

ISSN 0187-5779

TERRA

Latinoamericana

ENERO - MARZO DE 2006 · VOLUMEN 24 · NÚMERO 1



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

TERRA *Latinoamericana*

ENERO – MARZO DE 2006 · VOLUMEN 24 · NÚMERO 1

<http://www.chapingo.mx/terra/>

terra@correo.chapingo.mx

TERRA *Latinoamericana* es una publicación trimestral, de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Tiene como finalidad difundir la investigación edafológica generada en el ámbito latinoamericano

TERRA *Latinoamericana* está indizada en AGRIS (FAO), AGRICOLA (USDA), CAB ABSTRACTS Y PERIODICA.

TERRA *Latinoamericana* está incluida en el Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del CONACYT.

TERRA

Latinoamericana

COMITE EDITORIAL

EDITOR	Dr. Antonio Vázquez Alarcón
EDITORES ADJUNTOS	Dra. Carmen Gutiérrez Castorena M.C. Jorge Alvarado López M.C. Joel Pineda Pineda
EDITORES TÉCNICOS	Dr. David Cristóbal Acevedo Dr. David Espinosa Victoria Dr. Manuel Sandoval Villa Dr. Mateo Vargas Hernández Dra. Carmen Gutiérrez Castorena Dra. Edna Álvarez Sánchez Dra. Ma. del Carmen González Chávez
EDITORES DE ESTILO	M.C. Jorge Alvarado López Ina Aalmers de Aguilar
EDITORA DE ESTILO EN INGLES	Diane Fumiko Miyoshi Udo

EQUIPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

	Ina Aalmers de Aguilar Ma. de Lourdes Sánchez Arellano Lumi Tamara Kries Figueredo
Diseño de Portada	Gardenia Chávez Peña
Administrador de página web	Moisés Gómez Díaz

EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

Dr. Alejandro Velázquez Martínez
Dr. Antonio Turrent Fernández
Dr. Benjamín Figueroa Sandoval
Dr. Carlos Ortiz Solorio
Dr. Enrique Palacios Vélez
Dr. Gabriel Alcántar González
Dr. Javier Z. Castellanos Ramos
Dr. Jesús Caballero Mellado
Dr. Jorge D. Etchevers Barra
Dr. Juan José Peña Cabriales
Dr. Lenom J. Cajuste
Dr. Manuel Anaya Garduño
Dr. Oscar L. Palacios Vélez
Dr. Reggie J. Laird
Dr. Roberto Núñez Escobar
Dr. Ronald Ferrera Cerrato

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

Dr. Alberto Hernández	Cuba
Dr. Anthony Fischer	Australia
Dr. Bernardo Van Raij	Brasil
Dr. Christian Prat	Francia
Dr. Daniel Buschiazzo E.	Argentina
Dr. Donald L. Suarez	E.U.A.
Dr. Elemer Bornemisza	Costa Rica
Dr. Eric S. Jensen	Dinamarca
Dr. Fernando Santibañez Quezada	Chile
Dr. Hari Eswaran	E.U.A.
Dr. Héctor J. M. Morrás	Argentina
Dr. John T. Moraghan	E.U.A.
Dr. Jorge A. Delgado	E.U.A.
Dr. José Aguilar Ruiz	España
Dr. José M. Hernández Moreno	España
Dr. José Rodríguez	Chile
Dr. Juan F. Gallardo Lancho	España
Dr. Karl Stahr	Alemania
Dr. Rafael Villegas Delgado	Cuba
Dr. Renato Grez Z.	Chile
Dr. Walter Luzio Leighton	Chile
Dr. Winfried E. H. Blum	Austria

TERRA

Latinoamericana

EDITORIAL COMMITTEE

EDITOR	Dr. Antonio Vázquez Alarcón
ASSOCIATE EDITORS	Dra. Carmen Gutiérrez Castorena M.C. Jorge Alvarado López M.C. Joel Pineda Pineda
TECHNICAL EDITORS	Dr. David Cristóbal Acevedo Dr. David Espinosa Victoria Dr. Manuel Sandoval Villa Dr. Mateo Vargas Hernández Dra. Carmen Gutiérrez Castorena Dra. Edna Alvarez Sánchez Dra. Ma. del Carmen González Chávez
STYLE EDITORS	M.C. Jorge Alvarado López Ina Aalmers de Aguilar
ENGLISH EDITOR	Diane Fumiko Miyoshi Udo
EDITORIAL STAFF	Ina Aalmers de Aguilar Ma. de Lourdes Sánchez Arellano Lumi Tamara Kries Figueredo
Cover design	Gardenia Chávez Peña
Website administrator	Moisés Gómez Díaz

NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

Dr. Alejandro Velázquez Martínez
Dr. Antonio Turrent Fernández
Dr. Benjamín Figueroa Sandoval
Dr. Carlos Ortiz Solorio
Dr. Enrique Palacios Vélez
Dr. Gabriel Alcántar González
Dr. Javier Z. Castellanos Ramos
Dr. Jesús Caballero Mellado
Dr. Jorge D. Etchevers Barra
Dr. Juan José Peña Cabriales
Dr. Lenom J. Cajuste
Dr. Manuel Anaya Garduño
Dr. Oscar L. Palacios Vélez
Dr. Reggie J. Laird
Dr. Roberto Núñez Escobar
Dr. Ronald Ferrera Cerrato

INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

Dr. Alberto Hernández	Cuba
Dr. Anthony Fischer	Australia
Dr. Bernardo Van Raij	Brasil
Dr. Christian Prat	Francia
Dr. Daniel Buschiazzo E.	Argentina
Dr. Donald L. Suarez	E.U.A.
Dr. Elemer Bornemisza	Costa Rica
Dr. Eric S. Jensen	Dinamarca
Dr. Fernando Santibañez Quezada	Chile
Dr. Hari Eswaran	E.U.A.
Dr. Héctor J. M. Morrás	Argentina
Dr. John T. Moraghan	E.U.A.
Dr. Jorge A. Delgado	E.U.A.
Dr. José Aguilar Ruiz	España
Dr. José M. Hernández Moreno	España
Dr. José Rodríguez	Chile
Dr. Juan F. Gallardo Lancho	España
Dr. Karl Stahr	Alemania
Dr. Rafael Villegas Delgado	Cuba
Dr. Renato Grez Z.	Chile
Dr. Walter Luzio Leighton	Chile
Dr. Winfried E. H. Blum	Austria

TERRA

Latinoamericana

SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO A.C.

MESA DIRECTIVA 2005-2007

Presidente	Dr. José Antonio Cueto Wong
Vicepresidente	Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Secretario General	Dr. Ranferi Maldonado Torres
Tesorera	M.C. Langen Corlay Chee
Secretaria Técnica	M.C. Laura Bertha Reyes Sánchez
Secretario de Relaciones Internacionales	Dr. Enrique Salazar Sosa
Vocales	Dra. Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza Dra. Christina Siebe Grabach Dr. Ignacio Sánchez Cohen Dr. Rubén López Cervantes Dr. Rogelio Aldaco Nuncio

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 *Latinoamericana* registro en trámite.
Organo Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Enero-Marzo de 2006 Volumen 24 Número 1
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 Latinoamericana a:
Editor de la Revista TERRA Latinoamericana. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Estado de México. México.

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

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

TERRA

Latinoamericana

MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

BOARD

President
Vicepresident
Secretary
Treasurer
Technical Adviser
International Relations
Voters

Dr. José Antonio Cueto Wong
Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Dr. Ranferi Maldonado Torres
M.C. Langen Corlay Chee
M.C. Laura Bertha Reyes Sánchez
Dr. Enrique Salazar Sosa
Dra. Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza
Dra. Christina Siebe Grabach
Dr. Ignacio Sánchez Cohen
Dr. Rubén López Cervantes
Dr. Rogelio Aldaco Nuncio

DIVISIONS AND DISCIPLINES

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

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

Division II: Soil - Climate - Biota Relationship

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

Division III: Use of the Soil Resource

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

Division IV: Education and Technical Assistance

- a) Education
- b) Credit and Technical Assistance

TERRA *Latinoamericana* Registration pending
Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science
January-March, 2006 Volume 24 Number 1

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 Latinoamericana, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Estado de México, México.

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

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

TERRA

Latinoamericana

ENERO - MARZO DE 2006 • VOLUMEN 24 • NÚMERO 1
JANUARY - MARCH, 2006 • VOLUME 24 • NUMBER 1

DIVISION I

- 1 Clasificación local de tierras y tecnología del policultivo café-plátano para velillo-sombra en comunidades cafetaleras. Local land classification and shade policulture coffee-banana for "velillo" technology in coffee communities.
Atenógenes L. Liconá-Vargas, Carlos A. Ortiz-Solorio, Ma. del Carmen Gutiérrez-Castorena y Fernando Manzo-Ramos
- 9 Contribución de las fracciones adsorbentes al intercambio catiónico de suelos arroceros de la Llanura Sur Habana - Pinar del Río.
Contribution of exchanger particles to the cation exchange capacity in rice soils from the flat areas of South of Havana and Pinar del Río.
Lazara Otero, Vicente Gálvez, Norys Navarro, Guillermo Díaz, Luis Rivero y Antonio Vantour
- 17 Caracterización de las comunidades vegetales en un área afectada por derrames de hidrocarburos.
Characterization of plant communities in an area affected by hydrocarbon spill.
Eustolia García-López, Joel Zavala-Cruz y David J. Palma-López
- 27 Representación del movimiento de bromuro con la técnica de visualización volumétrica.
Representation of bromide movement by the volume visualization technique.
F.G. Echavarría-Cháirez, C.A. Shapiro, G.W. Hergert y W. Kranz

DIVISION II

- 37 Régimen de humedad, portainjerto, manejo de suelo y producción forzada en el desarrollo radical de duraznero.
Soil water regime, rootstock, soil management and forced production on root development of peach trees.
Nicolás Gutiérrez-Rangel, Leonardo Tijerina-Chávez, Alberto Enrique Becerril-Román, Alberto Castillo-Morales, Cándido López-Castañeda y Cecilia Beatriz Peña-Valdivia

TERRA

Latinoamericana

- 47 Germinación y desarrollo de plántulas de frijolillo *Rhynchosia minima* (L) DC en condiciones de salinidad.
Germination and development of frijolillo *Rhynchosia minima* (L) DC in conditions of salinity.

*Alberto Madueño-Molina, Diego García-Paredes,
Jesús Martínez-Hernández y Candelario Rubio-Torres*

- 55 Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol.
Biomass, yield, and water and radiation use efficiency in the agrosystem of sunflower and common bean.

*Edgar J. Morales-Rosales, J. Alberto Escalante-Estrada,
Leonardo Tijerina-Chávez, Víctor Volke-Haller
y Eliseo Sosa-Montes*

- 65 Inoculación micorrízica y su efecto en el crecimiento de dos leguminosas arbóreas.
Mycorrhizal inoculation and its effect on the growth of two arboreous leguminosae.

*M. Hernández-Martínez, V.M. Cetina-Alcalá, M.C. González-Chávez
y C.T. Cervantes-Martínez*

- 75 Efecto del sistema de riego y tensión de humedad del suelo en rendimiento y calidad del ajo.
Garlic yield and quality as affected by irrigation type and soil water tension.

*Juan Manuel Barrios-Díaz, Mari Carmen Larios-García,
Javier Z. Castellanos, Gabriel Alcántar-González,
Leonardo Tijerina-Chávez y Ma. de las Nieves Rodríguez-Mendoza*

NOTA DE INVESTIGACION / Research Note

- 83 Extractos vegetales y su efecto en la conductividad eléctrica de dos suelos salinos y de soluciones.
Plant extracts and its effect on the electric conductivity of two saline soils and solutions.

*Leopoldo Partida-Ruvalcaba,
Teresa de Jesús Velázquez-Alcaraz, Benigno Acosta-Villegas
y César Eduardo Angulo-Gaxiola*

TERRA

Latinoamericana

- 91 Aplicaciones foliares de calcio y silicio en la incidencia de mildiu en lechuga.
Foliar sprays of calcium and silicon on incidence of downy mildew disease in lettuce.
*Ignacio de Dios-Delgado, Manuel Sandoval-Villa,
Ma. de las Nieves Rodríguez-Mendoza y Elizabeth Cárdenas-Soriano*
- 99 Diversidad de lombrices de tierra con labranza de conservación y convencional.
Earthworm diversity under tillage and no-tillage conditions.
*H. Brito-Vega, D. Espinosa-Victoria, B. Figueroa-Sandoval,
C. Fragoso y J.C. Patrón-Ibarra*

DIVISION III

- 109 Efecto del sistema de labranza cero en un Vertisol.
Effect of no-tillage system in a Vertisol.
*César E. Ramírez-Barrientos, Benjamín Figueroa-Sandoval,
Victor M. Ordaz-Chaparro y Victor H. Volke Haller*
- 119 Erosionabilidad acanalada de un andosol en dos sistemas de labranza en la Meseta Tarasca, Michoacán.
Rill erodibility of an Andisol under two tillage systems in the Meseta Tarasca, Michoacán.
*Miguel A. Velásquez-Valle, Mario R. Martínez-Menes,
Miguel Bravo-Espinosa, Jaime de J. Velázquez-García,
Ken N. Potter y Mario Tiscareño-López*
- 125 Dinámica y diagnóstico nutrimental del guayabo en Iguala, Guerrero, México.
Dynamic and nutrimental diagnosis of guava in Iguala, Guerrero, Mexico.
*Agustín Damián-Nava, Víctor A. González-Hernández,
Prometeo Sánchez-García, Cecilia B. Peña-Valdivia
y Manuel Livera-Muñoz*
- 133 Cobertura de leguminosas en el cultivo de maíz en los Altos de Chiapas, México.
Legume cover crops in corn production in the Highlands of Chiapas, Mexico.
*H.U. Bernardino-Hernández, J.D. Álvarez-Solís,
N.S. León-Martínez y L. Pool-Novelo*

TERRA

Latinoamericana

DIVISION IV

- 141** Adopción de variedades de frijol en el noroeste de Zacatecas.
Adoption of bean varieties in Northeastern Zacatecas, México.
Guillermo Galindo-González y Román Zandate-Hernández

Revisores y Editores Técnicos de este número
Reviewers and Technical Editors of this number

149

CLASIFICACIÓN LOCAL DE TIERRAS Y TECNOLOGÍA DEL POLICULTIVO CAFÉ-PLÁTANO PARA VELILLO-SOMBRA EN COMUNIDADES CAFETALERAS

Local Land Classification and Shade Policulture Coffee–Banana for “Velillo” Technology in Coffee Communities

Atenógenes L. Licona-Vargas^{1‡}, Carlos A. Ortiz-Solorio², Ma. del Carmen Gutiérrez-Castorena² y Fernando Manzo-Ramos²

RESUMEN

Con la finalidad de comprobar el carácter regional de la clasificación local de tierras, así como establecer la relación de las mismas con las prácticas agrícolas del policultivo café-plátano para velillo-sombra, se realizó un estudio Etnoedafológico y de tecnología, en comunidades cafetaleras del estado de Veracruz. El conocimiento local de la tierra se organizó en términos de su calidad con base en los consensos generados entre productores y se describió la tecnología del policultivo en cada clase de tierra para determinar su relación con las condiciones edáficas (drenaje, fertilidad y humedad, principalmente). Los resultados indican que la clasificación de tierras de una comunidad es reconocida por habitantes de comunidades aledañas a pesar de que no se cuenten con las mismas clases de tierra; además, se encontró que las ventajas y desventajas del ambiente edáfico de cada clase de tierras determinan la estructura del policultivo, el acondicionamiento para la siembra, la fertilización y el rendimiento. El marco de referencia generado a través del conocimiento local de tierras es de carácter regional y es un medio de comunicación para transferir conocimiento y tecnología.

Palabras clave: *generación de tecnología, hoja de plátano, clasificación de suelos, diversificación productiva..*

¹ Centro Regional Universitario Oriente, Universidad Autónoma Chapingo. Apartado postal 49, 94100 Huatusco, Veracruz, México.

[‡] Autor responsable (alicona@colpos.mx)

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

Recibido: Diciembre de 2003. Aceptado: Julio de 2005.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 1-7.

SUMMARY

With the purpose of verifying the regional character of the local land classification, as well as to establish the relationship of land with the agricultural practices of multi-cropping coffee-banana for velillo (young leaf)-shade, an ethnoedaphological and technology study was carried out in coffee communities of the State of Veracruz, Mexico. The local knowledge of the lands was organized in terms of its quality based on the consensus generated among farmers, and the multi-cropping technology was described in each land class to determine its relationship with soil conditions (drainage, fertility, and water retention). The results indicate that local land classification of a community is recognized by the inhabitants of bordering communities although they do not have the same land class; furthermore, it was found that the advantages and disadvantages of soil conditions of each land class determine the multi-cropping structure, soil conditioning for sowing, fertilization practices, and yield. Reference framework generated through the local knowledge of lands has a regional character and is a means of communication for transferring knowledge and technology.

Index words: *technology generation, banana leaf, soil classification, productive diversification.*

INTRODUCCIÓN

Los productores de distintas regiones cafetaleras de México han buscado alternativas productivas para amortiguar los problemas de los precios del café. Una de ellas es el diseño y la implementación de sistemas diversificados como la intercalación de café (*Coffea arabica* L.) con plátano (*Musa acuminata* colla) y diversas especies de árboles de sombra. En estos sistemas no sólo se comercializa el café, sino además, la hoja tierna de plátano llamada “velillo” que se

utiliza como envoltura de tamales y que tiene un mercado nacional e internacional.

Este sistema agroforestal se inició en los años cincuenta del siglo pasado en la comunidad de Monte Salas, Fortín, Veracruz y, en la actualidad, se ha convertido en una de las actividades agrícolas permanentes más importantes de algunas comunidades cafetaleras de cinco municipios de este estado. A partir de 1990, se registró un fuerte incremento en el precio del velillo (entre 450 y 600%) que motivó la expansión e intensificación del cultivo de plátano dentro de los cafetales, lo que hace suponer la existencia de un proceso de generación y transferencia de tecnología dentro y entre comunidades.

Röling (1988) sugirió que, en esos procesos, el conocimiento local o tradicional de los recursos naturales puede tener un papel relevante. Al respecto, Williams y Ortiz-Solorio (1981), en el campo de la Etnoedafología, encontraron que existe un conocimiento detallado del suelo que se ha sistematizado en una clasificación de Clases de Tierras, misma que tiene una relación con la tecnología que los productores usan en cada una de ellas. Además, Ortiz-Solorio (1993) añadió que el reconocimiento de las Clases de Tierra es un puente de comunicación entre productores y técnicos, vía que debe ser más estrecha entre productores.

En ese contexto, Ortiz-Solorio y Gutiérrez-Castorena (2001) reportaron evidencias de relaciones entre Clases de Tierra y componentes tecnológicos en diferentes comunidades de México, como: planeación del uso de la tierra, uso de cultivos apropiados, manejo de abonos y fertilizantes, adaptación de implementos agrícolas, conservación y rehabilitación de suelos, y agrupaciones de aptitud. Ann (1993) agregó que la capacidad de los productores para innovar, transferir y utilizar el conocimiento es diferencial, y depende de las condiciones socioeconómicas y ambientales. Sin embargo, Bellón (1993) opinó que no todos los conocimientos que poseen los grupos campesinos o indígenas, sobre el ambiente, se traducen en manejos específicos.

Lo anterior plantea la necesidad de profundizar en las relaciones entre la clasificación local y la tecnología, no sólo de cada comunidad o ejido en particular, sino de un conjunto de localidades dentro de una región determinada; es decir, si el marco de referencia local tiene validéz en el ámbito regional.

Los objetivos del presente trabajo son: 1) determinar si la clasificación local de tierras es

reconocida por productores de diferentes comunidades y si se forma un puente de comunicación entre ellos; 2) establecer la relación entre el conocimiento local de tierras y la tecnología del policultivo café-plátano-velillo en comunidades de Veracruz; y 3) clasificar taxonómicamente a los suelos con el fin de facilitar la comunicación entre científicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en cuatro comunidades aledañas: Monte Salas y Santa Lucía del municipio de Fortín, La Palma del municipio de Córdoba, y San José Neria del municipio de Chocamán, en Veracruz, México. Estas comunidades se ubican entre las coordenadas de 18° 50' a 19° 10' N y de 96° 50' a 97° 10' O, y a una altitud de 1000 a 1370 m. El basamento geológico está constituido predominantemente por depósitos aluviales de origen volcánico (SPP, 1984); el clima es (A)C(m)a(i)g con temperatura media anual de 18 a 22 °C y precipitación total anual de 2000 a 3000 mm (CETENAL, 1970); los suelos se clasifican como Vertisoles crómicos, Andosoles vítricos, Luvisoles vítricos y Luvisoles lépticos que están sobre lomeríos con pendientes de 1% hasta más de 30%.

Metodología

En cada una de las comunidades se realizaron las actividades:

Clasificación local de tierras con base en la metodología de Ortiz-Solorio *et al.* (1990). Los pasos de esta metodología son: a) inventariar y caracterizar preliminarmente las clases de tierras mediante recorridos y entrevistas a informantes clave; b) confirmar el inventario y enriquecer la caracterización del ambiente, del uso y del manejo de cada clase de tierra, a través de entrevistas abiertas y observaciones de campo con productores que trabajan en cada una de ellas; c) comparar la clasificación local entre comunidades e identificar consensos entre productores.

Clasificación taxonómica. Los suelos se describieron morfológicamente con base en el manual de Cuanalo (1975), se analizaron física y químicamente con base en el manual de Van Reeuwijk (1995), y se clasificaron utilizando la World Reference Base for Soil Resources (WRB) (ISSS/ISRIC/FAO, 1998), y Taxonomía de Suelos (TS) (Soil Survey Staff, 2003).

Descripción de la técnica de producción del policultivo. Se describió la tecnología del policultivo en cada clase de tierra mediante entrevistas a productores (componentes y estructura del sistema, prácticas agrícolas, insumos utilizados y calendarios de trabajo), observaciones de campo (características de la capa superficial del suelo, especies de árboles presentes e infraestructura desarrollada) y mediciones directas en plantaciones (densidad de población, tamaño del velillo y dimensión de la infraestructura desarrollada).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clasificación Local, Taxonómica y Técnica de Tierras

En el Cuadro 1, se reportan las clases de tierra y su correspondiente clasificación taxonómica en cada una de las comunidades estudiadas. En dicho cuadro se observa que sólo dos (Negra y Barro rojo) de las ocho clases de tierra se repiten en distintas comunidades, lo que significa que existen condiciones ambientales contrastantes. Estos resultados concuerdan parcialmente con Luna-Orea *et al.* (1988) y Licona-Vargas *et al.* (1992), quienes encontraron que, en regiones ambientalmente homogéneas, y con el mismo tipo de utilización de la tierra, pueden encontrarse las mismas clases de tierra. Además, en este cuadro también puede apreciarse que las clasificaciones taxonómicas tienden a agrupar a los suelos en las jerarquías altas como Luvisoles, Andosoles y Vertisoles, o bien, como Alfisoles, Vertisoles y Andosoles (WRB y TS, respectivamente). Estas clasificaciones sólo pueden ser comparables con la clasificación local en las categorías bajas (sobre

todo en TS), lo que significa que es más detallada. Resultados similares han sido reportados por Sánchez-Guzmán *et al.* (2002) quienes encontraron hasta ocho clases de tierras en la misma unidad taxonómica o por Gutiérrez-Castorena y Ortiz-Solorio (1999) al mencionar que la clase de tierra corresponde a la serie de suelos de la TS.

Cada clase de tierra tiene características ambientales y edáficas particulares reconocidas por los productores; por ejemplo, las tierras Negras polvillas son suelos profundos, friables, con alta retención de humedad, y son considerados como los más productivos; las Negras fuertes tienen características parecidas a la anterior, sólo que son de consistencia firme y con menor capacidad de retención de humedad; las Negras injutas presentan abundante pedregosidad, se agrietan durante la época seca y son menos productivas. En cuanto a las Ciénegas carnudas y Ciénegas tepeciludas tienen una capa impermeable a 50 cm de profundidad, que ocasiona problemas de drenaje durante la época de lluvia; se diferencian entre ellas por el espesor de la capa superficial. Por último, las tierras Negras y Barros rojos son suelos arcillosos, de difícil manejo y con menor capacidad de retención de humedad; la diferencia entre ambas es el espesor de la capa superficial y el grado de productividad.

Todas estas diferencias les sirven a los productores para reconocer la calidad y adaptar tecnologías. La calidad se basa en ventajas y limitantes ambientales y edáficas de cada clase de tierra, mismas que las agrupan en los siguientes consensos: 1) “No hay mejores tierras que las de Santa Lucía” por su fertilidad, retención de humedad y friabilidad; 2) “En las tierras cienegosas de Neria existe exceso de agua en el suelo, por lo que se debe

Cuadro 1. Clases de tierras por comunidad.

Comunidad	Clases de tierras	Clasificación WRB [†]	Clasificación TS [‡]
Monte Salas (1000 a 1100 msnm)	Negra	Vertisol crómico	Vertisol
	Barro rojo	Vertisol crómico	Vertisol
	Ciénega con Barro rojo	Sin perfil	Sin perfil
Santa Lucía (1300 a 1370 msnm)	Negra polvilla	Andosol vítrico	Andisol
	Negra fuerte	Luvisol vítrico	Alfisol
La Palma (1000 a 1100 msnm)	Negra	Vertisol crómico	Vertisol
	Barro rojo o colorado	Vertisol crómico	Vertisol
San José Neria (1100 a 1200 msnm)	Negra Injuta	Luvisol vítrico	Alfisol
	Ciénega carnuda	Luvisol léptico	Alfisol
	Ciénega tepeciluda	Luvisol léptico	Alfisol

[†] World Reference Base (ISSS/ISRIC/FAO, 1998). [‡] Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2003).

levantar el terreno y hacer zanjas”; 3) “En las tierras Negras y Barros, la temporada de frío y de seca afecta más a la conservación de humedad, por lo que la sombra es más necesaria”; y 4) “Hay unas tierras mejores que otras pero, con trabajo, todas producen, incluso en los Barros y en las Ciénegas tepeciludas cuya capa superficial es escasa”.

Por las características de esta información (ambientales y de manejo) pudo organizarse una clasificación técnica reportada en el Cuadro 2. Las Clases de Tierras se agruparon en tres clases de aptitud, lo que posibilita la detección de áreas potenciales para el policultivo. Estos resultados concuerdan con otras investigaciones realizadas por Licona-Vargas *et al.* (1992), Ortiz-Solorio (1999) y Alfaro-Ortiz *et al.* (2001) en otras comunidades de México.

Carácter Regional de la Clasificación Local

En cuanto al reconocimiento de la tierra de las comunidades vecinas, se detectaron los siguientes consensos: a) los productores de Monte Salas y La Palma coinciden con que sus tierras son similares a las de las comunidades de La Patrona, Los Filtros y otras; en cambio, son diferentes a las de Santa Lucía porque son “más negras, blandas y productivas”, y a las de Neria porque son Cienegosas y “cuesta más trabajo para producir porque tienen que sacar el agua”; b) Los productores de Santa Lucía consideran que sus tierras son las mejores de la región, ya que, incluso, las venden como tierra negra para jardinería. Señalan que en Monte Salas, Monte Blanco, La Palma y otras comunidades, la tierra es menos negra, más

barrialosa y menos productiva”; asimismo, comentaron que en Neria y parte del ejido Chocamán tienen Ciénegas “donde el agua es un problema”; c) los productores de Neria indicaron que en la época de la Hacienda de Monte Blanco, las tierras de Ciénega sólo se usaron para pastos y cultivos de humedad, en cambio, los ejidatarios construyeron zanjas y camellones para “sacar el agua de las parcelas” y sembrar café. Reportan además que “las tierras Negras de Santa Lucía (que son las mejores) y las tierras más barrialosas de Monte Salas, Monte Blanco, La Palma, entre otras”, ya desde la época de la Hacienda se cultivaban con café, plátano, caña y tabaco, principalmente.

Estos resultados muestran que los productores conocen el ámbito de distribución regional de clases de tierra, sus diferencias y similitudes, tanto de las comunidades en estudio, como de otras localidades productoras del policultivo, resultados que concuerdan con Licona-Vargas *et al.* (1992). Sin embargo, los consensos no contemplan el mismo detalle alcanzado en cada comunidad, sino más bien, se enfocan hacia la calidad y el comportamiento de la relación suelo/planta ante las diversas condiciones ambientales. Esto confirma que el marco de referencia geográfico generado mediante el conocimiento local tiene un carácter regional y constituye una base de información común para la transferencia de conocimientos y tecnología dentro y entre las comunidades.

Existen evidencias de que ese marco de referencia se utiliza desde los inicios de la cafecultura en México. Al respecto, Romero (1875) publicó experiencias de productores sobre el desarrollo y

Cuadro 2. Clasificación de tierras para la producción de café y velillo con base en su aptitud.

Clasificación por calidad	Clases de tierra	Argumentos
Muy apta	Negra fuerte y Negra polvilla	La capa negra es muy gruesa y muy fértil; Son muy fáciles de trabajar; Son frescas y húmedas la mayor parte del año; Son muy productivas y requieren poco fertilizante.
Apta	Negra, Negra injuta y Ciénega carnuda	Son fértiles; La capa negra es más delgada que en la Negra polvilla y Negra fuerte, pero más gruesa que en Barro rojo y Ciénega tepeciluda; Son duras y más difíciles de trabajar; En la comunidad de Neria son pedregosas y el agua se encharca durante la época de lluvia; Se resecan y se parten en tiempo de sequía sobre todo si el agua se drena; Son menos productivas que las Negras polvillas y Negras fuertes, pero más que el Barro rojo y la Ciénega tepeciluda.
De poco apta a regularmente apta	Ciénega tepeciluda y Barro rojo	La capa fértil es muy delgada y requiere de más fertilizante; Son duras y en la comunidad de Neria son pedregosas y el agua se encharca durante la época de lluvia; Se resecan y se parten en tiempo de sequía, sobre todo si el agua se drena; Las plantas no se desarrollan bien y su vida productiva es corta; Son las menos productivas y requieren de más trabajo.

la producción del café en diferentes regiones de México, que tienen como referencia a clases de tierra en particular; por ejemplo, señalaron que: en la “Tierra Negra” se obtienen los rendimientos más altos, en los “Barros rojos” el rendimiento es bajo, la semilla es más pesada y la vida de la plantación es corta, y que las “Tierras Planas donde se acumula agua” no deben utilizarse para el café. Tales atributos coinciden con las opiniones actuales, por lo que se refuerza la idea de que la clasificación local ha sido un puente de comunicación entre productores.

Técnica de Producción del Policultivo en Relación con las Clases de Tierra

El reconocimiento de las ventajas y las limitaciones de las clases de tierra, dentro y entre comunidades, se refleja en distintas estrategias productivas de uso generalizado en las localidades consideradas. En el presente estudio, se encontró que las prácticas adaptadas a las condiciones particulares de las clases de tierra son: estructura del policultivo, acondicionamiento del suelo, y manejo de abonos y fertilizantes, así como los productos obtenidos y sus rendimientos.

Estructura del policultivo. La distribución y la densidad de población del café, del plátano y de la sombra dependen de la fertilidad, la humedad en el suelo y las condiciones de drenaje. Según tales consideraciones se identificaron tres estrategias productivas: 1) en las tierras mejores han desarrollado un sistema con alta densidad de plátano (hasta 8400 pseudotallos productivos por hectárea), baja densidad de café (de 1100 a 2500 plantas ha^{-1}) y sin árboles de sombra; las plantas de café y plátano están distribuidas en surcos alternados en una relación de 1:1 que tiene como propósito lograr altos rendimientos de velillo. 2) en las tierras con problemas de drenaje, la distribución del café y del plátano está en una misma hilera, sobre camellones, a razón de dos o tres plantas de café por una cepa de plátano; por lo anterior, la densidad de población de este cultivo es baja (de 3700 a 4300 pseudotallos productivos ha^{-1}) y, la diversidad y la cantidad de sombra es escasa con sólo tres o cuatro especies en cada plantación, de un total de siete reportadas en la comunidad. 3) en el resto de las clases de tierra, incluso en parte de las Negras polvillas, el policultivo se caracteriza por su alta diversidad de especies de sombra (entre siete y 12 dentro de cada plantación, de un total de 33 reportadas en la comunidad), con

la finalidad de “mantener la plantación fresca y la tierra húmeda”; además, para obtener productos comestibles, ornamentales, medicinales, materiales para construcción y leña, destinados al autoconsumo, al mercado local y regional; las hileras de café y plátano están alternadas en una relación de 2:1.

Como puede observarse, los componentes y la distribución espacial de este sistema agroforestal están ajustados a las condiciones del suelo y las perspectivas del mercado. Así, mientras que en las tierras de alta calidad se permite la eliminación de la sombra para incrementar el rendimiento de velillo, en las tierras de menor calidad, se mantiene el estrato arbóreo para evitar “que el suelo se reseque y se parta”. En este caso, la sombra también tiene la función de generar satisfactores y reciclar nutrientes, como han reportado Ann (1993), Barrios *et al.* (1994) y Wilken, citado por Barrera-Bassols y Zinck (2000).

Acondicionamiento del suelo. En el caso de las Tierras de Ciénega, se ha realizado un sistema de drenaje que consiste en construir camellones y zanjas a cielo abierto, tanto perimetrales, como en el interior de la parcela. Las zanjas varían de 80 a 100 cm de profundidad y de 60 a 80 cm de amplitud; la distancia entre camellones es de 2.5 a 3 m, su altura está entre 35 y 50 cm y su ancho de base varía de 1.2 a 1.5 m.

Esta tecnología, que se ha usado en México y otros países de Latinoamérica desde la época prehispánica (Rojas-Rabiela, 1988; Erickson, citado por Barrera-Bassols y Zinck, 2000), se ha implementado por los productores con el propósito de introducir cultivos comerciales nuevos que no toleran la saturación de agua. Además, tiene la finalidad de mejorar las condiciones físicas y de fertilidad de la capa superficial, mediante la acumulación de tierra fértil y sedimentos de manera continua. Los camellones se conservan a través de la práctica denominada “levantar el bordo”, que consiste en subir la tierra que se ha depositado en el fondo de los mismos, práctica que se realiza dos veces por año.

Manejo de abonos y fertilizantes. La incorporación de insumos se caracteriza por: a) utilización de diversas fuentes químicas (urea, 18-12-06, 17-17-17, 12-08-04 y sulfato de amonio), a razón de 200 g planta⁻¹ en una y hasta tres aplicaciones por año; b) adición de 2 a 20 kg planta⁻¹ de estiércol de bovino, aves y ovino; y c) reciclaje de residuos de plátano y árboles de sombra conocidos como “abono de basura”. Este abono proviene principalmente del deshoje, deshije y destronque del plátano, lo que

genera entre 6 y 12 t de materia seca ha⁻¹ cada seis meses; los residuos, además de abonar, también tienen la finalidad de conservar la humedad y controlar las malezas, ya que sólo se colocan sobre la superficie.

Ese esquema puede modificarse según el grado de fertilidad; por ejemplo, las tierras Negras polvillas y Negras fuertes en general reciben una sola aplicación de urea y el “abono de basura”; las tierras Negras, Negras injutas y Ciénegas carnudas dos o tres aplicaciones de fertilizante, una de estiércol y abono de basura; y, por último, las tierras de Barro y Ciénegas tepeciludas requieren de hasta el doble de los insumos que se aplican en las otras clases de tierra. Lo anterior significa que esta estrategia de manejo es una mezcla de tecnología tradicional y moderna, proceso ya reportado por Ann (1993) en Costa Rica y Ortiz-Solorio (1999) para otras comunidades de México. Además, cabe resaltar que la utilización de residuos orgánicos de origen animal y vegetal está generando un sistema de reciclaje continuo, que es común con otros sistemas diversificados similares mencionados en otros países (Barrios *et al.*, 1994; Subedi, citado por Barrera-Bassols y Zinck, 2000).

Productos y rendimiento. En el Cuadro 3, se reportan los rendimientos y las características de los principales productos por clase de tierra. Se observa que el rendimiento es amplio (2 a 13 t ha⁻¹ de café cereza y 5 a 20 rollos ha⁻¹ quincena⁻¹ de velillo), debido a la variación en las densidades de población, la fertilización y a que los productores no siempre optan por la obtención de los máximos rendimientos. Cabe resaltar que el rendimiento de café que se obtiene en el policultivo, en términos generales, es superior a la media estatal (2.5 t ha⁻¹, reportada por Santoyo-Cortéz *et al.*, 1994), en algunos casos rebasa el que se obtiene en sistema especializado en México (7 a 10 t ha⁻¹ de café cereza, reportado por Ruiz-Bello, 1978), e incluso, el de plantaciones a plena exposición

Cuadro 3. Rendimiento de café cereza y velillo (por quincena) por clase de tierra.

Clase de tierra	Café t ha ⁻¹	Velillo rollos .ha ⁻¹	Longitud de velillo - - - - cm	Ancho de velillo - - - -
Negra polvilla	3 a 6.5	10 a 20	191	63
Negra fuerte	5 a 12	7 a 20	195	75
Negra	4 a 6	10 a 12	196	65
Negra injuta	5 a 13	7 a 12	182	64
Ciénega carnuda	3 a 8	5 a 12	170	62
Barro rojo	2 a 3	6 a 10	191	63

solar en Colombia [12.0 t ha⁻¹ de café cereza, reportado por Arboleda-Valencia *et al.* (1988)]. En adición, pueden obtenerse altos rendimientos de velillo como en el caso de las tierras Negras polvillas y Negras Fuertes. Estos resultados ponen en duda las opiniones de Ruiz-Bello (1978) y Villaseñor-Luque (1987), en el sentido de que entre el café, el plátano y la sombra existe competencia por agua y nutrimentos.

Dada las relaciones establecidas entre el conocimiento local de la tierra y los aspectos tecnológicos descritos, queda claro que el primero es un medio para identificar las ventajas y limitantes ambientales, mismas que constituyen la base para la toma de decisiones en cuanto a su uso y manejo. Este resultado conduce a precisar que las relaciones con la tecnología se establecen entre clases de tierra agrupadas según su calidad, más que en lo individual. Esto concuerda con Bellón (1993), en el sentido de que no todos los conocimientos se traducen en acciones concretas, sino sólo aquellos para los que se requiere de una respuesta práctica a través de la tecnología y difiere de Ann (1993), quien sugirió que las diferencias de manejo son producto de la distribución desigual del conocimiento; máxime, cuando el manejo del sistema se basa en los consensos ya señalados.

