en sombra (radiación fotosintéticamente activa de 1120 y 710 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente); a los 15 días después de la siembra, cuando las 24 plantas eran de aproximadamente 6 cm, se midieron con micrómetro las alturas del cuello radical al ápice y las longitudes de lámina de una hoja simple. Los datos se sometieron a una prueba t de dos colas para una misma varianza. El sombreado artificial se impuso empleando una malla tipo mosquitero. La intensidad de radiación se midió empleando un equipo IRGA (Analizador de Gases de Infrarrojo) marca ADC (Analytical Development Company, England).

En otro trabajo, se sembraron plantas de girasol (*Helianthus annuus* L.) cv. Victoria, maíz (*Zea mays* L.), frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Morita y Ayocote (*P. coccineus* L.). A los 30 días después de la siembra se tomaron datos de ángulos respecto al tallo principal y longitud de lámina cada tres horas aproximadamente en dos plantas de cada cultivo a partir de las 08:00 horas. La forma de medir los ángulos en hoja simple de frijol y en la primera hoja de girasol se muestra en la Figura 1. Los ángulos se presentan en grados de peciolo y lámina respecto al tallo principal. Sin embargo, se pueden restar 90° a todos los ángulos y se obtienen respecto a la horizontal, con lo que se cumple el criterio de que si el extremo distal de un órgano está abajo del extremo proximal el ángulo se considera negativo. La medición de los ángulos foliares se realizó procurando no tocar a la planta. Estos ángulos se dibujaron de acuerdo con el siguiente procedimiento: se colocó una hoja de papel paralela al plano formado por los peciolos y el tallo principal y se proyectaron sobre ella usando un lápiz: 1) el punto de inserción del peciolo en dicho tallo; 2) un punto del tallo principal; 3) el punto de inserción del peciolo en la lámina; 4) un punto de la nervadura principal de dicha lámina. Señalados los puntos mencionados en la hoja de papel, se trazó una recta entre los dos primeros puntos (tallo principal) y otra recta entre los otros dos puntos (lámina). Ambas rectas se extendieron y el ángulo formado por su intersección se consideró el ángulo de la lámina que se indica en la Figura 1. En maíz, la forma de medir los ángulos fue similar sólo que los puntos de referencia fueron: un punto del tallo, el punto de unión de la lámina y la vaina y un punto de la parte inferior de la lámina. En forma similar se hicieron las mismas observaciones en *P. vulgaris* cv. Michoacán 12-A-3 a los 30 días después de la siembra en hoja simple de ocho plantas a lo largo de los días 24 y 26 de junio de 1997 (día soleado y nublado, respectivamente). La intensidad de radiación de estos días, que sirvió para definir el estado nublado o soleado, se obtuvo de los datos de la estación meteorológica que se encuentra en el campo experimental donde se realizó este experimento (Montecillo, México).

Con los datos de ángulos y hora del día de los dos últimos experimentos se realizaron regresiones cuadráticas y pruebas de hipótesis empleando el Procedimiento del Modelo General Lineal del SAS (Sistema de Análisis Estadístico). Las variables

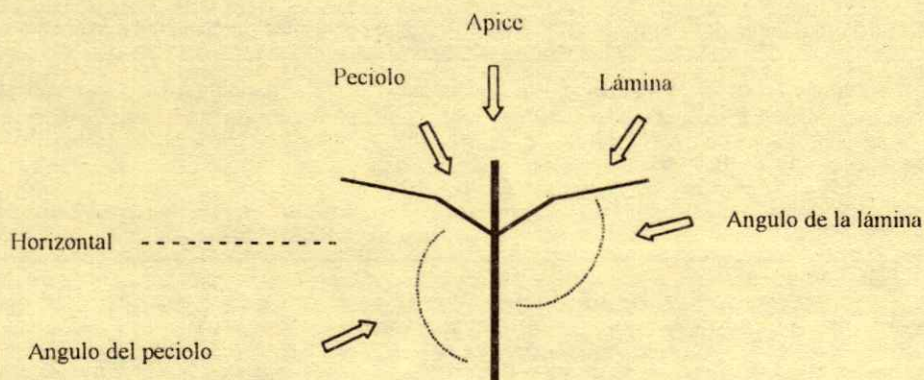


Figura 1. Forma en que se midieron los ángulos de peciolo y lámina en frijol y girasol. Esta figura resulta después de aplicar el procedimiento para la medición de los ángulos foliares. La intersección de la línea llamada lámina con el tallo principal produce el ángulo de la lámina.

dependientes (y) fueron los ángulos laminares y las independientes las distintas horas del día (x). Las gráficas de las figuras se hicieron empleando la hoja de cálculo Excel. Se obtuvo la primera derivada de las fórmulas cuadráticas obtenidas y se igualó a cero para obtener el ángulo máximo y la hora correspondiente de máxima inclinación de la lámina.

Debido a que las observaciones se realizaron a la intemperie, fue imposible controlar la temperatura, sin embargo, de acuerdo con Björkman y Demmig-Adams (1994), los efectos observados se deben principalmente a la intensidad de luz y no a la temperatura: "el déficit de agua así como la alta temperatura actúan disminuyendo el umbral de la respuesta, pero el disparador primario de la respuesta paraheliotrópica es la alta irradiación".

RESULTADOS Y DISCUSION

En *Phaseolus vulgaris*, las diferencias de alturas de plantas y longitudes de láminas fueron altamente significativas ($P < 0.01$) al comparar sol y sombra (Cuadro 1). Se puede decir que la planta de frijol es una planta que responde al sombreado. La mayor altura en sombra se debe a que la luz inhibe el alargamiento de hipocótilos (Von Arnim y Deng, 1996).

En el caso de inclinación de láminas de *P. vulgaris*, la función cuadrática promedio obtenida ($y = -23.65 + 25.70x - 0.97x^2$) fue significativamente diferente de cero en los parámetros relacionados con x y x^2 , lo mismo se observó en láminas de *P. coccineus* ($y = -52.82 + 24.51x - 0.86x^2$). Derivando

las ecuaciones individuales de las Figuras 4 y 5, se encontraron los ángulos máximos (y) 122.03° y 147.13° que se alcanzan a las 13:55 y a las 13:14 horas (x) para *P. coccineus* y *P. vulgaris*, respectivamente (Cuadro 2). En las figuras mencionadas se presentan las gráficas de dos plantas. Los coeficientes para x y x^2 fueron significativamente distintos de cero ($P < 0.05$), con 9 grados de libertad en el error (2 plantas * 6 mediciones - 1 - 1 - 1). Después de restar 90° , los datos de ángulos máximos consignados en la literatura son similares (Yu y Berg, 1994). Los ángulos de peciolos no mostraron un comportamiento cuadrático, solamente su intercepto (término independiente) fue estadísticamente diferente de cero ($P < 0.01$) (Figuras 4 y 5). No obstante la tendencia del girasol a orientarse hacia el sol como planta, las funciones matemáticas para hojas de *Helianthus annuus* no fueron estadísticamente diferentes de cero en ningún parámetro de la ecuación

Cuadro 1. Alturas de plantas (cm) y longitudes de láminas (cm) en sol y sombra (*P. vulgaris*).

Variable respuesta	Sol 1120 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Sombra 710 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Longitud de láminas [†]	1.08 a*	2.04 b
Altura de plantas [†]	4.90 a	5.75 b

[†] El diseño de este experimento fue completamente al azar. Se hicieron mediciones en 12 repeticiones.

* Letras diferentes en una misma fila indican diferencias altamente significativas ($P < 0.01$).

Cuadro 2. Angulos y horas del día a partir de las ecuaciones cuadráticas obtenidas (*Phaseolus vulgaris* y *Phaseolus coccineus*).

Cultivar	Angulos máximos en grados [†]			Hora para alcanzar el ángulo máximo		
	Lámina 1	Lámina 2	Promedio	Lámina 1	Lámina 2	Promedio
<i>P. vulgaris</i> L. (Morita)	127.82	166.44	147.13	13:00	13:28	13:14
<i>P. coccineus</i> L. (Ayocote)	135.10	108.96	122.03	14:39	13:12	13:55

[†] Los ángulos se midieron a las 8, 11, 14, 17, 19 y 22 horas.

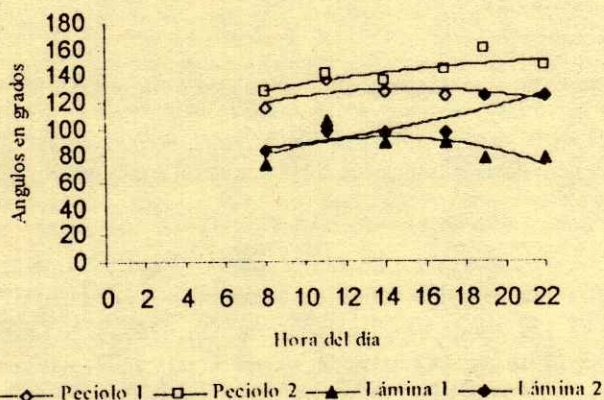


Figura 2. Angulos de peciolo y láminas en girasol. Las funciones matemáticas para esta planta no fueron estadísticamente distintas de cero en ningún parámetro de la ecuación cuadrática ($P > 0.05$). Las R^2 obtenidas fueron: Peciolo 1: 0.3191, Peciolo 2: 0.6341, Lámina 1: 0.4313, Lámina 2: 0.8044.

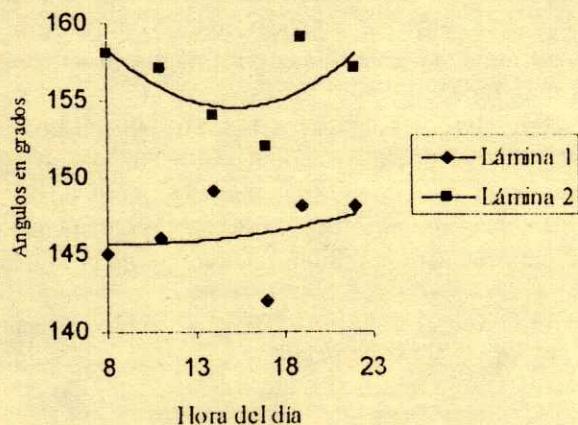


Figura 3. Angulos laminares en maíz. El intercepto en las ordenadas fue distinto de cero ($P < 0.01$). Los demás parámetros de las funciones matemáticas para esta planta no fueron estadísticamente diferentes de cero ($P > 0.05$). Las R^2 obtenidas fueron: Lámina 1: 0.0776, Lámina 2: 0.3673.

cuadrática ($P > 0.05$), solamente las funciones de *Zea mays* mostraron un intercepto distinto de cero ($P < 0.01$), pero los parámetros de los términos en

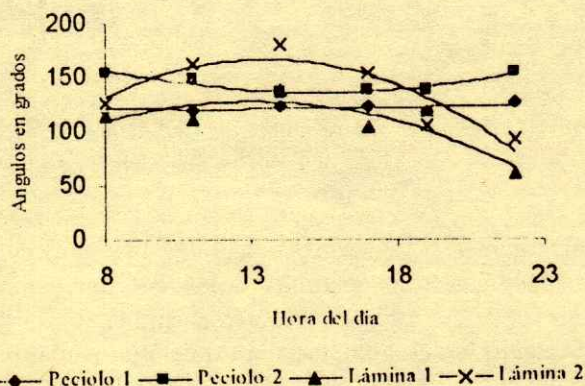


Figura 4. Angulos de peciolo y lámina en frijol Morita. Las ecuaciones obtenidas fueron: Peciolo 1: $y = 0.0334x^2 - 0.7725x + 124.95$, $R^2 = 0.1695$, Peciolo 2: $y = 0.3756x^2 - 11.561x + 224.84$, $R^2 = 0.8878$, Lámina 1: $y = -0.7599x^2 + 19.748x - 0.4802$, $R^2 = 0.758$, Lámina 2: $y = -1.1749x^2 + 31.658x - 46.821$, $R^2 = 0.8302$. En las cuales $y =$ Angulos en grados; $x =$ Hora del día.

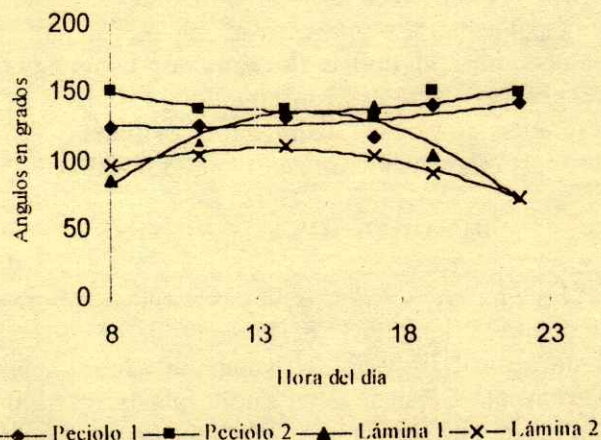


Figura 5. Angulos de peciolo y lámina en frijol Ayocote. Las ecuaciones obtenidas fueron: Peciolo 1: $y = 0.1344x^2 - 2.9249x + 140.44$, $R^2 = 0.4521$, Peciolo 2: $y = 0.3026x^2 - 8.8496x + 200.64$, $R^2 = 0.6024$, Lámina 1: $y = -1.229x^2 + 36.022x - 128.85$, $R^2 = 0.9298$, Lámina 2: $y = -0.492x^2 + 12.991x + 23.209$, $R^2 = 0.9759$. En las cuales $y =$ Angulos en grados; $x =$ Hora del día.

x y x^2 no fueron estadísticamente diferentes de cero ($P > 0.05$) (Figuras 2 y 3). La razón por la cual en el frijol, los cambios son más pronunciados, según Satter

Cuadro 3. Ecuaciones cuadráticas obtenidas (*Phaseolus vulgaris*).

Condición atmosférica	Ecuación ¹
Día nublado	$y = -34.88 + 20.62x - 0.80x^2$
Día soleado	$y = -185.20 + 49.50x - 1.90x^2$

¹y = ángulos de lámina en grados, x = hora del día.

y Galston (1981) se debe a la existencia de células motoras en sus pulvínulos, que experimentan cambios de turgencia. De acuerdo con los resultados del presente estudio, la planta de frijol responde a los cambios de intensidad luminosa, ya que las alturas de plántulas así como las longitudes de láminas y ángulos foliares cambian en forma estadísticamente significativa e inclusive en mayor grado que con el girasol y el maíz.

Los resultados obtenidos en un experimento para ratificar estos movimientos empleando un mayor número de repeticiones se muestran en las Figuras 6 y 7. Cada punto en estas gráficas es el promedio de ocho repeticiones. Las relaciones de estas medias con la hora del día tuvieron un alto valor de R^2 y sus coeficientes en x y x^2 fueron distintos de cero ($P < 0.01$) (Figuras 6 y 7). En el Cuadro 3 se observan estas ecuaciones. Excluyendo el término independiente para la ecuación de día nublado, todos los demás parámetros fueron estadísticamente diferentes de cero ($P < 0.01$). Calculando la primera derivada, igualando a cero, despejando x (hora del día para máxima inclinación), y substituyendo en cada ecuación, se obtiene el ángulo máximo (y). Las horas del día para ángulos máximos fueron 12:55 y 13:02 (estadísticamente iguales, $P > 0.05$) y los valores de ángulos máximos 98 y 137° (estadísticamente diferentes, $P < 0.01$) para días nublados y soleados, respectivamente.