CONCLUSIONES

- Los productores reconocen las condiciones ambientales y edáficas prevalecientes en las localidades vecinas, aun cuando no todas las clases de tierra se repiten entre las comunidades estudiadas. Esto significa que la clasificación local de tierras puede aceptarse como un marco de referencia de carácter regional.
- Los consensos detectados entre comunidades se refieren a la calidad de las tierras y al comportamiento de la relación suelo/planta, y no a los detalles de la clasificación local.
- Los consensos de calidad de las clases de tierras se basan en el reconocimiento de ventajas y limitantes ambientales y edáficas (fertilidad, humedad, drenaje) que se traducen en tecnología adaptada a condiciones específicas.
- El marco de referencia que se genera con la clasificación local de tierras es el medio de comunicación de los productores, dentro y entre comunidades, para transferir conocimientos y tecnología.

LITERATURA CITADA

- Alfaro-Ortiz, E.R., C.A. Ortiz-Solorio, C.A. Tavarez-Espinosa, Ma. del C. Gutiérrez-Castorena y A. Trinidad-Santos. 2001. Clasificaciones técnicas de suelos en combinación con el conocimiento local sobre tierras, en Santa María Jajalpa, Estado de México. *Terra* 18: 93-101.
- Ann, T.L. 1993. La legitimación del conocimiento local: de la marginación al fortalecimiento de los pueblos del tercer mundo. pp. 89-122. *In: Leff, E. y J. Carabias (eds.). Cultura y manejo sustentable de los recursos naturales. Volumen I. Ed. Porrúa. México, D.F.*
- Arboleda-Valencia, C., J. Arcila-Pulgarín y R. Martínez-Bolaños. 1988. Sistema Integrado de Recomendación y Diagnóstico: una alternativa para la interpretación de resultados del análisis foliar en café. *Agronomía Colombiana* 5: 17-30.
- Barrera-Bassols, N. y A. Zinck. 2000. Etnopedology in a worldwide perspective. An annotated bibliography. ITC Publication 77. International Institute for Aerospace Survey and Earth Science. Enschede, The Netherlands.
- Barrios, E., R. Herrera y J.L. Valles. 1994. Tropical floodplain agroforestry system in mid-Orinoco river basin, Venezuela. *Agroforestry Systems* 28: 143-157.
- Bellón, M.R. 1993. Conocimiento tradicional, cambio tecnológico y manejo de recursos: saberes y prácticas productivas de los campesinos en el cultivo de variedades de maíz en un ejido del estado de Chiapas, México. pp. 297-329. *In: Leff, E. y J. Carabias (eds.). Cultura y manejo sustentable de los recursos naturales. Volumen II. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Ed. Porrúa. México, D.F.*
- CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional). 1970. Carta de climas, escala 1:500 000. Dirección de Planeación, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Cuanalo-de la Cerda, H.E. 1975. Manual para la descripción de perfiles en el campo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Gutiérrez-Castorena, Ma. del C. y C.A. Ortiz-Solorio. 1999. Origen y evolución de los suelos de la ribera del ex Lago de Texcoco. *Agrociencia* 33: 199-208.
- ISSS/ISRIC/FAO (International Soil Science Society-International Soil Reference and Information Centre-Food and Agriculture Organization). 1998. World References Base for Soil Resources. World Soil Resources Report 84. Roma, Italy.
- Licona-Vargas, A.L., C.A. Ortiz-Solorio, D. Pájaro-Huertas y R. Ortega-Paczka. 1992. Metodología para el levantamiento de tierras campesinas a nivel regional en ejidos del centro de Veracruz, México. *Agrociencia Serie Agua-Suelo-Clima* 4: 91-104.
- Luna-Orea, P., C.A. Ortiz-Solorio y D. Pájaro-Huertas. 1988. Clasificación campesina de suelos en dos comunidades del Valle de México. *Agrociencia* 73: 159-170.
- Ortiz-Solorio, C.A. 1993. Evolución de la ciencia del suelo en México. *CIENCIA* 44: 23-32.
- Ortiz-Solorio, C.A. 1999. Los levantamientos etnoedafológicos. Tesis Doctoral. Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- Ortiz-Solorio, C.A. y C. Gutiérrez-Castorena. 2001. La etnoedafología en México, una visión retrospectiva. *Etnobiología* 1: 44-62.
- Ortiz-Solorio, C.A., D. Pájaro-Huertas y V.M. Ordaz Chaparro. 1990. Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas. Serie Cuadernos de Edafología 15. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Rojas-Rabiela, T. 1988. Las siembras de ayer: la agricultura indígena del siglo XVI. Secretaría de Educación Pública/Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. México, D.F.
- Röling, N. 1988. Information system in agricultural development. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain.
- Romero, M. (compilador). 1875. Cultivo del café en la Costa Meridional de Chiapas. Edición facsimilar. Instituto Mexicano del Café. México, D.F.
- Ruiz-Bello, R. 1978. Resumen de normas técnicas para los cursos de cafecultura práctica. Segunda Edición. Dirección Adjunta de Producción y Mejoramiento del Café. Instituto Mexicano del Café. Campo Experimental Garnica. Xalapa, Veracruz, México.
- Sánchez-Guzmán, P., C.A. Ortiz-Solorio, Ma. del C. Gutiérrez-Castorena y J.D. Gómez-Díaz. 2002. Clasificación campesina de tierras y su relación con la producción de caña de azúcar en el sur de Veracruz. *Terra* 20: 359-369.
- Santoyo-Cortéz, V.H., S. Díaz-Cárdenas y B. Rodríguez-Padrón. 1994. Sistema agroindustrial café en México. Diagnóstico, problemática y alternativas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Soil Survey Staff. 2003. Keys to soil taxonomy. Ninth Edition. Unites States Department of Agriculture. Washington, DC.
- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto). 1984. Carta geológica, escala 1:250 000. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Dirección de Geografía. México, D.F.
- Van Reeuwijk, L.P. 1995. Procedures for soil analysis. Tech. Paper 9. 4th ed. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, The Netherlands.
- Villaseñor-Luque, A. 1987. Cafecultura moderna en México. Agrocomunicaciones Sáenz Colín y Asociados. Chapingo, estado de México.
- Williams, B.J. y C.A. Ortiz-Solorio. 1981. Middle American Folk Soil Taxonomy. *Ann. Assoc. Am. Geographers* 71: 335-358.

CONTRIBUCIÓN DE LAS FRACCIONES ADSORBENTES AL INTERCAMBIO CATIONICO DE SUELOS ARROCEROS DE LA LLANURA SUR HABANA – PINAR DEL RÍO

Contribution of Exchanger Particles to the Cation Exchange Capacity in Rice Soils from the Flat Areas of South of Havana and Pinar del Río

Lazara Otero^{1‡}, Vicente Gálvez¹, Norys Navarro¹, Guillermo Díaz², Luis Rivero¹ y Antonio Vantour¹

RESUMEN

Se presentan las estimaciones del aporte de la materia orgánica y la arcilla al intercambio catiónico de suelos Gley Nodular ferruginosos, cultivados con arroz, de la Llanura Sur Habana - Pinar del Río mediante el método de regresión lineal múltiple. Los resultados revelan que la supremacía del intercambio catiónico en estos suelos es responsabilidad de la fracción mineral (arcilla tipo 1:1), con empobrecimiento en la calidad adsorbente de la materia orgánica contenida en la capa superficial de los suelos, donde precisamente es menor el contenido arcilloso y se desarrolla el sistema radical del arroz. Dada la pobre capacidad coloidal de los suelos, el cultivo puede carecer de nutrimentos.

Palabras clave: fracciones intercambiadoras, capacidad de intercambio catiónico.

SUMMARY

An estimated contribution of organic matter and clay to the cationic exchange by multiple linear regression in Gley Nodular ferruginous rice soils from the flat areas of South Havana and Pinar del Río is presented. The results show that the supremacy of the cationic exchange in these soils is a responsibility of the mineral fraction (clay type 1:1), with impoverishment of the adsorption capacity of organic matter in the top soil layer, where precisely the clay

content is less and in which the root system develops. Because of poor colloidal capacity of the soils, the crop may lack nutrients.

Index words: exchangers particles, cationic exchange capacity.

INTRODUCCIÓN

Para la evaluación de la naturaleza del intercambio catiónico de Vertisoles, Otero *et al.* (1998) propusieron dos métodos: uno analítico y otro estadístico, con los cuales caracterizaron la participación de cada fracción coloidal en los mismos. Estas metodologías de investigación se han extendido a otras áreas de Cuba con cultivo de arroz; así, mediante la aplicación del método analítico, se reveló la degradación en la fertilidad que experimentan los Vertisoles con cultivo de arroz de la Provincia Granma, ya que, además de disminuir la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad cambiadora específica de las fracciones con los años de cultivo, se intensifica la desaturación de los suelos, fundamentalmente de calcio cambiante y se propicia el deterioro de la estabilidad estructural (Otero *et al.*, 1997).

Los resultados del aporte de las fracciones coloidales al intercambio catiónico de los suelos, además de expresar el estado en que se encuentra el complejo adsorbente y caracterizar su fertilidad, dan idea de la finalidad que deben lograr las prácticas de mejoramiento y la afectación que puede provocar el resto de los factores del medio. El presente trabajo se realizó en suelos hidromórficos que, por naturaleza, son de baja productividad y fertilidad para algunos cultivos; existen áreas en que han sido tan severamente explotados, que en la actualidad son casi estériles, dada la pérdida aun más intensiva de bases cambiables, nutrimentos e incidencia de otros factores negativos, como salinización y sodicidad (Gálvez *et al.*, 1998).

¹ Instituto de Suelos. Autopista Costa-Costa, Km. 8½., Apdo. 8022, 10800 Capdevila, Boyeros. Ciudad de la Habana, Cuba.

[‡] Autor responsable (larennee@ceniai.inf.cu)

Telefax: (537) 45 3946.

² Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Gaveta Postal 1, 32700 San José de las Lajas. La Habana, Cuba

El objetivo del presente artículo es presentar la cuantificación del aporte que realizan la materia orgánica y la arcilla mediante la aplicación del modelo de regresión lineal múltiple, a la capacidad adsorbente de suelos Gley Nodular ferruginosos, influenciados por las condiciones que proporciona al medio, el cultivo del arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la unidad de producción de arroz "Caribe", situado en el municipio Los Palacios, entre las coordenadas 22° 11' 11" y 22° 19' 23" N y entre 83° 17' 54" y 83° 27' 56" O, y en la empresa de semilla de arroz "Corojal", situada en el municipio Artemisa, entre las coordenadas 22° 37' 01" y 22° 41' 24" N y entre 82° 46' 13" y 82° 49' 47" O. Ambas se encuentran en la llanura Sur Habana – Pinar del Río, en el occidente de la República de Cuba.

La primera arrocera se dedica a arroz de consumo; mientras que la segunda se dedica a la obtención de semillas, ambas están establecidas sobre suelos Gley Nodular ferruginosos (Hernández *et al.*, 1999).

Estos suelos son de color oscuro en los primeros centímetros, con textura limo-arenosa que pasa a pardo claro o pardo oscuro amarillento, presentando coloraciones moteadas de gris, amarillento azulado y rojizo, características de gley, de textura limo-arcillosa. Poseen más de 5% y hasta 50% de concreciones de hierro en la masa del suelo, con drenaje superficial moderado, e interno deficiente. La caracterización química de perfiles tipo de ambas arroceras (Ministerio de la Agricultura, 1985) se muestra en el Cuadro 1.

Se reporta que presentan bajo contenido de materia orgánica y diferente categoría de acidez que coincide con la baja saturación de bases cambiables del complejo adsorbente. Dentro de las bases predomina el calcio, seguido por el magnesio y el sodio se incrementa en las profundidades inferiores del perfil, acentuado en los suelos que ocupan las posiciones más bajas. Se reporta, además, bajo contenido de nutrimentos y presencia de aluminio cambiante.

Para la realización del presente trabajo, se evaluaron los resultados de muestras adquiridas en puntos representativos, colectadas cada 20 cm hasta 60 cm de profundidad en la unidad de producción "Caribe" y en la empresa de semilla "Corojal".

Se estimó la contribución de la materia orgánica y de la arcilla en el intercambio catiónico de los suelos, mediante ecuaciones de regresión lineal múltiple, que relacionan los contenidos porcentuales de la materia orgánica y de la arcilla con la capacidad adsorbente del suelo. En las ecuaciones de regresión múltiple obtenidas:

$$Y = AX_1 + BX_2 + C$$

donde: Y es la capacidad de intercambio catiónico ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo), X_1 es el porcentaje de materia orgánica, X_2 es el porcentaje de arcilla y C es el término independiente o valor de la ordenada en el origen.

La participación media de estas fracciones en porcentaje se calcula de la sustitución de sus valores porcentuales promedio en la ecuación respecto a la media de la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Cuadro 1. Caracterización química de perfiles pertenecientes a las arroceras "Caribe" y "Corojal".

Profundidad cm	pH		MO [†] %	Bases cambiables					Saturación %	
	H ₂ O	KCl		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CCB [‡]		CIC [§]
				$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo						
Caribe										
0 a 15	5.8	4.8	2.26	1.60	1.10	0.14	0.20	3.04	5.40	56.29
17 a 30	5.9	5.0	1.22	3.50	2.25	0.06	0.34	6.15	8.50	72.35
40 a 60	6.0	5.2		3.00	2.40	0.10	1.00	6.50	11.20	58.03
Corojal										
0 a 15	6.5	5.3	1.55	9.78	3.79	0.15	0.41	14.13	16.21	87.17
15 a 40	6.7	5.4	-	12.75	6.48	0.15	0.75	20.13	20.36	98.87
40 a 70	6.7	5.7	-	16.15	7.22	0.20	2.05	25.62	25.62	100.00

[†] MO = materia orgánica, [‡] CCB = capacidad de cambio de bases, [§] CIC = capacidad de intercambio catiónico.

La materia orgánica fue determinada por Walkley y Black (Jackson, 1964), la arcilla por Kachinsky (Kaurichev *et al.*, 1984) y la capacidad de intercambio catiónico por el método Schatchabell (Ministerio de la Agricultura, 1988) que se basa en la utilización del acetato de amonio pH 8.5, en la cuantificación de las cargas negativas del suelo, saturadas con CaCl₂ 0.5 N, posterior al desplazamiento de las bases cambiables con acetato de amonio pH 8.5.

Los valores de la estadística descriptiva de estos componentes se presentan en el Cuadro 2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Unidad de Producción de Arroz “Caribe”

De acuerdo con los resultados del Cuadro 2, la capacidad de intercambio catiónico media de los suelos (CIC), pertenecientes a la unidad de producción de arroz “Caribe”, se clasifica de muy baja a baja, la materia orgánica (MO) media del suelo como poco humificado y el porcentaje de arcilla valora la textura desde arena hasta arcilla arenosa (Ministerio de la Agricultura, 1984).

Las ecuaciones encontradas por cada profundidad en la unidad de producción “Caribe” se reportan en el Cuadro 3.

En todos los casos fue más importante el intercambio mineral que el orgánico, que representa entre 41.36 y 64.81%, con tendencia a aumentar con la profundidad desde 20 cm, acorde al incremento de la arcilla del suelo y con la aparición de la capa gleyzada, en que resulta bastante escaso el volumen de raíces que pueden desarrollarse. La reactividad de esta fracción (arcilla) fue bastante homogénea en los primeros 40 cm del espesor de suelo, indicando los valores de los intercambios específicos y la existencia de arcilla del tipo 1:1. En las ecuaciones obtenidas, el coeficiente del contenido orgánico es negativo, que indica que no siempre aumenta el valor de la capacidad de intercambio catiónico con el incremento de la concentración porcentual de la materia orgánica, debido a diferencias en la composición cualitativa de la materia orgánica que es determinante en el aporte a la capacidad adsorbente de los suelos. La participación de la materia orgánica al intercambio catiónico no llegó a 15%, determinado por el escaso

Cuadro 2. Parámetros estadísticos del contenido de las fracciones intercambiadoras y la capacidad adsorbente de los suelos.

Profundidad cm	Propiedad	Media	Desviación estándar	Error estándar	Número de muestras
		Caribe			
0 a 20	CIC cmol _c kg ⁻¹	6.89	1.92	0.51	14
	% Materia orgánica	0.99	0.32	0.09	14
	% Arcilla	9.24	5.37	1.43	14
20 a 40	CIC cmol _c kg ⁻¹	9.63	4.49	1.25	13
	% Materia orgánica	0.60	0.34	0.09	13
	% Arcilla	24.81	17.42	4.83	13
40 a 60	CIC cmol _c kg ⁻¹	14.33	3.33	0.89	14
	% Materia orgánica	0.41	0.19	0.05	14
	% Arcilla	44.87	12.07	3.23	14
		Corojal			
0 a 20	CIC cmol _c kg ⁻¹	22.26	3.20	0.76	18
	% Materia orgánica	2.61	0.81	0.19	18
	% Arcilla	34.54	7.25	1.71	18
20 a 40	CIC cmol _c kg ⁻¹	22.36	3.95	0.99	16
	% Materia orgánica	1.34	0.28	0.07	16
	% Arcilla	36.91	7.18	1.79	16
40 a 60	CIC cmol _c kg ⁻¹	25.56	4.55	1.07	18
	% Materia orgánica	0.69	0.29	0.07	18
	% Arcilla	43.66	7.04	1.66	18

Cuadro 3. Ecuaciones y aporte de la arcilla y la materia orgánica al intercambio catiónico de los suelos Gley Nodular ferruginosos del establecimiento arrocero "Caribe".

Profundidad cm	Ecuación de regresión	R ²	Intercambio de las fracciones			
			Materia orgánica		Arcilla	
			Participación %	Intercambio específico cmol _c kg ⁻¹	Participación %	Intercambio específico cmol _c kg ⁻¹
0 a 20	CIC = 4.9015 - 0.8753 MO + 0.3083 Arcilla	0.66**	12.52	87.52	41.36	30.83
20 a 40	CIC = 4.4002 - 1.6818 MO + 0.2517 Arcilla	0.94**	10.47	168.0	64.81	25.17
40 a 60	CIC = 6.5432 - 1.6357 MO + 0.1885 Arcilla	0.45*	4.68	163.0	59.02	18.85

* = significancia 0.05, ** = significancia 0.01.

contenido orgánico y por la degradación de sus propiedades coloidales producto del cultivo continuado del arroz y de la introducción intensiva de las labores de manejo, que se refleja en la capa más superficial de los suelos.

Sreekala *et al.* (2002) indicaron que la cantidad y la habilidad de la fracción orgánica del suelo son los responsables de mantener las propiedades físico-químicas y el aumento de la demanda de nutrimentos, por lo que éstos resultan los dos factores responsables de asegurar una productividad estable en un tiempo determinado o, en su caso, de la degradación del suelo. De hecho, se percibe que el intercambio catiónico de estos suelos es responsabilidad de la fracción arcillosa de escasa capacidad de retención, por lo que los suelos pueden carecer de humedad (Bonilla y Cancino, 2001), ante déficit de riegos. En estas condiciones, es de gran conveniencia la aplicación de zeolita a los mismos, de mejoradores orgánicos-minerales o de mejoradores orgánicos de alta capacidad de intercambio catiónico ya humificados, para que el proceso de reducción que recibirá el suelo durante el cultivo del arroz minimice la degradación de sus cualidades adsorbentes.

De acuerdo con Molina (2000), las sustancias orgánicas que se incorporan, además de propiciar el movimiento de aire, agua y nutrimentos, permiten incrementar el crecimiento, la penetración radical y las propiedades biológicas, favoreciendo la proliferación de microorganismos benéficos; todo el conjunto de las condiciones mejoradas puede dar lugar a que el propio cultivo produzca mayor cantidad de residuos, siendo otra fuente de material orgánico del suelo.

Navarro (1998) describió propiedades negativas de los suelos de la Granja "Caribe", acentuadas por la degradación que provoca el monocultivo del arroz, proponiendo, como medidas de recuperación, la aplicación de materia orgánica, la incorporación de

zeolita, la rotación de cultivos y el manejo diferenciado. Dichas recomendaciones son respaldadas por los resultados encontrados con la aplicación del modelo de regresión lineal múltiple.

Empresa de Semillas de Arroz "Corojal".

Los resultados mostrados en el Cuadro 2 valoran que la capacidad de intercambio catiónico media de los suelos (CIC) de la empresa "Corojal" está en el intervalo de medianamente alto, los contenidos orgánicos los valoran de poco humificado a medianamente humificado, y la textura media es limo-arcillosa (Ministerio de la Agricultura, 1984).

Las ecuaciones reportadas por cada profundidad en la empresa "Corojal" se presentan en el Cuadro 4.

El análisis de la contribución de la fracción mineral y orgánica al intercambio catiónico de los suelos de la empresa arrocera "Corojal" por el método de regresión detecta, en la profundidad de 0 a 20 cm, la menor significación de las ecuaciones, debido a la heterogeneidad de la composición cualitativa de la materia orgánica a esa profundidad, en la que inciden más directamente las variables de manejo y el cultivo intensivo del arroz, influyendo diferencialmente sobre la conservación y degradación de sus cualidades adsorbentes y sobre la interacción materia orgánica:arcilla. Se distingue la supremacía del intercambio mineral en todas las profundidades, el cual aumenta en sentido descendente como la CIC y la arcilla, siendo la participación media de esta fracción en la profundidad de 40 a 60 cm de 87.38% y muy baja en la capa superficial (<50%). El intercambio específico de la fracción mineral en "Corojal" es mayor y más heterogéneo, que en la unidad "Caribe", coincidiendo con su composición cualitativa textural algo diferente.

En este análisis se revela una participación muy pobre de la materia orgánica de 0 a 20 cm y de

Cuadro 4. Ecuaciones y aporte de la arcilla y la materia orgánica al intercambio catiónico de los suelos Gley Nodular ferruginosos de la empresa "Corojal".

Profundidad cm	Ecuación de regresión	R ²	Intercambio de las fracciones			
			Materia orgánica		Arcilla	
			Participación %	Intercambio específico cmol _c kg ⁻¹	Participación %	Intercambio específico cmol _c kg ⁻¹
0 a 20	CIC = 13.9770 - 0.1442 MO + 0.2506 Arcilla	0.31*	1.69	14.42	38.89	25.06
20 a 40	CIC = 4.5834 + 2.8497 MO + 0.3780 Arcilla	0.55**	17.08	284.97	62.41	37.79
40 a 60	CIC = 3.4671 - 0.3517 MO + 0.5116 Arcilla	0.63**	0.95	35.16	87.38	51.15

* = significancia 0.10, ** = significancia 0.01.

40 a 60 cm; como en el área anterior, es negativo el signo del coeficiente de la materia orgánica afectado por la influencia de la composición cualitativa de este componente. De 20 a 40 cm, el signo fue positivo y se obtuvo mayor reactividad de la materia orgánica que en las profundidades superior e inferior, reflejando que parte de dicha materia orgánica es proveniente de la profundidad de 0 a 20 cm.

Paván y Dias (1998) manifestaron que la interacción entre la arcilla y la materia orgánica modifica o distribuye las cargas negativas y, con ello, las magnitudes de los componentes permanentes y variables aportados por la arcilla y la materia orgánica, cuya relación específica puede ser MO:arcilla de hasta 50:1. Al respecto, Rivero (1999) reportó que las cargas negativas de la materia orgánica oscilan entre 100 y 300 cmol_c kg⁻¹, con la CIC seis veces mayor que la arcilla.

El intercambio específico, obtenido para ambos cambiadores, indica interrelaciones diferenciadas de las partículas fundamentales en el espesor de suelo, influenciadas por la variación contrastante del contenido y de la calidad de la materia orgánica de las tres profundidades; de 0 a 20 cm y de 40 a 60 cm, la arcilla es más reactiva que la materia orgánica, la cual presenta una reactividad muy pequeña; de 20 a 40 cm, la materia orgánica es 7.54 veces más reactiva que la arcilla. En los resultados es preocupante el poco aporte detectado por la fracción orgánica en la profundidad de 0 a 20 cm, que es la de mayor influencia en la fertilidad y donde hubo el mayor contenido orgánico. En este caso, pueden existir, además de los efectos desfavorables del sistema de cultivo, otros elementos degradantes del medio que influyen negativamente en la calidad de la materia orgánica, como es la salinidad.

En las muestras de suelos de esta empresa, se obtuvo correlación altamente significativa entre la CIC y el contenido arcilloso, sin embargo, no

se verificó dependencia del intercambio catiónico con el contenido orgánico, a excepción de la profundidad de 20 a 40 cm ($r = 0.74$, $P = 0.01$), por haber recibido la porción más dinámica de la materia orgánica de la profundidad de 0 a 20 cm. Aunque los mayores contenidos de materia orgánica no son detectados precisamente de 20 a 40 cm, los resultados indican que la fracción orgánica acumulada posee cualidades reactivas mayores que en la capa superficial, donde los suelos reciben directamente la influencia de los ciclos sucesivos de inundación que provocan la alternancia de períodos de oxidación-reducción, lo cual degrada a los suelos arroceros (Navarro *et al.*, 1990); y que, a su vez, concuerdan con los datos mostrados en el Cuadro 4. En esta área, como en la anterior, las limitadas propiedades coloidales de la arcilla y de la materia orgánica influyen negativamente en la fertilidad de los suelos, pues determinan la baja retención de nutrientes.

Implicaciones de las Peculiaridades Adsorbentes de las Fracciones Coloidales

En el establecimiento "Caribe", es menor el contenido orgánico y de arcilla con menor intercambio específico que en la empresa "Corojal", por lo que la capacidad de intercambio catiónico de los suelos es más pequeña.

En ambos casos, se obtiene que en la profundidad en que se desarrolla el sistema radicular del arroz, hay bajo contenido de arcilla, la cual es del tipo 1:1, que trae como consecuencia pobre retención de los nutrientes, además de influir en la dispersión de los suelos y en dificultades con las propiedades hidráulicas de los mismos, si se considera el peso del contenido de arcilla en las funciones de pedotransferencia (Perfect *et al.*, 2002), siendo el contenido y la capacidad coloidal de la porción orgánica necesaria para la productividad de dichos

suelos, aunque Pennell *et al.* (1995) consideraron que lo más importante para predecir los procesos en los cuales interviene la materia orgánica, es la medición de su área superficial.

Se aprecia en ambas áreas ubicadas en suelos Gley Nodular ferruginosos, características coincidentes, debido a las particularidades que introduce el cultivo continuado del arroz en la degradación de sus propiedades coloidales, en la fracción orgánica de los suelos.

Wang y Huang (2001) demostraron la influencia efectiva de la materia orgánica en la adsorción de potasio de varios suelos; sin embargo, los compuestos orgánicos son muy afectados por las prácticas de manejo (Campbell *et al.*, 2001). Ha de esperarse deficiencia de potasio en las plantas de arroz, pues, además de poseer estos suelos bajo contenido de bases, la degradación de la materia orgánica reduce su posible conservación en el suelo. La deficiencia se debe, además, a la actividad coloidal de la fracción mineral; de hecho, el tipo de arcilla no permite la fijación de este elemento, por lo que tiene posibilidades de ser lavado, si las dosis a aplicar sobrepasan la posibilidad de retención. Doberman y Fairhurst (2001) reportaron que la deficiencia de potasio en el arroz disminuye el rendimiento y contribuye a la incidencia de patógenos que atacan a las hojas; estos autores consideraron a los suelos con propiedades similares a los estudiados, dentro de los grupos de suelos sensibles a la deficiencia de dicho elemento.

Díaz *et al.* (1999) se han pronunciado por el uso de prácticas culturales que minimicen las pérdidas de carbono orgánico en suelos de bajo déficit hídrico, pues éstos constituyen un índice confiable de la productividad de los cultivos y de su influencia en la capacidad de almacenaje de agua. La pobre actividad orgánica de los suelos limita el secuestro de carbono y nitrógeno necesarios para el cultivo y para la biota del suelo, que, a su vez, son considerados los indicadores más sensibles de la calidad del suelo a escala regional (Brejda *et al.*, 2000).

Paván y Días (1998) consideraron que las prácticas conservacionistas de materia orgánica constituyen el camino más corto para la sostenibilidad. Bird *et al.* (2002) demostraron la conveniencia de la utilización de la paja de arroz para incorporar nutrimentos al suelo, para reducir los fertilizantes nitrogenados y para el estado de las sustancias húmicas, mientras que Ferrer *et al.* (2002)

han aprovechado la paja de arroz en compostaje con lodos para el mejoramiento de suelos arroceros.

La naturaleza del intercambio catiónico de los suelos objetos de estudio revela la necesidad de introducir, en el cultivo del arroz, el suplemento orgánico y el fraccionamiento de los fertilizantes minerales, como parte de un manejo integrado y diferenciado. Este manejo diferenciado pudiera contemplar la rotación con leguminosas y el empleo de los residuos de cosecha (Gregorich *et al.*, 2001).

Además de lo anterior, el déficit de actividad coloidal de la materia orgánica y la limitada actividad de la arcilla pueden influir en la incidencia de la composición química del manto freático cuya incidencia es temporal, y la del agua de riego, en la implantación de la salinidad en estos suelos, debido a la selectividad del tipo de arcilla por el ión Na^+ , al limitado efecto de la materia orgánica para contrarrestar su adsorción y a la débil capacidad amortiguador de los suelos para oponerse a los cambios de estado (Fassbender, 1975), por lo que en condiciones potenciales y actuales de salinidad sería conveniente, además, el uso de materiales cálcicos eficientes para las condiciones de suelo y cultivo (Sharma y Singh, 2002), combinado con prácticas de manejo conservacionistas, entre ellas soluciones específicas de manejo integrado del agua (Wilson *et al.*, 2000).

La evaluación integral de los resultados llama a reflexionar sobre la necesidad de velar en el cultivo del arroz, no sólo por el tenor de la materia orgánica de los suelos, sino por su calidad; así como la valoración del manejo del cultivo y del medio para que el contenido orgánico se traduzca en mejoría de las condiciones del suelo.

CONCLUSIONES

La aplicación del modelo de regresión lineal múltiple caracterizó la naturaleza del intercambio catiónico de los suelos Gley Nodular ferruginosos con cultivo de arroz, estudiados en la Llanura Sur Habana – Pinar del Río. La mayor contribución es de la fracción mineral, con pérdidas de la capacidad reactiva de la fracción orgánica en la capa más superficial de los suelos. Los resultados señalan la necesidad de implementar labores de manejo diferenciado que, además de conservar el contenido y la capacidad de adsorción de la materia orgánica, preserven la fertilidad de los suelos.

LITERATURA CITADA

- Bird, J.A., A.J. Eagle, W.R. Horwath, M.W. Hair, E.E. Zilbert y C. van Kessel. 2002. Long-term studies find benefits, challenges in alternative rice straw management. *California Agric.* 56-2: 69-75.
- Bonilla M., C. y J. Cancino V. 2001. Estimación del contenido de humedad del suelo mediante el empleo de funciones de pedotransferencia. *Agric. Téc. (Chile)* 61: 326-338.
- Brejda, J.J., T.B. Moorman, D.L. Karlen y T.H. Dao. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators. I. Central and Southern High Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2115-2124.
- Campbell, C.A., R.P. Zentner, F. Selles, B.C. Liang y B. Bloment. 2001. Evaluation of a simple model to describe carbon accumulation in a Brown Chernozem under varying fallow frequency. *Can. J. Soil Sci.* 81: 383-394.
- Díaz-Zorita, M., D.E. Buschiazzi y N. Peinemann. 1999. Soil organic matter and wheat productivity in the semiarid Argentine Pampas. *Agron. J.* 91: 276-279.
- Doberman, A. y T. Fairhurst. 2001. Manejo del potasio en arroz. *Informaciones Agron.* 45: 1-5, 12.
- Fassbender, H.W. 1975. Química de suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Turrialba. San José, Costa Rica.
- Ferrer, E., E. Altarriba, S. Calvet, R. Canet y F. Pomares. 2002. Aprovechamiento agrícola de la paja de arroz y los lodos de depuradora mediante compostaje. *Agrícola Vergel* 247: 390-394.
- Gálvez, V., L. Otero y N. Navarro. 1998. Reflexiones sobre los suelos de la llanura sur de Pinar del Río. *Agric. Orgánica* 4: 14-15.
- Gregorich, E.G., C.F. Drury y J.A. Baldock. 2001. Changes in soil carbon under long-term maize in monoculture and legume-based rotation. *Can. J. Soil Sci.* 81: 21-31.
- Hernández, A., J.M. Pérez, D. Bosh, L. Rivero y colaboradores. 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. *Agrinfor*. Ciudad de la Habana, Cuba.
- Jackson, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Omega. Barcelona, España.
- Kaurichev, L., N. Panov, M. Stratonovich, I. Grechim, V. Savich, N. Ganzhara y A. Mershin. 1984. Prácticas de Edafología. MIR. Moscú, Rusia.
- Ministerio de la Agricultura. Dirección General de Suelos y Fertilizantes. 1984. Manual de interpretación de los índices físico-químicos y morfológicos de los suelos cubanos. Editorial Científico-Técnica. Ciudad de la Habana, Cuba.
- Ministerio de la Agricultura. Dirección General de Suelos y Fertilizantes. 1985. Suelos de la Provincia La Habana según el mapa a escala 1:50 000. Editorial Científico-Técnica. Ciudad de la Habana, Cuba.
- Ministerio de la Agricultura. 1988. Determinación de los cationes intercambiables y la capacidad de intercambio catiónico. pp. 15-27. *In:* Norma Ramal de calidad del suelo. Ciudad de la Habana, Cuba.
- Molina, E. 2000. Nutrición y fertilización del pejobaye para palmito. *Informaciones Agron.* 38: 1-7.
- Navarro, N. 1998. Degradación de los suelos provocados por el monocultivo en la Granja arrocera "Caribe". *Agric. Orgánica* 4: 16-17.
- Navarro, N., A. Pedroso y S. Almogoea. 1990. Características químicas de los suelos dedicados al cultivo continuado del arroz. *Cienc. Agric.* 40: 93-100.
- Otero, L., N. Navarro y F. Ortega-Sastriquez. 1997. Degradación de Vertisoles por el cultivo del arroz. *Agrotécnica de Cuba* 27 (2-3): 64-68.
- Otero, L., F. Ortega-Sastriquez y M. Morales. 1998. Participación de la arcilla y la materia orgánica en la capacidad de intercambio catiónico de Vertisoles de la Provincia Granma. *Terra* 16: 189-194.
- Paván, M.A. y J.C. Dias. 1998. A importancia de materia organica nos sistemas agricolas. IAPAR. Londrina, Paraná, Brasil.
- Pennell, K.D., S.A. Boyd y L.M. Abriola. 1995. Surface area of soil organic matter reexamined. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1012-1018.
- Perfect, E., M.C. Sukop y G.R. Haszler. 2002. Prediction of dispersivity for undisturbed soil columns from water retention parameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 696-701.
- Rivero, T.C. 1999. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades químicas y físicas del suelo. pp. 53-72. *In:* Univ Central de Venezuela, Facultad de Agronomía (ed.). Materia orgánica del suelo. Revista Alcance 57. Maracay, Venezuela.
- Sharma, V.C. y R.P. Singh. 2002. Acid soils of India: their distribution, management and future strategies for higher productivity. *Fertiliser News* 47: 45-48, 51-52.
- Sreekala, V., M. George, N. Neelakantan y P. John. 2002. Carbon dynamics of organic matter decomposition in soil. *Fertiliser News* 47: 65-66.
- Wang, F.L. y P.M. Huang. 2001. Effects of organic matter on the rate of potassium adsorption by soils. *Can. J. Soil Sci.* 81 (Special issue): 325-330.
- Wilson, C.E., T.C. Keisling, D.M. Miller, C.R. Dillon, A.D. Pearce, D.L. Frizzell y P.A. Counce. 2000. Tillage influence on soluble salt movement in silt loam soils cropped to paddy rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1771-1776.

CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES VEGETALES EN UN ÁREA AFECTADA POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS

Characterization of Plant Communities in an Area Affected by Hydrocarbon Spill

Eustolia García-López^{1‡}, Joel Zavala-Cruz¹ y David J. Palma-López¹

RESUMEN

El desarrollo de la industria petrolera en el sureste de México ha generado contaminación en su entorno, ocasionada por derrames que afectan a varios componentes de los ecosistemas donde se localiza su infraestructura. En la actualidad, se desarrollan métodos para valorar la calidad botánica de los ambientes contaminados, tanto específicos como del ecosistema, por lo que el objetivo de este trabajo fue caracterizar las comunidades vegetales en estructura, composición florística, tipos de suelo y vegetación, en un área afectada por derrames de petróleo, con especial atención a las especies localizadas sobre éstos. El estudio se realizó en la zona de influencia de los campos petroleros Cinco Presidentes, Rodador y La Venta, Tabasco (México). A partir de cartografía, se efectuó un inventario de derrames, calculándose la superficie ocupada por tipo de suelo y vegetación. Se analizó la contaminación por hidrocarburos y metales pesados en suelos, y su grado de afectación en 18 zonas en que se dividió al área. Las plantas localizadas en las áreas de derrames se colectaron y se identificaron. Se describen seis comunidades vegetales; las hidrófitas ocupan la mayor superficie. Se localizaron 52 derrames de petróleo, la mayoría sobre Histosoles y manglar. Las zonas más contaminadas se encontraron en el núcleo del campo La Venta y la mayor parte de la superficie estudiada (75%) registra contaminación ligera a moderada. Se identificaron 33 especies de plantas herbáceas que se comportan como pioneras en las zonas afectadas, pero, en muchos casos, el “bledo” (*Amaranthus hybridus*) y la “yerba aguada” (*Pluchea purpurascens*) cubrieron casi completamente las áreas con derrames de uno a dos años. Las familias mejor representadas fueron Poaceae, Cyperaceae y Fabaceae.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n, Apartado Postal 24, H. Cárdenas, Tabasco, México.

[‡] Autor responsable (rogarlopez@colpos.mx)

Palabras clave: *vegetación, derrames de petróleo, hidrófitas, manglar.*

SUMMARY

The petroleum industry development in the Mexican southeast has caused pollution of its environment due to oil spills, which affect several components of the ecosystems where its infrastructure is located. At present, methods to evaluate the botanic quality of polluted areas are being developed in a specific level or considering the whole ecosystem. The objective of this study was to characterize, in its structure, floristic composition, soil, and vegetation types, the plant communities in an oil spill affected area, especially the species located on the spills. The study was conducted in the influence zone of the oil fields Cinco Presidentes, Rodador, and La Venta, Tabasco (Mexico). Based on cartographic information, a petroleum spills inventory was elaborated and the area occupied measured for each soil and vegetation type. Hydrocarbons, heavy metals, and its affectation degree were analyzed in the 18 zones into which the area was divided. Plants located in the spill zones were collected and identified. Six plant communities are described; hydrophilic communities were the best distributed. Most of the 52 oil spills were located on Histosols and mangrove. The most contaminated zones were located in the nucleus of La Venta field; most of the studied area (75%) registered light to moderate pollution. Thirty-three plant species were identified as pioneers in the affected zones, but in many cases “bledo” (*Amaranthus hybridus*) and “yerba aguada” (*Pluchea purpurascens*) were observed covering, almost completely, areas with one- to two-year spills. The best-represented plant families were Poaceae, Cyperaceae, and Fabaceae.

Index words: *vegetation, oil spills, hydrophytes, mangrove.*

INTRODUCCIÓN

En México, la industria petrolera ha incrementado considerablemente su infraestructura en las últimas tres décadas; en Tabasco, el estado con mayor producción de petróleo en tierra y el segundo a nivel nacional, ha generado impactos al ambiente que se relacionan con derrames de petróleo, contaminación de cuerpos de agua y comunidades vegetales (Zavala, 1996; Zavala *et al.*, 2003). El efecto tóxico de los hidrocarburos depende de cantidad y estado del aceite, tiempo de exposición, factores ambientales y sensibilidad de los organismos del ecosistema impactado. Ante un derrame de petróleo, las plantas manifiestan daños iniciales como muerte del follaje y tejidos, aunque algunas especies se regeneran a través de tejidos meristemáticos; en general, la comunidad vegetal responde a la contaminación con un cambio en la composición de especies. En el caso de los ecosistemas de humedales, algunas especies sufren daño foliar al entrar en contacto con el aceite, mientras que otras permanecen relativamente exuberantes y vigorosas (Freedman, 1989; Mills *et al.*, 2003).

En un estudio realizado en una comunidad de manglar con introducción permanente de hidrocarburos en Tabasco, los efectos se manifestaron en pérdida de vigor del ecosistema, haciéndolo más vulnerable al ataque de insectos y enfermedades; individualmente, las plantas respondieron mediante daños visibles, como clorosis, necrosis e incluso la muerte (Toledo, 1988). Ante esto, en la actualidad se desarrollan métodos para valorar la calidad botánica del medio, tanto específico (valoración ecológica y de grado de amenaza), como de grupos (briofitas) o comunidades (comunidades y ecosistemas) (Ederra, 1997).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar las comunidades vegetales en un área afectada por derrames de petróleo, en su estructura y composición florística y su relación edáfica, con la finalidad de contar con un inventario de plantas potencialmente útiles en la fitorremediación de suelos contaminados con petróleo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza entre 18° 06' 21" y 18° 16' 00" N y 93° 55' 33" y 94° 08' 07" O, abarca 22 432 ha, se localiza en la planicie de inundación

del río Tonalá, en el límite oeste de Tabasco, incluye parte de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, las poblaciones más importantes son La Venta y Benito Juárez; corresponde a la zona de influencia de los campos petroleros Cinco Presidentes, Rodador y La Venta Norte, donde se localizan 437 pozos, siete baterías de separación, tres estaciones de compresoras y una planta de inyección de agua, además de una densa red de oleoductos y terracerías; su vegetación natural está compuesta por palmar, matorral y selva baja inundables, manglar e hidrófitas, cuenta, además, con áreas de pastos tolerantes a la humedad, cultivos múltiples y perennes (plantaciones de coco). Los suelos están representados por las unidades: Arenosol, Histosol, Gleysol, Solonchak, Alisol y Antrosol (Palma-López *et al.*, 1999).

A partir de fotomapas, escala 1:20 000, (INEGI, 1984a) y fotografías aéreas, escala 1:75 000, (INEGI, 1984b; 1995) se obtuvieron los mapas provisionales. El de suelos se complementó con la descripción de 37 perfiles (Cuanalo, 1981), el análisis físico y químico de 136 muestras y las clasificaciones de taxonomía (FAO, 1989) y de capacidad de uso (IMTA, 1989), verificándose en campo con 70 barrenaciones (de 1.20 a 2 m de profundidad); el de vegetación se corrigió mediante datos de campo (altura, estructura y composición florística) y colecta (junio de 1997 a enero de 1999) de 700 ejemplares de plantas que crecieron sobre derrames de petróleo y zonas aledañas, que se deshidrataron, se herborizaron (Lot y Chiang, 1986), se identificaron mediante claves y descripciones (Standley *et al.*, 1947; Pennington y Sarukhan, 1968; Gómez-Pompa, 1979-1998; Rzedowski y Rzedowski, 1979, 1985, 1990; Lot-Helguera, 1991; Rzedowski y Rzedowski, 1991-1999; Magaña-Alejandro, 1992) y se depositaron en el Herbario CSAT del Colegio de Postgraduados. La descripción de la vegetación se basa en las clasificaciones de Rzedowski (1978), López-Hernández (1980) y Lot-Helguera (1991).

Para el análisis de hidrocarburos y metales pesados se tomaron muestras compuestas (ocho submuestras) del horizonte A en suelos minerales y del horizonte fábriico en orgánicos, en ocho transectos (32 sitios), considerando: a) homogeneidad de factores naturales y b) presencia de derrames e instalaciones petroleras; además, se colectaron 10 muestras en suelos sin contaminación aparente. Los hidrocarburos aromáticos y alifáticos se determinaron por cromatografía de gases EPA 8270, y

los metales pesados (Zn, Cd, Pb, Ni y Va) con espectrofotometría de absorción atómica (Palma-López *et al.*, 1999).

Los criterios para hidrocarburos fueron: para totales (HT) 70 mg kg⁻¹ límite máximo en suelos de zonas costeras no contaminadas (Vázquez-Botello, 1996); para alifáticos (HAL) se definieron cuatro categorías de contaminación: a) normal < 0.9 mg kg⁻¹, b) ligera 1 a 99, c) moderada 100 a 499 y d) muy alta > 500 mg kg⁻¹; ante la falta de normas para aromáticos polinucleares (HAP) en suelos tropicales, y con base en MENVIQ (1993) y Doelman (1994) se definieron cuatro grados: a) nula < 0.9 mg kg⁻¹, b) ligera 1 a 20; c) moderada 21 a 200; d) alta > 200 mg kg⁻¹. Para metales pesados se consideraron las siguientes concentraciones críticas en suelos: Ni 100 a 200 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias y Pendias, 1984; Doelman, 1994); Zn 70 a 400 mg kg⁻¹ (Alloway, 1990); para V se definieron los siguientes grados de contaminación con base en los criterios de Alloway (1990) y McBride (1995): a) normal < 50 mg kg⁻¹, b) ligera 50-99, c) moderada 100-294 y d) alta > 295 mg kg⁻¹.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelos

De los suelos del área, 57.5% tienen vocación para la protección y reproducción de flora y fauna silvestre y 36.7% para el uso pecuario (con pastos tolerantes a la humedad, acidez y baja fertilidad) y agrícola, en condiciones de manejo adecuado. Se identificaron seis unidades y 15 subunidades de suelo (Figura 1). Los Histosoles abarcan 55.3% del área, son suelos orgánicos, ricos en nutrientes, con baja densidad aparente, alta retención de humedad, manto freático elevado, inundación casi todo el año y acidez; en áreas de contacto con los Solonchaks presentan salinidad y sodicidad; se ubican en la séptima clase de uso, es decir, sólo sirven para la actividad forestal y de reserva de vida silvestre; se clasificaron las subunidades H. fíbrico (HSf), H. térrico (HSs), H. sodi-térrico (HSsn) y H. fibri-térrico (HSsf). Los Gleysoles (7.2% del área) tienen horizonte hístico o mólico y presentan inundaciones frecuentes y manto freático elevado; son suelos de quinta a séptima clase de uso, es decir, tienen vocación forestal, de reserva de vida silvestre y cultivo de pastos; se localizaron las subunidades G. verti-eútrico (GLEv), G. mólico (GLm) y G. úmbrico (GLu). El Solonchak gléyico (SCg) (2.2%) es un suelo de

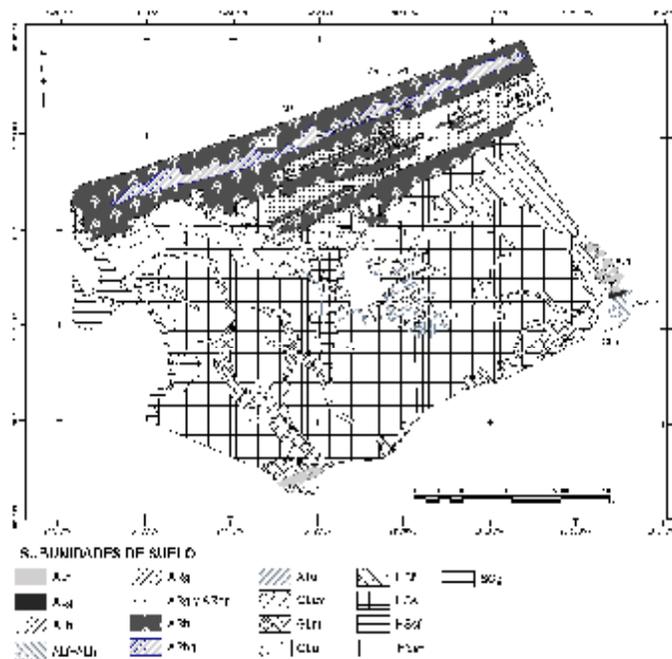


Figura 1. Subunidades de suelo.

séptima clase, salino y sódico, con inundaciones frecuentes y manto freático elevado; sólo apto para la actividad forestal y de protección de vida silvestre. Los Arenosoles (27.5%) tienen textura arenosa, encharcamiento ocasional (A. gléyico), baja fertilidad y manto freático elevado, se ubican como suelos de tercera a quinta clase; se identificaron las subunidades A. háplico (ARh), A. gleyi-háplico (ARhg) y A. gléyico (ARg). Los Alisoles (1.1%) son suelos arenosos sobre francos, ácidos y de colores rojos, presentan alto riesgo de erosión, pendiente moderada y baja fertilidad; son de tercera clase, es decir, tienen mediana capacidad de uso agrícola; se localizaron las subunidades A. háplico (ARh), A. gleyi-háplico (ARhg) y A. gléyico (ARg). El Antrosol úrbico (ATu) (0.9%), resultado de relleno, excavación y construcción de basureros y bordos, presenta manto freático elevado en época de lluvias, inundaciones temporales y riesgo alto de erosión. Su potencial agrícola (tercera clase) se reduce por la remoción de materiales y la pérdida del horizonte A.

Vegetación

Dadas las limitaciones de los suelos para su uso agrícola y ganadero, 58.8% (13 180 ha) de la superficie estudiada presenta vegetación nativa; las comunidades mejor representadas, hidrófitas,

matorral inundable y manglar (Figura 2), se localizan en áreas inundadas la mayor parte del año, lo que dificulta su acceso y facilita su conservación; la riqueza florística ascendió a 434 especies (306 nativas o naturalizadas), 318 géneros y 110 familias; los *taxa* más diversificados son las familias Fabaceae (49 especies), Poaceae (32), y Cyperaceae (27), y los géneros *Cyperus* (10 especies) y *Citrus* (6).

Manglar. Es típico de desembocaduras de ríos y márgenes de lagunas con influencia de agua marina; cambios fuertes de salinidad y el nivel de agua determinan una baja diversidad florística y la presencia de raíces zancas y neumatóforos, que intervienen en la respiración y en el sostén de las plantas. Su altura promedio varía de 15 a 20 m, su estrato arbóreo está dominado por los mangles rojo (*Rhizophora mangle*), blanco (*Laguncularia racemosa*), prieto (*Avicennia germinans*), botoncillo (*Conocarpus erectus*) y palma tasiste (*Acoelorrhapha wrightii*); en el estrato herbáceo abundan helechos (*Acrostichum aureum* y *A. danaefolium*), pasto pajón (*Fimbristylis spadicea*), lirio (*Hymenocallis litoralis*), saladilla (*Batis maritima*), *Cyperus articulatus* y *Sesuvium portulacastrum*, además de epífitas

(orquídeas y bromelias) y lianas. Ocupa 2306 ha (10.3%) sobre Solonchak e Histosol.

Selva baja inundable. Es la comunidad con mayor diversidad florística, su altura promedio no rebasa 15 m, su especie dominante es el apompo (*Pachira aquatica*), por lo que también se conoce como “apompal”. En el estrato arbóreo se localizan, además, *Pithecellobium lanceolatum*, *Alibertia edulis*, *Lonchocarpus guatemalensis*, *Hamelia patens*, *Andira inermis*, *Ficus padifolia*, *Randia aculeata*, anonillo (*Annona glabra*) y estribo (*Dalbergia brownii*); y en el estrato herbáceo helechos como guanillo (*Blechnum serrulatum*) y *Thelypteris interrupta*, pasto pelillo (*Leersia hexandra*), *Begonia fischeri*, *Scleria microcarpa* y *S. macrophylla*. Además, existe una gran diversidad de epífitas y lianas (orquídeas, bromelias y aráceas). Ocupa 1654 ha (7.4%) sobre Histosol y Gleysol.

Matorral espinoso e inerme inundable. Se desarrolla en sitios que originalmente fueron selva baja y fueron modificados por la actividad humana (talas y quemas); se compone de una amplia diversidad de especies que rara vez superan 5 m.

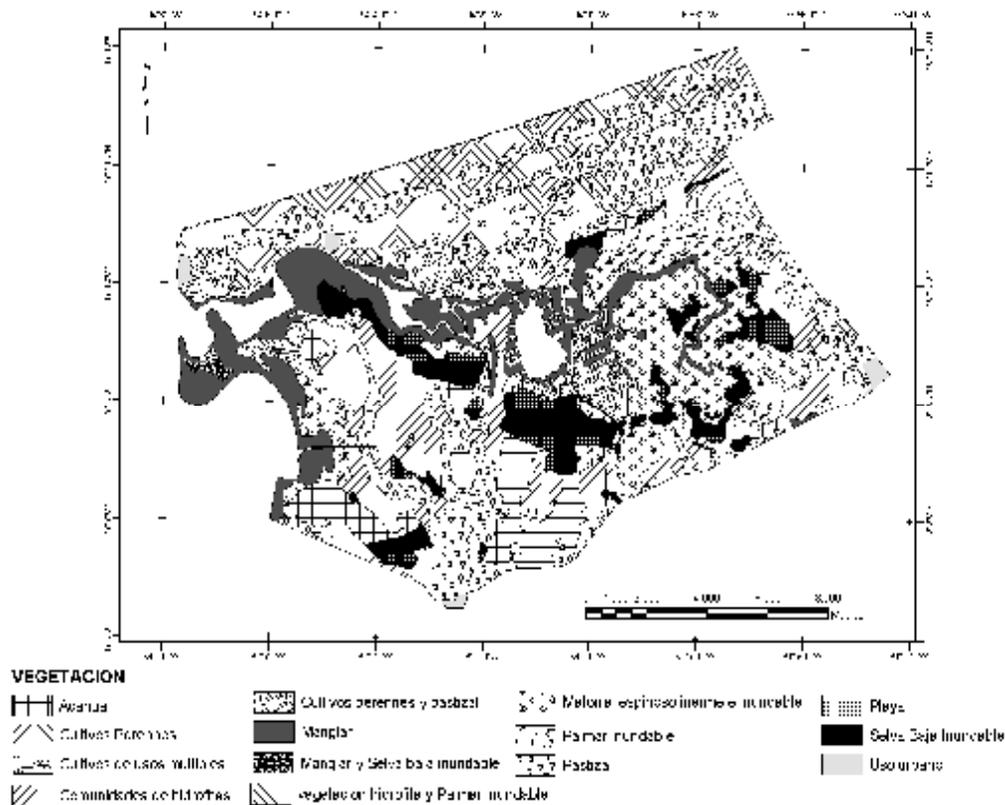


Figura 2. Tipos de vegetación y uso actual del suelo.

El matorral inerme inundable, conocido localmente, como “estribal”, es una asociación dominada por estribo, icaco (*Chrysobalanus icaco*) y anonillo, que cambia a espinoso cuando prosperan especies que presentan agudas espinas, como *Solanum houstonii*, *Machaerium falciforme* y *P. lanceolatum*. También pueden encontrarse *F. padifolia*, *Coccoloba barbadensis* y guarumo (*Cecropia obtusifolia*) y, en el estrato herbáceo, *Acrostichum aureum*, guanillo, ciperáceas, gramíneas y compuestas propias de lugares abiertos; abundan las epífitas (orquídeas, bromelias y aráceas) y lianas (bignonias). Ocupa 3095 ha (13.8%) sobre Histosol. Por otro lado, como parte de la sucesión en sitios abandonados, se han establecido manchones de escobillo (*Myrica cerifera*), más o menos puros, dispersos en el área, que se han extendido conforme va desapareciendo la selva baja.

Achual. Comunidad cuya vegetación original fue selva baja, sometida a desmontes y/o quemas para establecer praderas artificiales y luego abandonadas, en las que se da un proceso de regeneración natural. Su composición florística varía de acuerdo con la etapa: inicialmente, cuando se abandona el terreno, se establecen plantas pioneras que se comportan como arvenses (ciperáceas, compuestas, leguminosas y gramíneas), que inician el proceso de sucesión ecológica. En la siguiente fase, de ocho a 10 años, prosperan las de crecimiento rápido y madera suave como el tatuán (*Colubrina ferruginea*), guarumo, platanillo (*Heliconia latispatha*), *H. patens* y *Piper subcitrifolium*; si no hay alteraciones significativas, se desarrollan especies de mayor porte, como *Inga vera*, *Cordia alliodora*, *Terminalia amazonia* y *Miconia* sp. Ocupa 1433 ha (6.4%), sobre Gleysol.

Palmar inundable o “tasistal”. Comunidad de 3 a 4 m de alto, integrada por masas más o menos puras de tasiste, formando pequeños manchones dentro del matorral inundable, donde convive con guanillo y *A. aureum*, o en sitios más abiertos, con espadaño (*Typha latifolia*), ciperáceas, pastos alemán (*Echinochloa polystachya*) y pelillo. Se localiza sobre Histosol, ocupando 578 ha (2.6%).

Comunidades de hidrófitas. Conjunto de asociaciones vegetales (cuyo nombre local proviene de la especie dominante, aunque no se conozcan con exactitud los factores que lo determinan) que se desarrollan en condiciones de inundación perpetua; sus componentes están arraigados al fango (con sus hojas y partes reproductivas sobresalientes) o flotando

sobre la lámina de agua. En conjunto ocupan 3700 ha (16.5%), dispersas en toda el área.

Hojillal. Comunidad de hidrófitas arraigadas al fango, sus hojas y partes reproductivas sobresalen a la lámina de agua; su altura varía de 2 a 3 m y puede llegar a formar masas densas. Sus componentes se caracterizan por tener hojas anchas, destacando la hojilla (*Thalia geniculata*), tul (*Pontederia sagittata*), platanillo y lengua de perro (*Sagittaria lancifolia*); se distribuye en franjas estrechas en toda el área sobre Gleysol mólico y en zonas de transición entre éste e Histosol.

Espadañal. Comunidad compuesta por plantas de hasta 2 m de alto, con hojas angostas o sin ellas, arraigadas al sustrato sobre Gleysol mólico; el espadaño está asociado con pastos nativos (pelillo y alemán) y helechos (guanillo y *A. aureum*). En sitios con derrames de petróleo medianamente intemperizados, se encuentran renuevos de espadaño y guanillo como plantas pioneras.

Molinillal. Comunidad de hasta 2.5 m de alto con sus componentes arraigados al fondo, el molinillo es la especie dominante, coexiste con popal, guanillo, tul, escobillo, pasto alemán, navajuelas (*Scleria* spp.) y *Ludwigia leptocarpa*; desarrollada sobre Histosol.

Navajuelal. Compuesta principalmente por “navajuelas” (*Cladium jamaicense*, *Scleria macrophylla* y *Scleria microcarpa*) y guanillo, su tamaño no rebasa 2 m y se localiza en pequeños manchones sobre Histosol.

Hidrófitas flotantes. Comunidad de plantas acuáticas que flotan en la superficie del agua arraigadas o no al fondo, estas últimas, en general, se reproducen vegetativamente; las especies más comunes son: lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), pancillas (*Salvinia auriculata* y *S. minima*), lenteja de agua (*Lemna gibba*), pan caliente (*Nymphaea ampla*) y platillo acuático (*Nymphoides indica*); se localizan en sitios tranquilos o con corrientes lentas, dispersas en el área de estudio, sobre Histosol.

Además de las especies que se mencionaron, se encuentran escobillo, *Rhynchospora corymbosa*, *Fuirena camptotricha*, *Cyperus hermaphroditus*, *Hydrocotyle verticillata*, *Eleocharis interstincta* y *Lobelia cardinalis*.

Derrames de Petróleo y Afectación

Se localizaron 52 derrames de petróleo (Figura 3), ocasionados por la rotura de oleoductos, descarga de

aguas residuales en baterías de separación y estaciones de compresoras, acumulación de aceite en

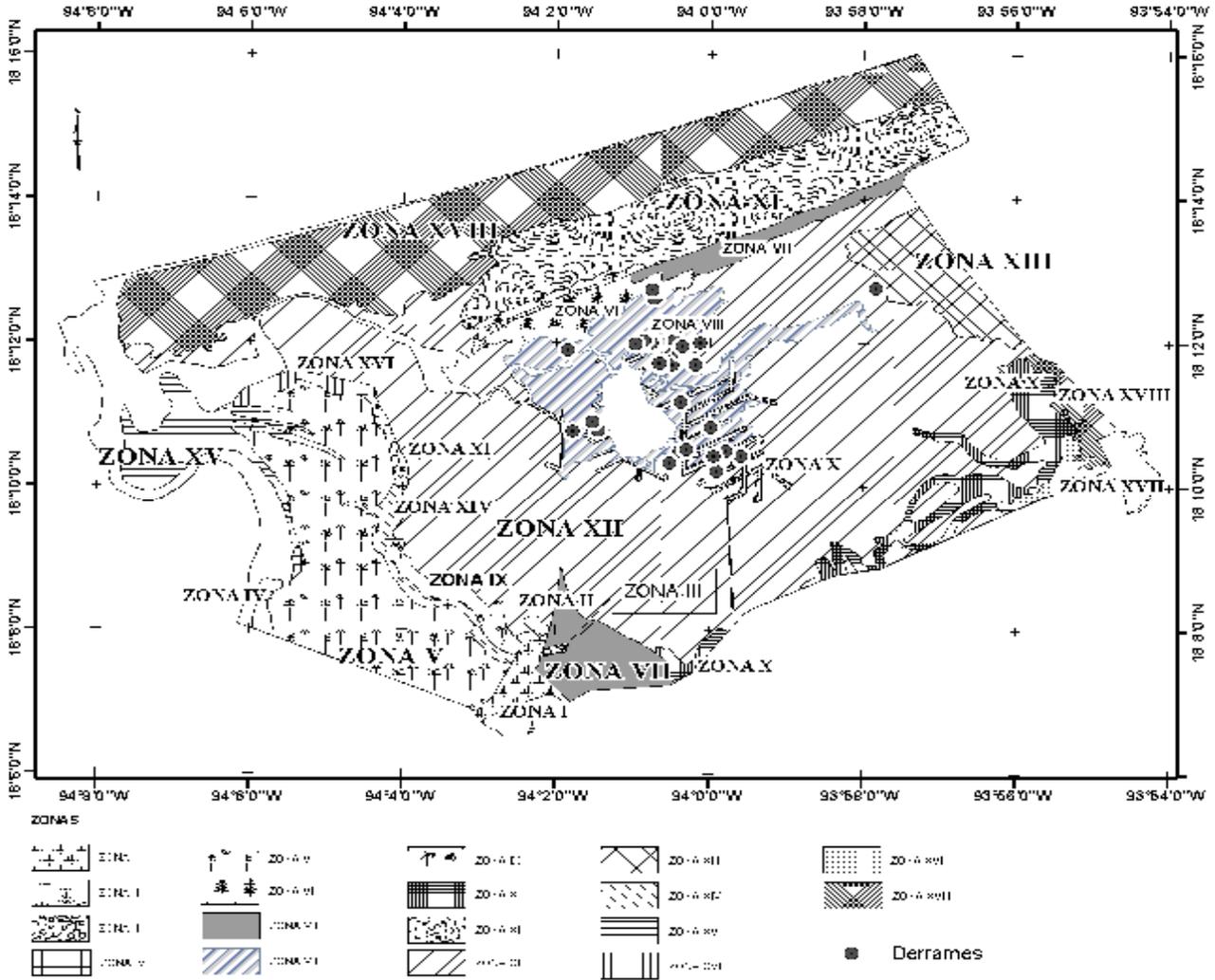


Figura 3. Zonas contaminadas y localización de derrames de petróleo.

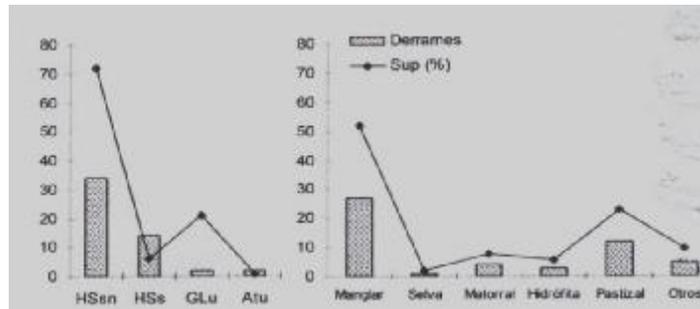


Figura 4. Derrames de petróleo por unidad de suelo (HSsn = Histosol sodi-térrico, HSs = H. térrico, GLu = Gleysol úmbrico y ATu = Antrosol úrbico), tipo de vegetación y superficie ocupada.

pozos petroleros y quemadores de gas. Por campo petrolero, suelo y vegetación, el mayor número de derrames se presentó en Cinco Presidentes (41), Histosol (48) y manglar (27), respectivamente (Figura 4). Solo dos derrames se ubicaron sobre Antrosoles con plantación de coco y 12 en Gleysoles con pastizal.

Con los resultados del análisis de HT, HAL, HAP y metales pesados (Cuadro 1) y el apoyo de la

cartografía de suelos, vegetación e infraestructura petrolera, se dividió al área de estudio en 18 zonas, de más a menos contaminadas que, para su análisis, se reagruparon en unidades homogéneas (o con ligeras variaciones) de suelo, vegetación y contaminación:

ZONAS I-II (Sitios 3-3, 5-2, 5-3, 6-2 y 7-1): registran contaminación moderada a alta de HAP, moderada de HAL, ligera a alta de V, ligera a moderada de Zn y ligera de Ni, además de seis derrames; abarcan

Cuadro 1. Contenido de hidrocarburos (totales, alifáticos y aromáticos) y metales pesados en suelos.

S [†]	C [‡]	Localización	Hidrocarburos			Metales pesados		
			Totales	Alifáticos	Aromáticos	Zn	Ni	V
----- mg kg ⁻¹ -----								
1-1		Ej. Miguel Hidalgo	14.75	1.04	13.71	34	17.6	76
1-2	5P	Ej. El Arrozal	12.04	2.04	10.00	19	30.4	44
1-3 [§]	5P	Canales El Yucateco	769.98	3.91	766.07	48	19.6	110
1-4	5P	Canal Batería 3	512.34	0.80	511.54	20	15.4	56
1-5		1 km E de La Azucena	12.65	0.48	12.17	15	10.8	84
2-1	RO	S del Campo Rodador	23.88	1.59	22.29	8	9.0	46
2-2 [§]	5P	Ej. N. Ley de Reforma Agraria	26.66	3.47	23.19	18	11.2	206
2-3	5P	NO del Pozo 40D	14.28	1.07	13.20	17	18.4	84
2-4	5P	O de la Est. De Compresoras	28.54	2.10	26.44	29	12.2	83
2-5		El Barí, 1ª Sección	7.83	1.02	6.81	75	27.0	234
3-1		Colonia Pailebot	60.39	1.17	59.23	43	20.5	179
3-2	RO	Colonia Pailebot	18.99	3.34	15.65	31	17.5	178
3-3	5P	El Yucateco	261.74	11.96	249.83	59	11.8	418
3-4	5P	Congregación El Yucateco	35.95	1.60	34.36	54	25.7	472
4-1		Colonia Pailebot	12.67	1.11	11.56	36	29.8	245
4-2	RO	Colonia Pailebot	13.39	2.78	10.60	73	22.5	283
4-3	5P	El Yucateco	15.19	1.14	14.05	55	13.0	206
4-4	5P	Congregación El Yucateco	5.60	1.04	4.57	34	19.4	285
5-1		Km 4, La Venta-V.B. Juárez	25.89	2.18	23.71	39	21.2	132
5-2 [§]	LV	S Batería La Venta Norte	48.47	17.18	31.29	430	43.6	362
5-3	LV	Ej. Aquiles Serdán	37.03	1.76	35.27	21	0.4	51
5-4		Ej. Aquiles Serdán	19.87	1.79	18.08	88	10.0	158
6-1		Km 9.5, La Venta-V.B. Juárez	12.84	1.84	11.00	111	91.0	477
6-2 [§]	LV	Pozo 50	44.76	12.67	32.08	75	73.0	385
6-3	LV	150 m E de Aquiles Serdán	8.84	1.39	7.45	96	110.0	453
6-4		2 km NO de Aquiles Serdán	5.54	0.57	4.97	95	141.0	433
6-5		7.5 km NO de Aquiles Serdán	5.91	0.97	4.94	79	71.0	398
7-1	LV	Est. De Compresoras La Venta	1934.38	765.64	1168.75	67	46.0	574
7-2	LV	1 km E de Est. De Compresoras	17.07	13.86	3.21	26	32.6	110
7-3		6 km NO de Aquiles Serdán	70.41	27.71	42.70	70	38.2	114
8-1		La Panga Vieja	46.10	16.35	29.76	37	72.0	355
8-2		300 m O de la Azucena	2.94	0.22	2.72	36	40.0	394
1	5P	Ej. El Arrozal	7.61	2.94	4.67	91	83.0	507
2	5P	Canales El Yucateco	1708.15	1365.52	342.63	101	37.0	474
3	LV	Pozo 302	33.78	33.52	0.26	18	8.4	72
4	LV	Pozo 175	45.92	44.27	1.65	61	64.8	304
5	RO	Al E del Campo Rodador	551.92	544.74	7.18	0	118.0	52
6		2 km O de V. B. Juárez	96.93	95.52	1.41	96	32.0	472
7		2 km NO de V. B. Juárez	0.00	0.00	0.00	19	5.9	118
8		Km 6, V.B. Juárez-Pailebot	49.61	39.18	10.44	28	t	32
9		Colonia El Barí, 2ª Sección	0.00	0.00	0.00	37	15.9	294
10		Colonia El Barí, 2ª Sección	0.00	0.00	0.00	32	24.9	261

[†] S = sitio (transecto-número); [‡] C = campo petrolero (5P = Cinco Presidentes, RO = Rodador, LV = La Venta); [§] Sitio en derrames de petróleo.

149.4 ha (0.7%) sobre Histosol y Gleysol con pastos cultivados para la ganadería. ZONAS III-VIII (Sitios 1-3, 1-4, 1-5, 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 3-1, 3-2, 3-4, 5-1, 7-2, 7-3, 8-1, 3 y 4): registran contaminación ligera a moderada por HAP, ligera a moderada por HAL, ligera a alta por V, ligera de Ni y Zn en sitios aislados y 38 derrames; cubren 4491 ha (20%) sobre Histosol y Solonchak con vegetación de selva, acahual, manglar y pastos; sobre Arenosol háplico con cultivo de coco; sobre Histosol con manglar, hidrófitas y pastizal; y sobre Histosol y Gleysol con acahual y pastos. ZONAS IX-XIII (Sitios 1-1, 1-2, 2-5, 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 5-4, 6-1, 6-3, 1, 2, 5 y 8): registran contaminación ligera a moderada por HAP, ligera por HAL y HAT, ligera a alta por V y ligera por Zn; ocupan 12 345 ha (55%) sobre Gleysol con pastos, hidrófitas, matorral y apompal; sobre Antrosol con pastos y coco; y sobre Histosol con selva, manglar, hidrófita, palmar y pastizal. ZONAS XIV-XVI (Sitios 6-4, 6-5 y 8-2): tienen contaminación ligera a moderada por HAP, ligera a alta por V y ligera por Zn. Cubren 832 ha (3.7%) sobre Gleysol con pasto; sobre Solonchak e Histosol con manglar; y sobre Arenosol con pasto y coco. ZONA XVII (Sitio 6): registra contaminación ligera por HAP, moderada por HAT y alta por V; ocupa 130 ha (0.6%) sobre Gleysol con matorral, hidrófitas, acahual y pequeñas áreas de pastizal. ZONA XVIII (Sitios 7, 9 y 10): sólo registra contaminación moderada por V; cubre 3297 ha (14.7%) en Alisol con cultivo de coco y pasto y sobre Arenosol háplico y gléyico con cultivo de coco y pasto.

Todos los suelos del área presentan algún grado de contaminación debida a la presencia de hidrocarburos o metales pesados; estos resultados concuerdan con los obtenidos por Zavala (2004), quién reportó un contenido de hidrocarburos totales del petróleo entre 102 y 35,108 mg kg⁻¹ para estos suelos. La presencia de N y V se debe a que el petróleo contiene pequeñas cantidades de estos metales (Domínguez *et al.*, 2002), que pueden ser dispersadas por la quema de gases a la atmósfera (Freedman, 1989; Al-Sarawi y Massoud, 1998) o a través de las corrientes de agua contaminadas con la fracción soluble del petróleo.

Plantas que se Desarrollan en Áreas Afectadas por Derrames de Petróleo

En estos ambientes se identificaron 87 especies vegetales, 33 de las cuales se encontraron sobre sitios de derrames de petróleo, el resto en áreas aledañas;

algunas, en su mayoría arbustos y árboles (apompo, mangles rojo y blanco) presentaron daños visibles, como clorosis y necrosis, en zonas de afectación reciente. Las familias mejor representadas en ambas condiciones fueron Poaceae (16 especies), Cyperaceae (15), Fabaceae y Asteraceae (10), aunque dos especies se observaron con mayor frecuencia: el bleo (*Amaranthus hybridus*) y la “yerba aguada” (*Pluchea purpurascens*). Estas plantas son pioneras en suelos contaminados con petróleo crudo y pudieran ayudar en la biorremediación de los mismos, de hecho, algunas se han probado (tular, manglar y leguminosas) (Ederra, 1997). Específicamente, varias especies de gramíneas, plantas que poseen un sistema de raíces fibrosas que provee una gran superficie para los microorganismos de la rizósfera, se han probado para fitorremediar suelos contaminados con petróleo (Hou *et al.*, 1999; Banks *et al.*, 2000), destacan *Sorghum vulgare sudanese*, *Andropogon gerardi*, *Panicum virgatum* (Reilley *et al.*, 1996), *Lolium perenne* (Siciliano y Germida, 1998), *Echinochloa polystachya* (Rivera-Cruz *et al.*, 2002; Zavala, 2004) y *Paspalum fasciculatum* (Rivera-Cruz *et al.*, 2002). Por otra parte Ederra (1997) y Manions *et al.* (2003) han reportado varias especies de hidrófitas que acumulan metales pesados en sus órganos, destacando algunas especies de los géneros *Typha* y *Sagittaria*. Otra planta que debe tenerse en consideración es el escobillo, ya que se encontró formando comunidades casi puras en suelos con derrames de petróleo viejos (> 10 años).

CONCLUSIONES

- Se describieron, en su estructura y composición florística, seis comunidades vegetales ubicadas sobre todo en Histosol y Gleysol. La mayoría de los derrames se localizaron en manglar pero, considerando que 89.1% de la superficie se encuentran en zonas con inundaciones frecuentes, sería factible estudiar la práctica de programas de fitorremediación, ya que se han reportado varias especies de hidrófitas, entre ellas especies de *Typha* y *Sagittaria*, que acumulan metales pesados en sus órganos.
- De las 18 zonas en que se dividió al área de estudio, las más contaminadas fueron la I y la II, debido a que registran valores moderados a altos de hidrocarburos, y ligeros a altos de metales pesados. Las zonas III a VIII presentaron contaminación ligera a media por hidrocarburos y V. Las zonas IX a XVII registran

contaminación ligera a moderada por hidrocarburos y algunos metales pesados. Finalmente, la zona XVIII es la menos contaminada, ya que sólo registra V en concentraciones moderadas.

- Se identificaron 33 especies de herbáceas que se desarrollan como plantas pioneras en sitios con derrames de petróleo, aunque *Amaranthus hybridus* y *Pluchea purpurascens* se observaron con frecuencia, cubriendo casi completamente las áreas con derrames de uno a dos años. Las familias mejor representadas fueron Poaceae, Cyperaceae y Fabaceae; las gramíneas son un grupo de interés en la fitorremediación de suelos contaminados con petróleo, *Echinochloa polystachya* ya se ha probado en suelos del área.