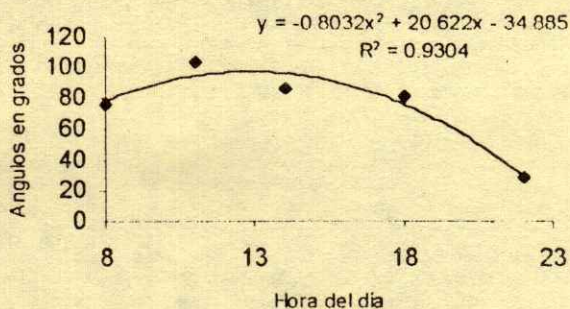


Figura 6. Promedio de ángulos laminares en planta de frijol Michoacán en día nublado. En esta figura: y = Ángulos en grados; x = Hora del día. Cada punto tiene ocho observaciones.

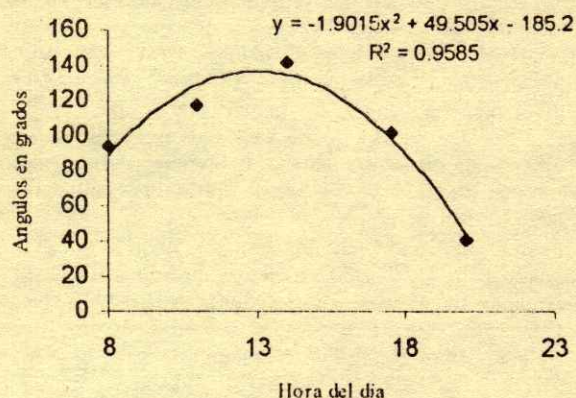


Figura 7. Promedio de ángulos laminares en planta de frijol Michoacán en día soleado. En esta figura: y = Ángulos en grados; x = Hora del día. Cada punto tiene ocho observaciones.

CONCLUSIONES

Los ángulos laminares del frijol cambian en forma cuadrática durante el día, inicialmente aumentan y luego disminuyen tanto en *Phaseolus coccineus* como en *P. vulgaris*. Los momentos de máxima inclinación durante el día fueron alrededor de las 13:00 y 14:00 h con ángulos máximos de 122 y 147° para *P. coccineus* y *P. vulgaris*, respectivamente; el hecho de que esta última especie tenga mayores ángulos probablemente significa que es más tolerante al estrés de la sequía (Yu y Berg, 1994). En el caso de *P. vulgaris* cv. Michoacán 12-A-3 la inclinación máxima fue a las 13:00 h aproximadamente y los ángulos tuvieron los valores de 137 y 98° para los días soleado y nublado, respectivamente. El menor ángulo en día nublado se debe a que la sombra tiende a producir una posición horizontal de las hojas (Björkman y Demmig-Adams, 1994). Los peciolo no mostraron movimientos estadísticamente significativos, por lo tanto, los movimientos angulares observados en lámina se deben principalmente al efecto del pulvínulo laminar y no al del pulvínulo localizado en la base del peciolo. Este resultado coincide con lo observado en el pulvínulo del foliolulo impar de la primera hoja trifoliolada de *P. vulgaris* (Berg y Heuchelin, 1990; Yu y Berg, 1994).

LITERATURA CITADA

- Berg, V.S. y S. Heuchelin. 1990. Leaf orientation of soybean (*Glycine max*) seedlings. I. Effect of water potential and photosynthetic photon flux density on paraheliotropism. *Crop Sci.* 30: 631-638.

- Bidwell R., G.S. 1979. Plant physiology. MacMillan Publishing Co., Inc., New York, USA.
- Björkman, O. y B. Demmig-Adams. 1994. Regulation of photosynthetic light energy capture, conversion, and dissipation in leaves of higher plants. pp. 17-47. *In*: E.D. Schulze y M.M. Caldwell (eds.). Ecophysiology of photosynthesis. Ecol. Studies 100. Springer-Verlag, Berlin.
- Demmig-Adams, B. y W.W. Adams. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annu. Rev. Plant Physiol. and Plant Mol. Biol.* 43: 599-626.
- Escalante E., J.A.S. 1980. Efecto del sombreado artificial sobre el rendimiento y sus componentes en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Michoacán 12-A-3. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Long, S.P., S. Humphries y P.G. Falkowski. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annu. Rev. Plant Physiol. and Plant Mol. Biol.* 45: 633-662.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1992. Plant physiology. 4th Edition. Wadsworth Publishing Company, Belmont California, USA.
- Satter, R.L. y A. Galston. 1981. Mechanisms of control of leaf movements. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 32: 83-110.
- Von Arnim, A. y X. Deng. 1996. Light control of seedling development. *Annu. Rev. Plant Physiol. and Plant Mol. Biol.* 47: 215-247.
- Wilkins, M.B. 1990. Advanced plant physiology. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA.
- Yu, F. y V.S. Berg. 1994. Control of paraheliotropism in two *Phaseolus* species. *Plant Physiol.* 106: 1567-1563.

EFFECTO DE INOCULACION CON ENDOMICORRIZA ARBUSCULAR Y DOSIS CRECIENTE DE FERTILIZACION FOSFATADA EN EL CRECIMIENTO DE CHAPULIXTLE (*Dodonaea viscosa*)

Inoculation with Arbuscular Endomycorrhizae and Phosphorus Fertilization on Growth of Chapulixtle (*Dodonaea viscosa*)

Abdul Khalil Gardezi¹, Víctor Manuel Cetina Alcalá¹, Daniel Talavera Magaña², Ronald Ferrera-Cerrato³, Francisco Rodríguez Neave⁴ y Mario Larqué Saavedra⁵

RESUMEN

Dodonaea es un arbusto de regiones semiáridas de México. Es especialmente abundante en lugares perturbados. Se emplea en la medicina tradicional contra problemas gastrointestinales, enfermedades de la piel, gota y reumatismo. El objetivo de esta investigación fue determinar la respuesta de *Dodonaea viscosa* L. (Chapulixtle, Ocotillo o Jarilla) a la inoculación con hongos micorrízicos y dosis crecientes de fertilización fosfatada. El trabajo se desarrolló bajo condiciones de invernadero en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México. Se esterilizaron las semillas de *Dodonaea*, se pusieron a germinar en charolas con sustrato inerte, posteriormente se transplantaron a bolsas de polietileno negras de 2 kg con suelo fumigado de la región. El suelo era arcilloso con pH neutro, pobre en nitrógeno, fósforo y materia orgánica, pero con un alto contenido de potasio. Se utilizó un diseño completamente al azar con once tratamientos y cuatro repeticiones. Los 11 tratamientos fueron: 1) testigo sin adición de fósforo ni cepas de micorriza arbusculares; 2) 50 mg kg⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simple); 3) 100 mg kg⁻¹ de P₂O₅; 4) 150 mg kg⁻¹ de P₂O₅; 5 a 11) diferentes cepas de micorriza arbusculares (*Glomus* sp. Zac-1, Zac-2,

Zac-3, Zac-4, Zac-5, Zac-6 y Zac-7). Se utilizaron 5 g de suelo con inoculó con 700 esporas en promedio y 1.5 g de raíz de cebolla con 80% de colonización. Se evaluaron las siguientes variables de crecimiento: altura de planta, diámetro de tallo, área foliar, volumen radical, número de ramas, número de hojas, peso seco de raíz, peso seco de la parte aérea, porcentaje de colonización total y porcentaje de vesículos y arbusculos. Los resultados de los tratamientos se analizaron mediante ANVA y por la prueba de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Todos los tratamientos, tanto con micorriza como con fósforo, dieron resultados considerablemente mejores que el testigo, pero no se observaron diferencias grandes entre los demás tratamientos sobre las variables medidas, a excepción del volumen radical. En general la cepa *Glomus* sp. Zac-6 mostró los mejores resultados, seguido por *Glomus* sp. Zac-2. Se concluye que las endomicorizas arbusculares probadas promovieron mayor crecimiento y desarrollo de *Dodonaea viscosa*, de manera semejante que la fertilización fosfórica. Las endomicorizas *Glomus* sp. Zac-6 y *Glomus* sp. Zac-2 produjeron los mayores rendimientos de biomasa. Los resultados ayudarán en diseñar estrategias para *Dodonaea* en la reforestación y recuperación de suelos erosionados en regiones áridas y semiáridas.

Palabras clave: Jarilla, Ocotillo, Endofitos, *Glomus* sp., fertilización fosfatada.

SUMMARY

Dodonaea is a shrub of the semiarid regions of Mexico. It is particularly abundant in disturbed areas. Also, it is used in traditional medicine for gastrointestinal and dermatological problems, for gout and rheumatism. The objective of this research was to determine the response of *Dodonaea viscosa* L. (Chapulixtle, Ocotillo or Jarilla) to inoculation with a

¹ Instituto de Recursos Naturales, Programa Forestal, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México.

e-mail: kabdul@colpos.colpos.mx, vicmac@colpos.colpos.mx

² Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Iturbide 73, 78600 Salinas de Hgo., SLP, México.

³ Área de Microbiología, Instituto de Recursos Naturales.

⁴ Área de Fertilidad de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo.

⁵ Departamento de Estadística y Sistemas, Universidad

Autónoma Metropolitana, México DF.

mls:hp9000a1.uam.mx

Recibido: Agosto de 1999.

Aceptado: Septiembre de 2000.

mycorrhizal fungus and increasing doses of phosphate fertilization. This research was carried out under greenhouse conditions, at the Postgraduate College, Montecillo, state of Mexico. Sterilized seeds of *Dodonaea* were germinated on trays with an inert substrate, and transplanted to 2-kg bags filled with fumigated soil of the region. This soil was a clay loam, with a pH value near neutral, poor in nitrogen, phosphorous and organic material, but rich in potassium. An experimental design was used that was completely randomized with eleven treatments and four replications. The eleven treatments were: 1) control without the mycorrhiza fungus or phosphorus fertilizer; 2) 50 mg kg⁻¹ of P₂O₅ (ordinary superphosphate); 3) 100 mg kg⁻¹ of P₂O₅; 4) 150 mg kg⁻¹ of P₂O₅; 5 to 11) seven different strains of the arbuscular mycorrhiza fungus *Glomus* sp. (strains Zac-1, Zac-2, Zac-3, Zac-4, Zac-5, Zac-6, and Zac-7). The inoculum consisted of 5 g of soil with an average of 700 spores and 1.5 g of onion root with 80% colonization. The following growth indicators were measured: plant height, stem diameter, leaf area, root volume, number of branches, number of leaves, dry root weight, dry weight of aerial parts, and the percentage of total colonization with vesicles and arbuscules. The results were analyzed by ANOVA and the Tukey tests ($\alpha=0.05$). All of the treatments with mycorrhiza and phosphorus improved growth considerably in comparison with the control. However, strong differences between treatments were not observed, with the exception of root volume. Generally, the strain *Glomus* sp. Zac-6 showed the best results, followed by Zac-2. In conclusion, the endomycorrhizal symbiosis promoted growth and development of *Dodonaea viscosa* in a way similar to phosphorous fertilization. The results will help to design strategies for using *Dodonaea* for reforestation and soil rehabilitation on eroded soils of arid and semiarid environments.

Index words: Jarilla, Ocotillo, Endophyte, *Glomus* sp., phosphate fertilization.

INTRODUCCION

Dodonaea viscosa (L.) Jacq. es una planta característica de las zonas áridas de México; es de la familia Sapindaceae, conocida también como Chapulixtle, Ocotillo o Jarilla (Sánchez, 1976),

Pirumu o Jarilla (Niembro, 1986). Es una especie que ha mostrado ser útil para retener suelo, disminuyendo la erosión y fomentando la recuperación del mismo (Schlaifer, 1991). Asimismo, es una planta con gran capacidad de regeneración, que soporta incendios. Actualmente, es utilizada en la formación de setos vivos (dasonomía urbana), con bajos requisitos hídricos (Camacho *et al.*, 1991). *Dodonaea viscosa* es un arbusto pequeño de 1 a 5 m de altura, perennifolio, y forma parte de los matorrales originados por la destrucción del bosque de *Quercus* (Niembro, 1986), y selvas bajas, tiene flores unisexuales o polígamo-dioicas, actinomorfas, hojas oblongo-lanceoladas, con peciolo corto y fruto capsular membranoso trialado, con dos a seis valvas, aladas en el dorso y frecuentemente con una semilla (Sánchez, 1976). Se distribuye de manera natural en Baja California, Chihuahua, Durango, estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Nuevo León y San Luis Potosí. Por otra parte, *Dodonaea viscosa* se emplea en medicina tradicional contra problemas gastro-intestinales, enfermedades de la piel, gota y reumatismo (Rojas *et al.*, 1996). Anibal (1986) menciona que la infusión obtenida del cocimiento de la corteza se utiliza como medicina tradicional en enfermedades venéreas, fiebre, cólicos, gota y reumatismo.

Considerando los beneficios potenciales de *Dodonaea viscosa*, se buscará establecer plantaciones artificiales; sin embargo, para asegurar el éxito en el establecimiento de una plantación, es conveniente tener buena nutrición de las plantas. En este sentido, los hongos endomicorrizicos arbusculares son una alternativa para lograr el abastecimiento adecuado de varios nutrimentos a las plantas, principalmente fósforo. La endomicorriza arbuscular es una simbiosis formada por algunas especies de hongos de la familia Endogonaceae, del orden Mucorales. Dicha simbiosis incrementa el crecimiento de gran cantidad de plantas hospederas en suelos de baja fertilidad, particularmente en aquellos deficientes de fósforo (Gerdemann, 1968, 1975; Mosse *et al.*, 1973).

Los hongos micorrizicos arbusculares son simbiosis obligados pero tienen una diversidad de hospederos y una distribución extremadamente amplios; pueden ser hallados en Briofitas, Pteridofitas, Gimnospermas y Angiospermas (Gerdemann, 1968, 1975). Se estima que cerca de 90% de las especies vegetales pueden tener endomicorrizas arbusculares.

5% ectomicorrizas, 3% otra forma de micorrización y el resto son plantas poco conocidas (ecológica o bioquímicamente) o son plantas sin micorrización. Hogberg (1982) estudió el tipo de asociación micorrízica en 47 especies de árboles y arbustos en una zona de baja precipitación de Tanzania y observó que sólo seis fueron ectomicorrízicas. Las endomicorrizas pueden encontrarse desde el ártico hasta los trópicos (Gerdemann, 1968, 1975). La mayoría de estos hongos parecen tener distribución mundial (Mosse, 1981; Hayman, 1982); sin embargo, aun cuando algunos pueden predominar en ciertas zonas, a menudo son localizadas esporas de tipos particulares de éstos en áreas muy pequeñas. Es poco frecuente que un sitio determinado contenga sólo una especie, pueden encontrarse juntas tres o cuatro diferentes. Mosse (1981) señaló que las endomicorrizas generalmente están ausentes en hábitats muy húmedos. Gerdemann (1968) indica que las plantas acuáticas carecen de endomicorriza, pero que las que crecen en las marismas generalmente están colonizadas. Otra excepción son las zonas densas de especies estrictamente ectomicorrízicas (Gerdemann, 1975). Bagyaraj *et al.* (1979) indican la ocurrencia de estos hongos en plantas acuáticas tropicales establecidas en suelo no inundado. El período en que los arbusculos permanecen viables estructural y funcionalmente varió de cuatro a 15 días (Bevege y Bowen, 1975).

Los géneros de la familia Endogonaceae que forman endomicorrizas son *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus* y *Sclerocystis*, y se caracterizan por la producción de vesículas y arbusculos en la corteza radical con excepción de las especies de *Gigaspora*, que raramente producen vesículas en las raíces infectadas (Carling y Brown, 1982) pero sí las forman extramatricialmente, al igual que *Glomus* sp. que produce ambos tipos (Schenk y Smith, 1982). Las hifas corticales de las endomicorrizas se desarrollan inter o intracelularmente, ya sea en forma longitudinal o radial; pueden ser lineales, curvadas o irregulares (Gerdemann, 1975; Kinden y Brown, 1975b). La distribución del sistema hifal dentro de las raíces varía considerablemente porque es afectado por el hospedero (Gerdemann, 1975; Carling y Brown, 1982). Las hifas intracelulares son encerradas por una vaina delgada de citoplasma celular, pero están separadas de él por plasmalema de la célula, sintetizado de nuevo y por una zona compacta de apariencia similar a la pared celular cortical (Cox y Sanders, 1974). Son

normalmente cenocíticas durante el tiempo en que están activas, pero pueden formar septas en condiciones desfavorables (Gerdemann, 1975). Las hifas jóvenes tienen abundante citoplasma, relativamente pocas vacuolas y una limitada cantidad de gotitas de aceites; son multinucleadas y en su madurez contienen glucógeno y lípidos coalescentes (Kinden y Brown, 1975b). Nemeč (1981) determinó en *Glomus etunicatum* que la pared celular de sus hifas contiene quitina y su citoplasma abundantes lípidos neutros. Tanto en las células invadidas por hifas como en las circundantes, usualmente no se detectan cambios significativos en el tamaño y composición citoplásmicos (Kinden y Brown, 1975b; Carling y Brown, 1982). Las hifas corticales de las endomicorrizas se desarrollan inter o intracelularmente, ya sea en forma longitudinal o radial; pueden ser lineales, curvadas o irregulares y se localizan en la porción central de las células que circundan el cilindro vascular (Kinden y Brown, 1975a). Las vesículas son estructuras ovaladas o esféricas, que funcionan como órganos de almacenamiento temporal de alimento, pueden ser inter o intracelulares, dependiendo de la planta; son producidas en forma intercalar o terminal (Sieverding, 1983).

El micelio externo forma una cadena suelta en el suelo, tiene una estructura dimórfica altamente característica. La cadena principal es formada por una hifa dura, de 20 a 30 μm de diámetro, de pared gruesa y a menudo con protuberancias, de las que ramifican hifas finas de 2 a 7 μm de diámetro, de pared delgada y efímeras, que frecuentemente penetran las partículas de materia orgánica y se tornan septadas cuando mueren (Hayman, 1978). Se ha estimado que la cantidad de micelio externo en plantas de cebolla es de 80 cm cm^{-1} de longitud de raíz (Mosse 1981). Rhodes y Gerdemann (1975) determinaron que las hifas pueden extenderse en el suelo a una distancia de 7 cm de la superficie radical, y señalan que la translocación al hospedero del fósforo absorbido por las hifas es bastante rápida; estos autores detectaron altas concentraciones de ^{32}P , tanto en la raíz como en los tejidos de la parte aérea de las plantas de cebolla dos días después de la inyección del isótopo al suelo. El fosfato absorbido es convertido por el hongo a polifosfatos y translocado a los componentes fúngicos del interior de la raíz en forma de gránulos vacuolares que son subsecuentemente degradados y vuelven aprovechables para la planta (Cox *et al.*, 1975; Callow

et al., 1978). Kinden y Brown (1975b) señalaron que la lisis del endofito libera cantidades significativas de nutrientes hacia el hospedero. Cox y Tinker (1976) consideraron que el intercambio de fósforo ocurre inicialmente a través de las membranas del hongo y del hospedero, más que por el deterioro de las estructuras fúngicas. Pearson y Tinker (1975) han sugerido que el proceso requiere de energía metabólica.

Se ha citado que las endomicorrizas no utilizan fuentes insolubles de fósforo (Sanders y Tinker, 1971; Hayman y Mosse, 1972) aun bajo condiciones de extrema deficiencia; sin embargo, se han obtenido incrementos significativos en el crecimiento de plantas micorrizadas a las que se agregaron fuentes relativamente insolubles, tales como harina de hueso y apatita; la rapidez e intensidad de la infección pueden afectar sustancialmente la respuesta de la planta a la micorrización (Daft y Nicolson, 1966, 1972), hidroxapatita, FePO_4 y AlPO_4 (Moawad, 1979) y roca fosfórica (Mosse *et al.*, 1976); para estos casos Hayman y Mosse (1972) han propuesto una explicación en función de la posibilidad de las plantas inoculadas de tener una mayor área de contacto con las superficies donde los iones fosfato se mantienen en equilibrio dinámico, de tal forma que al ser absorbidos por las hifas externas del hongo, deben disociarse nuevos iones para mantener ese equilibrio.

El objetivo primordial de esta investigación fue determinar la respuesta de *Dodonaea viscosa* a la inoculación de hongos micorrízicos y dosis crecientes de fertilización fosfatada, para establecer a futuro plantaciones en campo.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se desarrolló bajo condiciones de invernadero, en Montecillo, estado de México. Las semillas de *Dodonaea viscosa* fueron esterilizadas con hipoclorito de sodio y pregerminadas en charolas de plástico. Las plántulas fueron trasplantadas a bolsas de polietileno negro con 2 kg de suelo originario de Lomas de San Juan Chapingo, México, con las siguientes características: textura arcillosa, pH de 6.8 y 0.08% de nitrógeno, 32 mg kg^{-1} de P_2O_5 Bray 1, 300 mg kg^{-1} de K aprovechable (K- ACNH_4 , potasio extraído con acetato de amonio 1N y pH de 7.0), sin problema de sales y un contenido bajo de materia orgánica (0.9%) se fumigó con bromuro de metilo. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro

repeticiones: los tratamientos fueron los siguientes: fósforo (0, 50, 100 y 150 mg kg^{-1} de P_2O_5) y cepa de micorriza (*Glomus* sp. Zac-1, *Glomus* sp. Zac-2, *Glomus* sp. Zac-3, *Glomus* sp. Zac-4, *Glomus* sp. Zac-5, *Glomus* sp. Zac-6 y *Glomus* sp. Zac-7). Se utilizaron 5 g de suelo como inóculo, conteniendo en promedio 700 esporas + 1.5 g de raíz de cebolla con un porcentaje de colonización de 80%. El experimento duró, de trasplante hasta la cosecha, 150 días. Las variables evaluadas fueron: altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), área foliar (AF), volumen radical (VR), número de ramas (NR), número de hojas (NH), peso seco de raíz (PSR) y peso seco de la parte aérea (PSPA). Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para determinar qué tratamientos fueron los que tuvieron mayor impacto, se realizó la prueba de medias de Tukey. En las Figuras 1, 2 y 3 se observa que en todas las variables evaluadas el testigo siempre fue estadísticamente menor que el resto de los tratamientos.

En el caso de la variable altura de planta (AP), el mejor tratamiento fue el 6, consistente en la inoculación con *Glomus* sp. Zac-6, lográndose una AP de 37.85 cm; sin embargo, la diferencia con el resto de los tratamientos, a excepción del testigo (5.77 cm), sólo es numérica. Destaca en esta variable, que el mejor tratamiento fertilizado con 150 mg kg^{-1} de P_2O_5 fue el que mayor altura produjo (32.95 cm) con mejor comportamiento, también en la mayoría de las variables de respuesta, aun cuando las diferencias sólo sean numéricas. Para diámetro de tallo (DT) el mejor tratamiento también consistió en la inoculación con la micorriza *Glomus* sp. Zac-6, ambas variables se relacionan en la Figura 1.

El mayor volumen de raíz (VR) correspondió al tratamiento que contenía 100 mg kg^{-1} de P_2O_5 , siendo estadísticamente igual al efecto de *Glomus* sp. Zac-2 y *Glomus* sp. Zac-6. En la variable peso seco de la parte aérea (PSPA) se observó la misma tendencia que en el resto de las variables; es decir, todos los tratamientos fueron iguales estadísticamente, pero diferentes al testigo (0.99 g), y el valor más alto de PSPA se obtuvo con *Glomus* sp. Zac-6 (6.27 g), siendo un promedio muy cercano al PSPA obtenido con 150 mg kg^{-1} de P_2O_5 (6.24 g). La variable volumen de raíz y PSPA

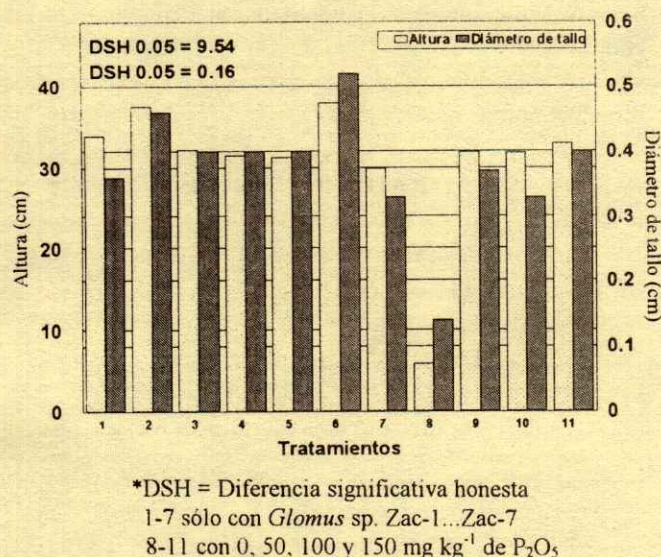


Figura 1. Efecto de la inoculación micorrizica arbusculares con *Glomous* y fertilización fosfatada en la altura y diámetro de tallo de *Dodonaea viscosa* L.

se relacionan en la Figura 2. En esta figura se observa, que en todos los tratamientos se obtuvo distinta proporción de ambas variables, también se observa que si bien al aplicar 150 mg kg⁻¹ de P₂O₅ se obtiene un PSPA semejante al alcanzado con *Glomus* sp. Zac-6; este incremento no correspondió a un mismo incremento en VR, lo cual podría tener consecuencias en el vigor de la parte aérea.

En las variables peso seco de raíz (PSR), área foliar (AF) y número de ramas (NR) se observó la misma tendencia, los mayores valores logrados con *Glomus* sp. Zac-6, aunque no son estadísticamente diferentes de los demás, a excepción del testigo. PSR y AF se mencionan en la Figura 3, en la cual se observa mayor uniformidad en AF y PSR, que la observada en la Figura 2 entre PSPA y VR. De acuerdo con lo anterior, es importante señalar que los hongos micorrizicos arbusculares tienen un papel muy importante sobre el desarrollo fisiológico de *D. viscosa*, dado que suple bastante bien el efecto de la fertilización fosfatada, con la ventaja de su más fácil aplicación y respuesta homogénea.

A manera de discusión es posible mencionar, que si bien no existen trabajos de micorrización en *D. viscosa*, existen trabajos previos realizados con arbustivas en zonas áridas; tal es el caso de los trabajos realizados por Ferrera y Lara (1987a,b) en los cuales señalan incrementos de materia seca en *Dalea*

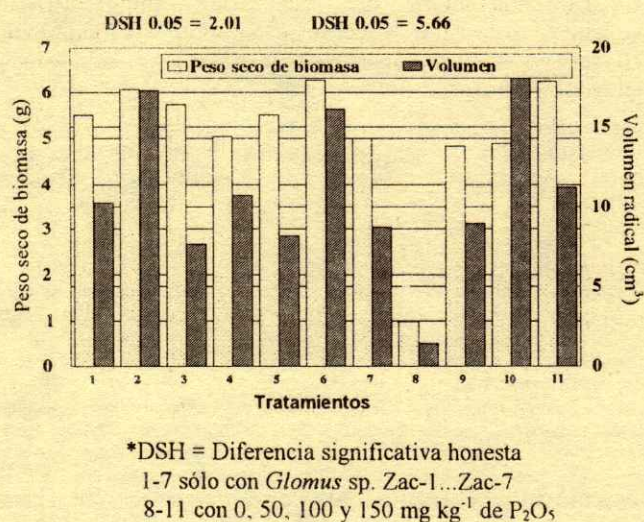


Figura 2. Efecto de la inoculación micorrizica arbusculares con *Glomus* y fertilización fosfatada en el peso seco de biomasa y volumen radical *Dodonaea viscosa* L.

bicolor de 160 a 700%, debido a la inoculación con *Glomus* spp. Gardezi et al. (1988) citan que otra leguminosa arborea, *Acacia saligna*, cultivada en suelo con alto contenido de aluminio, tuvo incrementos por efectos de la inoculación con *Glomus* sp. Zac-8 de 240, 810, 920 y 1450%, en diámetro de tallo, altura de planta, área foliar y peso seco de la parte aérea, respectivamente. En el estudio citado se obtuvo un

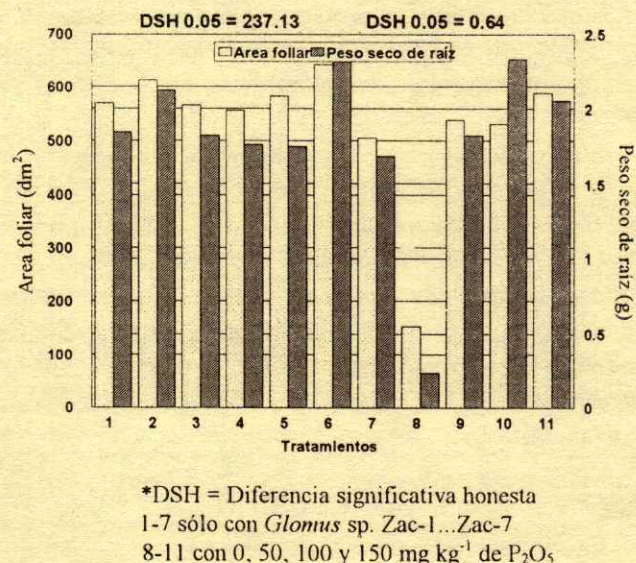


Figura 3. Efecto de la inoculación micorrizica arbusculares con *Glomus* y fertilización fosfatada sobre el área foliar y peso seco de raíz de *Dodonaea viscosa* L.

Cuadro 1. Porcentaje de colonización endomicorrizica vesicular, arbuscular y colonización total en Chapulixtle (*Dodonea viscosa*), inoculado con cepas de hongos endomicorrizicos.

Tratamiento	Porcentaje de colonización		
	Vesículas	Arbúsculos	Total
<i>Glomus</i> sp. Zac-1	48	12	50
<i>Glomus</i> sp. Zac-2	3	0	55
<i>Glomus</i> sp. Zac-3	2	1	38
<i>Glomus</i> sp. Zac-4	40	0	40
<i>Glomus</i> sp. Zac-5	2	3	47
<i>Glomus</i> sp. Zac-6	50	30	58
<i>Glomus</i> sp. Zac-7	20	28	40.7

En los tratamientos testigo y fertilización fosfatada no se observaron vesículas ni arbúsculos.

crecimiento parecido al logrado con micorriza, aplicando 50 mg kg⁻¹ de P₂O₅ al momento del trasplante. Se encontró una respuesta similar en *Caesalpinia cacalaco* (Gardezi y Ferrera, 1992). Este comportamiento de *Acacia saligna* y *Caesalpinia cacalaco* era parecido al efecto que mostró *Dodonaea*. En el presente estudio se muestra que la inoculación puede sustituir parcial o totalmente la fertilización con fósforo en varias especies de zonas semiáridas y no sólo en las leguminosas. Estos resultados fueron reproducidos aplicando al suelo 50 mg kg⁻¹ de P₂O₅ al momento del trasplante.