LITERATURA CITADA

- Alloway, B.J. 1990. Heavy metals in soils. John Wiley. New York.
- Al-Sarawi, M. y M.S. Massoud. 1998. Preliminary assessment oil contamination levels in soils contaminated with oil lakes in the greater Burgan oil fields, Kuwait. *Water, Air Soil Pollut.* 106: 493-504.
- Banks, M.K., R.S. Govindaraju, A.P. Schwab y P. Kulakou. 2000. Field demonstration. pp. 1-88. *In: Fiorenza, S., C.L. Oubre y C.H. Ward (eds.). Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soil.* Lewis Publishers. Boca Raton, FL.
- Cuanalo-de la Cerda, H. 1981. Manual de descripción de perfiles de suelo en campo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, estado de México.
- Doelman, P. 1994. European perspectives of field research on bioremediation: special attention to The Netherlands. pp. 307-321. *In: Trans. 25 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo.* Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, estado de México.
- Domínguez, J.M., J. Aboites y T.A. Beltrán. 2002. Refining industry of Mexico: comparative study of R&B activities and the catalysis market needs. *Sci. Tech.* 84: 1-6.
- Ederra I., A. 1997. Botánica ambiental aplicada, las plantas y el equilibrio ecológico de nuestra tierra. Universidad de Navarra. Pamplona, España.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1989. Carta mondiale des sols légende révisée. Rapport sur les ressources en sols du monde 60. Roma, Italia.
- Freedman, B. 1989. Environmental ecology. The impacts of pollution and other stresses on ecosystem structure and function. Academic Press. San Diego, CA.
- Gómez-Pompa, A. 1979-1998. Flora de Veracruz. Fascículos 1-102. Instituto de Ecología-Universidad de California. Xalapa, Veracruz, México.
- Hou, F.S.L., D.W.M. Leung, M.W. Milke y D.J. McPherson. 1999. Improvement in ryegrass seed germination for diesel contaminated soils by peg treatment technology. *Environ. Tech.* 20: 413-418.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 1989. Manual de clasificación cartográfica e interpretación de suelos con base en el sistema de taxonomía de suelos. Cuernavaca, Morelos, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984a. Fotomapas, escala 1:20 000 E15A77D, E15A87A, E15A86B, E15A86C y E15A86F. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984b. Fotografías aéreas blanco y negro, escala 1:75 000. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1995. Fotografías aéreas blanco y negro, escala 1:75 000. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Kabata-Pendias, A. y H. Pendias. 1984. Soil and soil processes. Chapter 3. pp. 15-135. *In: Trace elements in soils and plants.* CRC Press. Boca Raton, FL.
- López-Hernández, R. 1980. Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas. Serie Cuadernos de Agricultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Lot, A. y F. Chiang. 1986. Manual de herbario. Consejo Nacional Flora de México. México, D.F.
- Lot-Helguera, A. 1991. Vegetación y flora vascular acuática del estado de Veracruz. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Magaña-Alejandro, M.A. 1992. Helechos de Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco.
- Manios, T., E.I. Stentiford y P. Millner. 2003. Removal of heavy metals from a metaliferous water solution by *Typha latifolia* plants and sewage sludge compost. *Chemosphere* 53: 487-494.
- McBride, M.B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? *J. Environ. Qual.* 24: 5-18.
- MENVIQ (Ministère de l'Environnement du Québec). 1993. Problématique des sols et des eaux souterraines contaminées pour des produits pétroliers. Québec, Canada.
- Mills, M.A., J.S. Bonner, J.M. McDonald, Ch.A. Page y L. Autenrieth. 2003. Intrinsic bioremediation of a petroleum impacted wetland. *Marine Pollut. Bull.* 46: 887-899.
- Palma-López, D., J. Obrador, J. Zavala, E. García, C. Ortiz, W. Camacho, R. Meseguer, A. Sol, J. Juárez, J. Jasso, A. Guerrero, R. Ramos y A. Triano. 1999. Diagnóstico de los recursos naturales, niveles de contaminación y alternativas para el desarrollo del área de influencia de los campos petroleros Cinco Presidentes y la Venta Norte. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, Tabasco, México.
- Pennington, T.D., D. y J. Sarukhan. 1968. Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F.
- Reilley, K.A., M.K. Banks y A.P. Schwab. 1996. Organic chemicals in the environment. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere. *J. Environ. Qual.* 25: 212-219.
- Rivera-Cruz, M.C., R. Ferrera-Cerrato, V. Volke-Haller, R. Rodríguez-Vázquez y L. Fernández-Linares. 2002. Adaptación y selección de microorganismos autóctonos en medios de cultivo enriquecidos con petróleo crudo. *Terra* 20: 423-434.

- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. LIMUSA. México, D.F.
- Rzedowski, J. y G.C. Rzedowski. 1979. Flora fanerogámica del Valle de México Volumen I: Generalidades, Gymnospermae, Dicotyledoneae (Saururaceae – Polygalaceae). Editorial Continental. México, D.F.
- Rzedowski, J. y G.C. Rzedowski. 1985. Flora fanerogámica del Valle de México Volumen II: Dicotyledoneae (Euphorbiaceae – Compositae). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-Instituto de Ecología. México, D.F.
- Rzedowski, J. y G.C. Rzedowski. 1990. Flora fanerogámica del Valle de México Volumen III: Monocotyledoneae. Instituto de Ecología. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Rzedowski, J. y G.C. Rzedowski. 1991-1999. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículos 1 a 78. Instituto de Ecología-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Siciliano, S.D. y J.J. Germida. 1998. Mechanisms of phytoremediation: biochemical and ecological interactions between plants and bacteria. *Environ. Rev.* 6: 65-79.
- Standley, P.C., J. Steyermark y L.O. Williams. 1947. Flora de Guatemala. *Fieldiana Botany* 24, parts I-IX. Chicago National History Museum. Chicago, IL.
- Toledo, A. 1988. Energía, ambiente y desarrollo. Centro de Ecodesarrollo. México, D.F.
- Vázquez-Botello, A. 1996. Niveles de concentración de hidrocarburos en el Golfo de México. pp. 225-253. *In: Vázquez-Botello, A., J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez y D. Zárate-Lomelí (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias.* EPOMEX Serie Científica 5. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México.
- Zavala-Cruz, J. 1996. Impacto de las actividades petroleras sobre la hidrología superficial del distrito Agua Dulce, Tabasco, México. pp. 505-520. *In: Vázquez-Botello, A., J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez y D. Zárate-Lomelí (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias.* EPOMEX Serie Científica 5. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México.
- Zavala-Cruz, J. 2004. Índices de contaminación por petróleo y prácticas de recuperación de suelos con pastizal en el Activo Cinco Presidentes, Tabasco. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Zavala-Cruz, J., C. Gutiérrez-Castorena y D.J. Palma-López. 2003. Impacto ambiental en las tierras del Campo Petrolero Samaria, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco-CCYTET-CONACYT. Villahermosa, Tabasco, México.

REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO DE BROMURO CON LA TÉCNICA DE VISUALIZACIÓN VOLUMÉTRICA

Representation of Bromide Movement by the Volume Visualization Technique

F.G. Echavarría-Cháirez^{1‡}, C.A. Shapiro², G.W. Hergert² y W. Kranz²

RESUMEN

La técnica de visualización volumétrica permite representar cualquier fenómeno en una figura geométrica que pueda ser reconstruida como un sólido con características de continuidad, distribución y estructura en capas o niveles. El bromuro de potasio (KBr) se usó como trazador en un estudio en el cual se comparó irrigación por surcos alternados con irrigación completa. El anión bromuro (Br^-), al disociarse, se usa como simulador del movimiento de nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$). El KBr se aplicó a 60 sitios de 0.3 x 1.2 m distribuidos a lo largo del surco de manera equidistante (cinco sitios) y en 12 surcos de acuerdo con un diseño experimental en 6.5 ha. Se realizaron tres muestreos en cuatro profundidades secuenciadas, después del primer y tercer riego y después de cosecha del cultivo de maíz; los sitios de muestreo se georeferenciaron. Se usó geoestadística para interpolar los valores de Br^- por medio de la técnica de Kriging. Al ordenar verticalmente los contornos o las capas de valores de concentración de Br^- , el programa IDL (Interactive data language) creó una imagen cúbica, la cual reconstruyó el movimiento del Br^- en el suelo. Las imágenes reconstruidas se compararon con gráficas convencionales. Además, las imágenes sirvieron para identificar los sitios con flujo preferencial, donde el Br^- se movió a mayor profundidad. Con irrigación de surco continuo, el Br^- se movió 1.52 m y con riego alternado 0.72 m. Al simular el movimiento de $\text{NO}_3\text{-N}$ con Br^- desde la superficie del suelo y su posterior lixiviación debajo de la zona radicular, permitió conocer la estructura de la distribución horizontal y vertical,

así como la reducción de la percolación de $\text{NO}_3\text{-N}$ con el tratamiento de irrigación y fertilización alternada.

Palabras clave: imágenes reconstruidas, Kriging, bromuro de potasio, IDL.

SUMMARY

The volume visualization technique allows representing any phenomenon in a solid geometric shape, with characteristics of continuity, distribution and structure in layers or levels. Potassium bromide (KBr) was used as a tracer in a study where alternated row irrigation was compared against complete irrigation. The anion bromide (Br^-), when it dissociates from KBr, may be used as simulator of the nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$) movement. The KBr was applied at 60 sites of 0.3 x 1.2 m distributed along the length of the furrow (five sites) keeping the same distance between each and using 12 furrows according to an experimental design. Three samplings in four sequenced depth levels were taken after the first and third irrigation and after harvesting corn. Geostatistics was used to interpolate the Br^- values by means of Kriging. Georeferenced sample points were distributed in a 6.5 ha field. By stacking a series of 3-D Br^- surfaces, the IDL (Interactive data language) program created a cubic image that reconstructed the Br^- movement in soil. Reconstructed images were compared against conventional graphics; also, preferential flow was identified where Br^- moved deeper. Under continuous row irrigation, Br^- moved 1.52 m and under alternated row irrigation, Br^- moved only 0.72 m. When simulating the $\text{NO}_3\text{-N}$ movement with Br^- from the soil surface beyond the radical zone, this permitted determination of the structure of horizontal and vertical distribution, as well as the $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching under the alternated irrigation and fertilization.

Index words: image rendering, Kriging, potassium bromide, IDL.

¹ Campo Experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. km 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo, 98500 Calera, Zacatecas, México.

[‡] Autor responsable (echavarria.francisco@inifap.gob.mx)

² Departamento de Agronomía, Universidad de Nebraska. Lincoln, NE.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$), debida a aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, es un problema grave en regiones de acuíferos someros, como el Estado de Nebraska, EEUU. Se ha monitoreado que cada año se incrementa 1 mg L^{-1} de $\text{NO}_3\text{-N}$ al acuífero (Engberg y Spalding, 1978), cuando la norma indica que el valor máximo de $\text{NO}_3\text{-N}$ permitido en agua potable es 10 mg L^{-1} (Stevenson, 1986). Para reducir la incorporación de $\text{NO}_3\text{-N}$ al acuífero, se han diseñado estrategias como la combinación de riego y fertilización alternada, lo que significa colocar el fertilizante nitrogenado en el surco seco, con el objeto de reducir la mineralización y movilidad del $\text{NO}_3\text{-N}$. Sin embargo, debido a que es difícil monitorear $\text{NO}_3\text{-N}$ en el suelo, ya que existe una mineralización continua a partir de la materia orgánica, el movimiento de $\text{NO}_3\text{-N}$ es simulado por Br^- , el cual es un anión que presenta características de movilidad semejantes a $\text{NO}_3\text{-N}$, pero es fácil de identificar y no es común hallar altas concentraciones de él en suelo.

Con la disponibilidad de mayor capacidad en los equipos de cómputo, en los últimos años se ha explorado el uso de imágenes reconstruidas como un medio para visualizar diversos fenómenos, como es la porosidad del suelo (Perret *et al.*, 1999), la visualización de patrones de flujo en suelos repelentes (Ritsema *et al.*, 1997), la identificación de escapes o fugas de sólidos en una planta desalinizadora (Helly y Herbinson, 1994) o las dimensiones de nubes en estudios atmosféricos (Research Systems, 1997).

Con el objetivo de representar el movimiento de Br^- , el cual simula el movimiento de $\text{NO}_3\text{-N}$, se midieron los cambios de concentración de este anión a través del perfil del suelo con dos tratamientos de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de estudio se ubicó en el Centro de Investigación y Extensión del Centro – Oeste, que pertenece a la Universidad de Nebraska y se localiza en la ciudad de North Platte, Nebraska, EEUU, localizado a $41^\circ 05' \text{ N}$ y $100^\circ 46' \text{ O}$, a una altitud de 862 m. La superficie del sitio de estudio fue de 6.5 ha. El suelo se clasifica como un Mollisol (fine silty, mixed, mesic, Tepic haplustolls), de acuerdo con la clasificación del USDA (1978). El presente trabajo es un estudio complementario a un experimento de

evaluación del uso de irrigación y fertilización alternada en el cultivo de maíz. Los tratamientos de irrigación fueron dos: irrigación a surco continuo e irrigación por surco alternado. Lo importante en este estudio fue contar con la disponibilidad de surcos sin irrigación y con irrigación a lo largo del ciclo para evaluar el movimiento del Br^- , como simulador del $\text{NO}_3\text{-N}$, con riego alternado y riego continuo, considerando exclusivamente el efecto de irrigación, pero distribuyendo los sitios de medición de acuerdo con el diseño experimental. Se utilizó un diseño factorial con arreglo en parcelas divididas, siendo la parcela grande, el tratamiento de irrigación y, la parcela chica la aplicación del fertilizante. Se aplicaron 11 g de KBr en 60 pequeñas parcelas de $0.3 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$, lo cual representa una dosis de 200 kg ha^{-1} . Esta dosis representa el valor que más se usa en estudios de evaluación con Br^- (Onken *et al.*, 1977; Rice *et al.*, 1986, 1991; Kung, 1990; Agus y Cassel, 1992; Irigavarapu *et al.*, 1998). El KBr se aplicó dos días antes de la primera irrigación en ambos tratamientos. Las dimensiones de las parcelas se redujeron para evitar la contaminación con Br^- de toda el área de estudio. Las parcelas se ubicaron por tratamiento. Treinta parcelas se instalaron en el surco seco del tratamiento de riego alternado y otras treinta en un surco humedecido por riego continuo. Las parcelas se distribuyeron a lo largo del surco (cinco) y entre surcos (12). Todas las parcelas se georeferenciaron. Dada la naturaleza continua del movimiento del Br^- en el suelo, lo que implica la necesidad de muestrear el suelo continuamente y a diferentes profundidades, para con ello tratar de localizar la concentración pico y el avance de la lixiviación del Br^- , se procedió a evaluarlo de manera discreta, con lo que se logró reducir el número de muestreos y costos. Esto determinó la necesidad de establecer *a priori* las profundidades de exploración de manera diferenciada para cada tratamiento y para cada muestreo que se realizó a lo largo del ciclo de cultivo del maíz, considerando que, en el tratamiento de irrigación alternada, el KBr se aplicaría en el surco seco, donde habría menor movilidad, y que, en el surco humedecido por el tratamiento de riego continuo, la lixiviación sería mayor. El primer muestreo se realizó después del primer riego, el segundo después del tercer riego y el tercer muestreo después de la cosecha del cultivo de maíz (145 días después de la aplicación del Br^-). La profundidad máxima explorada después del primer riego fue de 0.91 m, de 1.52 m después del tercer riego y de

1.83 m para el muestreo realizado después de la cosecha en el tratamiento de riego continuo. Con riego alternado, las profundidades máximas fueron de 0.91, 1.21 y 1.51 m del primer al tercer muestreo, respectivamente. Las profundidades intermedias fueron cuatro en cada muestreo y sus niveles variaron de acuerdo con la profundidad máxima. La irrigación consistió en una lámina de 5 cm, utilizando un sistema controlado por una válvula surge LVC-5 (Waterman Inc, Exeter, CA). La concentración de Br^- se determinó por cromatografía.

Los resultados se analizaron por medio de dos tipos de gráficas: el análisis del cambio de concentraciones en términos relativos y la reconstrucción del movimiento de Br^- . Cada gráfica e imagen representan las concentraciones de Br^- de 30 sitios. Las gráficas de movimiento relativo fueron una relación del cambio de concentración por profundidad en las que se relacionaron los tres muestreos en cada gráfica y, con ellas, se localizó la posición de la concentración pico de Br^- . La fórmula usada fue (Van de Pol *et al.*, 1977):

$$C_R = \frac{C - C_i}{C_0 - C_i}$$

donde: C_R = concentración relativa (intervalo de 0 a 1); C = concentración a la profundidad de muestreo; C_i = concentración inicial; C_0 = concentración máxima a la profundidad de muestreo.

Para generar las visualizaciones volumétricas, se realizaron interpolaciones de los valores de concentración de Br^- . Se ajustó un modelo espacial para cada profundidad estudiada. El modelo se usó para interpolar los datos por Kriging (Isaaks y Srivastava, 1989). Kriging es un método para interpolar datos no muestreados y se basa en un semivariograma. El semivariograma es una medida estadística estándar de variación espacial como una función de las distancias entre observaciones (Isaaks y Srivastava, 1989). Se calculó para cada tratamiento y para cada profundidad un semivariograma. con el paquete GS^+ (Robertson, 1998). Con el semivariograma se estimaron los valores no muestreados y con ellos fue posible simular un solo tratamiento de irrigación para cada muestreo.

Para realizar la reconstrucción, se ordenaron los valores interpolados de Br^- en forma vertical. Este orden se realizó de acuerdo con la profundidad a

la que se colectó cada muestra y a los niveles en que se subdividió cada una, que fueron cuatro capas o niveles, para cada uno de los tres muestreos. Para la reconstrucción vertical se utilizó el programa IDL (Research Systems, 1997). La reconstrucción se basa en un algoritmo que considera la creación de una lista de vértices y polígonos que describen la superficie (contorno). Después se genera una serie de valores de tonos o sombras, ordenadas de acuerdo con la magnitud de los valores presentes en cada contorno. Las sombras se generan a partir de un rayo de luz, cuya fuente de luz es estimada de acuerdo con el algoritmo desarrollado por Foley y Van Dam (1982), el cual es:

$$L = L_a + dL_p(L \cdot N)$$

donde: L = fuente de luz; L_a = término debido a la luz ambiente; d = término debido a la profundidad de campo y brillantez. La profundidad normalizada es $d = (z+2)/3$, en un intervalo de 0 a 1; $L_p(L \cdot N)$ = término debido a reflexión difusa. La luz reflejada es proporcional al coseno del ángulo de la superficie del vector normal (N) y el vector que apunta desde la fuente de luz, (L), L_p es aproximadamente 0.9.

El siguiente paso es calcular el valor de la sombra que se presenta en cada vértice de polígono. Después, las sombras se interpolan a lo largo de los bordes de cada polígono, para producir una interpolación vertical de sombras entre contornos que reconstruyeron el movimiento del Br^- muestreado a diferentes profundidades. El volumen reconstruido de esta forma permite la visualización y ubicación de la concentración pico, así como su estructura. En cada imagen se logra un mayor realismo con una cierta densidad de datos máxima, la cual representa el rango de valores que predominan en la imagen. Los volúmenes reconstruidos se relacionaron con otra información, como textura y clase de suelo para explicar el movimiento del Br^- y validar el realismo de la imagen en un área de 6.5 ha.

Para verificar el realismo de la imagen reconstruida, se relacionó una cierta área del sitio de estudio en el cual se detectó un estrato arenoso, donde el Br^- se movió de manera preferencial (Yoder y Duke, 1990). Para esto, se usó como referencia el movimiento del Br^- comparado con la infiltración máxima del agua con el supuesto del modelo del pistón (Addiscott *et al.*, 1991), el cual establece el movimiento máximo del agua, de acuerdo con:

$$Z_p = \frac{Q}{q}$$

donde: Z_p = la profundidad a la que el frente de desplazamiento de la solución penetra; Q = cantidad de agua o solución que está haciendo el desplazamiento; θ = contenido de humedad en volumen.

Otros estudios demostraron que los trazadores conservativos -su movilidad no es afectada significativamente por reacciones químicas con arcillas- se mueven de manera cercana a como el modelo del pistón lo establece (Silvertooth *et al.*, 1992).

Los valores calculados con el uso del modelo del pistón se compararon con los valores estimados con ayuda del modelo reconstruido. Los valores de humedad en volumen se obtuvieron del monitoreo de humedad realizado a lo largo del ciclo de cultivo por medio de un dispersor de neutrones. Para conocer la lámina de agua infiltrada en una posición determinada a lo largo del surco, se utilizó el modelo algebraico desarrollado por Fekersillassie y Eisenhauer (2000), el cual es un modelo que permite estimar la lámina infiltrada a lo largo del surco cuando se usa el método de riego controlado por una válvula alternante (válvula surge). El modelo usa variables como el gasto por surco, el tiempo de avance, el tiempo total de riego, el tiempo de riego post avance, la tasa de infiltración básica, la relación de flujo, el cual es el gasto por surco hasta alcanzar la velocidad de infiltración básica multiplicada por la longitud del surco, además de otras características de suelo, como: pendiente, ancho y largo del surco, forma del surco y coeficiente de rugosidad de Manning (Chow, 1986). Los valores relativos al riego y a las características físicas del terreno se midieron para alimentar el algoritmo.

Una segunda forma de verificar si las imágenes reconstruidas corresponden a la realidad fue mediante el uso de valores reales de $\text{NO}_3\text{-N}$, los cuales se determinaron un mes antes del establecimiento del experimento, con fines distintos a este estudio. Los datos se obtuvieron de una cuadrícula de 480 puntos distribuidos en las 6.5 ha y se colectaron a una profundidad de 0 a 20 cm y de 20 a 80 cm. Los valores de $\text{NO}_3\text{-N}$ se reconstruyeron también y representan el nitrógeno (N) presente en el suelo antes de la siembra, con una distribución espacial que es la típica en el terreno de estudio cuando se aplica el riego de surco continuo. Si la imagen reconstruida de

Br^- muestra una estructura y una distribución semejante a la que se visualiza del contenido total de $\text{NO}_3\text{-N}$ antes de la siembra, entonces la imagen del trazador representará aproximadamente el comportamiento del $\text{NO}_3\text{-N}$ en su movimiento hacia la zona radical y más allá al presentar una estructura y distribución espacial semejante, en especial, en condiciones de flujo preferencial localizadas en el extremo del terreno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La profundidad a la que se movió el Br^- , determinado éste por la ubicación de la concentración pico de Br^- , con riego de surco alternado se localizó a 7 cm después de siete días de la aplicación de KBr y un primer riego (Figura 1). Al mismo tiempo, con riego continuo, la concentración pico de Br^- se localizó a 15 cm (Figura 2). Después de 40 días de la aplicación de KBr y tres riegos, la concentración pico de Br^- se encontró a 15 cm con riego por surco alternado y a 61 cm con riego de surco continuo (Figuras 3 y 4).

Después de 145 días de la aplicación de KBr^- y cuatro riegos y lluvias postcosecha, la concentración pico Br^- se encontró a 61 cm para riego alternado y a 122 cm para riego por surco continuo.

Por otro lado, la Figura 3 presenta la variación del movimiento de Br^- a lo largo del surco (293 m), después de 40 días de la aplicación de Br^- y tres riegos de auxilio de 5 cm de lámina. La concentración

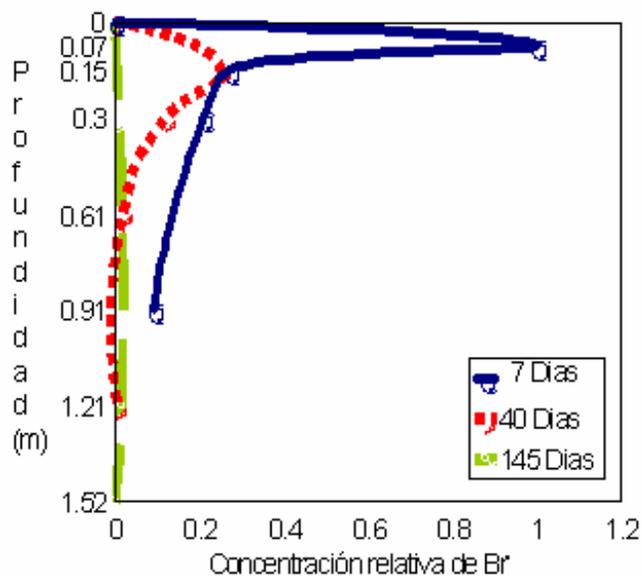


Figura 1. Concentración relativa promedio de Br^- con riego por surco alternado.

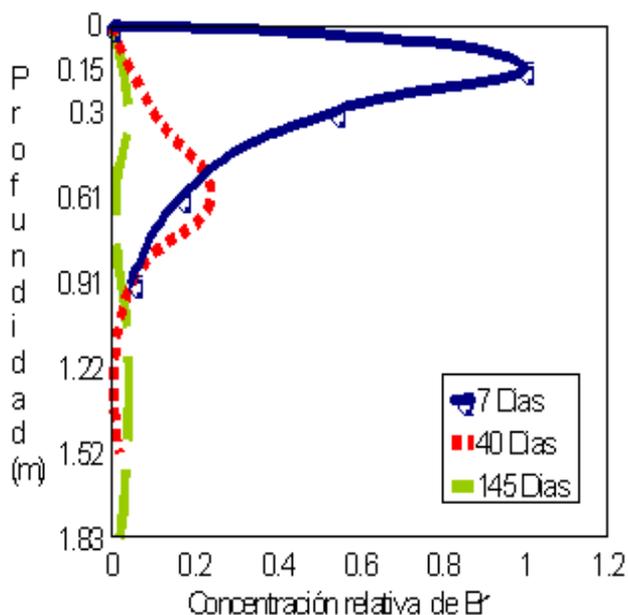


Figura 2. Concentración relativa promedio de Br^- con riego por surco continuo.

pico de Br^- se localizó a 15 cm con riego alternado, tanto al inicio, como al final del surco. En cambio, con riego de surco continuo, al inicio del surco se localizó la concentración pico a 30 cm de profundidad y al final del surco a 15 cm (Figura 4). En la información que proporcionan las Figuras 1 a 4 es evidente que el contenido representa un promedio de valores, los cuales corresponden a sitios distribuidos en un plano, y que, sin embargo, dichas gráficas

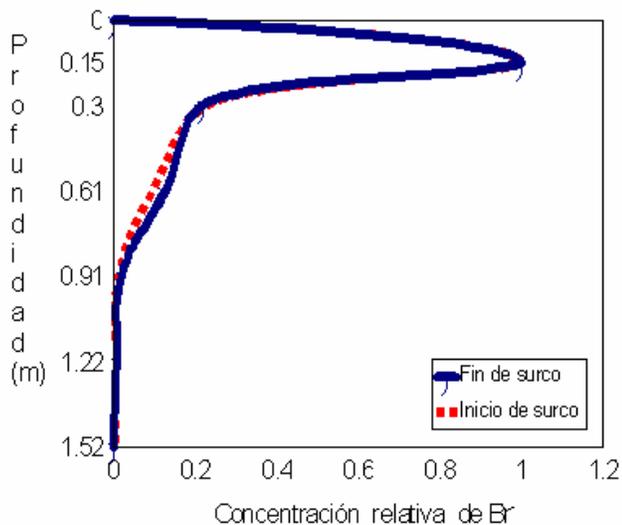


Figura 3. Concentración relativa promedio de Br^- en sitios de muestreo localizados al inicio y fin del surco con riego por surco alternado, después de 145 días de la aplicación de Br^- .

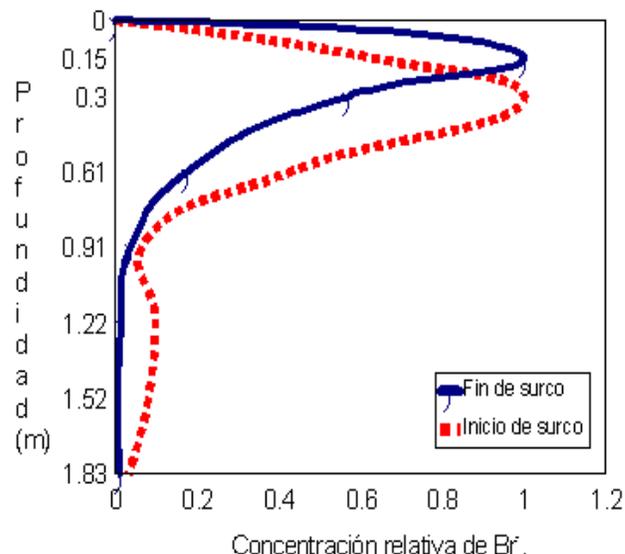


Figura 4. Concentración relativa promedio de Br^- en sitios de muestreo localizados al inicio y fin del surco con riego por surco continuo, después de 145 días de la aplicación de Br^- .

resultan inapropiadas, dada su naturaleza bidimensional para mostrar la variación espacial, tanto horizontal, como vertical. De igual manera, la generación de gráficas por sitio impide apreciar la continuidad del indicador estudiado y, aunque fuera posible llevar a cabo lo anterior, tendría una magnitud que impediría el manejo de las mismas.

Las Figuras 5 y 6 corresponden a dos imágenes reconstruidas de los 30 sitios estudiados para el tratamiento de riego por surco alternado. La Figura 5 representa la distribución del Br^- en la capa superior del suelo (7 cm), después del primer riego, y la Figura 6 es la imagen de la distribución espacial del Br^- a una profundidad de 15 cm, después de la aplicación del tercer riego.

Un detalle importante de la Figura 5 es la presencia de una serie de ocho valores de Br^- de alta concentración, ubicados a profundidades de hasta 90 cm y alineados en la parte Oeste del terreno, en el tratamiento de riego alternado. Dado que en el riego alternado, el muestreo se realizó en el surco seco, donde no se aplicó agua que pudiera trasladar el Br^- hasta dicha profundidad, tales valores altos se asociaron con un error de muestreo realizado en esta parte del terreno, al inicio del primer muestreo. El error consistió en que, en el momento de muestreo, se utilizó una barrena defectuosa, la cual no retenía la muestra de suelo y logró contaminar con Br^- proveniente de las capas superiores, las muestras de los estratos subsecuentes. El problema se detectó en

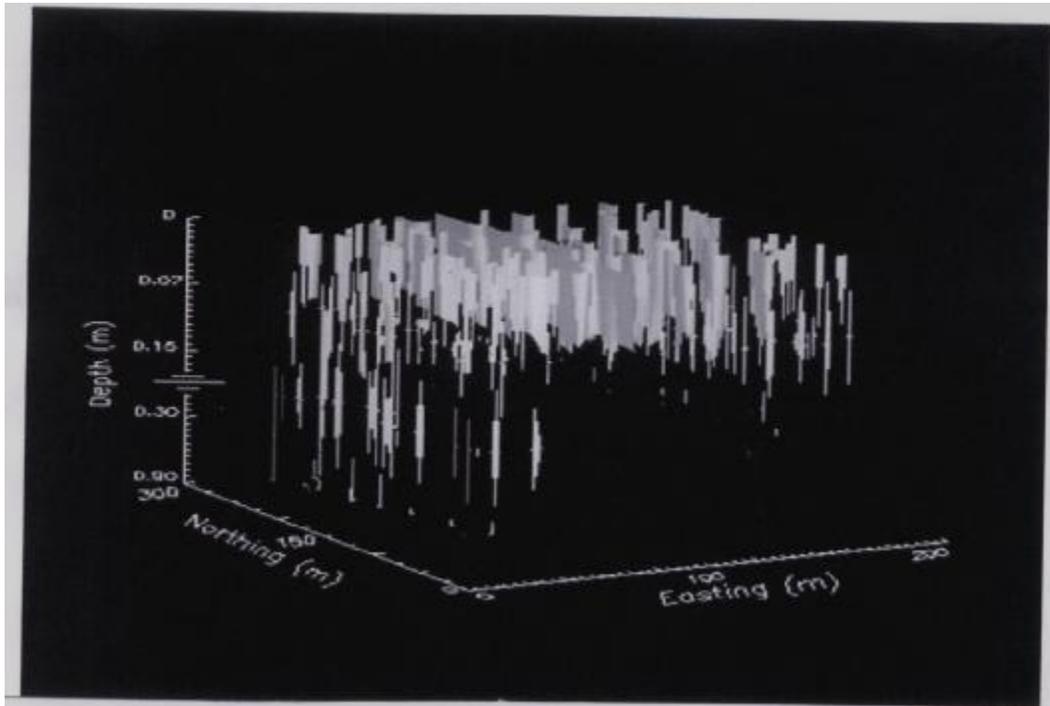


Figura 5. Imagen reconstruida del movimiento de Br^- con riego por surco alternado, siete días después de la aplicación. La concentración pico de Br^- se localizó a 7 cm de profundidad.

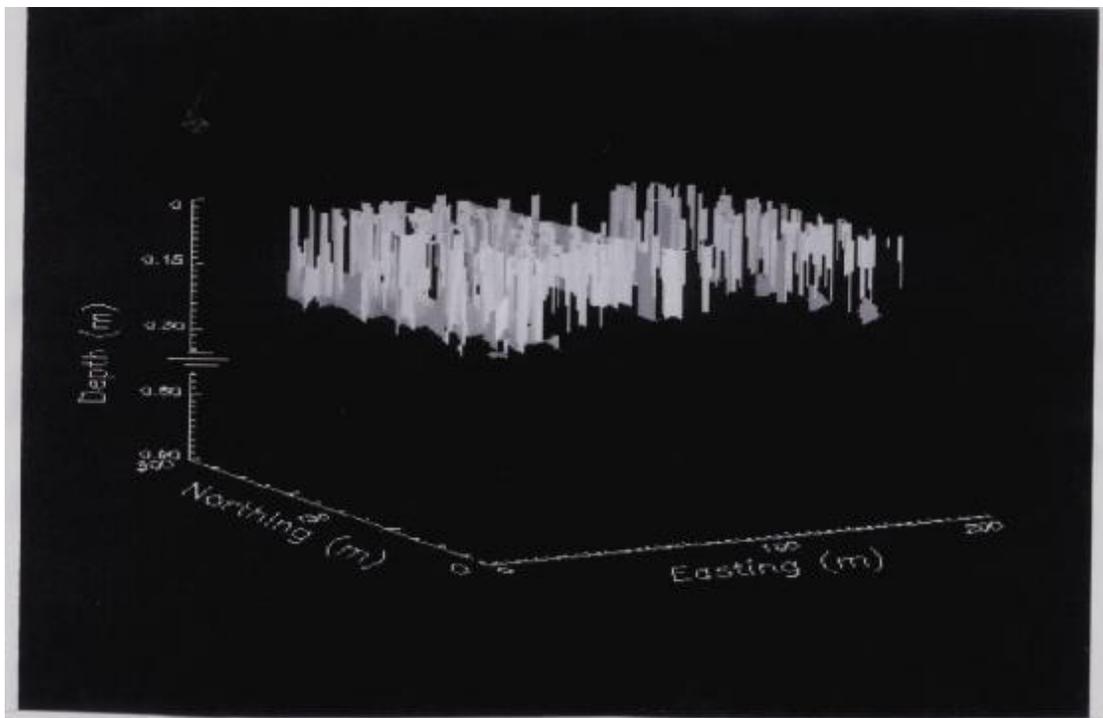


Figura 6. Imagen reconstruida del movimiento de Br^- con riego por surco alternado 40 días después de la aplicación. La concentración pico de Br^- se localizó a 15 cm de profundidad.

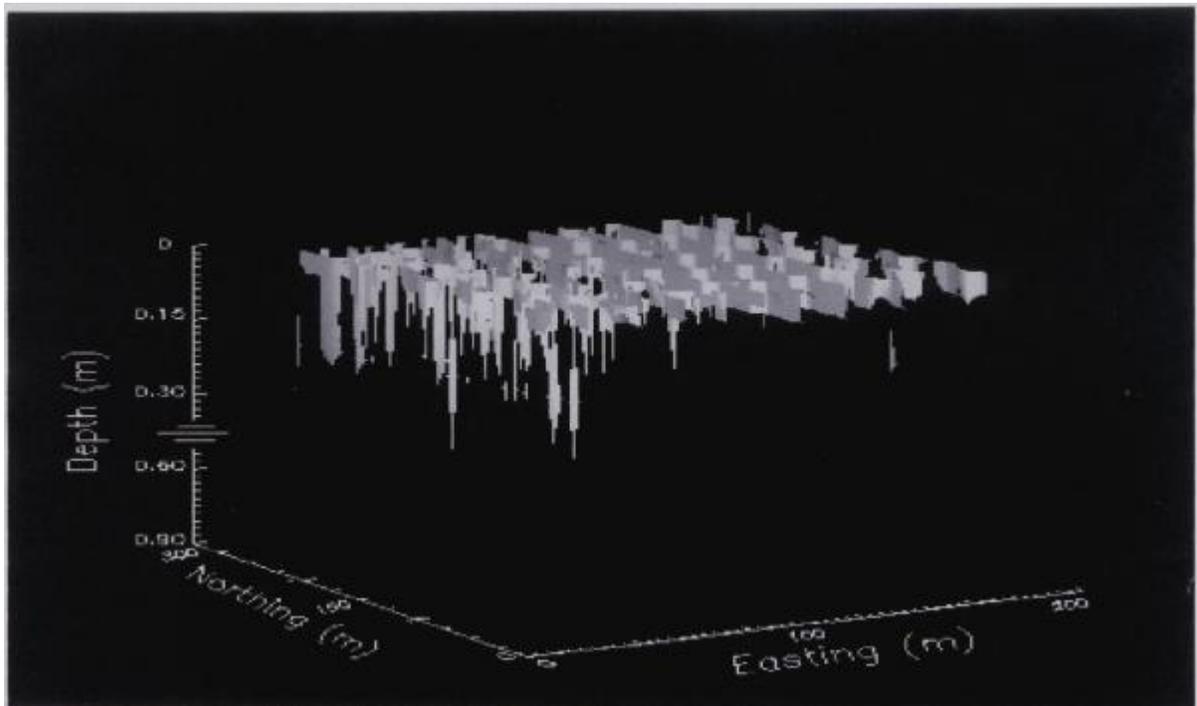


Figura 7. Imagen reconstruida del movimiento de Br^- con riego por surco continuo siete días después de la aplicación. La concentración pico de Br^- se localizó a 15 cm de profundidad.

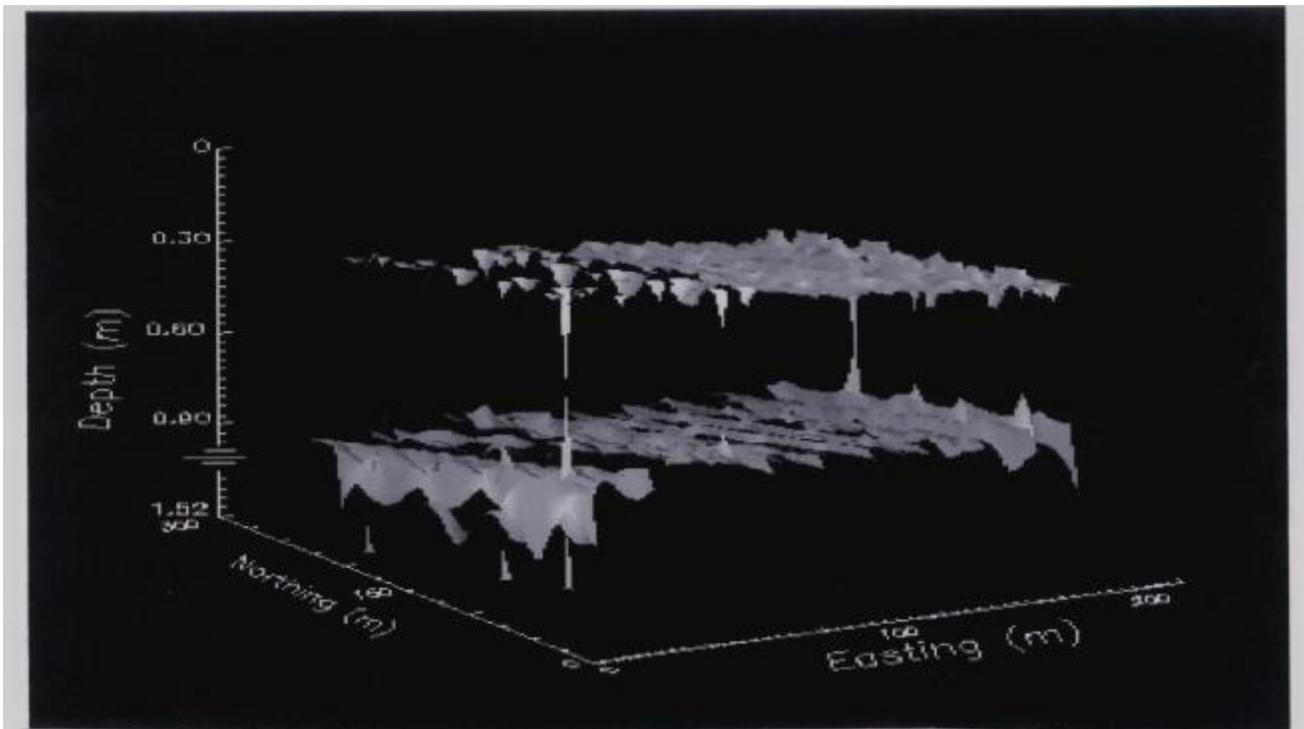


Figura 8. Imagen reconstruida del movimiento de Br^- con riego por surco continuo 40 días después de la aplicación. La concentración pico de Br^- se localizó a 61 cm de profundidad.

el octavo sitio de muestreo y éste se corrigió al cambiar de barrena. Sin embargo, este error sirve para apreciar la ventaja de las imágenes reconstruidas. En las graficas convencionales, al promediar estos valores, es imposible detectar un error de esta índole.

Las Figuras 7 y 8 son las imágenes correspondientes al tratamiento de riego por surco continuo. La Figura 7 refleja un movimiento del pico de concentración de 15 cm y la segunda imagen (Figura 8) representa el movimiento de Br^- después de tres riegos, donde el pico de la concentración de Br^- se localiza a 61 cm.

Además de permitir reconocer la distribución espacial, es posible identificar otras características del movimiento del Br^- que, de otra manera, no hubieran sido evidentes. En la Figura 8, se observa un movimiento más profundo del Br^- en el extremo Oeste del terreno. Allí existe un suelo más arenoso (estrato de arena fina entre 0.38 a 1.54 m de profundidad) que permitió el movimiento de Br^- a mayor profundidad. En el Cuadro 1, se presenta la comparación de los valores observados con los esperados cuando el modelo del pistón es aplicado.

Cuadro 1. Lámina de agua infiltrada, profundidad de desplazamiento con el modelo del pistón y profundidad de la concentración pico del Br^- después del primer riego en sitios cercanos a la entrada y salida del surco con dos tratamientos de irrigación.

Rep.	Infiltración		Modelo pistón (Z_p)		Concentración pico de Br^-			
	Inicio	Salida	Inicio	Salida	Riego continuo		Riego alternado	
					Inicio	Salida	Inicio	Salida
	----- mm -----							
1	79	66	239	200	152	152	76	76
2	82	69	248	209	304	304	76	76
3	73	61	221	184				
4	86	72	260	218	304	152	76	76

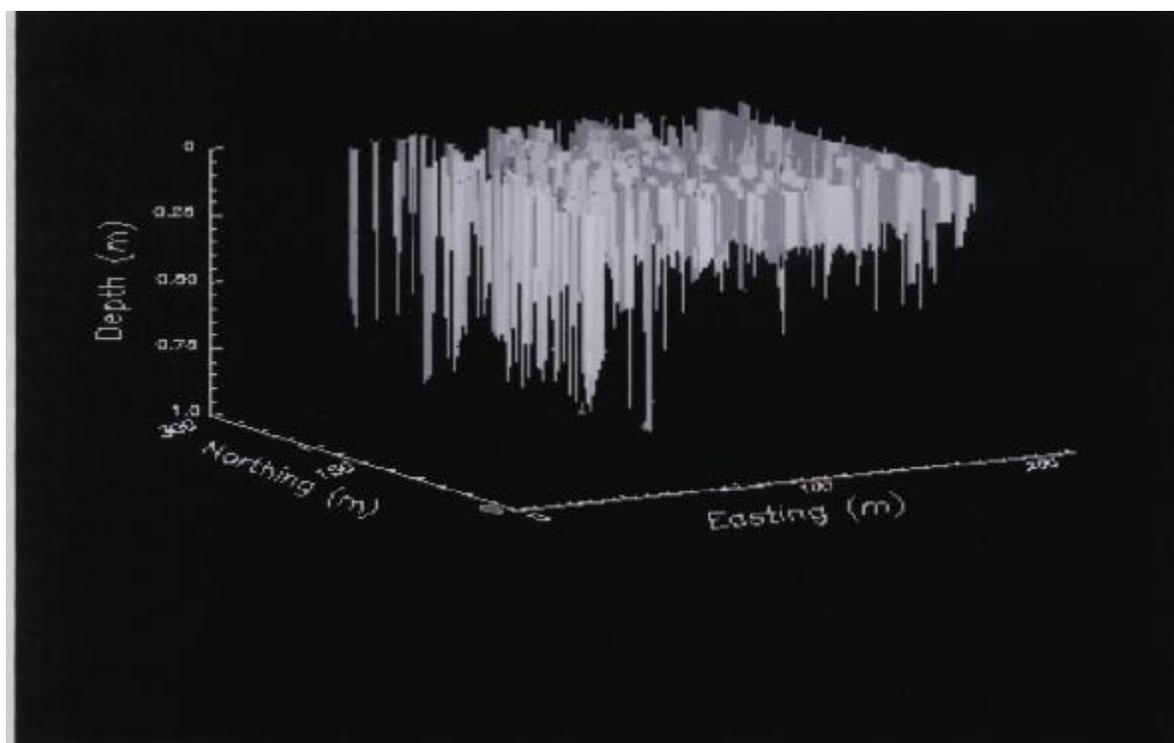


Figura 9. Imagen reconstruida de la concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ previa a la fertilización.

Existe evidencia (Silvertooth *et al.*, 1992) que un trazador de tipo conservativo como el Br⁻ se comporta como lo representa el modelo del pistón. El Cuadro 1 presenta los valores de Br⁻ ubicados en la segunda repetición del experimento (extremo Oeste), coincidiendo con lo que se presenta en las imágenes.

En la parte Este del terreno (Figura 8), se observa una capa de Br⁻ que aún se localiza dentro del área radicular. Esto sucede sólo para una porción del terreno, lo cual es difícil de percibir en gráficas simples.

Una forma adicional de verificar el comportamiento del movimiento de Br⁻ fue la comparación con el movimiento de NO₃-N, de los cuales el Br⁻ es el trazador. Con datos del contenido total de NO₃-N que provinieron de una cuadrícula de 480 sitios y dos profundidades obtenidos en el mismo sitio de estudio, se reconstruyó la Figura 9. El movimiento presentado por NO₃-N es independiente del mostrado por Br⁻, ya que corresponde al NO₃-N residual y recientemente mineralizado, previo a la siembra. Sin embargo, en la Figura 9, se observa un movimiento de NO₃-N más profundo en la parte Oeste del terreno, donde previamente se detectó el movimiento más profundo de Br⁻. Éste se localiza en la misma posición del terreno arenoso, el cual se detectó en las imágenes reconstruidas para Br⁻, con lo que se verifica el apego a la realidad de las imágenes, tanto al simular el movimiento de NO₃-N, como la información detallada que proporciona. Esto muestra las ventajas de las imágenes reconstruidas como un medio para explicar con detalle las características propias del terreno y da oportunidad de recomendar acciones de mayor precisión en cada terreno.

CONCLUSIONES

- Las imágenes reconstruidas mediante la técnica de visualización volumétrica integran gran cantidad de datos lo que facilita el análisis y la identificación de discontinuidades del fenómeno estudiado al representar la estructura y distribución espacial de Br⁻ en el suelo.
- Es posible corroborar el realismo de las imágenes reconstruidas mediante atributos físicos que puedan georeferenciarse y asociarse a la imagen.

LITERATURA CITADA

- Addiscott, T.M., A.P. Whitmore y D.S. Powelson. 1991. Farming, fertilizers and the nitrate problem. CABI-Rothamsted Experimental Station. Harpenden, UK.
- Agus, F.A. y D.K. Cassel. 1992. Field-scale bromide transport as affected by tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 254-260.
- Chow, V.T. 1986. Open channel hydraulics. Mc Graw-Hill. Boston, MA.
- Engberg, R.A. y R.F. Spalding. 1978. Groundwater quality atlas of Nebraska. Resource Atlas 3. Nebraska Water Resources Center-University of Nebraska-Conservation and Survey Division. Lincoln, NE.
- Fekersillasse, D. y D.E. Eisenhauer. 2000. Feedback controlled surge irrigation: I. model development. *Trans. ASAE* 43: 1621-1630.
- Foley, J.D. y A. van Dam. 1982. Fundamentals of interactive computer graphics. Addison-Wesley. Reading, MA.
- Helly, J.J. y K.T. Herbinson. 1994. Visualization of the salinity plume from a coastal ocean water desalination plant. *Water Environ. Res.* 66: 753-758.
- Iragavarapu, T.K., J.L. Posner y G.D. Bubenzer. 1998. The effect of various crops on bromide to shallow groundwater under natural rainfall conditions. *J. Soil Water Conserv.* 53: 146-151.
- Isaaks, E.H. y R.M. Srivastava. 1989. Applied geostatistics. Oxford University Press. New York.
- Kung, K.J.S. 1990. Influence of plant uptake on the performance of bromide tracer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 975-979.
- Onken, A.B., C.W. Wendt, R.S. Hargrove y O.C. Wilke. 1977. Relative movement of bromide and nitrate in soils under three irrigation systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 50-52.
- Perret, J., S.O. Prasher, A. Kantzas y C. Langford. 1999. Three-dimensional quantification of macropore networks in undisturbed soil cores. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1530-1543.
- Research Systems Inc. 1997. Using IDL (Interactive Data Language). Version 5.0. Boulder, CO.
- Rice, R.C., R.S. Bowman y D.B. Jaynes. 1986. Percolation of water below an irrigated field. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 855-859.
- Rice, R.C., D.B. Jaynes y R.S. Bowman. 1991. Preferential flow of solutes and herbicides under irrigated fields. *Trans. ASAE* 34: 914-918.
- Ritsema, C.J., L.W. Dekker y A.W.J. Heijs. 1997. Three-dimensional fingered flow patterns in a water repellent sandy field soil. *Soil Sci.* 162: 79-90.
- Robertson, G.P. 1998. GS⁺: Geostatistics for the environmental sciences. Gamma Design Software. Plainwell, MI.
- Silvertooth, J.C., J.E. Watson, J.E. Malcuit y T.A. Doerge. 1992. Bromide and nitrate movement in an irrigated cotton production system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 548-555.
- Stevenson, F.J. 1986. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur and micronutrients. John Wiley. New York.
- USDA (US Department of Agriculture). 1978. Soil survey of Lincoln County, Nebraska. Soil Conservation Service-University of Nebraska-Conservation and Survey Division. Lincoln, NE.
- Van de Pol, R.M., P.J. Wierenga y D.R. Nielsen. 1977. Solute movement in a field soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 10-13.
- Yoder, R.E. y H.R. Duke. 1990. Non-darcy flow and drainage from irrigated furrows. *Trans. ASAE* 33: 1487-1491

RÉGIMEN DE HUMEDAD, PORTAINJERTO, MANEJO DE SUELO Y PRODUCCIÓN FORZADA EN EL DESARROLLO RADICAL DE DURAZNERO

Soil Water Regime, Rootstock, Soil Management and Forced Production on Root Development of Peach Trees

Nicolás Gutiérrez-Rangel^{1‡}, Leonardo Tijerina-Chávez², Alberto Enrique Becerril-Román¹, Alberto Castillo-Morales³, Cándido López-Castañeda¹ y Cecilia Beatriz Peña-Valdivia²

RESUMEN

Se estudió el efecto de portainjerto (Mixquiahuala y Chilcuautila), régimen de humedad (riego y temporal), manejo de suelo (cubierta con estiércol, adición de azufre y testigo), producción forzada (forzado y sin forzar), orientación (norte, sur, este y oeste), distancia del tronco (0.45 y 0.90 m) y profundidad de muestreo (0 a 15, 15 a 30 y 30 a 60 cm), en dos fechas (enero y julio), sobre el desarrollo radical de árboles de durazno 'Flordamex I' de nueve años de edad. Los tratamientos se establecieron en 1997; los muestreos de raíces se efectuaron al final del ciclo de producción forzada de 1997, en enero de 1998, y antes de la detención total del crecimiento vegetativo del ciclo de brotación natural siguiente, en julio de 1998. Todos los factores evaluados afectaron el desarrollo radical del durazno Flordamex I. En general, la mayor densidad de longitud de raíces -DLR- (cm de raíz cm⁻³ de suelo explorado) se encontró cerca del tronco y disminuyó con la distancia, detectándose diferencias significativas para esta tendencia sólo en los lados este y oeste; en particular, de 0 a 15 y de 15 a 30 cm de profundidad. La DLR del lado norte, de 15 a 30 cm de profundidad, resultó significativamente superior a la del resto; hacia el norte y sur, ésta fue mayor en la capa de 15 a 30 cm. En los árboles con estiércol, la DLR fue mayor que la del testigo, a 0.45 m del tronco. De 15 a 60 cm de profundidad, la DLR disminuyó al pasar de riego a temporal. 'Mixquiahuala' tuvo 31% mayor DLR que 'Chilcuautila', en el muestreo de julio.

La DLR aumentó de enero a julio en la capa de 15 a 60 cm. Finalmente, en enero, los árboles forzados tuvieron menor DLR que los no forzados pero, en julio, ocurrió lo contrario.

Palabras clave: *Prunus persica*, *Mixquiahuala*, *Chilcuautila*, densidad de longitud radical.

SUMMARY

The effect of rootstock (Mixquiahuala and Chilcuautila), soil water regime (irrigation and rainfed), soil management (manure groundcover, sulfur addition, and control), forced production (forced and not forced), orientation (north, south, east, and west), distance from the trunk (0.45 and 0.90 m) and depth of sampling (0-15, 15-30, and 30-60 cm) at two dates (January and July) on the root development of nine-year-old peach trees cv. Flordamex I was studied. Treatments were established in January 1997; roots were sampled at the end of the 1997 forced production cycle (in January 1998), and before the end of the 1998 vegetative growth cycle, that is in July 1998. All the factors studied affected root development in Flordamex I peach. The greatest root length density -RLD- (root cm-explored soil cm⁻³) was found near the trunk, and diminished with distance; significant differences for this trend were only found in the east and west sides, particularly at the 0-15 and 15-30 cm soil depths. The RLD from the north side at the 15-30 soil depth was significantly higher than the rest of the combinations. Toward the north and south the RLD was greater in the 15-30 cm soil depth. Trees treated with manure groundcover had a higher RLD than the control only at 0.45 m from the trunk. When changing from irrigated to rainfed conditions, the RLD decreased in the 15-60 cm soil layer. In the July sampling, 'Mixquiahuala' had 31% more RLD than 'Chilcuautila'. In the 15-60 cm soil layer, the RLD increased from January to July. Finally, in January, the forced trees had less RLD than non-forced trees; however, in July the opposite response was found.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

[‡] Autor responsable (ngrangel@colpos.mx).

³ Departamento de Matemáticas, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Edificio AT-343. 09340 México, D.F.

Index words: *Prunus persica*, *Mixquiahuala*, *Chilcuautla*, *root length density*.

INTRODUCCIÓN

La raíz realiza funciones muy importantes para los vegetales, como anclaje, exploración del suelo, absorción y transporte de agua y nutrimentos, síntesis de hormonas, almacenamiento de reservas, interacción con microorganismos, aporte de sustancias a la rizósfera y propagación. Por ello, el mayor conocimiento del sistema radical ayuda a definir mejores sistemas de manejo de huertos (Romo y Díaz, 1985).

Las características del sistema radical, como distribución, densidad, resistencia al transporte de agua y profundidad del enraizamiento, dependen de la constitución genética de cada vegetal, pero varían en función de los factores que alteran el desarrollo de las plantas (Atkinson, 1980; Mitrevski y Ristevski, 1991).

En el sistema radical de las especies de *Prunus* existen más raíces entre 0 y 80 cm de la superficie del suelo, con la mayor cantidad de ellas en los primeros 25 cm (Atkinson, 1980). Sin embargo, Romo y Díaz (1985) observaron, en durazno, pocas raíces entre 0 y 20 cm de profundidad, por efecto de temperaturas de suelo mayores que 30 °C.

Las raíces de árboles adultos de *Prunus* cubren horizontalmente una área de hasta 19 m² (Atkinson, 1980). En durazno, la mayoría de raíces se encuentran a una distancia máxima de la base del tronco de 1 a 1.60 m (Atkinson, 1980). Su densidad disminuye con la profundidad del suelo y la distancia horizontal del tronco (Williamson *et al.*, 1992).

Durazneros injertados sobre distintos portainjertos mostraron diferencias en desarrollo radical, espacio de suelo explorado y densidad de raíces (Massai *et al.*, 1993). En chabacanos injertados sobre portainjertos de semilla, la densidad radical fue mayor cerca del tronco y disminuyó con la distancia (Mitrevski y Ristevski, 1991). Aunque, en general, las raíces se ramifican, extienden y profundizan más en árboles con portainjertos vigorosos (Ibáñez *et al.*, 2000), no siempre el sistema radical de materiales de porte bajo es superficial o pequeño; además, las diferencias en profundidad de enraizamiento se acentúan en suelos con mayor espesor (Atkinson, 1980).

Deficiencias de humedad en el suelo reducen el desarrollo radical y contenido suficiente lo favorece (Romo y Díaz, 1985; Aiken y Smucker, 1996); así, las raíces finas (< 2 mm de diámetro) son más abundantes

con riego que sin riego (Glenn y Miller, 1995); sin embargo, Glenn y Welker (1993) no encontraron relación entre aparición de raíces nuevas y disponibilidad de agua, por la penetración de las raíces más allá de las áreas muestreadas.

La compactación del suelo también restringe el desarrollo radical; al aumentar la firmeza del suelo, la densidad radical de ciruelo disminuyó significativamente; un efecto máximo se detectó a 2.65 MPa (Grimes *et al.*, 1982). En un suelo limitado por una capa de grava a 50 cm de la superficie, el sistema radical se desarrolló superficialmente; la mayor cantidad de raíces con diámetro mayor que 2 mm se encontró entre 20 y 50 cm de profundidad, en tanto que hubo más raíces finas en los primeros 20 cm; horizontalmente, más de 60% de raíces se localizaron entre 0 y 50 cm de distancia de la hilera de árboles (Bargioni y Baroni, 1985).

La longitud de raíces finas del durazno fue menor en suelos cubiertos con césped que en áreas con suelo desnudo; las raíces más gruesas no se afectaron (Glenn y Welker, 1989). De manera similar, en suelos tratados con herbicida, la densidad radical del durazno fue mayor que en áreas con cubierta viva (Parker *et al.*, 1993). La cubierta orgánica, en manzano, favoreció el desarrollo radical al disminuir las variaciones de la temperatura del suelo e incrementar el agua disponible (Ibáñez *et al.*, 2000).

Se observó mayor número de raíces sobre las hileras de árboles de chabacano que en el espacio existente entre ellas (Mitrevski y Ristevski, 1991). En hileras con orientación norte-sur, no hubo diferencias en el sistema radical del durazno entre los lados este y oeste (Bargioni y Baroni, 1985).

Existe un balance antagónico entre desarrollo de raíz y parte aérea, pues, cuando una de ellas crece, la otra detiene su crecimiento (Ibáñez *et al.*, 2000). La producción de fruta también modifica el desarrollo radical; duraznos adultos sin fructificar tuvieron raíces nuevas durante toda la estación de crecimiento; en cambio, árboles en producción mostraron dos períodos de desarrollo, de marzo a junio y de agosto a enero; el desarrollo se relacionó inversamente con la presencia de frutos (Glenn y Welker, 1993). Durante las últimas tres a cuatro semanas del desarrollo de fruto e inmediatamente después de la cosecha, la cantidad de fruta producida afectó en proporción inversa el crecimiento de raíces nuevas (Williamson y Coston, 1989).

Con base en lo anterior, al considerar la relevancia de las raíces en los procesos fisiológicos y productivos

de los árboles, la complejidad de los factores que afectan el sistema radical y la escasez de trabajos de investigación realizados en raíces para los sistemas de producción de México, se llevó a cabo este estudio cuyo objetivo fue determinar el efecto de portainjerto, régimen de humedad, manejo del suelo, producción forzada, orientación, distancia al tronco y profundidad de muestreo, en dos fechas, sobre el desarrollo radical de árboles de durazno cv. Flordamex I.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo durante 1997 y 1998 en el huerto experimental 'San José' en Montecillo, Texcoco, estado de México (19° 29' N, 98° 54' O, a una altitud de 2250 m). El clima es templado seco con lluvias en verano [C(W₀)(w)b(i')g] (García, 1981). Datos de 17 años de la Estación Meteorológica del Colegio de Postgraduados indican que la temperatura media a la intemperie, la precipitación y la evaporación anual son de 15.7 °C, 555 mm y 1693 mm, respectivamente. De la lluvia total, 78% ocurren de junio a octubre. Durante 1997, la temperatura media, la precipitación y la evaporación anual fueron de 16.6 °C, 473.3 mm y 1558 mm, respectivamente. En 1998, los valores registrados fueron 17.8 °C, 506 mm y 1663 mm, respectivamente.

De acuerdo con una compilación de Trinidad-Santos y Rosas (1994), análisis realizados en el sitio experimental indicaron que de 0 a 90 cm de profundidad las características del suelo son: textura variable de franco arenosa a franco arcillo arenosa, ausencia de salinidad (0.2 dS m⁻¹ a 25 °C), pH neutro en la superficie (6.8) pero moderadamente alcalino de 30 a 90 cm de profundidad (7.4), capacidad de intercambio catiónico baja (9.6 cmol_c kg⁻¹), extremadamente pobre en materia orgánica (3.9 mg g⁻¹) y N (0.21 mg g⁻¹), deficiente en Zn (0.22 µg g⁻¹), medio en P (9.0 µg g⁻¹) y Ca (5.7 cmol_c kg⁻¹), adecuado en Fe (7.9 µg g⁻¹), Cu (0.41 µg g⁻¹) y Mn (10.3 µg g⁻¹), y alto en K (0.79 cmol_c kg⁻¹) y Mg (4.2 cmol_c kg⁻¹).

Se utilizaron durazneros 'Flordamex I' de nueve años de edad, injertados en los portainjertos 'Mixquiahuala' y 'Chilcuautla', establecidos en hileras orientadas en sentido norte sur, a 4 x 2 m de separación entre hileras y árboles, respectivamente. Sobre las hileras de árboles existe una franja de terreno de 1 m de ancho (cajete) que se mantiene libre de malezas con herramientas manuales. Los espacios restantes entre hileras permanecen cubiertos con césped nativo de las especies *Cynodon dactylon* y

Pennisetum clandestinum. El sistema de conducción utilizado en los árboles es un 'Tatura' modificado.

Factores de Estudio y Diseño Experimental

Los factores evaluados fueron: a) portainjerto (Mixquiahuala y Chilcuautla), b) régimen de humedad (riego y temporal), c) manejo del suelo (cubierta con estiércol, adición de azufre y testigo -sin estiércol ni azufre-), d) producción forzada (forzado y sin forzar), e) orientación cardinal del punto de muestreo con relación a la base del árbol (norte, sur, este y oeste), f) distancia horizontal del tronco al punto de muestreo (0.45 y 0.90 m), g) profundidad de muestreo (0 a 15, 15 a 30 y 30 a 60 cm), y h) dos fechas de muestreo (enero y julio de 1998).

Estos factores se combinaron en un arreglo factorial; el diseño experimental empleado fue de parcelas subdivididas en bloques al azar con dos repeticiones; el bloqueo se realizó con base en el área transversal del tronco de los árboles, medida 20 cm arriba de la superficie del suelo.

Establecimiento del Experimento

El experimento se inició en enero de 1997; se aplicaron 112 kg de estiércol vacuno (97% de humedad en base seca), en un área de 2 m² sobre el cajete de los árboles correspondientes, para tener una cubierta de aproximadamente 15 cm de espesor; la aplicación se repitió en julio del mismo año y en febrero del siguiente, con la mitad de la cantidad inicial. El azufre se aplicó en enero de 1997, en dosis de 60 g m⁻² sobre una superficie de 2 m², intentando disminuir el pH en 0.5 unidades, en una capa de suelo de 60 cm de espesor (Cal. Fert. Assoc, 1995); la aplicación se repitió en febrero de 1998.

Los riegos a las áreas correspondientes se aplicaron por gravedad, hasta llevar la humedad del suelo a una condición igual o mayor que capacidad de campo (Figura 1), mediante canales distribuidos en 'espina de pescado', cuando tensiómetros colocados en suelo sin cubierta, a 0.5 m de distancia del tronco y 30 cm de profundidad, indicaban 20 centibares o más. En cada riego, realizado a intervalos promedio de 10 días en los períodos de sequía, se restituía al suelo una lámina de agua de 3 cm aproximadamente.

La inducción de la producción forzada se inició el 28 de agosto de 1997, asperjando al follaje cianamida de hidrógeno (10 mL L⁻¹) con urea sin biuret (30 g L⁻¹) y surfactante con base en éter de

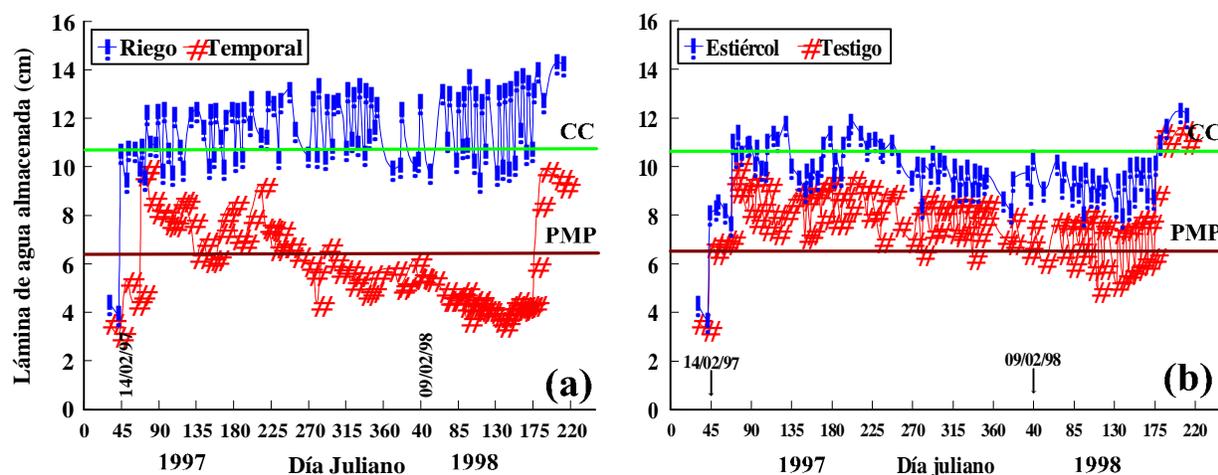


Figura 1. Humedad del suelo en Montecillo, Méx. (de 0 a 60 cm de profundidad) en función del régimen de humedad (a) y manejo de suelo (b) (CC = capacidad de campo; PMP = punto de marchitez permanente).

polietilenglicol, glicol con óxido de etileno y dimetilpolisiloxano (1 mL L^{-1}). El 19 de septiembre, se aplicó sulfato de zinc (30 g L^{-1}) con urea sin biuret (30 g L^{-1}) y el surfactante ya señalado (1 mL L^{-1}) al follaje. El 29 de septiembre, se asperjó thidiazuron -TDZ- (200 mg L^{-1}) mezclado con citrolina emulsificada (20 mL L^{-1}) y ácido giberélico (50 mg L^{-1}) a las ramas defoliadas.

Comportamiento de la Humedad y Temperatura del Suelo

Con base en un seguimiento semanal de la humedad del suelo mediante el método gravimétrico en cada condición de suelo, se estimaron las láminas de agua almacenadas en cada medición, con la expresión:

$$La = \% \text{ H.Da.Pr}$$

donde: La = lámina de agua almacenada, % H = porcentaje de humedad (en base seca), Da = densidad aparente y Pr = profundidad o espesor del perfil de suelo considerado.

En los primeros 60 cm de profundidad (Figura 1), la lámina de agua almacenada en el suelo, en riego, la mayor parte del tiempo fue superior a la capacidad de campo, en tanto que, en temporal, varió desde este nivel hasta menos del punto de marchitez permanente. En suelo con cubierta de estiércol, la humedad permaneció alrededor de capacidad de campo, mientras que, en el testigo, los niveles variaron entre

capacidad de campo y abajo del punto de marchitez permanente.

De manera similar, se dio seguimiento a la temperatura del suelo mediante geotermómetros de mercurio que se introducían en tubos de PVC colocados, *ex profeso*, a 50 cm de distancia horizontal del tronco. Las mediciones se realizaban semanalmente a las 7:00 y 14:00 h, a 15 y 30 cm de profundidad en cada condición de suelo.

Las menores temperaturas del suelo se presentaron en los primeros y últimos meses del año, mientras que las mayores se registraron en primavera y verano. Las temperaturas fueron mayores a las 14:00 h que a las 7:00 h y en temporal que en riego; entre profundidades y manejo de suelo fue difícil apreciar diferencias. Al observar la dispersión de los valores mínimos y máximos en cada condición, se infiere que las fluctuaciones fueron ligeramente mayores y un poco más evidentes a 15 cm que a 30 cm de profundidad y en temporal que en riego (Figura 2).

Variables Evaluadas

Se determinó la densidad de longitud radical (longitud de raíz cm^{-3} de suelo explorado), mediante la metodología de intersección de Newman (1966), adaptada por Tijerina (1990) y descrita por Ibáñez *et al.* (2000). Las muestras de suelo con raíces se extrajeron en enero y julio de 1998, con una barrena tipo Veihmeyer a 0.45 y 0.90 m de distancia del tronco en cuatro puntos cardinales (N, S, E y O), de 0 a 15, de 15 a 30 y de 30 a 60 cm de profundidad, en

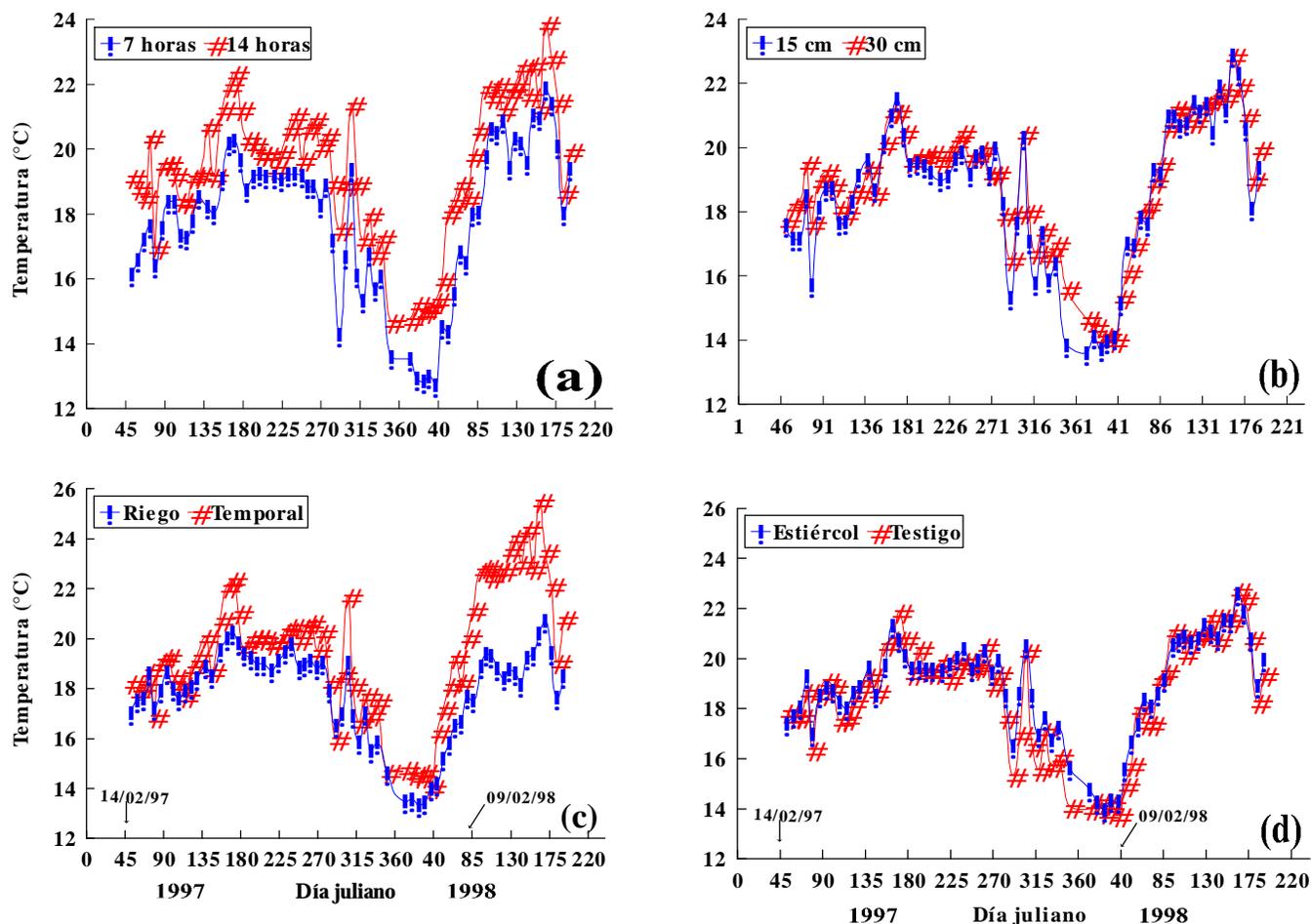


Figura 2. Temperatura del suelo en Montecillo, Méx. en función de la hora de medición (a), de la profundidad del punto de medición (b), del régimen de humedad (c) y del manejo de suelo (d).

cada árbol. Además, por ser unas de las variables más evidentes de la parte aérea, también se obtuvo el rendimiento de los árboles (g de fruta cm^{-2} de área transversal del tronco) en tres ciclos y el incremento de la área transversal del tronco (medida a 20 cm de la superficie del suelo) al final de cada ciclo de producción.

Análisis Estadístico

Se realizaron análisis de varianza con el paquete SAS, Versión 6.12 (SAS Institute, 1989) en una computadora personal, mediante el procedimiento GLM. En los casos que hubo diferencias significativas, las comparaciones de medias se realizaron con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para densidad de longitud radical, resultaron significativos los efectos principales de orientación, distancia, profundidad y fecha de muestreo, más las interacciones orientación por distancia, orientación por profundidad, distancia por profundidad, régimen de humedad por profundidad, manejo de suelo por distancia, portainjerto por fecha de muestreo, profundidad por fecha de muestreo y producción forzada por fecha de muestreo. Debido a que todos los factores significativos como efectos principales también intervienen en las interacciones que resultaron significativas, en el análisis de los resultados sólo se consideran éstas.

Interacciones entre Factores de Distribución Radical (Orientación, Distancia y Profundidad)

Aunque, en general, la mayor densidad de longitud de raíces se encontró cerca del tronco y

disminuyó con la distancia, a los lados este y oeste la disminución fue más drástica (de 1.66 a 0.60 cm cm^{-3} en el este y de 1.26 a 0.47 cm cm^{-3} en el oeste) que al norte y sur, al grado de que las diferencias entre distancias ($> 0.4 \text{ cm cm}^{-3}$) sólo resultaron significativas en dichos lados (Figura 3a; Cuadro 1).

La disminución tan brusca al este y oeste posiblemente se debió a las distintas condiciones de suelo en las que se ubicaron los puntos de muestreo, pues, mientras que el más cercano estuvo dentro del cajete, donde el terreno se remueve y permanece desnudo, el más distante quedó fuera del mismo, bajo la superficie compactada y cubierta con pasto; Glenn y Welker (1989), Parker *et al.* (1993) y Parker y Meyer (1996) también encontraron menores valores de longitud y densidad radical en suelos desnudos que en los cubiertos con pasto o maleza.

Considerando orientación y profundidad (Figura 3b; Cuadro 1), en general la mayor densidad ocurrió en el estrato de 15 a 30 cm en los cuatro

puntos cardinales, sin embargo, sólo la combinación 15-30 N (se refiere a profundidad y orientación, respectivamente) con 3.1 cm cm^{-3} resultó significativamente superior al resto [diferencia mayor que la DSH (-0.53 cm cm^{-3})], seguida de la 15-30 S, con 2.5 cm cm^{-3} . Dentro de la misma orientación, únicamente hacia el norte y sur se apreciaron diferencias estadísticas en densidad radical entre estratos, resultando superior el de 15-30. De acuerdo con lo expresado por Atkinson (1980), que cuando el suelo tiene mejores características se acentúan las diferencias en los sistemas radicales de árboles con tratamientos distintos, puede suponerse que las prácticas de manejo de suelo realizadas en el cajete modificaron algunas características del suelo que influyeron positivamente en el desarrollo radical, motivo por el cual la densidad radical, además de ser mayor en el área del cajete (orientaciones norte y sur), permitió identificar diferencias entre los estratos de suelo estudiados.