En el Cuadro 1 se aprecia que los datos de porcentaje de colonización de vesículas variaron de 2 hasta 50% con los Tratamientos 5 y 6, respectivamente. Para arbúsculos variaron de cero hasta 30% con *Glomus* sp. Zac-2 y *Glomus* sp. Zac-6; y, por último, el porcentaje de colonización total varió de 38 hasta 58 con *Glomus* sp. Zac-3 y *Glomus* sp. Zac-6, respectivamente. En el tratamiento testigo y la aplicación de fósforo no se observaron vesículas, arbúsculos ni colonización total. En trabajos previos con *Pithecellobium dulce*, *Erythrina americana* y *Acacia saligna*, Gardezi et al. (1988; 1991; 1995) han señalado que los hongos endomicorrizicos arbusculares estimulan el crecimiento de las plantas en niveles superiores a los alcanzados con la fertilización fosfatada.

CONCLUSION

De los resultados anteriores se puede concluir que las endomicorrizas arbusculares probadas promovieron mayor crecimiento y desarrollo del Chapulixtle, de

manera semejante que la fertilización fosfórica. De las endomicorrizas *Glomus* sp. Zac-6 y *Glomus* sp. Zac-2 siempre produjeron los mayores rendimientos de biomasa aérea.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la ayuda con el manuscrito a los Drs. M. Engleman y H. Vibran.

LITERATURA CITADA

- Anibal, N.R., 1986. Árboles y arbustos útiles de México. Limusa. México, DF
- Bagyaraj, D.J., A. Manjunath y R.B. Patil. 1979. Occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas in some tropical aquatic plants. *Trans. Br. Mycol.* 72: 164-167.
- Bevege, D.T. y G.D. Bowen. 1975. Endogone strain and host plant differences in development of vesicular-arbuscular mycorrhizas. pp. 77-86. *In:* F.E. Sanders, B. Mosse y P.B. Tinker (eds.). *Endomycorrhizas*. Academic Press, Londres.
- Callow, J.A., L.C. Capaccio, G. Parish y B. Tinker. 1978. Detection and estimation of polyphosphate in vesicular-arbuscular mycorrhizas. *New phytol.* 80: 125-134.
- Camacho M., F., O.H. Bustillo O. y V. González K. 1991. Potencial del Chapulixtle (*Dodonea viscosa*) para la formación de setos en áreas sin riego. II Reunión Nacional sobre Ecología y Reforestación Urbana. Naucalpan, Edo. de México S/P.
- Carling, D.E. y M.F. Brown. 1982. Anatomy and physiology of vesicular-arbuscular and nonmycorrhizal roots. *Phytopathology* 72: 1108-1114.
- Cox, G. y P.B. Tinker. 1976. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas I. The arbuscule and phosphorus transfer. A quantitative ultrastructural study. *New phytol.* 77: 371-378.
- Cox, G., F.E. Sanders, P.B. Tinker y J.A. Wild. 1975. Ultrastructural evidence relating to hostendophyte transfer in a vesicular-arbuscular mycorrhiza. pp. 298-312. *In:* F.E. Sanders, B. Mosse y P.B. Tinker (eds.). *Endomycorrhizas*. Academic Press, Londres.
- Daft, M.J. y T.H. Nicolson. 1966. The effect of endogone mycorrhiza on plant growth. *New Phytol.* 65: 343-350.
- Daft, M.J. y T.H. Nicolson. 1972. The effect of endogone mycorrhiza on plant growth. IV. Quantitative relationship between the growth of the host and the development of the endophyte in tomato and maize. *New Phytol.* 71: 287-295.
- Ferrera C., R. y V. Lara F. 1987a. Effect of six vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on a forage legume (*Dalea bicolor*) from Mexican arid and semiarid zones. *Nitrogen Fixing Tree Res. Rep.* 5: 37-38.
- Ferrera C., R. y V. Lara F. 1987b. Asociación de la micorriza VA con *Prosopis* sp, una leguminosa del altiplano Potosino-Zacatecano, en México. p. 63. *In:* Memorias del XIV Congreso Nacional de Fitopatología. Morelia, Michoacán. México.

- Gardezi, A.K. y R. Ferrera C. 1992. Mycorrhizal inoculation of *Caesalpinia cacalaco*. Nitrogen Fixing Tree Res. Rep. 10: 116-118.
- Gardezi, A.K., R. Ferrera C. y V. Lara Fernández. 1988. Effect of the double inoculation of *Rhizobium* sp. and V-A endomycorrhizae on *Acacia cyanophylla* in an andosol in Mexico. Nitrogen Fixing Tree Res. Rep. 6: 31-33.
- Gardezi, A.K., R.A. Guzmán-Plazola y R. Ferrera C. 1991. Growth response of *Pithecelobium dulce* to mycorrhizal inoculation. Nitrogen Fixing Tree Res. Rep. 9: 111-113.
- Gardezi, A.K., R. García E., R. Ferrera C. y C.A. Pérez M. 1995. Endomycorrhiza, rock phosphate, and organic matter effects on growth of *Erythrina americana*. Nitrogen Fixing Tree Res. Rep. 13: 48-50.
- Gerdemann, J.W. 1968. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. Ann. Rev. Phytopathology 6: 397-418.
- Gerdemann, J.W. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhiza. pp. 575-591. In: J.G. Torrey y D.T. Clarkson (eds.). The development and function of root. Academic Press, New York.
- Hayman, D.S. 1978. Endomycorrhiza. pp. 401-442. In: Y.R. Dommerges y S.V. Krupa (eds.). Interaction between non-pathogenic soil microorganisms and plants. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands.
- Hayman, D.S. 1982. Influence of soils and fertility on activity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Phytopathology 72: 1119-1125.
- Hayman, D.S. y B. Mosse. 1972. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. III. Increase uptake of labile P from soil. New Phytologist 71: 41-47.
- Hogberg, P. 1982. Mycorrhizal associations in some woodland and forest trees and shrubs in Tanzania. New Phytologist 92: 407-415.
- Kinden, D.A. y M.F. Brown. 1975a. Electron microscopy of vesicular-arbuscular mycorrhizae of yellow poplar. I. Characterization of endophytic structures by scanning electron stereoscopy. Can. J. Microbiol. 21: 939-993.
- Kinden, D.A. y M.F. Brown. 1975b. Electron microscopy of vesicular-arbuscular mycorrhizae of yellow poplar. II. Intracellular hyphae and vesicles. Can. J. Microbiol. 21: 1768-1780.
- Kinden, D.A. y M.F. Brown. 1976. Electron microscopy of vesicular-arbuscular mycorrhizae of yellow poplar. IV. Host endophyte interactions during arbuscular deterioration. Can. J. Microbiol. 22: 64-75.
- Missem, B. 1981. Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture. Hawaii Inst. Trop. Agric. and Human Resources. Univ. of Hawaii. Res. Bull. 194.
- Moawad, M. 1979. Ecophysiology of vesicular-arbuscular mycorrhiza in the tropics. pp. 197-209. In: J.L. Harley y R. Scott (eds.). The soil root interface. Academic Press.
- Mosse, B. 1972. The influence of soil type and Endogone strain on the growth of mycorrhizal plants in phosphate deficient soils. Rev. Ecol. Biol. Sol. 10: 529-537.
- Mosse, B. 1981. Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture. Hawaii Inst. Trop. Agric. and Human Resources. Univ. of Hawaii. Res. Bull. 194.
- Mosse, B., D.S. Hayman y D.J. Arnold. 1973. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. V. Phosphate uptake by three plant species from P-deficient soils labeled with ³²P. New Phytologist 72: 809-815.
- Mosse, B., C.L. Powell y D.S. Hayman. 1976. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. IX Interactions between mycorrhiza, rock phosphate and symbiotic nitrogen fixation. New Phytologist 76: 331-342.
- Nemec, S. 1981. Histochemical characteristics of *Gilomus etunicatum* infection of Citrus limon fibrous roots. Can. J. Bot. 59: 609-617.
- Niembro, A.R. 1986. Arboles y arbustos útiles de México. Limusa, México, DF.
- Pearson, V. y P.B. Tinker. 1975. Measurement of phosphorus fluxes in the external hyphae of endomycorrhizas. pp. 277-287. In: F.E. Sanders, B. Mosse y P.B. Tinker (eds.). Endomycorrhizas. Academic Press.
- Rhodes, L.H. y J.W. Gerdemann. 1975. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. New Phytologist 75: 555-561.
- Rojas, A., S. Cruz, H. Ponce-Monter y R. Mata. 1996. Smooth muscle relaxing compounds from *Dodonaea viscosa*. Planta Medica 62(2): 154-159.
- Sánchez, S.O. 1976. La flora del valle de México. Herrero, SA. México, DF.
- Sanders, F.E. y P.B. Tinker. 1971. Mechanism of absorption of phosphate from soil by Endogone mycorrhizas. Nature 278-279.
- Schenk, N.C. y G.S. Smith. 1982. Additional new and unreported species of endomycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. Mycology 74: 77-92.
- Schlaifer, M. 1991. Agroforestry in the Bolivian Andes. Famboyant 20: 9-11.
- Sieverding, E. 1983. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

LABRANZA DE CONSERVACION USANDO COBERTURAS DE ABONO ORGANICO EN ALFALFA

Conservation Tillage using Organic Fertilizer Mulch in Alfalfa

José Dimas López-Martínez¹, Guadalupe Gutiérrez Puente y Salvador Berúmen Padilla

RESUMEN

La labranza de conservación reduce la erosión, evaporación, compactación, mano de obra, combustible y necesidades de equipo. Debido a lo anterior, se planteó un trabajo cuyos objetivos fueron: a) Evaluar el efecto de la labranza de conservación con coberturas de abono orgánico sobre el rendimiento de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y b) Desarrollar un modelo de predicción de rendimiento, considerando características de suelo. El trabajo se realizó en el ejido Florida, Coahuila, localizado en el km 31 de la carretera Gómez Palacio, Durango-Fco. I. Madero, Coahuila. Los tratamientos de labranza con cobertura con abono de bovino empleados fueron los siguientes: T1 30% cobertura = 10 t ha⁻¹, T2 50% = 20 t ha⁻¹, T3 70% = 30 t ha⁻¹, T4 90% = 40 t ha⁻¹. Se usó una parcela vecina de una hectárea como testigo para medir rendimiento de forraje y compararlo con los otros tratamientos. Se evaluaron humedad, temperatura, densidad aparente y compactación del suelo, además de rendimiento de forraje. El trabajo se analizó por un diseño bloques al azar con tres repeticiones. También se empleó un análisis de regresión múltiple para generar el modelo de predicción de rendimiento en función de características de suelo como humedad, compactación, temperatura y densidad aparente. Los resultados evidencian que las propiedades físicas del suelo son afectadas por las coberturas empleadas, concluyéndose que los Tratamientos 1 y 2 (10 y 20 t ha⁻¹) son los mejores en lo que se refiere a rendimiento de forraje. Se propone la siguiente ecuación para explicar el comportamiento de las variables evaluadas:

$$Y = 19580.77 - 633.59 \text{ Temp.}$$

¹ División de Estudios de Postgrado, Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, Apartado Postal 142, 35000 Gómez Palacio, Durango, México.
e-mail: joshua@teleinfo.com.mx.

Recibido: Enero de 2000.
Aceptado: Septiembre de 2000.

Palabras clave: Rendimiento de forraje, modelo de predicción, regresión múltiple, propiedades físicas.

SUMMARY

Conservation tillage reduces erosion, evaporation, compaction, and the need for labor, fuel and machinery. The objectives of this study were a) to evaluate the effect of conservation tillage with mulches of organic fertilizer on alfalfa (*Medicago sativa* L.) forage yields and b) to develop a model based on soil characteristics for predicting yield. This study was conducted at the 'ejido' Florida, Coahuila, located at km 31, between Gomez Palacio, Durango, and Francisco I. Madero, Coahuila. The tillage treatments with cattle manure mulch evaluated were the following: T1 30% = 10 t ha⁻¹, T2 50% = 20 t ha⁻¹, T3 70% = 30 t ha⁻¹, and T4 90% = 40 t ha⁻¹. A neighboring 1-hectare plot was used as a control to assess forage yield and compare it with the other treatments. Moisture, temperature, bulk density, soil compaction, and forage yield were evaluated. For this experiment, a complete randomized block design with three replications was used. Also, a multiple regression analysis was used to generate a model of yield prediction based on soil characteristics, such as moisture, compaction, temperature and bulk density. The results showed that the organic mulch used affected the soil's physical characteristics. The best treatments for forage yield were T1 and T2 (10 and 20 t ha⁻¹). The following equation is proposed to explain the performance of the variables evaluated: $Y = 19580.77 - 633.59 \text{ Temp.}$

Index words: Forage yield, prediction model, multiple regression, physical characteristics.

INTRODUCCION

México, como otros países del mundo, cuenta con dos grandes sistemas de producción: el agrícola y el pecuario. En condiciones de riego y temporal, ambos

sistemas engloban una superficie aproximada de 196.9 millones de hectáreas, de las cuales 29% son áridas, 10.7% semiáridas, 35% semihúmedas y 24% húmedas. De la superficie total de la Comarca Lagunera, de 50 a 60% está prácticamente disponible para realizar actividades agrícolas y la superficie dedicada a la producción de forrajes es aproximadamente 25% del total de la superficie destinada a la producción agrícola; los cultivos que más se establecen son la alfalfa (30 000 ha), el maíz y el sorgo forrajeros, así como la avena (1800 ha), el rye-grass, el trébol y las praderas (5000 ha) (Martínez, 1997). Estos forrajes se utilizan para satisfacer las necesidades alimenticias del ganado bovino (y otros), el cual por sí solo produce más de 200 000 L de leche diarios.

El cultivo forrajero más importante, y base del sistema actual de producción de leche, lo representa la alfalfa (*Medicago sativa* L.), el cual se caracteriza por sus altos rendimientos de materia seca por hectárea, así como por la excelente calidad de su forraje, contándose en 1998 con una superficie de 35 227 ha (SAGAR, 1999), sin embargo, éste tiene la desventaja de ser poco eficiente en el uso del agua.

Los suelos agrícolas más importantes de la región se ubican en las series de suelos como son: Coyote (98 000 ha), Zaragoza (68 000 ha), San Pedro (65 000 ha), San Ignacio (56 000 ha) y Tlahualilo (20 000 ha); existen otras series cuya superficie no llega a 20 000 ha, entre éstas se encuentra Noé, Gómez Palacio, Concordia y Santiago (Martínez, 1997).

Las texturas de estos suelos varían desde arcillosas en la serie Zaragoza, migajones-arcillosas en la Coyote, hasta migajones-arenosas y arenosas en la San Pedro. En consecuencia, la variabilidad de retención de agua y nutrimentos ésta condicionada por la textura, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico.

La Comarca Lagunera se encuentra entre las zonas más mecanizadas del país, con poco más de 300 000 ha dedicadas a la producción agrícola, de las cuales 248 715 ha se riegan por gravedad y las restantes corresponden a tierras temporales o de medio riego con condiciones termopluvio-métricas bastante aleatorias para las actividades agrícolas.

El estiércol de bovino es un abono de baja concentración y un mejorador de suelos, es un subproducto de la ganadería. Es un abono de acción completa que contiene elevadas cantidades de nitrógeno, potasio, calcio, y como humus mejora las

calidades higroscópicas del suelo. Como enriquecedor mineral, el estiércol de 25 vacas durante un año equivale a 1300 kg de fertilizante, suficiente para 19 ha de maíz (Castellanos, 1982).

Por otro lado, el sistema de labranza de conservación reduce la erosión del suelo hasta 95%, permite captar una cantidad de agua para una mejor infiltración y conservarla para aprovechamiento posterior del cultivo. Se tiene mayor cantidad de materia orgánica que en el sistema tradicional, conserva la estructura original del suelo y se reduce el uso de maquinaria. En general, los suelos de textura pesada con lento y pobre drenaje interno han demostrado menor respuesta a la labranza que los suelos de textura ligera y con buen drenaje.

Actualmente, el conocimiento y comprensión de las propiedades físicas del suelo constituyen la clave para el entendimiento de muchos procesos de importancia agrícola y ambiental. Por esta razón, es importante estudiar el comportamiento del suelo bajo diferentes sistemas de manejo (Martínez, 1997).

Debido a lo señalado, se considera que el uso de modelos de predicción permite inferir efectos de importancia en la agricultura, así como la respuesta del crecimiento, desarrollo y rendimiento económico de los cultivos a las condiciones ambientales, lo cual representa uno de los mayores desafíos de los científicos interesados en el mejoramiento de la producción y productividad agrícola. En consideración a lo anterior, se planteó el siguiente trabajo cuyos objetivos fueron: a) Evaluar el efecto de la labranza de conservación con coberturas de abono de bovino sobre el rendimiento de forraje, humedad del suelo, compactación, densidad aparente y temperatura y b) Desarrollar un modelo de predicción de rendimiento sobre la base de las características del suelo para alfalfa.

REVISION DE LITERATURA

Labranza de Conservación

Benítez (1992) indica que hay una confusión considerable entre los términos labranza de conservación, labranza limitada, labranza reducida y labranza mínima, por una parte, con las expresiones no-labranza, labranza cero y labranza química, por la otra. Considerando que debe prestarse más atención a las técnicas y prácticas de labranza que, además de

preparar el lecho de siembra deseado, contribuyan a manejar los residuos de cosecha, incorporar los fertilizantes, mejorar la aireación del suelo, disminuir la compactación y optimizar los regímenes de temperatura y humedad del suelo. La labranza convencional o tradicional es el conjunto de operaciones primarias y secundarias realizadas para preparar una cama de siembra para un cultivo dado en una región geográfica determinada (Mannering y Fenster, 1983) que produce modificaciones desfavorables, desde el punto de vista de conservación de algunas propiedades de los suelos, como degradación integral del recurso del suelo (propiedades físicas, químicas y biológicas) y pérdida paulatina de la productividad del mismo. Por otro lado, la labranza de conservación es un sistema de laboreo del suelo con características especiales, que implica que se deje al menos 30% de los residuos de cultivo anterior sobre el suelo (Lal *et al.*, 1990). Entre los sistemas de labranza de conservación se incluyen la labranza mínima, el cincelado, la labranza entre surcos y la labranza cero.

La labranza de conservación es un sistema que reduce las pérdidas de suelo y agua en relación con la labranza convencional y, a menudo, corresponde a una forma de labranza de no-inversión, que mantiene una cantidad adecuada de residuos sobre la superficie. Así específicamente, se puede considerar a la labranza de conservación como un sistema labranza en el cual los residuos de cosecha son retenidos en o cerca de la superficie, y/o se mantiene una rugosidad superficial en el suelo, con el objeto de controlar la erosión y lograr una buena relación suelo-agua. (Allmaras y Dowdy, 1985).

Bajo el concepto de labranza de conservación se tiene a la labranza con cubierta de rastrojo, la labranza reducida o mínima y la no labranza o cero-labranza; todas éstas son labranzas de conservación (Ramos, 1992; Martínez, 1997) porque en condiciones de secano mejoran la conservación de los recursos suelo-agua con el mantenimiento de los residuos de la cosecha anterior en la superficie del suelo durante el ciclo del cultivo.

Con la reducción de prácticas de labranza, se pretende conservar algunas propiedades físicas del suelo como la estructura para minimizar las pérdidas del suelo y, en muchos casos, lograr un adecuado manejo del escurrimiento superficial (Cruzaley, 1992).

Figuroa (1983) evaluó diferentes métodos de labranza (labranza cero, labranza mínima y labranza

convencional) y encontró que al ser de mayor profundidad el rastreo en labranza mínima éste aumenta la velocidad de infiltración del agua en el suelo en 20% en comparación con los otros sistemas; dicho autor atribuyó esto al rompimiento de estratos duros y, al mismo tiempo, a una mayor disponibilidad de agua para la planta.

La manera de evaluar la bondad del sistema de labranza es con la productividad de un cultivo, así el rendimiento estará en función del sistema de labranza empleado y esto es debido a las prácticas de manejo y condiciones ambientales. Oleschko (1989) define la labranza eficiente y agrónomicamente como aquella que favorece la formación de los elementos estructurales de validez agronómica para la zona climática determinada.

Cantu (1999), en un estudio realizado en alfalfa en la Comarca Lagunera, menciona los rendimientos promedio de materia seca de 25.07 y 26.88 t ha⁻¹, para dos años consecutivos de producción, y comenta que estos resultados muestran el impacto de la variación climática en la producción de alfalfa, pues ésta disminuye cuando las temperaturas medias anuales son mayores que 20.5 °C. Además, la producción potencial de cultivos, con la tecnología actual, también puede ser afectada por las características de suelo, de las cuales una de las más importantes es la salinidad.

Figuroa (1983) considera que la densidad aparente puede reducirse con la labranza conforme se dan más pasos de maquinaria al inicio del cultivo, y ser ligeramente menor al final del ciclo con menos pasos de maquinaria; además, menciona que la resistencia mecánica también se reduce con menor laboreo.

López (1993) indica que los sistemas de producción con labranza de conservación pueden ayudar a reducir la erosión y la evaporación de la humedad, además de reducir los costos de producción por hectárea, por efecto de pasadas de cuadro, compactación del suelo, trabajo de mano de obra, combustible y necesidades de equipo. Dicho autor concluye que en el primer año los rendimientos son más bajos que en el sistema convencional, pero después son equivalentes o superiores. Lucía (1992) y Vázquez (1992) concluyeron que es evidente que la historia previa del cultivo, el contenido de materia orgánica y las condiciones físicas prevalecientes pueden tener una gran influencia en las propiedades físicas bajo labranza convencional

Efecto de los Abonos Orgánicos en el Suelo

Castellanos (1982) menciona una reducción en la resistencia del suelo mediante la aplicación de estiércol. Sin embargo, este autor reporta que para observar cambios inmediatos en las condiciones del suelo, se requieren altas dosis o bien un número de años de aplicación sostenida de estiércol.

Amador (1996) estudió la interrelación de varios componentes y constantes de física de suelos. Este autor encontró que el contenido de materia orgánica tenía una influencia determinante sobre la densidad aparente.

Los suelos de textura pesada y con problemas de permeabilidad requieren dosis iniciales altas del orden de 100 t ha^{-1} . La dosis recomendada varía desde 30 a 60 t ha^{-1} de estiércol, aunque, en suelos con problemas de sales, por ejemplo, se deberá de considerar, ya que el estiércol contiene un promedio de 50 kg de sal por tonelada (Castellanos, 1982). Posiblemente, el mayor impacto que el estiércol produce en el suelo es sobre las propiedades físicas, ya que disminuye la densidad aparente, incrementa la porosidad, produce un acolchado y reduce las pérdidas directas de humedad por evaporación. En alfalfares con problemas de restricción de infiltración de agua, se incrementó el rendimiento hasta 23 t ha^{-1} en 18 cortes con la aplicación de estiércol, se mejoró la aireación y se aumentó el contenido de materia orgánica.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del Area de Estudio

El presente trabajo se realizó en el ejido Florida, localizado en el km 31 de la carretera Gómez Palacio, Durango-Fco. I. Madero, Coahuila. Su situación geográfica es $25^{\circ}40'30''$ latitud norte, $102^{\circ}40'30''$ longitud oeste.

Características Climáticas

El sitio tiene una altitud de 1150 m , el clima es de tipo seco desértico, la precipitación media anual es de 242.8 mm , la temperatura media anual es de 20.9°C . El lapso comprendido entre mayo y agosto es el más caluroso del año y los meses de diciembre y enero son los más fríos. El promedio de heladas es de 24 en un año, la primera se presenta en los meses de noviembre

o diciembre y la última en los meses de febrero o marzo, con un periodo libre de heladas de abril a octubre, por lo cual se considera que la atmósfera de la región es relativamente seca.

Condiciones Edáficas

Las condiciones del suelo en el área de cultivo son:

- a) Textura
 - 0 a 30 cm, arcillosa;
 - 30 a 60 cm, arcillosa;
 - 60 a 90 cm, migajón arcilloso.
- b) Porcentaje de humedad a capacidad de campo (CC): 37%
- c) Porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente (PMP): 15%
- d) Suelos de baja capacidad de retención de humedad.
- e) Clasificación por fertilidad: moderadamente fértil.

Tratamientos

Los tratamientos de labranza con porcentajes de cobertura de abono orgánico seco (40 días) sobre el suelo, se aplicaron debido a que el cultivo anterior fue maíz, y el problema con sus residuos es que la caña es muy grande y para la siembra de alfalfa fue necesario incorporarla y establecer la cobertura con el abono orgánico de bovino; se consideró un promedio de aplicación de estiércol de 20 t ha^{-1} para cubrir 50% de la superficie y con grosor variable, considerando los siguientes tratamientos:

- T1 30% cobertura con grosor de $1.0 \text{ cm} = 10 \text{ t ha}^{-1}$
- T2 50% cobertura con grosor de $2.0 \text{ cm} = 20 \text{ t ha}^{-1}$
- T3 70% cobertura con grosor de $3.0 \text{ cm} = 30 \text{ t ha}^{-1}$
- T4 90% cobertura con grosor de $4.0 \text{ cm} = 40 \text{ t ha}^{-1}$

Se utilizó una parcela adyacente de una hectárea como testigo, en la cual se evaluó únicamente rendimiento de forraje y se comparó con los tratamientos considerados.

Las labores culturales realizadas en todos los tratamientos de cobertura sobre el suelo fueron las siguientes:

- a) Paso de rastra sencilla, usando rastra de discos a una profundidad de 30 cm , según lo recomendado por Martínez (1997), quien menciona que es un implemento que al invertir el suelo propicia condiciones adecuadas para la germinación y retención de humedad (30 de noviembre).
- b) Aplicación de abono orgánico con una asperjadora mecánica (estercoladora), lo cual permitió una correcta

aplicación del abono de bovino como cobertura en el suelo (02 diciembre).

c) La siembra se realizó al voleo con una sembradora Brillion (04 diciembre).

Lo anterior difiere de la labranza convencional que consiste en un subsuelo a 50 ó 60 cm, seguido de barbecho, rastreo, escarificación y siembra.

Conducción del Experimento

Muestreo de suelos. Previo a la siembra, se tomaron muestras de suelo de los estratos de 0 a 30 y de 30 a 60 cm de profundidad y estas muestras se secaron para su análisis y determinar las siguientes propiedades físicas:

1. Textura: determinada por el método del hidrómetro de Bouyoucos.
2. Capacidad de campo: evaluada por medio de la olla de presión.
3. Punto de marchitez permanente: usando la membrana de presión.
4. Densidad aparente: evaluada por el método de muestras inalteradas.

Siembra y variedad. La fecha de siembra fue el día 4 de diciembre y se usó la variedad Sundor a razón de 32 kg ha⁻¹. No hubo fertilización inorgánica. El estudio se condujo de diciembre de 1998 a octubre de 1999.

Riegos. El número de riegos fue de nueve durante el tiempo que se mantuvo el estudio (diciembre de 1998 a octubre de 1999). Los riegos se aplicaron a intervalos de 25 a 30 días, en primavera y verano, y de 35 a 40 días, en otoño e invierno. La lámina total de agua aplicada en un año fue de 1.90 m.

Variables Evaluadas

Humedad del suelo. Se determinó en los estratos de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm de profundidad, para después calcular el porcentaje de humedad con la siguiente fórmula: porcentaje de humedad = $(psh - pss / pss) \cdot 100$.

Los valores de humedad se cuantificaron con el promedio de los dos estratos en las tres repeticiones por tratamiento (%). Lo anterior se realizó con la finalidad de tener una respuesta más confiable en el estrato de 0 a 30 cm, al tener más muestreos y explorar un mayor espacio de suelo que reflejara con mayor exactitud lo que pasa en el estrato evaluado. Esto para cada tratamiento, y en cada variable evaluada, ya que

no se pretendió analizar cada estrato ni generar modelos por estrato para cada variable.

Temperatura del suelo. Se efectuaron muestreos a una profundidad de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm para cada uno de los tratamientos. Los valores de temperatura se cuantificaron con el promedio de los dos estratos en las tres repeticiones por tratamiento (°C).

Densidad aparente. Se realizaron muestreos a profundidades de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm. Los valores de esta variable se evaluaron con el promedio de los dos estratos en las tres repeticiones por tratamiento (g cm⁻³).

Compactación. Se efectuaron muestreos a una profundidad de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm. Los valores de compactación se cuantificaron con el promedio de los dos estratos en las tres repeticiones por tratamiento (kPa).

Rendimiento. Se determinó en el momento de la cosecha del cultivo (kg ha⁻¹).

Periodicidad del Muestreo

Todas las variables estudiadas se determinaron semanalmente, excepto el rendimiento de forraje (en la cosecha).

Las variables del suelo estudiadas se evaluaron para observar cambios durante el ciclo de cultivo debido a lo mencionado por Castellanos *et al.* (1996), quienes señalan que existen cambios en estas variables causadas por aportaciones orgánicas, de las cuales 70% se mineraliza rápidamente, en uno o dos años; el resto se transforma en humus, se incorpora al suelo y produce su efecto benéfico en la estructura del suelo a partir del primer año de aplicación; además, de lo señalado por Campos (1996), quien menciona que la velocidad de infiltración es mayor en labranza de conservación y que la densidad aparente es mayor en la labranza tradicional, lo cual se debe al reacomodo de los agregados del suelo después de la labranza. Por lo anterior, se generó un modelo de regresión múltiple en función de características de suelo, como variables independientes, y el rendimiento de forraje, como variable dependiente.

Diseño experimental. La distribución de los tratamientos en el campo se realizó en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. La parcela experimental total fue de 50 m de ancho por 90 m de largo.

Análisis estadístico. El trabajo se analizó por su respectivo análisis de varianza; se utilizó una prueba de medias (Tukey) para jerarquizar los tratamientos y dar respuesta al objetivo uno. Se utilizó un modelo de bloques al azar como se describió anteriormente para el análisis y éste se desglosa de la manera siguiente:

$$X_{ij} = \mu + \beta_j + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

X_{ij} = Valor de la observación

μ = Valor de la media general

T_i = Efecto del tratamiento

β_j = Efecto del bloque

ϵ_{ij} = Residuales.

Además, se realizó un análisis de regresión múltiple para generar el modelo de predicción en función del rendimiento de forraje como variable dependiente (Y) y humedad, compactación, temperatura y densidad aparente del suelo como variables independientes (X's), utilizando el siguiente modelo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon_i$$

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se discuten las variables evaluadas: humedad, temperatura, compactación y densidad

aparente del suelo, y rendimiento de forraje. Los resultados se presentan a continuación.

Humedad del Suelo

En el Cuadro 1 se muestran los resultados del análisis de varianza de las variables humedad, temperatura, compactación y densidad aparente del suelo, y rendimiento de forraje en los tratamientos de cobertura con abono orgánico (estiércol de bovino) 10, 20, 30 y 40 t ha⁻¹ en sus tres repeticiones.