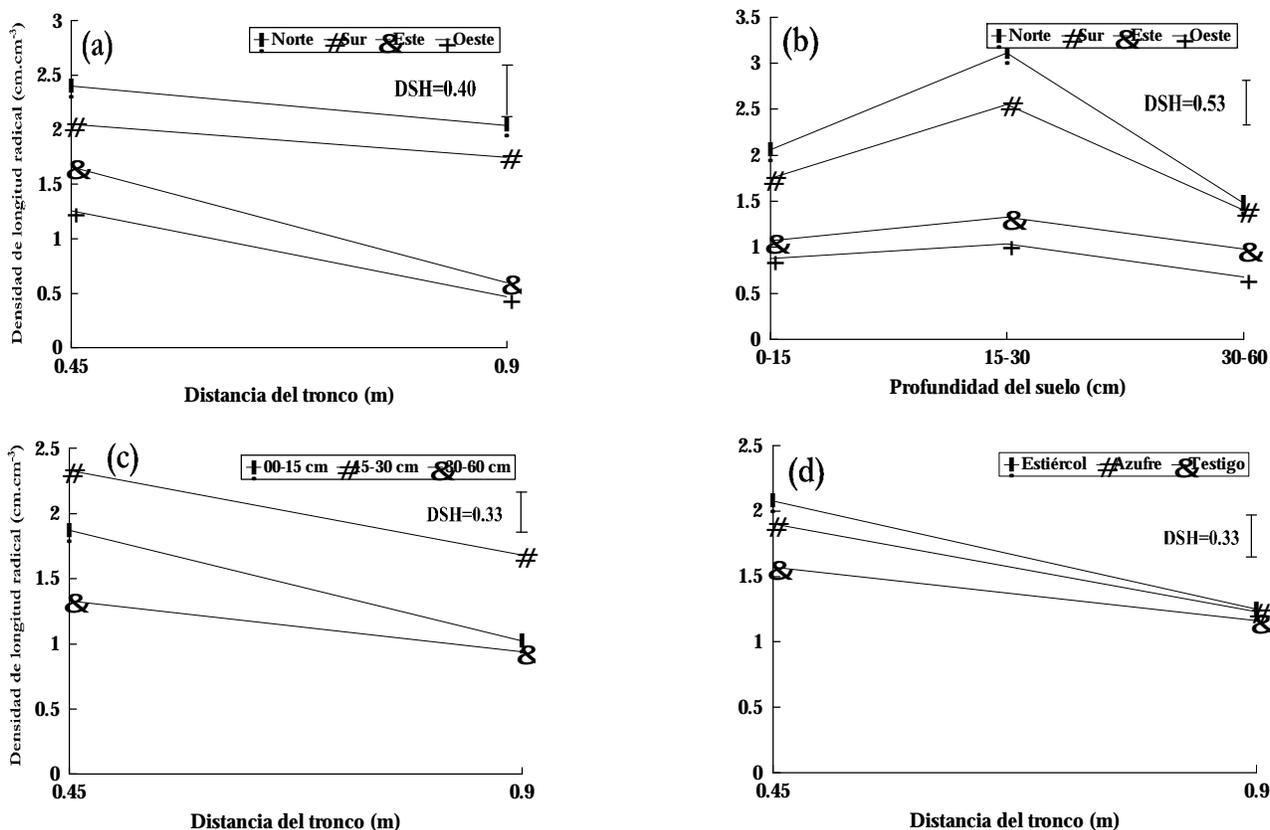


Figura 3. Efecto de las combinaciones de varios factores, por pares: a) orientación y distancia, b) orientación y profundidad, c) distancia y profundidad, y d) distancia y manejo de suelo en la densidad de longitud radical de árboles de durazno ‘Flordamex I’ (DSH = diferencia significativa honesta, Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro 1. Efecto de la combinación de los factores: a) orientación y distancia, y b) orientación y profundidad, en la densidad de longitud radical de árboles de durazno ‘Flordamex I’.

Orientación	Distancia (m)		Profundidad (cm)		
	0.45	0.90	0 a 15	15 a 30	30 a 60
	----- cm cm ⁻³ -----				
N	2.40 a [†]	2.03 abc	2.06 bc	3.11 a	1.48 def
S	2.05 ab	1.75 bcd	1.75 bcd	2.55 b	1.40 defg
E	1.66 bcde	0.60 f	1.07 efghi	1.33 dfg	0.98 efghi
O	1.26 e	0.47 f	0.87 ghi	1.04 efghi	0.68 i
DSH (0.05)		0.40		0.53	
CV		72.9		72.9	

[†] Medias con la misma letra dentro de cada combinación de factores son estadísticamente iguales.

Al tomar en cuenta la distancia y profundidad, se aprecia que la disminución de la densidad de raíces por efecto de la distancia al tronco, resultó mayor en los estratos de 0 a 15 y de 15 a 30 cm. En las dos distancias, la densidad radical es mayor en el estrato de 15 a 30 cm (Figura 3c; Cuadro 2).

Interacciones entre Factores de Distribución Radical, Manejo del Suelo, Portainjerto, Producción Forzada y Fecha de Muestreo

En los árboles con estiércol, la densidad de longitud radical (2.1 cm cm⁻³) fue estadísticamente mayor (DSH = 0.33) que la del testigo (1.6 cm cm⁻³), a 0.45 m del tronco. A 0.90 m, además de que las medias de densidad disminuyeron considerablemente, en las tres condiciones de manejo del suelo éstas resultaron estadísticamente iguales (Figura 3d; Cuadro 2). Como en el caso anterior y otros en los que interviene el factor distancia en alguna combinación de factores, la disminución de la densidad de longitud radical se debió posiblemente a que los puntos de muestreo de los lados este y oeste, ubicados a 0.90 m del tronco, quedaron fuera del área del cajete, en la superficie cubierta con césped, donde hubo menos raíces, lo cual coincide con los resultados de Glen y Welker (1989) y Parker *et al.* (1993).

Considerando régimen de humedad y profundidad (Figura 4a; Cuadro 3), la densidad de longitud radical en los estratos de 15 a 30 y de 30 a 60 cm disminuyó al pasar de riego a temporal, mientras que, en la capa superficial, la densidad fue similar en las dos condiciones. Las mayores densidades registradas en riego que en temporal coinciden con lo referido por Romo y Díaz (1985), Glenn y Miller (1995) y Aiken y Smucker (1996).

Los valores altos en la densidad de longitud radical del estrato de 0 a 15 cm en temporal se explican con base en las observaciones de Grimes *et al.* (1982) y Bargioni y Baroni (1985), quienes mencionaron que, en suelos compactados o con resistencia mecánica alta, el sistema radical se desarrolla superficialmente. En el presente estudio no se cuantificó la resistencia del suelo, pero la compactación del mismo en condiciones de temporal dificultó tanto la penetración de la barrena durante el proceso de extracción de las raíces, que se requirió tres veces más tiempo que el utilizado en condiciones de riego para obtener el mismo número de muestras.

El comportamiento de la densidad de longitud radical media de los portainjertos en cada fecha de muestreo indicó que, en enero, ambos genotipos

Cuadro 2. Efecto de la combinación de los factores: a) distancia y profundidad, y b) distancia y manejo del suelo, en la densidad de longitud radical de árboles de durazno 'Flordamex I'.

Distancia	Profundidad (cm)			Manejo del suelo		
	0 a 15	15 a 30	30 a 60	Estiércol	Azufre	Testigo
m	----- cm cm ⁻³ -----					
0.45	1.87 b [†]	2.33 a	1.33 d	2.08 a	1.90 ab	1.57 bc
0.90	1.02 de	1.68 bc	0.94 e	1.25 cd	1.23 d	1.16 d
DSH (0.05)		0.33			0.33	
CV		72.9			72.9	

[†] Medias con la misma letra dentro de cada combinación de factores son estadísticamente iguales.

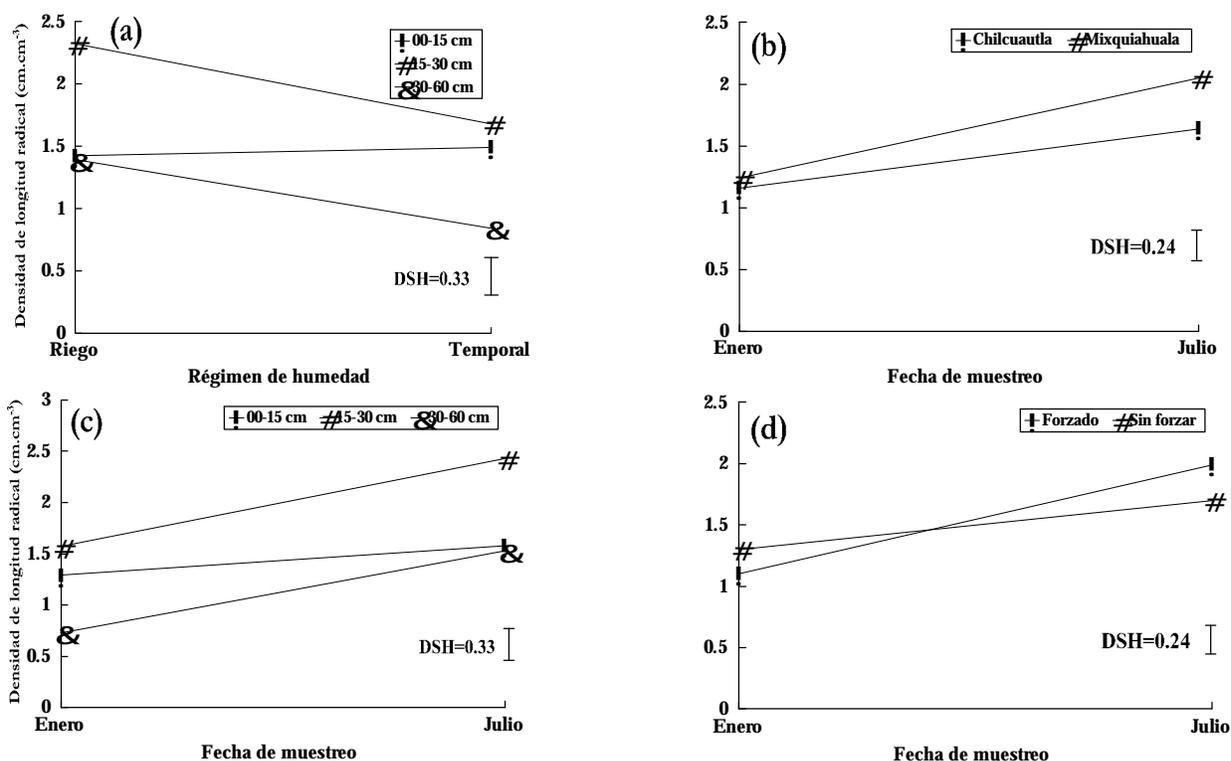


Figura 4. Efecto de las combinaciones de varios factores, por pares: a) régimen de humedad y profundidad, b) portainjerto y fecha de muestreo, c) profundidad y fecha de muestreo, y d) producción forzada y fecha de muestreo, en la densidad de longitud radical de árboles de durazno cv. Flordamex I (DSH = diferencia significativa honesta, Tukey, $P \leq 0.05$).

tuvieron valores bajos iguales ($< 1.3 \text{ cm cm}^{-3}$); en cambio, en julio, se observó un incremento notable y diferencias significativas a favor de ‘Mixquiahuala’ (aproximadamente 31% mayor densidad), con 2.1 cm cm^{-3} contra 1.6 cm cm^{-3} de raíz de suelo de ‘Chilcuautila’ (Figura 4b; Cuadro 4). Las diferencias entre portainjertos resultaron contrarias a las esperadas de acuerdo con su vigor (Ibáñez *et al.*, 2000), puesto que el área transversal del tronco de

Cuadro 3. Efecto de la combinación de los factores: régimen de humedad y profundidad, en la densidad de longitud radical de árboles de durazno ‘Flordamex I’.

Régimen de humedad	Profundidad (cm)		
	0 a 15	15 a 30	30 a 60
	----- cm cm ⁻³ -----		
Riego	1.39 bcde [†]	2.32 a	1.42 bcd
Temporal	1.49 bc	1.68 b	0.84 f
DSH (0.05)		0.33	
CV		72.9	

[†] Medias con la misma letra dentro de la combinación de factores son estadísticamente iguales.

‘Chilcuautila’ es aproximadamente 20% mayor que la de ‘Mixquiahuala’ y su incremento también es mayor (Cuadro 5); no obstante, debe considerarse que Atkinson (1980) indicó que no siempre el sistema radical de árboles de porte bajo es pequeño. Al respecto, pudo observarse que el incremento del área transversal del tronco durante las últimas mediciones también fue mayor en riego que en temporal, en los árboles con estiércol que en los de azufre o testigos, y en los árboles sin forzar que los forzados. El rendimiento, por su parte, también fue mayor en riego que en temporal; en el ciclo posterior al de forzado, disminuyó significativamente por efecto de la producción forzada (Cuadro 5). Es importante señalar que para las variables rendimiento e incremento del área transversal sólo se hace referencia a los efectos principales, porque las interacciones significativas fueron escasas e inconsistentes (sólo tres en distintos ciclos y diferentes variables).

En cuanto a profundidad y fecha de muestreo (Figura 4c; Cuadro 4), en las tres profundidades hubo

Cuadro 4. Efecto de la combinación de los factores: a) fecha de muestreo y portainjerto, b) fecha de muestreo y profundidad, y c) fecha de muestreo y producción forzada, en la densidad de longitud radical de árboles de durazno 'Flordamex I'.

Fecha de muestreo	Portainjerto		Profundidad (cm)			Producción forzada	
	Mixquiahuala	Chilcuautla	0 a 15	15 a 30	30 a 60	Forzado	Sin forzar
	----- cm cm ⁻³ -----						
Enero	1.24 c [†]	1.16 c	1.29 bcde	1.57 bc	0.72 f	1.01 c	1.3 bc
Julio	2.05 a	1.64 b	1.58 b	2.43 a	1.52 bcd	1.99 a	1.7 b
DSH (0.05)		0.24		0.33			0.24
CV		72.9		72.9			72.9

[†] Medias con la misma letra dentro de cada combinación de factores son estadísticamente iguales.

Cuadro 5. Rendimiento e incremento del área transversal del tronco de árboles de durazno 'Flordamex I' en diferentes ciclos de producción, en función de los factores estudiados.

Factor	Incremento del área transversal			Rendimiento		
	BN97 [†]	PF97	BN98	BN97	PF97	BN98
	----- cm ² -----			----- g cm ⁻² -----		
Régimen de humedad						
Riego	6.96 a [‡]	11.66 a	18.90 a	239.0 a	113.4 a	7.4 a
Temporal	4.32 b	5.88 b	7.67 b	139.0 b	76.6 b	2.3 b
DSH [§]	2.42	4.01	2.73	62.1	16.7	3.2
Portainjerto						
Mixquiahuala	4.84 a	8.04 a	12.41 a	186.0 a	102.0 a	5.6 a
Chilcuautla	6.44 a	9.51 a	14.15 a	192.0 a	88.0 a	4.0 a
DSH	2.42	4.01	2.73	62.1	16.7	3.2
Manejo de suelo						
Estiércol	5.07 a	9.91 a	16.48 a	177.0 a	102.1 a	5.5 a
Azufre	5.82 a	8.39 a	12.54 ab	200.0 a	94.8 a	5.2 a
Testigo	6.04 a	8.02 a	10.82 b	189.0 a	88.1 a	3.7 a
DSH	2.23	2.93	3.34	27.31	14.9	2.6
Producción forzada						
Forzado	---	8.13 a	10.99 b	---	94.5	2.7 b
Sin forzar	---	9.42 a	15.60 a	---	---	6.9 a
DSH	---	4.01	2.73	---	---	3.2
CV	45.23	37.17	34.05	16.63	17.96	60.38

[†] BN97 = brotación natural 1997, PF97 = producción forzada 1997 y BN98 = brotación natural 1998. [‡] Medias con la misma letra dentro de columna y factor son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). [§] Diferencia significativa honesta (Tukey, $P \leq 0.05$).

aumento de la densidad de longitud radical de enero a julio, con diferencias significativas en los estratos de 15 a 30 y de 30 a 60 cm de profundidad, donde ésta pasó de 1.6 a 2.4 y de 0.7 a 1.5 cm de raíz cm⁻³ de suelo, respectivamente; en la capa superficial no se incrementó significativamente la densidad, posiblemente por haber estado más expuesta a los elementos del clima, los cuales aumentaron las fluctuaciones de humedad y temperatura del suelo durante el período de estudio (Figuras 1 y 2) y limitaron el crecimiento radical.

Al obligar a los árboles forzados a brotar y producir dos veces en el mismo año, se modificó el desarrollo radical respecto a los árboles sin forzar. En enero de 1998, los árboles forzados tuvieron menor densidad de longitud radical respecto a los que no se

forzaron (Figura 4d; Cuadro 4); en julio, estos árboles, que produjeron menos en 1998 (Cuadro 5), tuvieron una densidad de 0.3 cm cm⁻³ mayor. El comportamiento anterior se explica, en parte, por lo señalado por Williamson y Coston (1989) y Glenn y Welker (1993), que el desarrollo radical se relaciona inversamente con la producción. Otra razón de que haya habido menos raíces en enero se debe a que durante el invierno las temperaturas son más bajas (Figura 2) y pueden limitar, en cierta medida, el desarrollo radical. Asimismo, en julio era de esperarse aún una alta actividad radical por el aporte de fotosintatos de la parte aérea antes de la brotación, pues gran parte de las reservas del árbol debe estar destinada a propiciar este proceso.

CONCLUSIONES

- Todos los factores evaluados afectaron significativamente el desarrollo radical del durazno Flordamex I.
- En general, la mayor densidad de longitud de raíces se encontró cerca del tronco y disminuyó con la distancia, pero las diferencias sólo resultaron significativas en los lados este y oeste.
- La disminución de la densidad de raíces, por efecto de la distancia al tronco, resultó mayor en los estratos de 0 a 15 y de 15 a 30 cm.
- El estrato de 15 a 30 cm del lado norte, con 3.1 cm de raíz cm⁻³ de suelo resultó significativamente superior al resto. Dentro de la misma orientación, únicamente hacia el norte y sur se apreciaron diferencias significativas entre estratos, resultando superior el de 15 a 30 cm.
- La densidad de longitud radical de los árboles con estiércol (2.1 cm cm⁻³) fue estadísticamente mayor que la del testigo (1.6 cm cm⁻³), a 0.45 m del tronco.
- En los estratos de 15 a 30 y de 30 a 60 cm, la densidad radical disminuyó al pasar de riego a temporal.
- 'Mixquiahuala' tuvo 31% mayor densidad radical que 'Chilcuautla', en el muestreo de julio.
- La densidad radical aumentó significativamente del muestreo de enero al de julio en los estratos de 15 a 30 y de 30 a 60 cm, ésta pasó de 1.6 a 2.4 y de 0.7 a 1.5 cm de raíz cm⁻³ de suelo, respectivamente.
- En enero, los árboles forzados tuvieron menor densidad de longitud radical que los no forzados pero, en julio, ocurrió lo contrario; en ambas condiciones, la densidad fue mayor en julio que en enero.

LITERATURA CITADA

- Aiken, R.M. y A.J.M. Smucker. 1996. Root system regulation of whole plant growth. *Ann. Rev. Phytopathol.* 34: 325-346.
- Atkinson, D. 1980. The distribution and effectiveness of the roots of tree crops. *Hort. Rev.* 2: 424-490.
- Bargioni, G. y G. Baroni. 1985. The root system of 'St. Julien INRA GF 655/2' as a peach rootstock. *Acta Hort.* 173: 229-235.
- California Fertilizer Association. 1995. Manual de fertilizantes para horticultura. UTHEA. Noriega Editores. México, D.F.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Tercera edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Glenn, D.M. y S.S. Miller. 1995. Growth, yield and water use responses of peach to repeated root pruning in a sub-humid climate. *HortScience* 30: 543-546.
- Glenn, D.M. y W.V. Welker. 1989. Peach root development and tree hydraulic resistance under tall fescue sod. *HortScience* 24: 117-119.
- Glenn, D.M. y W.V. Welker. 1993. Root development patterns in field grown peach trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118: 362-365.
- Grimes, D.W., P.L. Wiley y A.B. Carlton. 1982. Plum root growth in a variable-strength field soil. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 107: 990-992.
- Ibáñez-Martínez, A., A.E. Becerril-Román, A. Castillo-Morales, R.A. Parra-Quezada y C. López-Castañeda. 2000. Efecto de cubiertas, riego y fertilización foliar en el desarrollo radical del manzano. *Terra* 18: 225-237.
- Massai, R., C. Xiloyannis, D. Piccotino y G. Baroni. 1993. Root system growth and conformation of peach grafted on two rootstocks in high density orchards. *Acta Hort.* 349: 163-167.
- Mitrevski, Z. y B. Ristevski. 1991. Root system of apricot-tree depends from rootstock. *Acta Hort.* 293: 405-409.
- Newman, E.I. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.* 3: 139-145.
- Parker, M.L. y J.R. Meyer. 1996. Peach tree vegetative and root growth respond to orchard floor management. *HortScience.* 31: 330-333.
- Parker, M.L., J. Hull y R.L. Perry. 1993. Orchard floor management affects peach rooting. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118: 714-718.
- Romo, R. y D.H. Díaz. 1985. Root system and nutritional status of peaches under drip or flood irrigation in warm climates. *Acta Hort.* 173: 167-175.
- SAS Institute Inc. 1989. Statistical analysis system. Release 6.12. CD Computer Software. Cary, NC.
- Tijerina-Chávez, L. 1990. Comparación entre el crecimiento de la raíz y el crecimiento de la parte aérea del cultivo de algodón en diferentes regímenes de humedad del suelo. *Terra* 8: 21-35.
- Trinidad-Santos, A. y D. Rosas C. (Compiladores). 1994. Clasificación generalizada de algunas determinaciones químicas de suelo y tejido vegetal, útiles para interpretación de resultados en fertilidad de suelos. Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Texcoco, estado de México.
- Williamson, J.G. y D.C. Coston. 1989. The relationship among root growth, shoot growth, and fruit growth of peach. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114: 180-183.
- Williamson, J.G. y D.C. Coston y J.A. Cornell. 1992. Root restriction affects shoot development of peach in a high-density orchard. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 117: 362-367.

GERMINACIÓN Y DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE FRIJOLILLO *Rhynchosia minima* (L) DC EN CONDICIONES DE SALINIDAD

Germination and Development of Frijolillo *Rhynchosia minima* (L) DC in Conditions of Salinity

Alberto Madueño-Molina¹, Diego García-Paredes^{1‡}, Jesús Martínez-Hernández² y
Candelario Rubio-Torres¹

RESUMEN

La salinidad del suelo es una condición que afecta la germinación y el desarrollo de las plantas. Sin embargo, algunas especies manifiestan tolerancia a la salinidad durante estas etapas del desarrollo, lo cual es importante para la supervivencia en estas condiciones ambientales. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del NaCl sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de frijolillo. Esta especie tiene interés particular por su potencial uso forrajero, ya que se desarrolla en los meses de estiaje en la región. Se colectó semilla de frijolillo en tres localidades de la llanura costera de Nayarit. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial A x B con cuatro repeticiones, el factor A representó las colectas y el factor B las condiciones de salinidad con NaCl. El estudio se realizó en condiciones de laboratorio; la semilla se escarificó con ácido sulfúrico concentrado. Se comparó la respuesta a la germinación y al desarrollo de plántulas de frijolillo con 11 concentraciones de salinidad con NaCl. Se depositaron 100 semillas de frijolillo en cajas Petri en las que se colocó papel filtro saturado con las soluciones salinas. Las cajas se depositaron en una cámara de germinación a 25 °C. Se evaluaron el porcentaje de germinación, y la longitud de la raíz y del vástago. Los resultados señalaron diferencias estadísticas entre colectas, dosis de NaCl y la interacción, para las variables evaluadas. La concentración de 320 mM de NaCl inhibió totalmente el crecimiento de raíz y vástago del frijolillo. En la colecta de Pimientillo (CPIM),

la dosis de 150 mM de NaCl causó daños severos en raíz y plántula, mientras que en las colectas de El Limón (CEL) y Villa Juárez (CVJ) se manifestó el mismo daño con la concentración de 250 mM de NaCl.

Palabras clave: *leguminosa silvestre, cloruro de sodio, estrés.*

SUMMARY

Soil salinity is a condition that affects plant germination and development. However, some species show some tolerance to salinity during those growth stages, which is important for survival under these environmental conditions. The objective of this work was to evaluate the effect of NaCl on seed germination and development of frijolillo seedlings. This species has special importance because of its potential use as a forage plant since it grows well during the dry months of the year in the region. Seeds were collected from three sites on the alluvial plains of the coast of Nayarit. A complete randomized design was used, with a factorial arrangement A x B with four replications. The factor A represented the collections and the factor B represented the NaCl concentrations. The study was realized under laboratory conditions, the seeds were scarified with concentrated sulfuric acid. The response to 11 levels with NaCl during germination and development of "frijolillo" seedlings was compared, using 100 seeds deposited in Petri boxes with filter paper saturated with the saline solutions. These boxes were deposited in a germination chamber at 25 °C. The values for percent of germination, length of root, and length of stem showed that these variables were significantly different. The level of 320 mM of NaCl fully inhibited the root and stem growth. However, the plants from seed collected at Pimientillo (CPIM) was severely damaged by 150 mM of NaCl. In materials collected from El Limón (CEL) and Villa Juárez (CVJ) the same level of damage was reached with 250 mM of NaCl.

¹ Centro Multidisciplinario de Investigación Científica, Universidad Autónoma de Nayarit. Apdo. Postal 243, 63190 Tepic, Nayarit, México.

[‡] Autor responsable (juandieg@nayar.uan.mx)

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

Index words: wild legume, sodium chloride, stress.

INTRODUCCIÓN

El frijolillo es una especie herbácea de crecimiento indeterminado que se encuentra distribuida en la llanura costera de Nayarit durante el período de estiaje, aun en suelos afectados por la salinidad, lo que sugiere que tiene cierta resistencia a estas características. Esta especie tiene interés particular por su potencial uso forrajero, ya que se desarrolla en los meses de sequía en la región. La salinidad y la sequía son dos de los factores limitativos ambientales que afectan el establecimiento y desarrollo de las especies así como la producción agrícola.

Se considera a la salinidad como la presencia en el suelo de sales solubles en cantidades mayores que las normales. Las altas concentraciones de sales en el suelo inhiben el crecimiento de las plantas de diferentes formas; se puede causar decremento del contenido de agua en la planta, acumulación de iones en cantidades tóxicas y reducción de la disponibilidad de nutrimentos (Kuiper, 1984; Ashraf, 1994). El Na^+ , al ser un elemento altamente higroscópico, atrapa las moléculas del agua del suelo, lo que provoca que disminuya el agua de hidratación para otros nutrimentos, y afecta también la estructura del suelo al disgregar sus partículas. En los suelos salinos, se reduce la absorción y traslocación de K^+ y Ca^{2+} , estos elementos son requeridos en el suelo para mantener la selectividad y la integridad de la membrana celular de la raíz (Wyn Jones y Lunt, 1967; Fageria, 1983). Las altas concentraciones de Na^+ deterioran la selectividad de la membrana y favorecen la acumulación pasiva de Na^+ en raíces y tallos (Kramer *et al.*, 1977). Levitt (1980) indicó que las sales sódicas, en particular el NaCl, provocan un mayor castigo salino que otras sales y el NaCl es una de las sales más comunes en las zonas agrícolas.

Para algunas especies vegetales, el estrés salino es más inhibitorio durante la germinación de la semilla que en algunas otras etapas del desarrollo (Bewley y Black, 1982; Mayer y Poljakoff-Mayber, 1982). La tolerancia a la salinidad en la germinación y durante etapas tempranas de crecimiento es indispensable para la posterior supervivencia y el desarrollo de la planta en suelos salinos (Rogers *et al.*, 1995). En muchas especies de plantas, la sensibilidad al NaCl varía en las diferentes etapas de desarrollo, por lo que la sensibilidad mostrada por

alguna especie durante la germinación y emergencia no es una garantía de que el desarrollo posterior de la planta pueda continuar sin complicaciones para completar su ciclo de vida (Maas y Hoffman, 1977; Norlyn y Epstein, 1984).

En el presente trabajo, se evaluó el efecto de la salinidad con NaCl sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de poblaciones de *Rhynchosia minima* (L) DC (frijolillo), que se colectaron de tres sitios de la llanura costera de Nayarit, con el fin de analizar su grado de tolerancia a la salinidad en etapas tempranas de su desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este experimento se desarrolló en condiciones de laboratorio. Se utilizó semilla de frijolillo escarificada en ácido sulfúrico concentrado durante 30 min. Se comparó la respuesta a la germinación y supervivencia de plántulas de frijolillo, con diferentes concentraciones de salinidad con NaCl. La semilla se colectó en forma masal en las localidades de Villa Juárez (CVJ), Pimientillo (CPIM) y El Limón (CEL), ubicadas en la llanura costera de Nayarit.

Soluciones Salinas

Se evaluaron 11 concentraciones de salinidad con NaCl, cuyas características relativas a la conductividad eléctrica y potencial osmótico estimado se describen en el Cuadro 1.

El potencial osmótico se estimó de acuerdo con los siguientes valores y cálculos:

$$24 \text{ Meq de NaCl} = -1.0 \text{ atm,}$$

$$1 \text{ Meq} = \text{peso molecular de soluto (g)} / (\text{número de valencia})(1000)$$

$$1 \text{ Meq NaCl} = 58.44 / (1000) = 0.05844$$

$$-1 \text{ atm de PO con NaCl} = (0.05844)(24) = 1.40256 \text{ g de NaCl}$$

$$-1.0 \text{ MPa} = -9.868 \text{ atm, por lo tanto: } -1.0 \text{ MPa de PO con NaCl} = 13.84046 \text{ g de NaCl.}$$

$$\text{En consecuencia, } 5.844 \text{ g de NaCl} = -0.42224 \text{ MPa.}$$

Desarrollo del Experimento

En cajas Petri se colocaron hojas de papel filtro previamente saturadas con las soluciones salinas antes descritas, el control se preparó con agua cuyas características fueron: pH en agua, 6.6; CE, 0.6 dS m^{-1} ; Ca, 0.254 meq L^{-1} ; Mg, 0.340 meq L^{-1} ; Na, 0.217 meq L^{-1} ; K, 0.163 meq L^{-1} ;

Cuadro 1. Dosis de NaCl utilizadas y sus equivalencias en conductividad eléctrica y potencial osmótico.

Tratamiento	NaCl	Concentración	CE [†]	PO [‡]
	g L ⁻¹	mM	dS m ⁻¹	MPa
01	0.00	0.00	0.00	0.00
02	5.84	100	9.12	-0.42
03	8.77	150	13.67	-0.63
04	11.69	200	18.23	-0.84
05	14.61	250	22.79	-1.05
06	17.53	300	27.61	-1.27
07	18.70	320	29.17	-1.35
08	19.87	340	30.99	-1.43
09	21.04	360	32.82	-1.52
10	22.21	380	34.64	-1.60
11	23.38	400	36.47	-1.69

[†] Conductividad eléctrica; [‡] Potencial osmótico.

CO₃, 0.0 meq L⁻¹; HCO₃, 3.2 meq L⁻¹; cloruros, 2 meq L⁻¹; sulfatos, 1.2 meq L⁻¹. Sobre el papel saturado, se depositaron 100 semillas de frijolillo previamente escarificadas, se cubrieron con la tapa transparente y se colocaron en una cámara de germinación a 25 °C. Las variables evaluadas fueron: **Porcentaje de germinación.** Este valor se obtuvo cuantificando las semillas germinadas respecto al total, durante siete días. Se consideró como semilla germinada cuando la raíz medía 2 mm aproximadamente.

Longitud de raíz. Se midió la longitud promedio alcanzada por la raíz a siete días desde el inicio de la germinación.

Longitud de vástago. Se midió la longitud promedio alcanzada por el vástago de la plántula a siete días desde el inicio de la germinación.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial A x B con cuatro repeticiones, al factor A le correspondieron las tres colectas y al factor B las 11 concentraciones de NaCl. Para la unidad experimental se usó una caja de Petri con 100 semillas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas altamente significativas entre colectas, dosis de NaCl y la interacción entre colectas y NaCl, para las variables germinación, longitud de raíz y longitud de vástago (Cuadro 2). Lo anterior indica que la interacción de las variables independientes, representadas por las colectas, y el gradiente de

Cuadro 2. Efecto de las colectas y el gradiente de salinidad con NaCl sobre germinación, longitud de raíz y longitud de vástago en frijolillo.

Factor	Germinación	Longitud raíz	Longitud vástago
	--- % ---	--- mm ---	
Colectas [†]			
CVJ	52.50 a	25.16 a	16.09 a
CEL	51.09 b	23.16 b	15.55 a
CPIM	32.18 c	16.16 c	10.75 b
NaCl (en mM) [‡]			
0	100.00 a	51.25 b	35.08 b
100	99.58 a	61.25 a	43.08 a
150	86.00 b	44.75 c	25.83 c
200	69.25 c	35.00 d	15.67 d
250	62.66 d	18.92 c	10.50 e
300	46.33 e	11.58 f	10.50 e
320	16.25 f	7.00 g	04.83 g
340	8.83 g	2.50 h	04.25 g
360	4.75 h	1.92 hi	03.50 gh
380	3.33 h	1.50 hi	03.50 gh
400	0.83 i	0.75 i	01.67 h

[†] n = 44; [‡] n = 12.

salinidad con NaCl tiene un efecto sobre las variables dependientes evaluadas (% de germinación, longitud de raíz y longitud de vástago).

Efecto del Factor Colectas

Al analizar el porcentaje de germinación en las colectas, se encontró que CVJ fue estadísticamente superior a las otras, seguida por CEL, mientras que CPIM fue la que obtuvo el menor valor, con promedios de 52.50, 51.09 y 32.18, respectivamente. Los valores de la longitud de raíz y la longitud de vástago fueron mayores en CVJ, en comparación con las otras dos colectas (Cuadro 2). Lo anterior señala la variabilidad en los materiales de frijolillo evaluados y que pudieran ser utilizados en programas de mejoramiento para resistencia a condiciones de salinidad. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Abel y MacKenzie (1964), El-Samad y Shaddad (1997) y Pantalone *et al.* (1997), quienes identificaron la variación que existe en la tolerancia a las sales en genotipos de la misma especie.

Efecto de la Concentración Salina en el Porcentaje de Germinación

En general, la germinación disminuyó a partir de la concentración de 150 mM de NaCl (Cuadro 3). Se observa también que, para las colectas de Villa

Cuadro 3. Efecto del gradiente de salinidad con NaCl sobre germinación, longitud de raíz y longitud de vástago en frijolillo proveniente de tres colectas.

NaCl	Germinación			Longitud de raíz			Longitud de vástago		
	CVJ [†]	CEL [‡]	CPIM [§]	CVJ	CEL	CPIM	CVJ	CEL	CPIM
mM	----- % -----			----- mm -----					
0	100.0 a	100.0 a	100.0 a	51.0 b	57.5 b	45.3 b	33.8 b	38.3 b	33.3 b
100	99.3 a	100.0 a	99.5 a	64.0 a	67.8 a	52.3 a	45.8 a	44.3 a	41.0 a
150	96.0 b	89.0 b	73.0 b	48.0 c	44.3 c	42.0 c	29.5 c	29.8 c	18.3 c
200	82.3 c	80.5 c	45.0 c	42.5 d	41.0 d	21.5 d	16.3 d	17.3 d	13.5 d
250	74.8 d	81.3 c	32.0 d	28.0 e	17.0 e	11.8 e	13.3 de	11.5 e	6.8 e
300	63.8 e	71.0 d	4.3 e	17.3 f	12.8 f	4.8 f	9.8 ef	7.8 ef	4.5 ef
320	29.8 f	18.8 e	0.3 f	12.5 g	8.0 g	0.5 g	7.0 fg	6.5 f	1.0 fg
340	14.8 g	11.8 f	0.0 f	5.0 h	2.5 h	0.0 g	6.3 g	5.0 f	0.0 g
360	7.8 h	6.5 g	0.0 f	3.8 h	2.0 hi	0.0 g	5.5 g	5.0 f	0.0 g
380	6.8 h	3.3 h	0.0 f	2.5 h	2.0 hi	0.0 g	5.0 g	4.3 f	0.0 g
400	2.5 i	0.0 i	0.0 f	2.3 h	0.0 i	0.0 g	5.0 g	0.0 g	0.0 g

[†] Villa Juárez; [‡] El Limón; [§] Pimientillo.

Juárez y El Limón, la germinación decreció más de 50% por encima de 300 mM de NaCl, mientras que, para la colecta Pimientillo, la disminución mayor que 50% de germinación se presentó con NaCl más bajo. Por otra parte, CVJ mostró semillas que fueron capaces de germinar en todo el gradiente de salinidad evaluado, CEL tuvo semillas que germinaron hasta 380 mM, mientras que CPI no mostró ninguna semilla germinada superior a 320 mM (Cuadro 3). Resultados similares fueron mencionados por Wang y Shannon (1999), quienes encontraron que con valores de conductividad eléctrica, en el extracto de saturación del suelo, de 11 dS m⁻¹ redujeron significativamente la emergencia de semillas y el crecimiento de plántulas de soya. Promila y Kumar (2000) estudiaron la germinación de semilla y la elongación de la raíz de frijol mungo (*Vigna radiata* Wilczek) y encontraron que la concentración de 180 mM de NaCl redujo la germinación de las semillas, aunque no impidió la emergencia de la radícula. Sin embargo, con esta concentración de NaCl la elongación de la radícula cesó completamente después de 36 h. Rogers *et al.* (1995) también reportaron una disminución en la germinación de *Trifolium repens* L., a medida que se incrementó la concentración de NaCl.

En la Figura 1, se describe el comportamiento general de la germinación de las tres colectas en el gradiente de salinidad. Se aprecia que a medida que se incrementó la concentración de NaCl, disminuyó la germinación con una tendencia tipo cuadrática, observándose una mejor respuesta de las colectas CEL y CVJ. En la Figura 2, se analiza

el comportamiento de la germinación de acuerdo con la ecuación de Maas y Hoffman (1977):

$$Y = 100 - p(CE_e - CE_i),$$

donde: Y = es el número o porcentaje de semillas germinadas, p = pendiente; porcentaje de reducción de la respuesta por cada unidad de incremento en la conductividad eléctrica, CE_e = conductividad eléctrica en extracto de saturación, CE_i = conductividad eléctrica hasta la cual se espera se mantenga la máxima respuesta.