En dicho cuadro se observa que no existe diferencia significativa para esta variable en los cuatro tratamientos, lo cual significa que cada uno de ellos tiene igual efecto sobre la retención de humedad. Sin embargo, en el Cuadro 2 se observa que el Tratamiento 4 (40 t ha⁻¹) es el mejor en la conservación de humedad. Se considera que este tratamiento, al tener la mayor cantidad de cobertura, mejoró la estructura y porosidad del suelo y se manifiesta en mejor retención de humedad. Lo anterior coincide con Castellanos (1982), quien menciona que el mayor impacto que el estiércol produce en el suelo es sobre las propiedades físicas, ya que disminuye la densidad aparente, incrementa la porosidad y produce un acolchado que reduce las pérdidas directas de humedad por evaporación.

Lo anterior también concuerda con lo expuesto por Phillips *et al.* (1980) y Bustillos (1987), quienes

Cuadro 1. Análisis de varianza para humedad, temperatura, compactación y densidad aparente del suelo en alfalfa (*Medicago sativa* L.). Fco. I. Madero, Coah. 1999.

Variable	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor F	Prob>F	Coefficiente de variación (S)
Humedad					
Modelo	3	2.416016	3.0551	0.090 NS	2.37
Error	6	0.689290			
Compactación					
Modelo	3	464117.343750	5.0822	0.044 *	5.51
Error	6	91322.664063			
Densidad aparente					
Modelo	3	0.000100	0.5937	0.642 NS	1.26
Error	6	0.000167			
Temperatura					
Modelo	3	1.763835	8.9896	0.013 **	1.98
Error	6	0.196208			
Rendimiento de forraje					
Modelo	3	1178784	59.1284	0.00 **	2.60
Error	6	19936			

NS = No significancia. * Diferencia significativa al 0.05. ** Diferencia significativa al 0.01.

Cuadro 2. Comparación de medias por Tukey para temperatura, humedad, compactación y densidad aparente del suelo en alfalfa (*Medicago sativa* L.). Fco. I. Madero, Coah. 1999.

Tratamiento	Medias				
	Temperatura (**)	Humedad (NS)	Compactación (*)	Densidad aparente (NS)	Rendimiento de forraje (**)
	°C	%	kPa	g cm ⁻³	kg ha ⁻¹
1	21.583334 A	33.766666	4909.000000 A	1.020000	6058.333496 A
2	21.833334 B	35.000000	5660.666504 B	1.016667	5865.333496 A
3	22.666666 B	35.166668	5589.333496 B	1.030000	5024.333496 B
4	23.250000 B	35.933334	5786.000000 B	1.020000	4774.333496 B

NS = No significancia. * Diferencia significativa al 0.05. ** Diferencia significativa al 0.01.

indican que bajo el sistema de labranza de conservación, con al menos 30% de cobertura, los suelos estudiados (Xerosol y Cambisol) presentaron mayor retención de humedad, como sucedió en este caso. Además, comentan que esto se debe a la reducción de pérdidas de agua debido a la cobertura sobre la superficie. Reafirmando lo anterior, Onstad y Otterby (1979), quienes estimaron que este tipo de labranza con cobertura sobre el suelo puede llegar a aumentar el agua retenida en un suelo desde 0.5 hasta 5 cm en suelos con rangos moderados de infiltración; en suelos con rangos bajos de infiltración el aumento puede variar desde 2.5 a 12.5 cm, lo que da idea de cómo estas prácticas hacen más eficiente el uso del agua. A lo anterior debe agregarse lo reportado por Castellanos *et al.* (1996), quienes estudiaron el efecto a largo plazo de la aplicación de estiércol de bovino y reportan un incremento significativo en la velocidad de infiltración y retención de humedad con dosis de 60 t ha⁻¹; estos autores señalan que dicho efecto se logra debido a que del total de aportaciones orgánicas 70% se mineraliza rápidamente, en uno o dos años; el resto se transforma en humus, se incorpora al suelo y produce su efecto benéfico en la estructura del suelo a partir del primer año de aplicación.

Temperatura del Suelo

Para el caso de temperatura, existe diferencia significativa para esta variable en los cuatro tratamientos, según lo mostrado en el Cuadro 1. Ello implica que cada uno tiene efecto diferente sobre la temperatura del suelo debido a las coberturas en cada tratamiento. En el Cuadro 2 se muestra que el Tratamiento 1 (10 t ha⁻¹) presenta la menor temperatura y el Tratamiento 4 (40 t ha⁻¹) la mayor. A este respecto, Thomas (1986) reporta que la temperatura del suelo es más estable en los sistemas de

labranza reducida que en los de la tradicional debido a los mayores contenidos de humedad en el suelo, lo que origina que los suelos se calienten más lentamente. Lo anterior es diferente a los resultados encontrados en este estudio, ya que el Tratamiento 4 (40 t ha⁻¹), a pesar de tener los más altos niveles de humedad en el suelo y mayor cobertura superficial, presenta la mayor temperatura. Esto se debe a la cubierta superficial que cubre en su totalidad el suelo de este tratamiento y reduce las pérdidas de agua por evaporación y, por ende, conserva la temperatura, lo cual se traduce en un valor mayor para este tratamiento. Estos resultados también pueden deberse más a procesos exotérmicos de descomposición de la materia orgánica y cobertura que a la misma labranza, ya que durante la mineralización los microorganismos generan calor, tanto que descomponen la materia orgánica, produciéndose durante el proceso temperaturas entre 32 y 60 °C lo cual calienta el suelo (Rodríguez, 1982).

Compactación del Suelo

Para esta variable también existe diferencia significativa en los cuatro tratamientos. Esto se presenta en el Cuadro 1 y significa que cada uno de ellos tiene efecto diferente sobre la compactación del suelo debido a los diferentes niveles de abono orgánico aplicado en cada tratamiento. En el Cuadro 2 se observa que el Tratamiento 4 (40 t ha⁻¹) presenta los valores más altos de compactación y que el de menor compactación a través del ciclo es el Tratamiento 1 (10 t ha⁻¹). Los resultados anteriores indican que la compactación aumenta según avanza el ciclo de cultivo y la disminución de la humedad en el suelo. Estos coinciden con lo expuesto por Luttrell *et al.* (1977) y Barraclough *et al.* (1991), quienes mencionan que, en su acción sobre el suelo, diferentes niveles de cobertura y labranza permiten alcanzar una mayor porosidad y,

por ende, una menor compactación. Además, también coinciden con Castellanos (1982), quien menciona que el mayor impacto que el estiércol produce en el suelo es sobre las propiedades físicas, pues disminuye la densidad aparente, incrementa la porosidad y produce un acolchado, el cual reduce las pérdidas directas de humedad por evaporación. A lo anterior debe agregarse lo reportado por Castellanos *et al.* (1996), quienes señalan que esto se logra debido a que del total de aportaciones orgánicas, 70% se mineraliza rápidamente en uno o dos años, y el resto se transforma en humus, incorporándose al suelo y produciendo su efecto benéfico en la estructura, densidad aparente y compactación del suelo a partir del primer año de aplicación.

Densidad Aparente

En el Cuadro 1 se muestra que no existe diferencia significativa para esta variable en los cuatro tratamientos, lo cual significa que cada uno de ellos tiene igual efecto sobre la densidad aparente del suelo. Esto implica un comportamiento homogéneo entre los tratamientos con respecto a esta variable. Estos resultados concuerdan con los de Lutrell *et al.* (1977), quienes mencionan que los cambios en densidad aparente en labranza de conservación son menores que en la labranza convencional ya que, en seis años bajo este sistema, la densidad aparente decreció de 1.43 g cm^{-3} a 1.40 g cm^{-3} , mientras que en labranza convencional ésta se incrementó de 1.37 g cm^{-3} a 1.53 g cm^{-3} . Lo anterior también concuerda con Campos (1996), quien menciona que la velocidad de infiltración es mayor en labranza de conservación y que la densidad aparente es mayor en la labranza tradicional, lo cual se debe al reacomodo de los agregados del suelo después de la labranza.

Rendimiento de Forraje

Para el caso de rendimiento, en el Cuadro 1 también se observan diferencias significativas. En el Cuadro 2 se observa que los Tratamientos 1 y 2 ($10, 20 \text{ t ha}^{-1}$) son los que mayor rendimiento de forraje presentaron (6058.33 y $5865.33 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente), mayores que el testigo con labranza convencional y sin cobertura ($4254.67 \text{ t ha}^{-1}$). Esto implica un comportamiento diferente entre tratamientos con respecto a esta variable. Lo anterior coincide con

los resultados obtenidos en las variables temperatura y compactación, donde los Tratamientos 1 y 2 fueron los que presentaron menor temperatura y compactación del suelo, no así en humedad del suelo, ya que el Tratamiento 4 (40 t ha^{-1}) es el que tuvo el mejor comportamiento en retención de humedad. Por lo anterior, puede deducirse que los Tratamientos 1 y 2 (Cuadro 2) presentaron los mayores rendimientos de forraje por tener menor temperatura y condiciones de dureza en el suelo, lo cual permitió lograr esas producciones a pesar de tener ligeramente menor contenido de humedad. Este comportamiento puede deberse a lo mencionado por Castellanos (1982), quien indica que el mayor impacto que el estiércol produce en el suelo es sobre las propiedades físicas, ya que disminuye la densidad aparente, incrementa la porosidad y produce un acolchado, reduciendo las pérdidas directas de humedad por evaporación. En alfalfares con problemas de restricción de infiltración de agua, se obtuvieron incrementos del rendimiento hasta 23 t ha^{-1} , en 18 cortes, con la aplicación de estiércol, además de que se mejoró la aireación y aumentó el contenido de materia orgánica. El efecto negativo de la compactación también es mencionado por Bengough y Young (1993), quienes señalan que la compactación disminuye el crecimiento de las raíces, pues ésta constituye un impedimento mecánico y, de esta forma, una fracción de la reserva de agua y nutrimentos no son accesibles a la planta.

Relación Funcional entre Variables

Los datos de las variables evaluadas, a partir de las cuales se realizó el análisis de regresión, se muestran en el Cuadro 3.

Modelo de Predicción para Rendimiento de Forraje

Al realizar el análisis de regresión para el modelo completo con las cuatro variables independientes (humedad, temperatura, densidad aparente y compactación del suelo), *versus* la variable dependiente (rendimiento de forraje), se observa en el Cuadro 4 que existe diferencia altamente significativa para las variables incluidas en el modelo, lo cual comprueba la hipótesis alterna ($H_0: \beta's=0$ *versus* $H_a: \beta's \neq 0$) de que al menos un coeficiente de regresión es diferente a cero. Esto indica una relación funcional de tipo lineal

Cuadro 3. Variables evaluadas en alfalfa (*Medicago sativa* L.). Primer corte. Fco. I. Madero, Coah. 1999.

Tratamiento	Humedad del suelo	Temperatura del suelo	Compactación del suelo	Densidad aparente	Rendimiento de forraje
	%	°C	kPa	g cm ⁻³	kg ha ⁻¹
T1R1	32.8	20.75	2904	1.01	6025
T1R2	33.5	22.25	5965	1.03	5950
T1R3	35	21.75	5858	1.02	6200
T2R1	33	21.75	4085	1.03	5866
T2R2	34	22	6126	1.01	5980
T3R2	38	21.75	6771	1.01	5750
T3R1	34.5	22.75	3924	1.05	5073
T3R2	34	22.5	6019	1.03	5200
T3R3	37	22.75	6825	1.01	4800
T4R1	35	23	4408	1.03	4793
T4R2	358	23	6287	1.01	4850
T4R3	37	23.75	6663	1.02	4680

Promedio de las variables evaluadas con sus diferentes tratamientos (T) y número de repeticiones (R) a través del tiempo, excepto rendimiento de forraje que se evaluó a la cosecha.

entre la variable dependiente y las variables independientes. Lo anterior muestra que el Modelo 1 generado en el análisis de regresión del Cuadro 4, presenta resultados confiables, ya que su coeficiente de determinación R^2 es de 0.87, este valor significa que 87% de la variación del rendimiento de forraje se debe a las cuatro variables incluidas en el modelo. El Modelo 1 puede usarse para predecir la función de respuesta del rendimiento de forraje en alfalfa, considerando las variables de humedad, temperatura, densidad aparente y compactación del suelo, incluidas en el mismo.

Modelo de Regresión para Rendimiento de Forraje en Alfalfa

$$Y = -0.29 \text{ Hum} - 1.02 \text{ Temp} + 0.22 \text{ DA} + 0.5318 \text{ Comp} \quad (1)$$

Tratando de generar un modelo reducido con menor cantidad de variables independientes incluidas, se usó el procedimiento step-wise. En el Cuadro 5 se presentan los resultados del análisis de varianza. En éste se observa que existe diferencia significativa entre las variables relacionadas en el modelo que fueron

rendimiento de forraje como variable dependiente (Y) y temperatura del suelo como variable independiente (X). Por lo cual se propone el Modelo 2 para predecir el rendimiento de forraje con una adecuada confianza en la predicción para la función de respuesta, ya que el coeficiente de determinación (R^2) es de 0.75, es decir, que la temperatura del suelo explica 75% de la variación en rendimiento de forraje.

$$Y = 19580.77 - 633.59 \text{ Temp} \quad (2)$$

Los resultados para este Modelo 2 concuerdan con Cantú (1999), quien, en un estudio realizado en alfalfa en la Comarca Lagunera, menciona que la variación climática tiene gran influencia en la producción, ya que se ha observado que ésta disminuye cuando las temperaturas medias anuales son mayores que 20.5 °C. En la Figura 1 se observa el ajuste obtenido entre los valores observados y predichos por el Modelo 2.

Tratando de buscar una explicación más adecuada a la relación funcional entre las variables de suelo consideradas en el estudio y determinar la más importante, se procedió a realizar el análisis de regresión para la variable humedad del suelo en función de la temperatura, compactación y

Cuadro 4. Análisis de varianza para rendimiento de forraje en alfalfa (*Medicago sativa* L.). Fco. I. Madero, Coah. 1999.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Prob>F
Modelo	4	3235360.8671	808840.21679	12.339	0.0027**
Error	7	458874.04953	65553.43565		
Total	11	3694234.9167			

* Diferencia significativa al 0.01.

$R^2 = 0.87$

Cuadro 5. Análisis de varianza para rendimiento de forraje en alfalfa (*Medicago sativa* L.). Procedimiento stepwise. Fco. I. Madero, Coah. 1999.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Prob>F
Regresión	1	2776604.1606426	2776604.1606426	30.26	0.0003**
Error	10	917630.75602410	91763.07560241		
Total	11	3694234.9166667			

* Diferencia significativa al 0.01.

R² = 0.75

Cuadro 6. Resumen de análisis de varianza de las variables humedad, temperatura, densidad aparente y compactación del suelo en alfalfa (*Medicago sativa* L.). Fco. I. Madero, Coah. 1999.

Variable	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor F	Prob>F	R ²	Coefficiente de variación
Humedad						
Modelo	3	5.97077	3.659	0.0632	0.5784	3.65324
Error	8	1.63180				
Compactación						
Modelo	3	3691449.4701	3.840	0.0568	0.5902	17.87039
Error	3	961211.72995				
Densidad aparente						
Modelo	3	0.00029	2.529	0.1308	0.4867	1.04207
Error	8	0.00011				
Temperatura						
Modelo	3	1.23641	3.084	0.0901	0.5363	2.83519
Error	8	0.40093				

densidad aparente. Los resultados muestran que la humedad es explicada en 57.8% por las variables independientes incluidas en el Modelo 3; procedimiento similar se realizó para temperatura, compactación y densidad aparente como variables dependientes y las demás como independientes (Cuadro 6).

En estos resultados se aprecia que después de la humedad, la variable más relacionada es compactación, siguiendo en orden de importancia

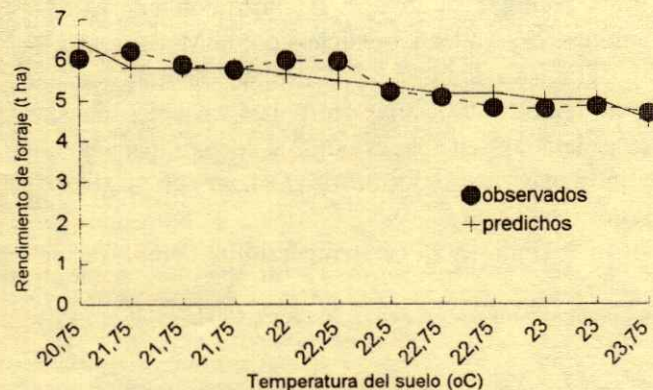


Figura 1. Valores de rendimiento de forraje observados y predichos por el modelo de regresión generado para alfalfa (*Medicago sativa* L.). Fco. I. Madero, Coah. 1999.

Cuadro 7. Modelos resultantes para las variables humedad, temperatura, compactación y densidad aparente del suelo en alfalfa (*Medicago sativa* L.). Fco. I. Madero, Coah. 1999.

Modelo propuesto para la humedad del suelo	
Humedad = 0.38 Temp - 0.29 DA + 0.4047 Comp	(3)
Modelo propuesto para compactación del suelo	
Compactación = 0.39 Hum + 0.35 Temp - 0.36 DA	(4)
Modelo propuesto para densidad aparente del suelo	
Densidad aparente = -0.35 Hum + 0.63 Temp - 0.4591 Comp	(5)
Modelo propuesto para temperatura del suelo	
Temperatura = 0.42 Hum + 0.57 DA + 0.4007 Comp	(6)

temperatura y densidad aparente con valores de R² de 0.5902, 0.5363 y 0.4867, respectivamente. Del análisis de regresión que se mencionó anteriormente, se generaron los Modelos 4, 5 y 6 que se proponen para explicar el comportamiento de las variables dependientes (Y) en función de las variables independientes (X's) (Cuadro 7).

CONCLUSIONES

- Los resultados evidencian que las propiedades físicas del suelo (compactación y temperatura) son afectadas por las diferentes coberturas con abono de bovino y

labranza realizada, no así la densidad aparente y la humedad. Se concluye que los Tratamientos 1 y 2 (10 y 20 t ha⁻¹) son los mejores en lo que se refiere a rendimiento de forraje; estos valores de rendimiento superan a los obtenidos en labranza convencional en la región.

- Los Modelos 1 y 2, que explican la función de respuesta de rendimiento y permiten predecir nuevos valores, pueden usarse con confianza en futuros trabajos relacionados con el cultivo de la alfalfa.

- Se sugiere seguir trabajando para calibrar los modelos obtenidos y su posterior validación para los suelos de la Comarca Lagunera.

LITERATURA CITADA

- Allmaras, R.R. y R.H. Dowdy. 1985. Conservation tillage systems and their adoption in the United States. *Soil & Tillage Res.* 5: 197-222.
- Amador M., A. 1996. Comparación de tres sistemas de labranza con respecto al ciclo del nitrógeno en el suelo y planta de avena (*Avena sativa*) y maíz (*Zea mays*). p. 21. *In: Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Cd. Obregón, Son.
- Barracough, P.B., A.H. Weir y H. Kuhlmann. 1991. Factors affecting the growth and distribution of winter wheat roots under UK field conditions. pp. 410-417. *In: B.I. McMichael y H. Persson (eds.). Plant roots and their environment.* Proceedings of an ISSR symposium, 21-26 August, 1988, Uppsala, Sweden. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Benites, J.R. 1992. Manual de sistemas de labranza para América Latina. *Boletín de Suelos* 66. FAO, Roma, Italia.
- Bengough, A.G. e I.M. Young. 1993. Root elongation of seedling peas through layered soil of different penetration resistances. *Plant Soil* 149: 129-139.
- Bustillos D., S. 1987. Evaluación de los efectos de la labranza sobre dos suelos de México. Tesis Ingeniero Agrónomo en Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Campos, S. 1996. Evaluación de la labranza de conservación y la tradicional en la producción de soya y sorgo y su influencia en la aparición de enfermedades, maleza y condiciones físicas del suelo. Tesis Doctoral. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Nuevo León.
- Cantú B., J.E. 1999. Módulo de producción sustentable de forrajes para la producción de leche en regiones con limitantes de agua. Avances de Proyecto de tesis Doctoral. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Dgo.
- Castellanos, J.Z. 1982. Utilización de los estiércoles en la agricultura. Colegio de Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey, Sección Laguna: 72-75.
- Castellanos, J.Z., J. Etchevers B., A. Aguilar Santelises y R. Salinas J. 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades del suelo en una región irrigada del norte de México. *Terra* 14: 151-158.
- Cruzaley, S.R. 1992. Efecto de la labranza en la estructura del suelo y su relación con el desarrollo y rendimiento de maíz. p. 57. *In: Memorias del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Acapulco, Gro.
- Figueroa S., B. 1983. La investigación en labranza en México. *Terra* 1: 37-43.
- Lal, R., D.J. Eckert, N.R. Fausey y W.M. Edwards. 1990. Conservation tillage in sustainable agriculture. pp. 203-225. *In: Sustainable agricultural systems.* Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.
- López M., J.D. 1993. Labranza de conservación y sus efectos en la retención, almacenamiento de humedad y propiedades físicas del suelo bajo condiciones de secano. Proyecto de investigación. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Dgo.
- Lucía V., A. 1992. Estudio de labranza mínima para retención y conservación de la humedad en el suelo. Tesis de licenciatura. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Dgo.
- Luttrell, D.H., C.W. Bockhop y W.G. Lovely. 1977. The effect of tillage operations on soil physical conditions. *Transactions of the ASAE* 64: 103-107.
- Manning, J.V. y C.R. Fenster. 1983. What is conservation tillage. *Soil and Water Conservation* 38: 141-143.
- Martínez R., E. 1997. Comportamiento de un suelo Xerosol háplico ante la acción de los implementos de labranza. Disertación Doctoral. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León.
- Oleschko L., K. 1989. Evaluación de la deficiencia de la labranza a través de la dinámica de las propiedades físicas del suelo. *Terra* 7: 100-108.
- Onstad, C.A. y M.A. Otterby. 1979. Estimating the effects of cropping. Tillage and erosion control practices over large areas. *Transactions of the ASAE* 64: 111-115.
- Phillips, R.E., R.L. Blevins, G.W. Thomas, W.W. Frye y H. Phillips. 1980. No-tillage agriculture. *Science* 208: 1108-1113.
- Ramos V., E. 1992. Análisis comparativo de la temperatura del suelo en dos sistemas de labranza. p. 50. *In: Memorias del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Gro.
- Rodríguez S., F. 1982. Fertilizantes y nutrición vegetal. AGT Editor. México, DF.
- SAGAR. Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural. 1999. Sistema Nacional de Información Agropecuaria. Centro de Estadística Agropecuaria. México, DF.
- Thomas, G.W. 1986. Mineral nutrition and fertilizer placement. *In: M.A. Sprague y G.B. Triplett (eds.). No-tillage and surface tillage agriculture.* Wiley, New York, USA.
- Vázquez H., M. 1992. Efecto de seis sistemas de labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo. p. 51. *In: Memorias del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Gro.

SISTEMA COMPUTARIZADO EXPERTO EN DIAGNOSTICO NUTRIMENTAL EN NARANJO

Computerized Expert System in Nutritional Diagnosis of Orange Trees

Tomás Corona Saenz¹, Gustavo Almaguer Vargas¹ y Ranferi Maldonado Torres²

RESUMEN

Se elaboró un sistema experto computarizado especializado en el diagnóstico del estado nutricional de naranjos, llamado CITRUS, para lo cual se utilizó el ambiente de construcción "ARIES". Se empleó información sistematizada de especialistas, referencias bibliográficas, fórmulas elaboradas para la interpretación del análisis foliar y fotografías de deficiencias. CITRUS permite diagnosticar deficiencias cuando el usuario introduce la sintomatología visual a través de preguntas y respuestas mientras interacciona amigablemente con el sistema. También se construyó un módulo anexo llamado DIAGFOL programado con el lenguaje "Visual Basic". DIAGFOL complementa el diagnóstico nutricional de datos de análisis foliar, utilizando los índices de balance de Kenworthy, fotografías y textos. Se presenta un resumen de una sesión típica con el sistema y las estadísticas de su base de conocimientos. CITRUS y DIAGFOL funcionan en computadoras personales.

Palabras clave: CITRUS, nutrición, inteligencia artificial.

SUMMARY

A computerized expert system called CITRUS was created with the construction environment "ARIES" for diagnosis of the nutritional state of orange trees. Systemized information from specialists and bibliographic references were used, as well as formulas created to interpret foliage analyses and photographs of symptoms. User friendly CITRUS permits the diagnosis of nutrient deficiencies when the user introduces visual symptomatology while

interacting with the system through questions and answers. Also, a module called DIAGFOL was constructed with "Visual Basic" language and annexed. DIAGFOL complements the nutritional diagnosis with Kenworthy balance indexes, photographs, and texts. A summary of a typical session with the system and the statistics of its database are presented. CITRUS and DIAGFOL can be used in personal computers.

Index words: Expert system, citrus, nutrition, artificial intelligence.

INTRODUCCION

El naranjo es uno de los frutales más importantes a nivel nacional, ya que en 1999 ocupó una superficie sembrada de 324 413 ha, lo que representó 12.8% del total sembrado con frutales (Anónimo, 2000). Aunque esta superficie se incrementa anualmente en 10%, los rendimientos totales tienden a disminuir, debido a que no se aplican adecuadamente las técnicas de manejo en las huertas. En particular, la fertilización es una práctica cultural que recibe poca atención, en parte porque no se tiene información adecuada para tomar la mejor decisión, ya que en muchas zonas citrícolas no se cuenta con asesoría para hacer un correcto diagnóstico nutricional.

Por esta razón, se consideró necesario construir un sistema computarizado que recopilará el conocimiento de especialistas, acumulará información bibliográfica y que tuviera fórmulas para utilizarlo como una herramienta que ayude a mejorar el diagnóstico nutricional de huertos de naranjos.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue elaborar un sistema experto computarizado especializado en diagnosticar el estado nutricional de naranjos.

Sistemas Expertos

Los conceptos y los métodos relativos a la teoría y a la construcción de los sistemas expertos computarizados, también llamados sistemas expertos

¹ Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, 56230 Chapingo, Estado de México.

² Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, 56230 Chapingo, Estado de México.

Recibido: Septiembre de 1996.

Aceptado: Septiembre de 2000.

basados en el conocimiento (SEBCs), pertenecen a una disciplina científica y tecnológica conocida como inteligencia artificial (Faigenbaum y Mcorduck, 1984; Haugeland, 1988).

Un sistema experto computacional basado en el conocimiento (SEBCs) es un sistema compuesto de bases de conocimientos y programas computacionales, lo cual le permite resolver conceptualmente problemas de un ámbito específico, de un modo semejante o aproximado a como lo hacen expertos humanos en el mismo tema.

Aunque actualmente los sistemas expertos (SE's) no pueden sustituir a los expertos humanos, son una herramienta que puede ayudar a realizar el trabajo de forma rápida y fácil. Además, pueden llegar a poseer una serie de importantes ventajas como: la facilidad para transportarlo al sitio donde se requiere; los problemas pueden irse resolviendo a medida que se van planteando y las decisiones pueden tomarse rápidamente; puede cooperar con el propio experto humano en la solución de algún problema de su competencia; puede ayudar a mejorar la productividad haciéndose cargo, por ejemplo, de trabajos rutinarios o ayudando a realizar el trabajo más rápidamente; permite conservar los valiosos conocimientos de uno o más especialistas, aunque estos fallezcan. Además, es sencillo de documentar mediante la inclusión de nueva información a su base de hechos y conocimientos, y el SE puede utilizarse como instructor y formador de personal calificado, ya que puede ayudar a formar nuevos científicos o técnicos ayudándoles a entender cómo un especialista resuelve un problema o aplica sus conocimientos. Sin embargo, existen algunas características intrínsecamente humanas que los sistemas expertos no pueden imitar, por ejemplo, el experto humano es creativo, imaginativo, adaptable y posee percepción sensorial (los sentidos) (Sánchez y Beltrán, 1990; González y Recio, 1996).

Las partes constitutivas de un sistema experto basado en conocimiento (SEBC) son:

1. Base de hechos o datos sobre el tema o problemática.
2. Base de conocimientos sobre los hechos y formas de relacionarlos para realizar inferencias.
3. Máquina o motor de inferencias o máquina de control.
4. Interfaces o módulos de comunicación entre el sistema y el usuario o consultante (Sánchez y Beltrán, 1990).

La elaboración de un SEBC exige la cooperación en equipo de trabajo de ingenieros en conocimientos,

programadores de computadoras y uno o más expertos en la temática que abordará el sistema. Para su elaboración, es problemático identificar cómo representar los hechos y conocimientos del tema o problema a tratar, en una forma manejable por la computadora y cómo elaborar el o los programas de cómputo que constituirán la máquina de inferencia o control. Para elaborar un SEBC puede procederse de la siguiente manera:

Confeccionar todos los programas de cómputo requeridos para la creación del sistema (bases y máquina de control) y para su uso o consulta, o adquirir en el mercado de software lo que se ha dado en llamar un ambiente de construcción de SEBCs o "shell" (concha).

Algunos sistemas expertos que han resultado exitosos en el pasado son: Expert System For Apple Orchard Management (Crassweller, 1989), POMME, para protección de plagas y manejo de cultivo del manzano, PLANT/DS, utilizado para el diagnóstico de enfermedades y daños producidos por insectos en soya (González y Recio, 1996), entre muchos otros.

ARIES (Artificial Intelligence and Expert Systems)

Para elaborar CITRUS se utilizó ARIES, que es un ambiente de trabajo diseñado por especialistas cubanos para la construcción de sistemas expertos. ARIES se compone de dos partes: una, llamada SAMC, que es la que posee las facilidades de elaboración de la base de conocimientos por parte de los ingenieros en conocimiento y especialistas en el tema, y otra, llamada precisamente ARIES, la cual tiene la máquina de inferencias e interfaces para la consulta del sistema por parte del usuario o consultante (Valdez *et al.*, 1989). La elaboración de un SEBC en cualquier ambiente exige que se conozcan las formas de representación del conocimiento y estrategias de inferencia y control que tal ambiente admite y posee (Gutiérrez, 1991).

Forma de Representación del Conocimiento en ARIES

Las primeras moléculas de conocimiento a incluir en la base de hechos y conocimientos en el presente sistema experto fueron los conceptos de sintomatología visual de deficiencias nutrimentales y datos generales básicos de los problemas que presentan los naranjos, factores que los afectan, etc., organizados en

proposiciones, variables, base de control y conclusiones.