La mayor CE en la que las colectas manifestaron una germinación de 100% fue de 8.27 dS m⁻¹ para CPIM, 12.25 dS m⁻¹ para CEL y 15.18 dS m⁻¹ para CVJ, mientras que la CE para la cual se espera que la germinación de cada una de las colectas sea igual a cero fue de 28.66, 36.83 y 36.45 dS m⁻¹, respectivamente. Se observa que la tolerancia de las colectas CEL y CVJ es similar entre sí y que la tolerancia de CPIM es siempre menor. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Bayuelo-Jiménez *et al.* (2002), quienes evaluaron 14 especies silvestres de *Phaseolus* y encontraron que *P. lunatus* y *P. filiformis* toleraron valores de 180 mM de NaCl (15.7 dS m⁻¹).

Efecto de la Concentración Salina en la Longitud de Raíz

En general, CVJ produjo las raíces más largas y fue estadísticamente superior a CEL y CPIM con promedios de 25.16, 23.16 y 16.16 mm,

respectivamente (Cuadro 2). Al analizar el factor concentración de NaCl, se encontró que con una dosis de 100 mM de NaCl, las tres dosis produjeron raíces más largas que el control (Cuadro 3). Este comportamiento de la raíz, con relación al mayor aumento de biomasa, en ciertas condiciones de salinidad ha sido reportado por diversos autores (Poljakoff y Lerner, 1994; Kafkafi y Bernstein, 1996; Sánchez-Bernal *et al.*, 2003). Además, señalaron que el crecimiento del tallo es más afectado que la raíz. Al respecto, Levy (1992) mencionó que lo anterior puede ser un mecanismo de inducción de la raíz para localizar espacios de menor concentración salina en el suelo y así evadir el efecto del estrés osmótico.

En general, la mayor concentración de NaCl disminuyó gradualmente el crecimiento de la raíz. Sin embargo, a partir de 340 mM de NaCl la disminución es más marcada, en especial en CPIM, donde no hubo elongación de raíz (Cuadro 3). Por lo que respecta al daño ocasionado por la salinidad, se observó que las raíces de CVJ y CEL mostraron una coloración café con sus meristemos necrosados a partir de 250 mM, mientras que CPIM mostró este daño a partir de 150 mM.

El comportamiento individual de cada una de las tres colectas en el gradiente de salinidad fue de tipo cúbico, con valores máximos de 66.83, 60.91 y 52.57 mm a 70, 70 y 60 mM de NaCl para

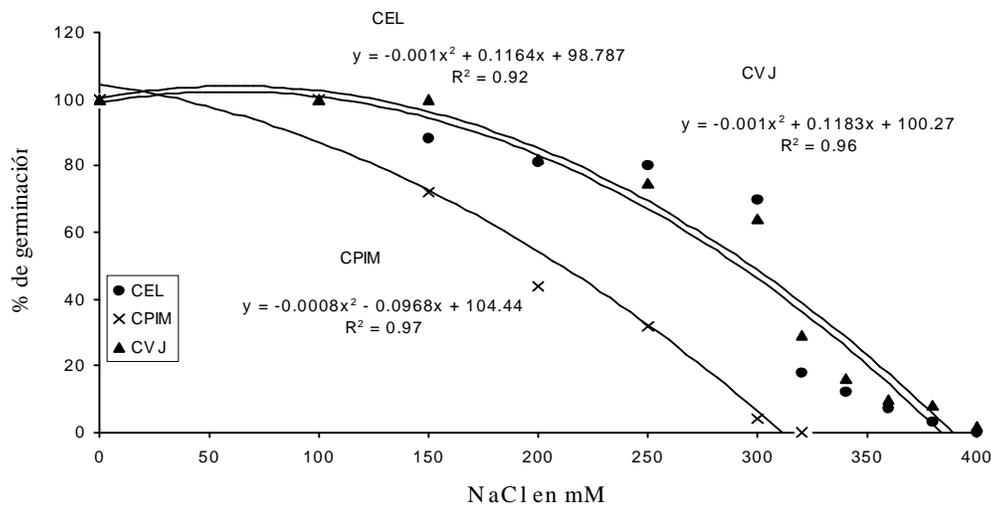


Figura 1. Germinación de semilla de tres colectas de frijolillo en un gradiente salino con NaCl.

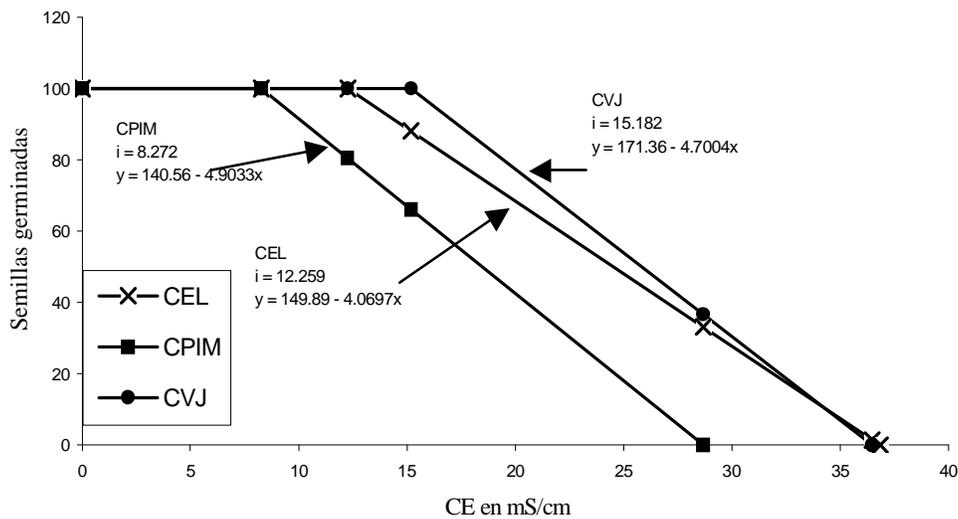


Figura 2. Respuesta a la germinación de semilla de frijolillo en un gradiente de salinidad de acuerdo con la ecuación de Maas y Hoffman (1977).

las colectas CEL, CVJ y CPIM, respectivamente, y con valor igual a cero cuando la concentración de NaCl fue de 350, 400 y 325 mM, en el mismo orden (Figura 3).

Efecto de la Concentración Salina en la Longitud de Vástago

El análisis del Cuadro 3 permite observar que con una concentración de 100 mM de NaCl, las tres colectas produjeron vástagos más largos que el control y que a partir de 320 mM se inhibe su crecimiento. El comportamiento individual de cada una de las tres colectas en el gradiente de salinidad fue de tipo cúbico, con valores máximos de 45.07, 43.53 y 36.89 mm a 65, 70 y 65 mM de NaCl para las colectas CEL, CVJ y CPIM, respectivamente, y con valor igual a cero cuando la concentración de NaCl fue de 350, 400 y 340 mM, en el mismo orden (Figura 4). También en tallos se observó daño ocasionado por la salinidad, ya que los vástagos de CVJ y CEL mostraron sus meristemos necrosados a partir de 250 mM, mientras que CPIM sufrió estos daños a partir de 150 mM.

El porcentaje de germinación, así como las características de plántula observadas durante la etapa de germinación y emergencia en diferentes

concentraciones de NaCl, son pruebas que permiten identificar variedades tolerantes a salinidad. Kuruvadi (1988) señaló que existe una alta correlación positiva entre la tasa de germinación en soluciones osmóticas y la tasa de emergencia en el campo, por lo que estas pruebas tienen valor predictivo. Sin embargo, la germinación de las semillas en condiciones salinas no son, necesariamente, una garantía de que el desarrollo posterior de la planta pueda continuar sin complicaciones para completar su ciclo de vida, como lo señalaron Norlyn y Epstein (1984).

En el caso particular del frijolillo, su capacidad para germinar con altas concentraciones de NaCl (50% con 300mM) y el excelente comportamiento de las plántulas con 100 mM, es un indicador de su tolerancia a la salinidad, cualidad que puede provenir de un proceso de adaptación de esta especie a condiciones de salinidad en etapas tempranas de su desarrollo. En la llanura costera de Nayarit, la salinidad se localiza principalmente en los primeros 20 cm de profundidad y disminuye en los horizontes inferiores del suelo. Por lo que una rápida germinación de la semilla, seguido por un rápido establecimiento de la plántula puede minimizar los efectos nocivos de las sales y le confieren ventajas competitivas en tales condiciones.

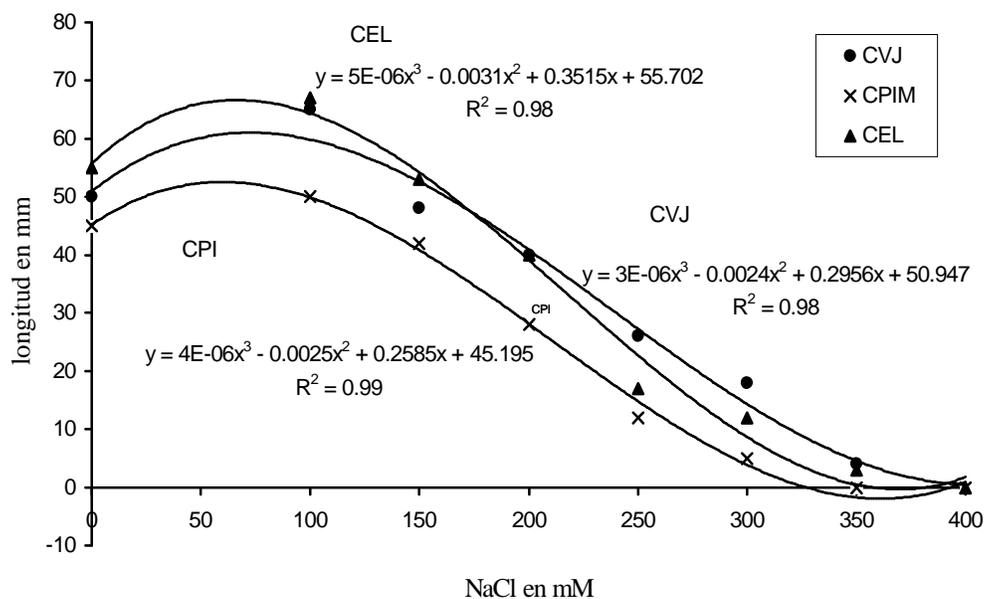


Figura 3. Efecto de la concentración de NaCl sobre el crecimiento de raíz de plántulas de frijolillo.

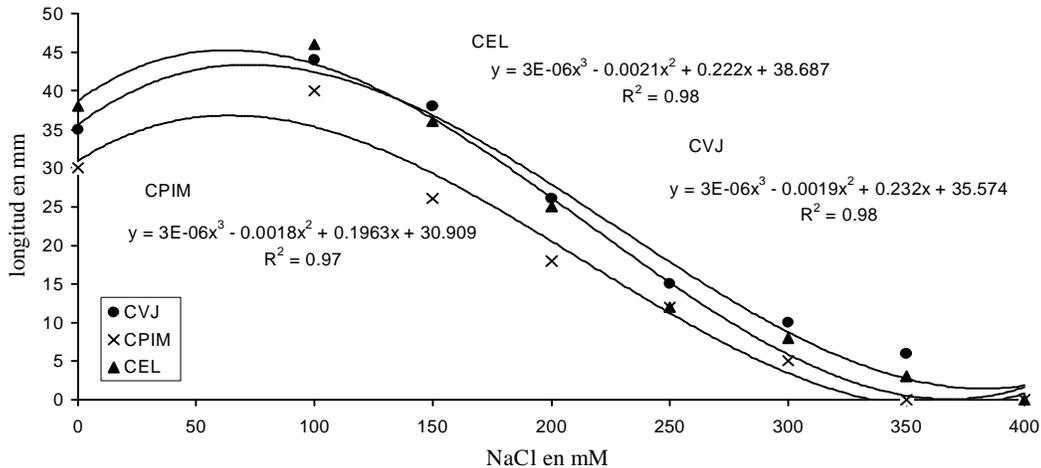


Figura 4. Efecto de la concentración de NaCl sobre el crecimiento de plántulas de frijolillo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo mediante la beca otorgada (Registro 55116) y el financiamiento del proyecto CONACYT 0707-B.

CONCLUSIONES

- Las colectas Villa Juárez (CVJ) y El Limón (CEL) mostraron capacidad para germinar en condiciones de alta salinidad, con más de 50% de germinación en la solución de 300 mM de NaCl.
- La salinidad afectó la velocidad de germinación, ya que con soluciones de 0 a 250 mM de NaCl se requirieron 72 h para alcanzar su máximo porcentaje, mientras que con concentraciones mayores se requirieron más de 120 h.
- En forma general, la salinidad inhibió por completo el crecimiento de la raíz y vástago de frijolillo, a partir de 320 mM de NaCl, sin embargo, a partir de 150 mM en la colecta Pimientillo (CPIM) y 250 mM en las colectas CVJ y CEL, causó daños severos a esas estructuras de la plántula.

LITERATURA CITADA

- Abel, G.H. y A.J. Mackenzie. 1964. Salt tolerance of soybean varieties (*Glycine max* L. Merrill) during germination and later growth. *Crop Sci.* 4: 157-161.
- Ashraf, M. 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 13: 17-42.
- Ayers, A.D. 1952. Seed germination as affected by soil moisture and salinity. *Agron. J.* 44: 224-226.
- Bayuelo-Jiménez, J.S., D.G. Debouck y J.P. Lynch. 2002. Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. *Crop Sci.* 42: 2184-2192.
- Bewley, J.D. y M. Black. 1982. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination: viability, dormancy and environmental control. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- El-Samad, A.H.M. y M.A.K. Shaddad. 1997. Salt tolerance of soybean cultivars. *Biol. Plantarum* 39: 263-269.
- Fageria, N.K. 1983. Ionic interactions in rice plants from dilute solutions. *Plant Soil* 70: 309.
- Jones, R.G.W. y O.R. Lunt. 1967. The function of calcium in plants. *Bot. Rev.* 33: 407.
- Kafkafi, U. y N. Bernstein. 1996. Root growth under salinity stress. pp. 435-451. In: Waisel, Y., A. Eshel y U. Kafkafi. *Plant roots: the hidden half.* Marcel Dekker, New York.
- Kramer, D., A. Lauchli, A. Yeo y J. Gullasch. 1977. Transfer cells in roots of *Phaseolus coccineus*: ultrastructure and possible function in exclusion of sodium from the shoot. *Ann. Bot.* 41: 1031.
- Kuiper, P.J. 1984. Functioning of plant cell membranes under saline conditions: membrane lipid composition and ATPases. pp. 77-91. In: Staples, R.C. y G.H. Toenniessen (eds.). *Salinity tolerance in plants: strategies for crop improvement.* John Wiley, New York.
- Kuruvadi, S. 1988. Características de planta que contribuyen a la mejor adaptación de los cultivos a regiones semidesérticas. Folleto de Divulgación. Vol. 11. No. 4. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Levitt, J.D. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York.
- Levy, D. 1992. The response of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to salinity: plant growth and tuber yields in the arid deserts of Israel. *Ann. App. Biol.* 120:547-555.
- Maas, E.V. y G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance – current assessment. *J. Irrigation Drainage Division* 103: 115-134.
- Mayer, A.M. y A. Poljakoff-Mayber. 1982. The germination of seeds. Pergamon Press, Oxford, UK.

- Norlyn, J.D. y E. Epstein. 1984. Variability in salt tolerance in four triticale lines at germination and emergence. *Crop Sci.* 24: 1090-1092.
- Pantalone, V.R., W.J. Kenworthy, L.H. Slaughter y B.R. James. 1997. Chloride tolerance in soybean and perennial Glycine accessions. *Euphytica* 97: 235-239.
- Poljakoff-Mayber, A. y H.R. Lerner. 1994. Plants in saline environments. pp. 65-96. *In*: Pessarakli, M. (ed.). *Handbook of plant and crop stress*. Marcel Dekker. New York.
- Promila, K. y S. Kumar. 2000. *Vigna radiata* seed germination under salinity. *Biol. Plantarum* 43: 423-426.
- Rogers, M.E., C.L. Nodle, G.M. Halloran y M.E. Nicolas. 1995. The effect of NaCl on the germination and early seedling growth of white clover (*Trifolium repens* L.) populations selected for high and low salinity tolerance. *Seed Sci. Tech.* 23: 277-287.
- Sánchez-Bernal, E., M. Ortega-Escobar, V. González-Hernández, G. Ruelas-Ángeles, J. Kohashi-Shibata y N. García-Calderón. 2003. Tolerancia de tubérculos de papa cv. Alfa en etapa de brotación a condiciones de salinidad. *Terra* 21: 481-491.
- Wang, D. y M.C. Shannon. 1999. Emergence and seedling growth of soybean cultivars and maturity groups under salinity. *Plant Soil* 214: 117-124.

BIOMASA, RENDIMIENTO, EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y DE LA RADIACIÓN SOLAR DEL AGROSISTEMA GIRASOL–FRIJOL

Biomass, Yield, and Water and Radiation Use Efficiency in the Agrosystem of Sunflower and Common Bean

Edgar J. Morales-Rosales¹, J. Alberto Escalante-Estrada^{1‡}, Leonardo Tijerina-Chávez¹, Víctor Volke-Haller¹ y Eliseo Sosa-Montes²

RESUMEN

El estudio se realizó durante el verano de 2002. Los tratamientos consistieron en la siembra en monocultivo y combinación de frijol Canario 107, Bayomex (hábito de crecimiento determinado), Michoacán (hábito de crecimiento indeterminado) y girasol cv. Victoria. La siembra se realizó el 25 de mayo de 2002 a la densidad de población de 4.2 y 8.3 plantas m⁻² de girasol y frijol, respectivamente, en un suelo de textura arcillosa, con un pH de 7.8 y se fertilizó con 100-100-00 de NPK. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. El sistema de siembra no afectó la fenología, el requerimiento térmico y la evapotranspiración de ambos cultivos. Las unidades calor (UC) y la evapotranspiración (ETc) de los cultivos de la siembra a la madurez fisiológica fueron 1521 UC y 279.6 mm para el cv. Victoria, 658 UC y 201.3 mm para Canario 107, 811 UC y 213.7 mm para Bayomex y 1041 UC y 241.7 mm para Michoacán. El agrosistema combinado de girasol y frijol fue más eficiente en el uso de los insumos para la producción agrícola. La combinación de girasol Victoria y frijol Michoacán mostró la eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia en el uso de la radiación (EUR) más alta y, en consecuencia, una mayor producción de biomasa y rendimiento. El uso equivalente de la tierra (UET) para el rendimiento de semilla obtenido con la combinación de Victoria más Canario 107, Victoria más Michoacán y Victoria más Bayomex fue de 1.6, 1.9 y 3.0, respectivamente, y muestra una ventaja en el rendimiento de los cultivos combinados sobre los monocultivos de 60, 90 y 200%, respectivamente.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

[‡] Autor responsable (jasee@colpos.mx)

² Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, estado de México.

Recibido: Mayo de 2004. Aceptado: Mayo de 2005.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 55-64.

Palabras clave: uso equivalente de la tierra, unidades calor, evapotranspiración, *Helianthus annuus L.*, *Phaseolus vulgaris L.*

SUMMARY

The study was conducted during the summer of 2002. The treatments were monocropping and intercropping the common bean Canario 107, Bayomex (determinate type), Michoacan (indeterminate type), and sunflower cv. Victoria. Sowing took place on May 25, 2002 at a population density of 4.2 (bean) and 8.3 (sunflower) plants m⁻², respectively, in a clay texture soil, with a pH of 7.8 and was fertilized with 100-100-00 of NPK. The experimental design was randomized blocks with four replications. In neither of the crops the phenology, heat units nor evapotranspiration were affected by the sowing system. The heat units (HU) and evapotranspiration (ETc) of the sown crops at physiological maturity were 1521 HU and 279.6 mm for cv. Victoria, 658 HU and 201.3 mm for Canario 107, 811 HU and 213.7 for Bayomex, and 1041 HU and 241.7 mm for Michoacan. The combined agrosystem of sunflower and bean was more efficient in the use of resources in agricultural production. The combination of the Victoria sunflower and the Michoacan bean showed higher efficiency in the use of water and in the use of radiation and, as a result, greater production of biomass and yield. The land equivalent ratio for seed yield obtained with the combination of Victoria plus Canario 107, Victoria plus Michoacan, and Victoria plus Bayomex was 1.6, 1.9, and 3.0, respectively. This shows an advantage for the yield of combined crops over monocrops by 60, 90, and 200%, respectively.

Index words: land equivalent ratio, heat units, evapotranspiration, *Helianthus annuus L.*, *Phaseolus vulgaris L.*

INTRODUCCIÓN

Ante la creciente demanda de alimentos y la necesidad actual de practicar una agricultura sostenible, los cultivos múltiples constituyen una alternativa viable por su potencialidad de producción y el uso eficiente de los recursos. La investigación agrícola se ha orientado de manera tradicional hacia el monocultivo y son limitados los trabajos sobre los cultivos como patrones de asociación. La necesidad de evaluar cultivares específicos para estos patrones de cultivo ha sido discutida (Francis, 1986b; Sarandón y Chamorro, 2003) y a partir de las evidencias encontradas se ha establecido la posibilidad de identificar nuevas combinaciones de especies y genotipos para siembras de cultivos asociados (Francis, 1986a). En recientes estudios se ha establecido que muchos de estos sistemas de producción presentan elevados rendimientos con relación a sus monocultivos (Marchiol *et al.*, 1992). Márquez (1977) mencionó que, en ocasiones, la siembra en asociación produce mayor rendimiento que el promedio de los monocultivos respectivos. Esto se debe al sinergismo y las razones de su ocurrencia no se conocen siempre bien. Comprender cómo los cultivos múltiples utilizan los recursos y el grado en que el microambiente de este sistema difiere en relación con el monocultivo, es una base científica para elegir cultivares que se adapten al sistema en las diferentes áreas agroecológicas (Francis *et al.*, 1977). Willey y Osiru (1972) han propuesto el concepto de uso equivalente de la tierra (UET), como un indicador de la eficiencia de los cultivos múltiples. Cuando el UET es menor que o igual a 1, no existen ventajas en la asociación sobre la siembra de los monocultivos. Sin embargo, cuando el UET es superior a 1, entonces se requerirá una mayor área de terreno por parte de los monocultivos para lograr el mismo rendimiento que cuando se realiza la siembra combinada. Por ejemplo, cuando el UET es igual a 1.25, esto indica que se necesita 25% más de superficie, para alcanzar, en condiciones de monocultivo, un rendimiento similar al de los cultivos asociados. Por otra parte, la contribución de los cultivos múltiples a la producción mundial de alimentos es del orden de 15 a 20% y para algunos países constituye la principal forma de producción agrícola, como en Colombia, donde 90% del frijol se obtiene en condiciones de asociación, en Brasil, 80% y, en Guatemala, 73% (Francis, 1986b). En México, se considera que la práctica de sembrar diferentes especies compartiendo el mismo espacio y

tiempo se ha realizado desde tiempos prehispánicos. La diversidad de factores ecológicos que prevalecen en las distintas áreas agrícolas del territorio nacional hace posible la asociación de cultivos de ciclo corto, entre las que destacan maíz-frijol, maíz-calabaza y maíz-haba (Ortiz, 1979). Sin embargo, no existe evidencia de siembra simultánea de girasol y frijol, pero por las características individuales de cada componente de la combinación, ésta podría ser factible para incrementar la eficiencia en el uso de los insumos agrícolas. El girasol (*Helianthus annuus* L.) es un cultivo que produce semillas ricas en aceite y proteína; el aceite obtenido se utiliza en la cocina, en la producción de margarina y en otros usos industriales. Después de la extracción del aceite, se produce una pasta rica en grasas y proteínas útil para la alimentación animal (Alba y Llanos, 1990; Escalante-Estrada, 1999). El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo básico en la dieta del pueblo mexicano. En el ciclo agrícola de 2002 la superficie cosechada de frijol en el estado de México fue de 21 273 ha, con un rendimiento medio de 809 kg ha⁻¹, siendo Texcoco y Zumpango los distritos agropecuarios donde se cosecharon casi las dos terceras partes del total, el tercio restante se produce asociado con maíz (SAGARPA, 2002). La asociación girasol-frijol podría constituir un agrosistema de producción más eficiente para aprovechar los recursos del agricultor y “amortiguar” las variaciones del ambiente que las siembras solas de una u otra especie. La competencia por energía solar es de vital importancia en los cultivos múltiples y en el sistema propuesto parece no constituir problema alguno, ya que el frijol alcanza su punto de fotosaturación a 743 $\mu\text{mol fotonos m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y el girasol se fotosatura a 1200 $\mu\text{mol fotonos m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Azcón *et al.*, 2004). Otras ventajas que presenta este agrosistema son la capacidad que tiene la raíz del girasol para profundizar en el suelo, lo cual facilita una mejor penetración y arraigo del sistema radical del frijol. Además, en suelos alcalinos, el frijol sufre severos daños debido a la baja disponibilidad de nutrientes por el pH elevado; al sembrarlo junto al girasol la raíz de esta especie excreta iones H⁺ que bajan el pH y favorecen el aprovechamiento de los micronutrientes por parte del frijol (Escalante, 1992). También esta combinación podría producir mayores ganancias económicas para el productor, por la cotización que tienen las semillas de girasol en el mercado, además de que le garantizaría el abasto de frijol para el autoconsumo. El objetivo del presente

estudio fue determinar si con la siembra combinada de girasol y frijol se hace un uso más eficiente de los insumos para la producción agrícola y, en consecuencia, se logra un rendimiento más alto, con relación a la siembra en unicultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante el ciclo primavera-otoño de 2002 en condiciones de temporal en un lote experimental en Montecillo, Estado de México (19° 29'N; 98° 54' O y 2250 msnm). El clima es de tipo BS1, que corresponde al menos seco de los áridos, con lluvias en verano, una temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 558.5 mm (García, 1988). Los tratamientos fueron siete y consistieron en la siembra en unicultivo de girasol y frijol, y la siembra combinada de los cultivares de frijol Canario 107 (C), Bayomex (B) (hábito de crecimiento determinado) y Michoacán (M) (hábito de crecimiento indeterminado) y el cultivar de girasol Victoria. La siembra se realizó el 25 de mayo de 2002 con una densidad de población de 4.2 (30 x 80 cm) y 8.3 (15 x 80 cm) plantas m⁻² de girasol y frijol, respectivamente. El suelo según la clasificación FAO (FAO-UNESCO, 1988) es de textura arcillosa, con un pH de 7.8 y un contenido de materia orgánica y N total de 3.87% y 0.20%, respectivamente. Se fertilizó con 100 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amonio) y 100 kg ha⁻¹ de P (superfosfato de calcio simple), aplicando todo el fósforo y la mitad del nitrógeno en el momento de la siembra, y el resto al realizar la escarda. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 5.0 x 3.2 m. Durante el desarrollo del experimento se registraron la temperatura máxima y mínima, la evaporación y la precipitación diaria. Las etapas fenológicas registradas para girasol fueron: días a emergencia (E), a inicio de anthesis (R5) y a madurez fisiológica (MF) (Schneiter y Miller, 1981); para frijol, días a emergencia (E), floración (R6) y madurez fisiológica (R9) (Escalante-Estrada y Kohashi-Shibata, 1993). Además, se determinó la acumulación de unidades calor por los cultivos mediante el método residual utilizando la ecuación (Snyder, 1985):

$$UC = (T_{max} + T_{min}) / 2 - TB$$

donde: T_{max} = temperatura máxima diaria (°C), T_{min} = temperatura mínima diaria (°C), TB = temperatura base o umbral (6 °C para girasol y 10 °C

para frijol); y la evapotranspiración del cultivo (ETc) (mm d⁻¹), la cual se calculó a partir de la evaporación de la cubeta clase A, utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro, y 0.6 y 0.65 como coeficiente de cultivo (Kc) para girasol y frijol, respectivamente (Doorenbos y Pruitt, 1986). De la estación meteorológica en Montecillo se recopilaron datos sobre la radiación global diaria (Rg) y se presentaron en MJ m⁻² d⁻¹ (MJ m⁻² ≈ 0.0419 cal cm⁻²) (Thimijan y Heins, 1983). La radiación fotosintéticamente activa (RFA) se obtuvo multiplicando el valor de la radiación global por 0.45 (Kohashi-Shibata, 1996). El uso equivalente de la tierra se determinó mediante la ecuación (Francis *et al.*, 1982):

$$UET = RGC/RGU + RFC/RFU$$

donde: UET = uso equivalente de la tierra, RGC = rendimiento de semilla de girasol combinado, RGU = rendimiento de semilla de girasol en unicultivo, RFC = rendimiento de frijol combinado, RFU = rendimiento de frijol en unicultivo. A la cosecha, se evaluaron la biomasa aérea total (BT) (g m⁻²) (sin incluir las hojas caídas del frijol), el rendimiento de semilla (peso de semilla a 10% de humedad) (g m⁻²) y el índice de cosecha (IC = rendimiento agronómico/rendimiento biológico). Se calculó la eficiencia en el uso del agua (EUA), EUA = biomasa total o rendimiento/evapotranspiración estacional (ETc) y la eficiencia en el uso de la radiación (EUR), EUR = biomasa total o rendimiento/RFA (radiación fotosintéticamente activa) acumulada durante el ciclo de cultivo. A las variables respuesta se les aplicó un análisis de varianza y, a aquellas con significancia estadística, la prueba de comparación de medias de Tukey, 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elementos del Clima

En la Figura 1, que presenta los datos de temperatura máxima (T_{max}), mínima (T_{min}) promedio decenal y la precipitación suma decenal, durante el ciclo del cultivo, se observa que el promedio decenal durante la estación de crecimiento de T_{max} fue entre 25 y 32 °C y la T_{min} entre 5 y 2 °C. La temperatura más alta ocurrió en la etapa vegetativa de los cultivos y, posteriormente, disminuyó conforme el ciclo de cultivo avanzó.

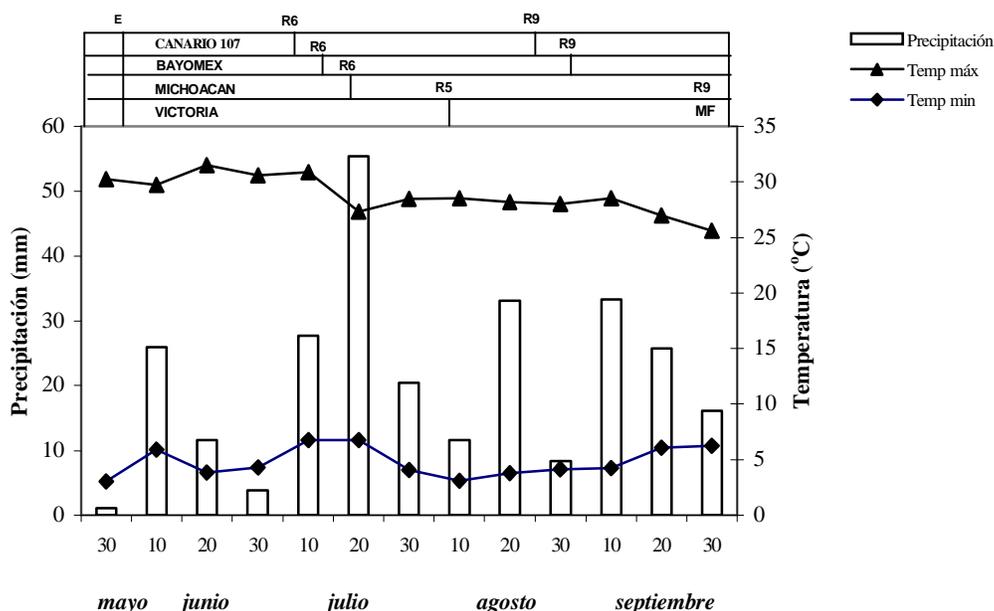


Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol y frijol en unicultivo y combinado. Montecillo, Méx. Verano 2002. E, R5, R6, R9 y MF se definen en Materiales y Métodos.

La precipitación estacional fue de 449.6 mm, de la cual 61.4% (276.1 mm) ocurrió durante el desarrollo del experimento; de ésta, 233.5 mm (84.6%) y 139.1 mm (47.2%) en la época de floración y llenado de grano en frijol y girasol, respectivamente. Como se aprecia en la Figura 1, durante la siembra la precipitación pluvial fue muy escasa por lo que se dio un riego de presiembra.

Fenología

En ambos cultivos, tanto en la siembra combinada, como en unicultivo las etapas fenológicas ocurrieron en tiempo similar. Así, la emergencia (E) de plántulas de girasol se presentó a nueve días después de la siembra (DDS), el periodo de emergencia a inicio de floración (R5) ocurrió a 68 días después de la emergencia (DDE). La madurez fisiológica se presentó a 111 DDE (120 DDS) (Figura 1). Estos resultados concuerdan parcialmente con lo reportado por Escalante-Estrada (1995), al evaluar la fenología del cv. Victoria en condiciones de secano intraestival encontró que la etapa de floración (R5) ocurrió a 45 DDS y la madurez fisiológica (R9) a 110 DDS. En los tres cultivares de frijol la emergencia (E) se presentó a 9 DDS, el inicio de la floración

(R6) para Canario 107, Bayomex y Michoacán fue de 34, 41 y 55 DDE, respectivamente, la madurez fisiológica (R9) en Canario 107 ocurrió a 83 DDE (93 DDS), en Bayomex a 94 DDE (103 DDS) y en Michoacán a 111 DDE (120 DDS) (Figura 1). La duración de las etapas fenológicas de los cultivares de frijol de crecimiento determinado (Canario 107 y Bayomex) e indeterminado (Michoacán) empleados en este estudio, fueron similares a las reportadas por Escalante-Estrada y Kohashi-Shibata (1993).

Unidades Calor

En la Figura 2, que presenta la acumulación de unidades calor (UC) con relación a los días después de la siembra y la fenología, puede observarse que se ajusta a una relación lineal. El requerimiento térmico de los cultivos no fue afectado por los sistemas de siembra. Las UC para el girasol cv. Victoria fueron 105 a la emergencia, 840 a inicio de la floración y 1521 a la madurez fisiológica. Olalde-Gutiérrez *et al.* (2000) reportaron valores similares para el cv. Victoria en la misma región del estado de México (Montecillo), donde la acumulación de UC para las etapas fenológicas fue 153, 869 y 1585 para la emergencia, inicio de floración y madurez fisiológica,

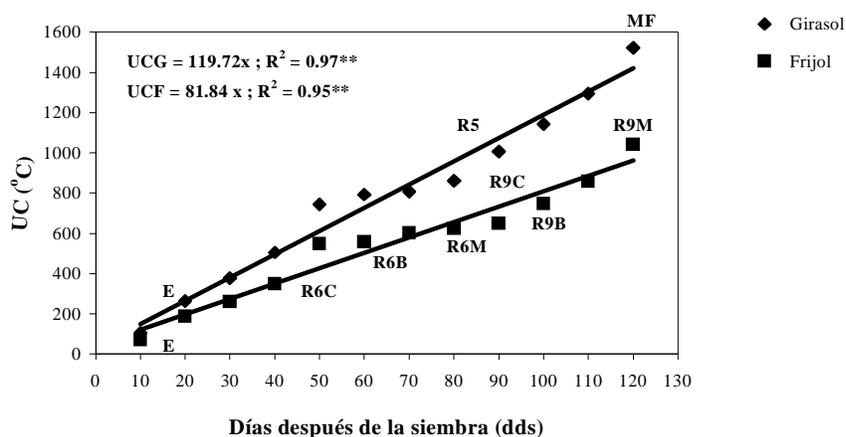


Figura 2. Unidades calor acumuladas en el agrosistema combinado girasol frijol y monocultivo. Montecillo, Méx. Verano 2002. E, R5, R6, R9, MF, C, B y M se definen en Materiales y Métodos.

respectivamente. En frijol, se encontraron diferencias entre cultivares en la acumulación de calor, que estuvieron relacionadas con el ciclo biológico del cultivar. Las UC a la emergencia en los tres cultivares fue de 69, mientras que de la siembra a la floración y madurez fisiológica fue de 504 y 658 UC para Canario 107, 549 y 811 UC para Bayomex y 557 y 1041 UC para Michoacán. Escalante *et al.* (2001) encontraron resultados opuestos cuando evaluaron la producción de frijol cv. Michoacán 12-A-3 en dos épocas de siembra en clima cálido y su relación con las unidades calor. Para siembras invernales, las UC oscilaron entre 1296 y 1679 y, para siembras de verano, entre 1198 y 1763 UC; este incremento en el tiempo térmico se debió probablemente a que la temperatura diaria en Iguala, Guerrero fue más elevada que en Montecillo, estado de México.

Evapotranspiración

En la Figura 3, que presenta la evapotranspiración (ETc) acumulada de ambos cultivos, en relación con los días después de la siembra y la fenología, puede observarse que se ajusta a una relación lineal. La ETc de ambas especies no fue afectada por el sistema de siembra, pero entre cultivares sí hubo diferencias. Para girasol, la ETc de la siembra a la emergencia fue de 15.1 mm, en el periodo de emergencia a antesis 184.9 mm y de antesis a madurez fisiológica 79.6 mm. La ETc acumulada durante todo el ciclo de cultivo fue de 279.6 mm. Estos resultados difieren de

los reportados por Escalante (1995) quien, al cultivar girasol cv. Victoria en condiciones de secano en clima Cw con una temperatura media de 19 °C (3.5 °C más que la temperatura media en el área de estudio) encontró que la ETc acumulada fue de 371 mm; estos cambios pueden atribuirse a las marcadas diferencias en la temperatura ambiental que existen entre las localidades de Montecillo, México y Córdoba, España, lugares donde se efectuaron las investigaciones. Asimismo, Olalde *et al.* (2001) encontraron una ETc de 341 mm para el cv. Victoria en Montecillo, México, la diferencia entre esa ETc y la reportada en este estudio (279.6 mm), se debe a la mayor precipitación ocurrida durante el ciclo del cultivo en el año 2001 (382 mm), con relación a la ocurrida durante el desarrollo de esta investigación (276.1 mm). En frijol, la ETc de la siembra a la emergencia fue de 13.2 mm en los tres cultivares, siendo la mayor proporción de la ETc evaporación directa del suelo. De emergencia a inicio de floración y de inicio de floración a madurez fisiológica, la ETc fue de 94.6 mm y 95.3 mm para Canario 107, de 117.1 mm y 83.4 mm para Bayomex y de 152.6 mm y 75.8 mm para Michoacán, respectivamente. La ETc estacional para Canario 107 fue de 203.1 mm, para Bayomex de 213.7 mm y para Michoacán de 241.7 mm, dicha variación se debe a la diferencia en los ciclos de cultivo de cada cultivar. Una ETc acumulada similar (214 mm) reportaron Escalante *et al.* (2001) en frijol cv. Michoacán 12-A-3 sembrado en clima cálido en época invernal.