Proposiciones y variables. Estas son las formas más elementales e importantes sobre las cuales se eleva el edificio de conocimientos del SEBC. Se indicaron en forma de preguntas para presentarlos al usuario o consultante como interrogantes a las que éste debe responder, junto con un valor de certidumbre, para indicarle al sistema el estado actual de la realidad (Valdez *et al.*, 1989). En CITRUS, proposiciones y variables difirieron fundamentalmente en el tipo de valores que cada una de ellas contenía. Las proposiciones se asociaron sólo con un valor que expresaba si el contenido de la misma se cumplía o no, o si era cierto o no; tenía un valor de certidumbre donde -100 indicaba absolutamente NO o FALSO, cero indica ignorancia y +100 indica absolutamente SI o CIERTO; el valor de certidumbre fue entre -100 y +100, según el criterio de los expertos, de los cuales se tomaron los conocimientos o el grado de seguridad del usuario que responde a las preguntas que el sistema le hace durante una consulta. A las variables les correspondió, además, un valor numérico o de otro tipo, en un intervalo de valores posibles que las mismas podían tomar. En las siguientes dos frases, que son expresiones tomadas del sistema CITRUS, la primera es una proposición y la segunda una variable numérica, por ejemplo:

34. Las hojas de los árboles están amarillentas.

08. El contenido de nitrógeno en las hojas, según el análisis foliar, es de 2.2%.

Los números a la izquierda de esta proposición y variable, respectivamente, son el número consecutivo que les corresponde en la secuencia de proposiciones y en la secuencia de variables de la base de conocimientos del sistema.

Relaciones entre conceptos. A partir de los hechos y conocimientos expresados mediante las proposiciones y variables, se pueden constituir hechos y conocimientos complejos mediante combinaciones o relaciones entre aquéllas. Existen varias formas de hacer esto y CITRUS contempla las siguientes: Reglas de Producción, Relaciones de Contexto, Relaciones de Evaluación, Implicaciones Declaradas, Reglas Complementarias, Reglas de Conclusiones, y Base y Estrategias de Control.

A continuación se describen las reglas de producción, la base de control, la máquina de inferencia y el cálculo de incertidumbre.

Reglas de producción. Una regla de producción es una escritura de la forma $A \Rightarrow S$ (Ic, In), donde la

parte izquierda, llamada "antecedente", contiene las condiciones o premisas correspondientes a una situación dada, representadas por proposiciones conectadas o combinadas, y la parte derecha, llamada "sucedente", contiene la conclusión o acción a tomar (una proposición también), en caso de que las premisas del antecedente se satisfagan; los valores numéricos Ic e In son los grados de certidumbre con los que piensa el experto humano consultado que se puede cumplir o no cumplir el sucedente. El conjunto de reglas de producción de un SEBC forma su base de reglas (Valdez *et al.*, 1989). Un ejemplo de regla de producción es el siguiente, suponiendo que se tienen las proposiciones:

32. Las hojas del árbol son más pequeñas que lo normal.

34. Las hojas del árbol están amarillentas.

123. El árbol sufre de deficiencias de nitrógeno.

Según el saber de los expertos humanos consultados, se puede formular la siguiente regla:

34 & 32 \Rightarrow 123 (90, -25). Lo que establece: «si las hojas del árbol están amarillentas y las hojas del árbol son más pequeñas de lo normal, entonces el árbol tiene deficiencia de nitrógeno» con 90 de 100 grados de certidumbre si las premisas se cumplen en la realidad y con 25 de 100 grados de certidumbre si las premisas no se cumplen.

Base de control. La parte de la base de conocimientos que en CITRUS permite que el motor de inferencia trabaje con varias bases de conocimientos a la vez, es la llamada base de control. El sistema CITRUS se elaboró con una sola base de control (la que resulta por defecto).

Los contenidos de la base de control y otros medios de control en los sistemas construidos con ARIES deben considerarse metaconocimientos, es decir, conocimientos de cómo deben tratarse otros conocimientos básicos.

Máquina de inferencias en ARIES. En cualquier sistema experto basado en el conocimiento existen dos componentes principales: la base de conocimientos y los mecanismos de control que dirigen el uso del conocimiento. Estos mecanismos se constituyen de "estrategias de control", las que en CITRUS son de dos tipos: las clásicas, utilizadas en la mayoría de los SEBCs, y las características de ARIES. En este caso se trabajó con una estrategia clásica: encadenamiento hacia delante o dirigido por los objetivos.

Cálculo de incertidumbre en ARIES. Todo SEBC debe estar dotado de procedimientos de cálculo que le permitan computar la certidumbre de las conclusiones

a partir de las certidumbres de los hechos y conocimientos que el sistema use para llegar a ellas. En este caso, se usó el procedimiento que proporciona ARIES (Valdez *et al.*, 1989).

MATERIALES Y METODOS

CITRUS

El primer paso para la creación del sistema experto CITRUS fue elaborar una encuesta dirigida a los expertos en nutrición de cítricos, en donde se consideraron criterios como:

1. Factores que afectan las deficiencias o excesos de nutrimentos en las plantas de cítricos, que incluyeron los factores climáticos, edáficos, plagas, enfermedades y malezas.
2. Sintomatología visual de deficiencias y excesos de nutrimentos, para constituir la base de hechos (proposiciones y variables) del sistema.
3. Peso o certeza de las manifestaciones de excesos y carencias.
4. Criterios principales para establecer un diagnóstico nutrimental, para constituir la base de reglas de producción del sistema.
5. Tipos de muestreos: visuales y para análisis foliar.

También se utilizaron opciones de simplificación de tablas de síntomas, elaboradas sobre la base de revisiones bibliográficas relacionadas con el tema, como Rivero (1968).

Con esta información se procedió a utilizar el módulo SAMC de ARIES para construir la base de conocimientos del sistema CITRUS. Con las formas de representación del conocimiento que este ambiente pone a disposición, fundamentalmente proposiciones, variables y reglas de producción.

Módulo Anexo DIAGFOL

Se adicionó al sistema CITRUS un programa de cómputo que pudiera complementar el diagnóstico del estado de deficiencia, normalidad o exceso de nutrimentos en el mismo, al alimentarse con los datos del análisis foliar de nutrimentos del huerto. Estas utilidades adicionales, imágenes y cálculos no los puede presentar o realizar la herramienta de sistemas expertos ARIES. Por ello, el sistema se complementó con un módulo anexo denominado DIAGFOL, elaborado con el lenguaje de programación de computadoras Visual Basic, lenguaje orientado a

objetos y eventos, que permite la creación de aplicaciones al estilo del sistema operativo Windows. DIAGFOL calcula y presenta Índices de Balance de Kenworthy como forma de diagnosticar el estado nutrimental del huerto, a partir de los datos de un análisis de nutrimentos en muestras foliares o peciolares del huerto. Se complementó esta utilidad presentando imágenes fotográficas y textos sobre los síntomas que deberían observarse en cada situación de deficiencia o exceso para los macro y microelementos N, P, K, Ca, Mg, B, Fe, Cu, Zn y Mn.

RESULTADOS Y DISCUSION

El sistema experto CITRUS se constituyó con las siguientes aplicaciones:

1. El módulo del diagnóstico por síntomas visuales por medio de preguntas y respuestas al estilo de las transcritas líneas arriba. La base de conocimientos de este módulo consta de los siguientes elementos: 212 proporciones (142 de ellas en forma de preguntas), 13 variables, 92 reglas de producción, 57 reglas de conclusiones, 53 objetivos definidos, 11 particiones, 55 textos de conclusiones. Con lo anterior, es posible que un usuario tenga una sesión de preguntas con CITRUS y reciba respuestas sobre el estado de un huerto de naranjo en cuanto a los nutrimentos N, P, K, Ca, Mg, B, Fe, Cu, Zn y Mn.
2. El módulo anexo DIAGFOL para el cálculo de diagnósticos nutrimentales sobre los datos de análisis foliares, el cual está constituido de una base de imágenes fotográficas de síntomas visuales de deficiencias nutrimentales y una base de textos (ayuda en línea) que explican las funciones de los nutrimentos en el desarrollo y la producción de los cítricos, las técnicas de fertilización y manejo del huerto, que también ayudan al proceso de diagnóstico.

A continuación se presenta en texto un fragmento de una sesión típica de un usuario con el sistema CITRUS, cuando se selecciona "Síntomas visuales" y en la siguiente pantalla se selecciona "Nitrógeno", es decir, el sistema hará preguntas que el usuario deberá contestar. Observe que el usuario puede contestar con distintos grados de certeza de SI o NO. Los renglones con el símbolo cuadrado (+) son las preguntas o afirmaciones que hace el sistema durante la consulta.

Los renglones con guión (---) son las respuestas del usuario:

¿Qué nutrimento va a consultar?

185 Nitrógeno	205 Boro
186 Fósforo	206 Hierro
187 Potasio	207 Manganeso
188 Calcio	208 Zinc
204 Azufre	209 Cobre

+ Teclee el número correspondiente a su caso y presione INTRO y ESC para indicar su respuesta:

--- (185) INTRO ESC

+ ¿Qué tipo de datos posee usted?

+ 100 Síntomas visuales.

100 Análisis foliar.

+ Teclee el número correspondiente a su caso y presione INTRO y ESC para indicar su respuesta:

--- (100) INTRO ESC

+ ¿Existe clorosis general del árbol?

--- Sí, total. INTRO

+ ¿Clorosis uniforme sobre toda la hoja?

--- Sí, regular. INTRO

+ ¿El follaje es escaso?

--- Sí, regular. INTRO

+ ¿Las hojas son muy verdes?

--- NO, regular. INTRO

+ CONCLUSION: Según las respuestas dadas por Ud. he llegado a la conclusión de que existe una deficiencia de nitrógeno en su huerto.

+ ¿Quiere revisar los objetivos que se fijó?

--- INTRO

+ ¿Quiere continuar la consulta? (salto)

+ ¿Quiere imprimir las conclusiones? (salto)

+ REVISION DE OBJETIVOS: En correspondencia con el caso que me plantea, puede resumirse lo siguiente para los objetivos definidos en este examen (ordenados según sus pesos de certidumbre):

+ Poseemos fuertes evidencias (80%) para asegurar que existe: [1] Deficiencia de nitrógeno.

+ Poseemos absoluto desconocimiento (0%) para asegurar que: [158] el nivel de nitrógeno es satisfactorio.

+ Hay completo desconocimiento (0%) para creer que existe [17] exceso de nitrógeno.

+ DESEA

¿Saber cómo he llegado a esta conclusión?

--- INTRO

+ ¿Saber la justificación de la conclusión? (salto)

+ ¿Finalizar? (salto)

+ Entiendo que desea saber como he llegado a la conclusión de que existe: [1] Deficiencia de nitrógeno, con un grado de certidumbre de 80%. Esto se obtuvo a partir de las evidencias (reglas de producción) asociadas a este hecho [1], sabiendo que su contribución (de las reglas) fue positiva del siguiente modo:

+ Relación de reglas:

R1: + 45%, R2: + 35%, R3: + 25%

--- ESC

+ DESEA

¿Saber cómo he llegado a esta conclusión? (salto)

+ ¿Saber la justificación de la conclusión? (salto)

+ ¿Finalizar?

--- INTRO

En este diálogo, los números entre corchetes [n] son los números de las proposiciones que constituyen hechos importantes del problema, según la numeración que guardan en la base de conocimientos del sistema. No se ha incluido en el diálogo anterior el caso de solicitar la justificación de la conclusión a la que llegó el sistema experto, porque se trata de un texto muy largo en él que expone y, en parte, repite con mayor extensión todos los detalles del proceso que se siguió desde las preguntas hasta la conclusión.

DIAGFOL, módulo diagnóstico de la nutrición que implementa la técnica de Kenworthy, se realizó para operar bajo el ambiente Windows y se elaboró con el lenguaje orientado objetos y eventos Visual Basic. El módulo DIAGFOL recibe en una ventana los datos del análisis foliar del huerto o de algún lote del huerto y calcula los índices de balance de los nutrimentos dados, presentándolos en otra ventana. Estos índices tienen la propiedad de indicar si un nutrimento se encuentra en escasez, normal o en exceso y su balance, en relación con los otros nutrimentos. Además, presenta textos que explican al usuario qué síntomas debe observar para confirmar tal deficiencia. Finalmente, DIAGFOL cuenta con otra ventana que, a selección del usuario, presenta lecturas relativas al fenómeno de la nutrición vegetal y, en particular, de los cítricos.

Fragmento del Programa del Módulo DIAGFOL en Lenguaje VISUAL BASIC

Cálculos Kenworthy

Public Sub CalculaKenworthy()

‘Cálculo de Indices de Balance B


```

Dim K As Byte
For K = 1 To TotalNutrims
If Norma(K)>=0 And X(K) >= 0 Then
  If X(K)<Norma(K) Then
    P(K) = X(K) / Norma(K) * 100: I(K) = (100 -
    P(K)) * V(K) / 100
    B(K) = P(K) + I(K)
  End If
  If X(K) >= Norma(K) Then
    P(K) = X(K) / Norma(K) * 100: I(K) = (P(K) =
    (P(K) - 100) * V(K) / 100
    B(K) = P(K) - I(K)
  End If
End If
If Norma(K) < 0 Or X(K) < 0 Then
  B(K) = -1
End If
Next K

'Estados y Colores nutrimentales
For K = 1 To TotalNutrims
  If B(K) < 0 Then
    Edo(K) = "NUTRIMENTO NO DETERMINADO"
  End If
  If B(K) >= 0 And B(K) <= 50 Then
    Edo(K) = "NUTRIMENTO EN DEFICIENCIA"
  End If
  If B(K) >= 51 And B(K) <= 83 Then
    Edo(K) = "NUTRIMENTO ABAJO DE LO
    NORMAL"
  End If
  If B(K) > 84 And B(K) <= 117 Then
    Edo(K) = "NUTRIMENTO NORMAL"
  End If
  If B(K) > 118 And B(K) <= 150 Then
    Edo(K) = "NUTRIMENTO ARRIBA DE LO
    NORMAL"
  End If
  If B(K) >= 151 Then
    Edo(K) = "NUTRIMENTO EN EXCESO"
  End If
Next K

```

El sistema experto puede distribuirse en un simple disquete de alta densidad de 3.5" o transportarse en una computadora portátil. CITRUS y DIAGFOL funcionan en computadoras personales bajo el sistema operativo Windows.

CONCLUSIONES

Se construyó un sistema experto computarizado compuesto de dos aplicaciones, CITRUS y DIAGFOL, que es una herramienta para diagnosticar el estado nutrimental de naranjos.

LITERATURA CITADA

- Anónimo. 2000. Avance de la cosecha de cultivos perennes. Datos estadísticos agropecuarios. Centro de Estadísticas Agropecuarias. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. <http://www.inegi.gob.mx/estadistica/español/economia/biosa/bio-09html.<12mayo2000>>.
- Crassweller, R.M. 1989. An expert system on a microcomputer for determining apple tree spacing. *HortScience* 24(1): 148.
- Faigenbaum, E. y P. Mcorduck. 1984. La quinta generación. Trad. Miquel Muntaner y Pascual. Planeta, México.
- González A., J.L y B. Recio A. 1996. Aplicación de los sistemas expertos en agricultura. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Gutiérrez, I. 1991. Avances del desarrollo de un sistema para nutrición de cítricos en Cuba. pp. 98-111. *In: Memorias del 1er. Encuentro de Computación Aplicada. ISACA, La Habana, Cuba.*
- Haugeland, J. 1988. La inteligencia artificial. Trad. al español de I. Tulli de Firman. Siglo Veintiuno, México.
- Rivero J., M. 1968. Los estados de carencia de los cítricos. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Sánchez y Beltrán, J.P. 1990. Sistemas expertos. Una metodología de programación. Macrobit, México.
- Valdez, J., A. de la Cruz, A. Pérez, E. Josik, J. Bolsa y A. Rodríguez. 1989. Ingeniería del conocimiento en el medio ambiente ARIES. Laboratorio de Inteligencia Artificial SOFTEL - ACC, La Habana, Cuba.