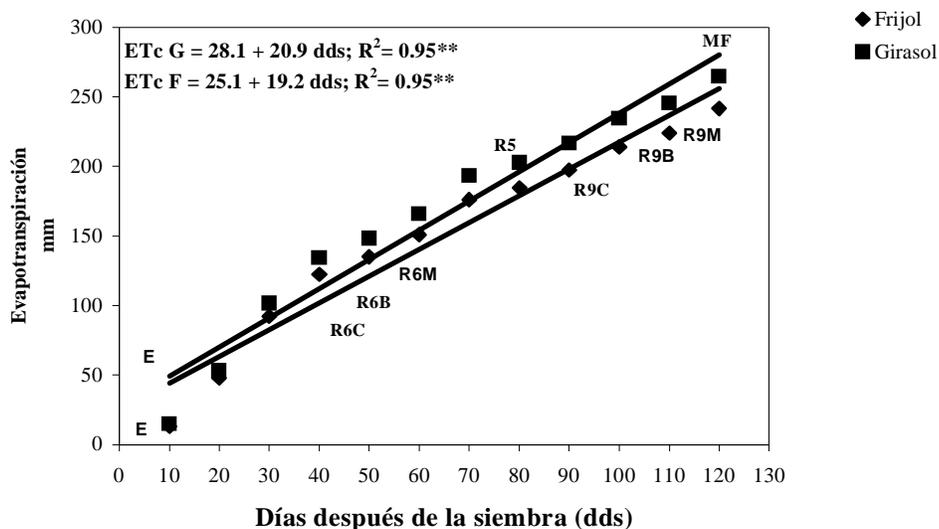


Figura 3. Evapotranspiración acumulada en el agrosistema combinado girasol-frijol y en unicultivo. Montecillo, Méx. Verano 2002. E, R5, R6, R9, MF, C, B y M se definen en Materiales y Métodos.

Biomasa Total, Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) y Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR)

La biomasa total de los cultivos combinados fue significativamente superior a la de los unicultivos (Cuadro 1). La mayor producción de biomasa 2926 g m^{-2} se logró con la combinación del girasol cv. Victoria y frijol Michoacán; seguida de girasol y frijol Bayomex con 1892 g m^{-2} y la biomasa más baja correspondió a girasol y frijol Canario 107 con 1399 g m^{-2} . Esto concuerda con lo reportado por Kruk

y Satorre (2003), quienes indicaron que con la asociación de especies se logra un incremento en la producción de biomasa con relación a los cultivos puros. En otros estudios se reportan tendencias similares en la producción de biomasa al evaluar maíz y frijol asociados, con relación a sus unicultivos en diferentes ambientes (Rezzende y Ramalho, 1994) y empleando diferentes cultivares de maíz y frijol (Francis *et al.*, 1982; Añez y Tavera 1986; Noguera *et al.*, 1989). Por otro lado, en unicultivo la biomasa más alta correspondió al frijol Michoacán, con 1336 g m^{-2} seguido de Bayomex, Canario 107 y girasol

Cuadro 1. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de semilla de girasol y frijol en unicultivo y combinados. Montecillo, México. Verano 2002.

Tratamientos	Biomasa total	Rendimiento	Índice de cosecha
	----- g m^{-2} -----		%
Victoria	1165 c	381 c	33 a
Michoacán	1336 bc	289 d	22 bc
Bayomex	573 d	60 e	10 d
Canario 107	277 d	42 e	15 cd
Victoria + Michoacán	2926 a	638 a	22 bc
	(54% + 46%)	(55% + 45%)	
Victoria + Bayomex	1892 a	501 b	26 ab
	(69% + 31%)	(76% + 24%)	
Victoria + Canario 107	1399 b	367 c	26 ab
	(80% + 20%)	(92% + 8%)	
Prob F	**	**	**
DSH _{0.05}	564	54	9.9

** = $P \leq 0.01$. En el paréntesis () la primera cifra se refiere al girasol. 0.05 = 5% de probabilidad.

cv. Victoria con 573, 277 y 1165 g m⁻², respectivamente. La menor cantidad de biomasa producida por el girasol cv. Victoria, respecto al frijol cv. Michoacán, fue debida a la mayor densidad de población de frijol (8.3 plantas m⁻²) sobre girasol (4.2 plantas m⁻²).

La mayor producción de biomasa en el cultivo combinado es resultado de una mayor eficiencia en el uso de los insumos para la producción. Así, la eficiencia en el uso del agua (EUA) más alta se encontró con la combinación cv. Victoria + Michoacán con 9.7 g m⁻² mm⁻¹, seguida de cv. Victoria + Bayomex con 6.9 g m⁻² mm⁻¹ y cv. Victoria + Canario 107 con 5.6 g m⁻² mm⁻¹. La EUA más baja correspondió al unicultivo de frijol Canario 107 y Bayomex con 1.4 y 2.7 g m⁻² mm⁻¹, respectivamente (Figura 4).

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) acumulada durante el ciclo de cultivo fue de 904 MJ m⁻². En ese sentido, la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) fue más alta en los cultivos combinados con respecto al unicultivo. En la Figura 5, se observa que la EUR de los agrosistemas combinados de girasol cv. Victoria y frijol Michoacán, cv. Victoria y Bayomex, y cv. Victoria y Canario 107 fueron 3.2, 2.1 y 1.6 g m⁻² MJ⁻¹, superior a la obtenida por el unicultivo de cv. Victoria, Michoacán, Bayomex y Canario 107 con valores de 1.2, 1.5, 0.6 y 0.3 g m⁻² MJ⁻¹, respectivamente. Se asume que la mayor EUA y la mayor EUR están relacionadas con una temprana cobertura del dosel vegetal generada por el cultivo combinado, como

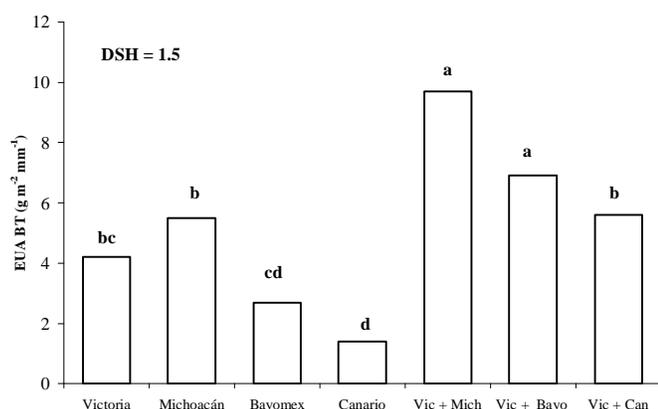


Figura 4. Eficiencia en el uso del agua (EUA) en la producción de biomasa en el agrosistema combinado girasol-frijol y unicultivo. Montecillo, Méx. Barra con letra distinta representa la diferencia significativa honesta (DSH_{0.05}).

reportaron Escalante-Estrada (1995) y Olalde-Gutiérrez *et al.* (2000).

Índice de Cosecha (IC)

En esta variable se observaron cambios significativos por efecto de tratamientos (Cuadro 1). Con la siembra combinada de girasol y los cvs. Bayomex y Canario 107 se logró un índice de cosecha de 26%, que fue superior al de estos cultivares de frijol en condiciones de unicultivo. El IC de Michoacán fue similar en ambos sistemas de siembra (22%). El girasol en unicultivo mostró el IC más alto (33%) con relación a los tratamientos en estudio (Cuadro 1). Fukai (1993) reportó tendencias similares en siembras de maíz con haba, en el cual el IC del cultivo combinado fue superior al unicultivo de ambas especies. Estos resultados sugieren que, a excepción del unicultivo de girasol, mediante la siembra combinada de girasol y frijol, puede lograrse una mayor asignación de materia seca hacia el grano. En ese sentido, Sarandón y Chamorro (2003) indicaron que el incremento en el índice de cosecha en los cultivos combinados se debe al patrón de siembra y a la mayor densidad de plantas que estos sistemas tienen sobre los unicultivos. Con la mayor densidad de plantas se logran coberturas de terreno más tempranas y un mayor dosel vegetal, lo que representa una mayor captación de la radiación interceptada. Aumentos en la radiación interceptada por el cultivo incrementan la producción de fotoasimilados, los cuales, al ser exportados a los órganos de interés económico, contribuyen a incrementar el índice de cosecha.

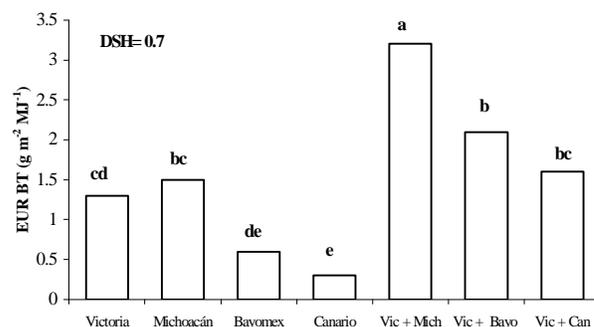


Figura 5. Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) en la producción de biomasa en el agrosistema combinado girasol-frijol y unicultivo. Montecillo, Méx. Verano 2002. Barra con letra distinta representa la diferencia significativa honesta (DSH_{0.05}).

Rendimiento de Grano, Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) y Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR)

En el Cuadro 1, se muestra que el sistema del cultivo combinado supera al rendimiento de monocultivos. Las combinaciones de girasol cv. Victoria y frijol Michoacán y cv. Victoria y Bayomex mostraron el rendimiento más alto con 638 y 501 g m⁻², respectivamente, con relación al resto de los tratamientos. Aunque el rendimiento de girasol cv. Victoria y frijol Canario 107 (367 g m⁻²) superó al del monocultivo de frijol, fue similar al del monocultivo de girasol (381 g m⁻²). El rendimiento de Michoacán, Bayomex y Canario 107 en monocultivo fue de 289, 60 y 42 g m⁻², respectivamente. En ese sentido, la mayor producción de grano en los cultivos asociados fue debida al mejor aprovechamiento de los recursos (luz y agua) (Kruk y Satorre, 2003). Con la siembra combinada de girasol cv. Victoria y frijol Michoacán se logró una eficiencia en el uso del agua y eficiencia en el uso de la radiación más alta (Figuras 6 y 7).

Uso Equivalente de la Tierra (UET)

Con relación al monocultivo, con los cultivos combinados de girasol y frijol se logró un mayor uso equivalente de la tierra (UET) (Figura 8). El UET con las combinaciones cv. Victoria y Canario 107; cv. Victoria y Michoacán y cv. Victoria + Bayomex fue superior en 60, 90 y 200%, respectivamente, a cualquier monocultivo. Tendencias similares se han encontrado en otros estudios como los de Kruk y

Satorre (2003) quienes, al combinar girasol y maíz, reportaron un UET de 1.99; y, en Cuba, al intercalar frijol con calabaza, se logró un UET de 1.35 (Hernández *et al.*, 1998). El UET más bajo del agrosistema cv. Victoria y Michoacán con relación a cv. Victoria y Bayomex puede ser explicado por una mayor competencia que ejerció el frijol Michoacán (hábito de crecimiento indeterminado), por su ciclo más largo, sobre el girasol, que se tradujo en un rendimiento más bajo de este último, lo que concuerda con lo reportado por Kandel y Schneiter (2004) en un estudio en el cual intercalaron girasol y frijol de guía. Se señala que con las características del suelo, que no son muy apropiadas para el cultivo del frijol, puede lograrse una mayor producción mediante la combinación de cultivos girasol y frijol y que con una inversión similar de insumos se puede elevar la producción mediante este agrosistema.

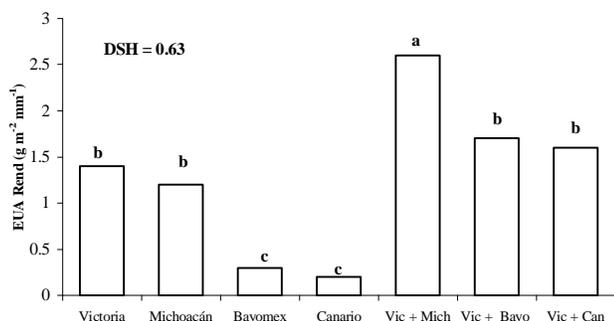


Figura 6. Eficiencia en el uso del agua (EUA) en la producción de semilla en el agrosistema combinado girasol-frijol y monocultivo. Montecillo, Méx. Verano 2002. Barra con letra distinta representa la diferencia significativa honesta (DSH_{0.05}).

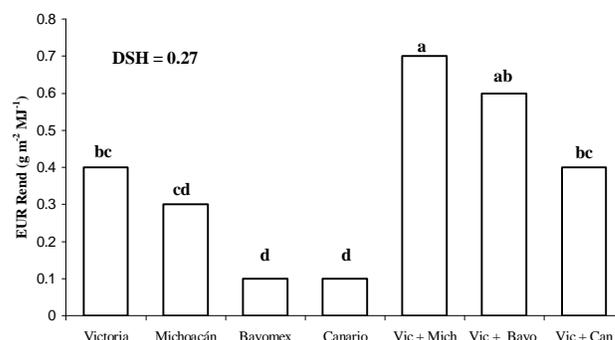


Figura 7. Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) en la producción de semilla en el agrosistema combinado girasol-frijol y monocultivo. Montecillo, Méx. Barra con letra distinta representa la diferencia significativa honesta (DSH_{0.05}).

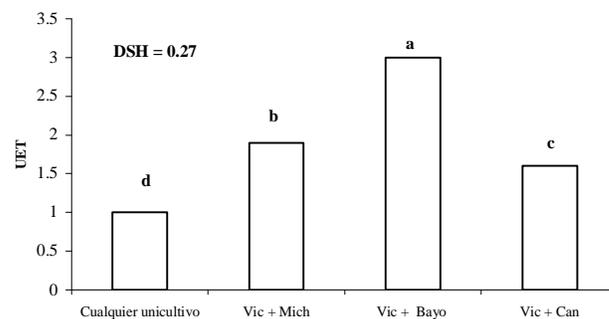


Figura 8. Uso equivalente de la tierra (UET) para el rendimiento de semilla en el agrosistema combinado girasol-frijol y monocultivo. Montecillo, Méx. Verano 2002. Barra con letra distinta representa la diferencia significativa honesta (DSH_{0.05}).

CONCLUSIONES

- Con la siembra combinada de girasol y frijol se hace un uso más eficiente de los insumos para la producción agrícola y, en consecuencia, se logra un rendimiento más alto que la siembra en monocultivo.
- Con la siembra combinada de girasol cv. Victoria y frijol Michoacán se logran una eficiencia en el uso del agua y eficiencia en el uso de la radiación más alta y, en consecuencia, una mayor producción de biomasa y rendimiento.
- Con la siembra de cultivos combinados se logra una mayor eficiencia en el uso del suelo para la producción agrícola.

LITERATURA CITADA

- Alba-Ordoñez, A. y M. Llanos-Company. 1990. El cultivo del girasol. Agroguías Mundiprensa. Madrid, España.
- Añez, B. y E. Tavira. 1986. Producción de la asociación maíz – frijol, según población, fertilización nitrogenada y momento de siembra. Turrialba 36: 499-507.
- Azcón-Bieto, J., A. Pardo, N. Gómez-Casanovas, J.J. Irigoyen y M. Sánchez-Díaz. 2004. Respuestas de la fotosíntesis y la respiración en un medio ambiente variable. pp. 873-899. *In*: Reigosa, M., N. Pedrol y A. Sánchez (eds.). La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis. Paraninfo. Madrid, España.
- Doorenbos, J. y W.O. Pruitt. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. Manual 24. Riego y Drenaje. Food and Agriculture Organization. Roma, Italia.
- Escalante E., J.A. 1992. Interacción entre el nitrógeno y la densidad de población en el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) bajo suministro limitado de agua. Tesis doctoral. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
- Escalante-Estrada, J.A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. Agroproductividad 3: 28-32.
- Escalante-Estrada, J.A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Terra 17: 149-157.
- Escalante-Estrada, J.A y J. Kohashi-Shibata. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Escalante-Estrada, J.A., L.E. Escalante-Estrada y M.T. Rodríguez-González. 2001. Producción de frijol, en dos épocas de siembra: su relación con la evapotranspiración, unidades calor y radiación solar en clima cálido. Terra 19: 309-315.
- FAO-UNESCO. 1988. Mapa mundial de suelos. Organización de las Naciones Unidas. Roma, Italia.
- Francis, C.A. 1986a. Distribution and importance of multiple cropping. pp. 1-19. *In*: Francis, C.A. (ed.). Multiple cropping systems. MacMillan. New York.
- Francis, C.A. 1986b. Variety development for multiple cropping systems. Critical reviews in plant sciences. Crit. Rev. Plant Sci. 3: 133-168.
- Francis, C.A., C.A. Flor y M. Prage. 1977. Effects of bean association on yield and yield components of maize. Crop Sci. 18: 245-247.
- Francis, C.A., M. Prager y G. Tejada. 1982. Density interactions in tropical intercropping. I. Maize and climbing bean. Field Crop Res. 5: 163-176.
- Fukai, S. 1993. Intercropping: bases of productivity. Field Crop Res. 34: 239-245.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema climático de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. Talleres Offset Larios. México, D.F.
- Hernández, A., R. Santos y A. Casanova. 1998. Clasificación y principios básicos de los sistemas de cultivos múltiples o policultivo. Agric. Org. (La Habana) 4(2): 6-11.
- Kandel, H.J. y A.A. Schneiter. 2004. Intercropping legumes in sunflower to increase surface residue. Crop and Weed Sciences Department, North Dakota State University. Fargo, ND.
- Kohashi-Shibata, J. 1996. Aspectos de la morfología y fisiología del frijol *Phaseolus vulgaris* L. y su relación con el rendimiento. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Kruk, B. y E.H. Satorre. 2003. Densidad y arreglo espacial del cultivo. pp. 279-318. *In*: Satorre, E.H., R.L. Benech-Arnold, G.A. Slafer, E.B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui y R. Savin (eds.). Producción de cultivos de granos. Bases funcionales para su manejo. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Marchiol, L., F. Miceli, M. Pinosa y G. Zerbi. 1992. Intercropping of soybean and maize for silage in Northern Italy: effects of nitrogen levels and plant density on growth, yield and protein content. Eur. J. Agron. 3: 207-211.
- Márquez-Sánchez, F. 1977. Clasificación tecnológica de los sistemas de producción agrícola (Agrosistemas) según los ejes espacio y tiempo. pp. 255-273. *In*: Hernández-Xolocotzi, E. (ed.). Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Noguera, N., D. Marín y J. Vera. 1989. Evaluación ecofisiológica de cultivos asociados Canavalia – Sorgo. Agron. Trop. 39: 45-61.
- Olalde-Gutiérrez, V.M., J.A. Escalante-Estrada, P. Sánchez-García, L. Tijerina-Chávez, E.M. Engleman-Clark y A.A. Mastache-Lagunas. 2000. Eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno y rendimiento del girasol, en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. Terra 18: 51-59.
- Olalde-Gutiérrez, V.M., J.A. Escalante-Estrada y A.A. Mastache-Lagunas. 2001. Phenology, yield and water use efficiency of sunflower in function of environment and nitrogen. Helia 24(35): 111-128.
- Ortiz-Cereceres, J. 1979. Cultivos asociados o intercalados en México: evaluación. Econotecnia Agrícola 3(7): 1-40.
- Rezzende, G.D. y M.A. Ramalho. 1994. Competitive ability of maize and common bean cultivars intercropped in different environments. J. Agric. Sci. 123: 185-190.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2002. Servicio de información estadística, agroalimentaria y pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola por distrito de desarrollo. Toluca, estado de México.
- Sarandón, S.J. y A.M. Chamorro. 2003. Policultivos en los sistemas de producción de granos. pp. 353-372. *In*: Satorre, E.H., R.L. Benech-Arnold, G.A. Slafer, E.B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui y R. Savin (eds.). Producción de cultivos de granos. Bases funcionales para su manejo.

- Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
Buenos Aires, Argentina.
- Schneiter, A.A. y J.E. Miller. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.* 21: 901-903.
- Snyder, R.L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Thimijan, W.R. y R.D. Heins. 1983. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. *Hort. Sci.* 18: 818-822.
- Willey, R.W. y D.S. Osiru. 1972. Studies on mixture of maize and beans with particular reference to plant populations. *J. Agric. Sci.* 79: 519-529.

INOCULACIÓN MICORRÍZICA Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE DOS LEGUMINOSAS ARBÓREAS

Mycorrhizal Inoculation and its Effect on the Growth of Two Arboreous Leguminosae

M. Hernández-Martínez¹, V.M. Cetina-Alcalá¹, M.C. González-Chávez^{2‡} y C.T. Cervantes-Martínez³

RESUMEN

Se estudió en invernadero el efecto de la inoculación con *Glomus intraradices* FS-18 (antes *Glomus intraradix*), el complejo micorrízico *Glomus* spp. Zac-19 (compuesto por tres especies) y *Gigaspora rosea* BEG-111 en el crecimiento de *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa* en dos tipos de suelo (forestal y agrícola) y un tepetate. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones en arreglo factorial de 4 x 3 x 2. La evaluación se realizó en intervalos de 14 días, durante un período de 126 días. Se consideraron las características: altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas formadas y, al final de este período, se evaluaron número de hojas presentes y caídas, área foliar, peso seco de la parte aérea, peso seco, volumen y longitud de raíz, contenido de fósforo en follaje y colonización micorrízica. Los resultados muestran que en suelo forestal y tepetate las plantas inoculadas presentaron en casi todas las variables, valores superiores a los tratamientos sin inocular. En el suelo agrícola, las plantas inoculadas, a pesar de presentar los máximos valores promedio, no manifestaron diferencia significativa en relación con las plantas testigo (no inoculadas). Esto sugiere que este efecto se debió a las características físicas y químicas del suelo, principalmente, su contenido nutrimental. A pesar de no apreciarse diferencia significativa entre los inóculos utilizados, las mejores respuestas se observaron con *Glomus* spp. Zac-19. Al mejorar el crecimiento de las plantas micorrizadas se muestra el potencial de la inoculación micorrízica en

la producción de plantas vigorosas en vivero, logrando que éstas puedan ser competitivas en sustratos con bajo contenido de nutrimentos.

Palabras clave: hongo micorrízico arbuscular, tepetate, *Acacia farnesiana*, *Prosopis glandulosa*.

SUMMARY

The effect of two soils (forest and agricultural), and tepetate and inoculation with *Glomus* spp. Zac-19, *G. intraradices* FS-18 and *Gigaspora rosea* BEG-111 on *Acacia farnesiana* and *Prosopis glandulosa* was studied. A greenhouse experiment using randomized blocks with three replicates with a factorial arrangement 4 x 3 x 2 was established. Evaluations were carried out every 14 days during 126 days. The variables evaluated were plant height, stem diameter, and leaf number. Additionally, at 126 days, leaf area, aerial and root dry weight, root volume and length of roots, phosphorus content of foliage, and mycorrhizal colonization were evaluated. Inoculated plants showed higher values than non-inoculated plants in most evaluated variables in forest soil and tepetate. Inoculated plants growing in the agricultural soil had maximum values in the evaluated variables, but they did not show significant differences in comparison to non-inoculated plants (control). This suggests that physical and chemical characteristics in this soil, such as nutrient content, had more influence on plant growth than inoculation. There were no statistical differences among fungi; however, *Glomus* spp. Zac-19 produced better numeric response. Mycorrhizal inoculation may help to produce healthier and more vigorous plants in the nursery, giving them an advantage to compete in environments with low nutrients content.

Index words: arbuscular mycorrhizal fungi, tepetate, *Acacia farnesiana*, *Prosopis glandulosa*.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Texcoco, estado de México.

[‡] Autor responsable (carmeng@colpos.mx)

³ División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Texcoco, estado de México.

INTRODUCCIÓN

En México, aún se desconoce en gran medida la función que pueden desempeñar los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados con las plantas de interés forestal. Diversos autores coinciden con las ventajas que la inoculación presenta en la producción de plantas, destacando la estimulación del enraizamiento y crecimiento, el aumento en la supervivencia y el desarrollo durante la aclimatación de plantas micropropagadas, la reducción de requerimientos externos de fosfato, la uniformidad en la producción, el aumento de la tasa fotosintética, el incremento en la resistencia de las plantas al ataque de patógenos que afectan a la raíz, la resistencia a sequía, la salinidad y los metales pesados, principalmente (González-Chávez *et al.*, 1998; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999; Manjarrez-Martínez *et al.*, 2000). Estas ventajas se han reportado en algunas leguminosas arbóreas, como: *Prosopis* spp. (Cardona y Ocampo, 1985), *Acacia* spp. (Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990) y *Leucaena* sp. (De Lucena *et al.*, 1991; Thatoi *et al.*, 1993).

El tipo de suelo o sustrato de crecimiento de la planta hospedera es un factor que tiene gran influencia en el comportamiento de los HMA; éstos, en general, se han evaluado en vivero y muy pocos en campo. Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato (1990) utilizaron tepetate y la inoculación en *Acacia cianophylla* y observaron que los brinzales inoculados presentaron crecimiento equivalente al obtenido con altas dosis de fertilización fosfatada. Ellos sugirieron que el uso de los HMA en plantas propagadas en vivero resulta benéfico para la implementación de programas de plantación con fines de rehabilitación y conservación de suelos.

Por otra parte, para obtener éxito en la simbiosis entre el hongo y la planta es indispensable hacer una selección de la especie micorrízica a inocular, ya que las diversas especies tienen comportamientos diferentes dependiendo del hospedante con el que se asocie.

Con base en los beneficios señalados anteriormente, es necesario implementar en los viveros forestales de México y otros países, un programa de inoculación que garantice la supervivencia y el desarrollo de la planta en campo; ya que, probablemente, la ausencia de HMA apropiados a la planta sea una de las razones principales de la mortandad de las plantas jóvenes. Bajo este contexto, la presente investigación plantea

la selección de la asociación más eficiente para promover el crecimiento de especies como *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa* considerando HMA y sustratos de crecimiento. De esta manera, se espera contribuir al conocimiento del manejo de los HMA para la obtención de planta de calidad para los programas de reforestación, ya que estas plantas representan una opción para la recuperación de suelos y la obtención de madera, leña para carbón, forraje, taninos y aceite.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en invernadero, ubicado a una altitud de 2240 m. Se utilizaron semillas de *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa*. Las primeras se colectaron en el Rancho Banthí, San Juan del Río, Queretaro (20° 23' 11" N y 99° 56' 34" O), a una altitud de 1987 m, y las segundas en San Martín de las Vacas, Ramos Arizpe, Coahuila (25°32'55" N y 101°12'44" O) a una altitud de 1730 m.

Previo a la siembra, se efectuaron pruebas de germinación. En ambas especies se utilizó como tratamiento pregerminativo ácido sulfúrico concentrado. Las semillas de *A. farnesiana* se sumergieron durante 60 min y *P. glandulosa* por 6 min. La siembra se realizó en charolas de plástico, con una mezcla de sustratos de agrolita, vermiculita y turba en proporción 1:1:1 v/v. La mezcla se esterilizó en autoclave a una presión de 18 libras de vapor (121 °C) durante 2 h.

El trasplante se efectuó a 35 días después de la siembra (DDS), tiempo en que todas las plantas presentaron raíces secundarias, primeras hojas verdaderas y aproximadamente 5 cm de altura. Las plántulas se trasplantaron a envases de plástico color negro de 14 cm de diámetro por 30 cm de largo, conteniendo suelo forestal, agrícola o tepetate. La inoculación se realizó en el momento del trasplante de manera directa a la raíz, aplicando 10 g de inóculo por planta (González-Chávez *et al.*, 1998). Los HMA utilizados fueron *Glomus* spp. Zac-19 (consorcio fúngico que contiene *G. claroideum*, *G. diaphanum*, *G. albidum*), *G. intraradices* FS-18 y *Gigaspora rosea* BEG-111, los cuales se produjeron en condiciones controladas en sorgo y en arena como sustrato. Previo a su utilización, se determinó el porcentaje de colonización total, observándose que las raíces estuvieron colonizadas en 88% con *Glomus* spp. Zac-19, 76.6% con *G. intraradices* FS-18 y 58.3% con *Gi. rosea* BEG-111. Asimismo,

se cuantificó el número de esporas en 10 g de suelo-inóculo por el método de tamizado en húmedo y decantación (Gerdermann y Nicolson, 1963). En *Glomus* spp. Zac-19 se observó un promedio de 32 esporas, en *G. intraradices* de 162 esporas y en *Gi. rosea* de 129 esporas. En el Cuadro 1, se muestran las características físicas y químicas de los dos suelos (agrícola y forestal) y del tepetate. Estos se fumigaron con bromuro de metilo durante 72 h.

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones en un arreglo factorial de 4 x 3 x 2. El primer factor contempla las cepas de HMA; el segundo representa dos tipos de suelo y tepetate, y el último a las dos especies leguminosas, conformando de esta manera 24 tratamientos. Las unidades experimentales estuvieron compuestas por parcelas de 10 plantas.

El análisis estadístico consistió en un análisis descriptivo de la información, para verificar los supuestos del análisis de varianza, mediante el procedimiento UNIVARIATE de SAS, Versión 8.1 (SAS Institute, 2000); análisis de varianza y prueba de F para cada variable, con el procedimiento MIXED de SAS, Versión 8.1 (SAS Institute, 2000). Para las variables altura (Al), diámetro de tallo (DT) y número de hojas formadas (NHF), se incluyó dentro del análisis de varianza, días después del trasplante (DDT) como un factor de medida repetida (Gómez y Gómez, 1984). Finalmente, se efectuó una comparación múltiple de medias para las fuentes de variación que mostraron diferencias significativas al 0.05 de probabilidad en el análisis de varianza, a través de la prueba de la diferencia mínima significativa protegida por la prueba de F (Gómez y Gómez, 1984), utilizando el procedimiento MIXED de SAS, Versión 8.1 (SAS Institute, 2000).

La evaluación se realizó a intervalos de 14 días durante un período de 126 DDT. Se evaluaron cinco plantas en competencia completa por unidad experimental y por cada repetición. Las características

estudiadas fueron: altura (Al), tomada del cuello de la raíz a la yema apical; diámetro de tallo (DT), medido a 2 cm arriba del cuello de la raíz, y número de hojas formadas (NHF). Al final de este período (126 DDT), se cosecharon tres de las cinco plantas por parcela y repetición, para determinar el número de hojas presentes (NHP) y caídas (NHC), área foliar (AF), peso seco de raíz (PSR), tallo (PST) y hojas (PSH), volumen radical (VR) y la longitud del sistema radical principal (LR), contenido de fósforo en follaje por el método de fósforo por colorimetría y colonización micorrízica por el método de clareo y tinción (Phillips y Hayman, 1970).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del Suelo en el Crecimiento

Las dos especies vegetales en estudio (*A. farnesiana* y *P. glandulosa*) crecieron mejor en el suelo agrícola con incrementos (%) con respecto a las plantas no inoculadas en Al (30 y 80%), DT (18 y 33%), NHF (14 y 39%), NHC (34 y 14%), AF (74 y 271%), PSH (88 y 500%), PST (108 y 450%), PSR (86 y 400%) y VR (61 y 145%). En la presente investigación, el suelo agrícola presentó altas concentraciones de fósforo y potasio, lo que sugiere que las diferencias en el crecimiento de las plantas se debieron a estos factores, como mencionado por Salisbury y Ross (1994).

No se observó respuesta significativamente diferente al comparar el crecimiento de las leguminosas en el suelo forestal y tepetate en todas las variables señaladas (Cuadro 2). En el suelo agrícola, el incremento en altura de *P. glandulosa* se empezó a observar a 56 DDT, mientras que en *A. farnesiana* fue a partir de 70 DDT. Así también, incremento significativo en DT y NHF en las dos especies, se observó a 56 DDT (Figura 1). Se destaca que en los primeros 42 DDT no existió diferencia estadística

Cuadro 1. Características físicas y químicas de los suelos (forestal y agrícola) y el tepetate utilizados para el establecimiento de *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa*.

Sustrato [†]	Textura	pH 1:2	CE [‡]	MO [§]	N	P	K	Ca	Mg
			dS m ⁻¹	----- % -----	-----	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----
Forestal	Franco arenoso	6.0	0.18	10.99	0.55	10	0.96	13.30	2.50
Agrícola	Franco arcilloso	8.0	2.30	3.71	0.19	111	17.63	35.93	12.60
Tepetate	Franco arenoso	7.0	0.14	1.92	0.10	11	2.02	12.30	1.50

[†] Procedencia: tepetate, San Pablo, Edo. de Méx.; suelo agrícola, Colegio de Postgraduados, Edo. de Méx y suelo forestal, Tequexquináhuac, Edo. de Méx. Suelos y tepetate colectados en los primeros 30 cm de profundidad. [‡] CE = conductividad eléctrica, [§] MO = materia orgánica.

Cuadro 2. Efecto de dos tipos de suelo y tepetate sobre el crecimiento de *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa* a los 126 días después del transplante.

Especie	Sustrato	Altura	Diámetro de tallo	Número. de hojas		Área foliar	Peso seco			Longitud radical	Volumen radical
				Formadas	Caídas		Hoja	Tallo	Raíz		
		cm	mm			cm ²	g			cm	cm ³
<i>A. farnesiana</i>	Forestal	25.7 b	2.4 b	20.1 b	10.6 a	44.5 b	0.8 b	1.1 b	0.7 b	37.3 a	2.7 b
	Agrícola	32.4 a	2.9 a	22.4 a	3.5 b	69.2 a	1.6 a	2.4 a	1.4 a	33.1 b	4.1 a
	Tepetate	24.1 b	2.5 b	19.1 b	9.9 a	34.9 b	0.9 b	1.2 b	0.8 b	37.4 a	2.4 b
<i>P. glandulosa</i>	Forestal	16.6 b	1.9 b	14.0 b	7.6 a	40.1 b	0.3 b	0.5 b	0.2 b	38.4 b	1.2 b
	Agrícola	27.2 a	2.4 a	18.1 a	1.1 b	120.8 a	1.2 a	2.2 a	1.0 a	41.6 a	2.7 a
	Tepetate	13.8 b	1.7 b	12.1 b	7.6 a	25.0 b	0.1 b	0.3 b	0.2 b	42.4 a	1.0 b

Medias con la misma letra en la misma columna dentro de la misma especie son iguales a $\alpha = 0.05$ (según la prueba de la diferencia mínima significativa protegida por la prueba de F).

significativa en las tres principales características estudiadas (AI, DT y NHF), debido quizá a que las plantas aun se encontraban en proceso de adaptación y asimilación de los elementos nutrimentales presentes en los suelos y tepetate (González-Chávez *et al.*, 1998).

En general, estos resultados indican que las propiedades del suelo o del tepetate influyen la producción de plantas. En México, el uso del suelo forestal es generalizado, ya sea sólo o en combinación con otros sustratos, por lo que el suelo agrícola, al menos con las propiedades del que se usó en este experimento, puede utilizarse alternativamente al suelo forestal para la producción de *A. farnesiana* y *P. glandulosa*.

Efecto de la Inoculación con Hongos Micorrízicos en el Crecimiento

Los HMA influyeron de manera positiva en el crecimiento de ambas leguminosas. Se observó diferencia significativa en relación con los tratamientos sin inocular, principalmente en las variables AI, NHF, NHC, AF y PSH. Los porcentajes de incremento con respecto a las plantas no inoculadas fluctuaron entre 13 y 135%. Se observaron diferencias significativas en las variables DT, PST, PSR y VR únicamente en *A. farnesiana*, con incrementos de 17 a 57% (Cuadro 3). No se observó diferencia significativa en el crecimiento de las plantas debido a la inoculación con los micobiontes *G. intraradices*, *Glomus* spp. Zac-19 y *Gi. rosea*; sin embargo, las respuestas con el complejo *Glomus* spp. Zac-19 fueron ligeramente mayores en las variables determinadas. El efecto de los HMA en AI, DT y NHF de *A. farnesiana* se manifestó a partir de 98 DDT, mientras que, en *P. glandulosa*, a partir de 112 DDT (Figura 2).

Con base en lo anterior, se observa que cuando una planta se inocula, ésta crece más rápido. Los resultados concuerdan con los resultados en otras especies forestales, como *Prosopis* spp. (Cardona y Ocampo, 1985), *Acacia* spp. (Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990), *Eucalyptus* spp. (Plascencia *et al.*, 1997) y *Leucaena* spp. (Flores-Bello *et al.*, 2000). Por otro lado, Manjarrez-Martínez *et al.* (2000) señalaron que la efectividad de los inóculos se asocia al genotipo de la planta, ya que cada especie tiene diferente grado de dependencia micorrízica y que está de acuerdo con las relaciones de carbono:fósforo existentes en el suelo.

El efecto tardío observado en el incremento en AI, DT y NHF de *A. farnesiana* y *P. glandulosa* puede deberse a la relación fuente:demanda entre el hospedante y el hongo. Alarcón y Ferrera-Cerrato (1999) señalaron que el tipo de actividad fúngica representa alto costo para la planta, la cual tiene que compensar mediante la aportación de fuentes energéticas carbonadas, para que facilite la actividad metabólica del hongo. Por su parte, Sanders (1993) señaló que durante las fases iniciales de la colonización micorrízica, el hongo ocasiona una reducción en el crecimiento de la planta al usar parte de los nutrimentos de la misma.

Interacción Suelo-Hongos Micorrízicos en el Crecimiento

En el suelo agrícola, la inoculación de *A. farnesiana* no mostró efectos significativos en el crecimiento en relación con las plantas testigo (Cuadro 4), pero en *P. glandulosa* la inoculación incrementó el área foliar entre 142 y 170% con respecto a plantas no inoculadas. De manera contraria, en el suelo forestal y el tepetate, en ambas leguminosas, la inoculación incrementó

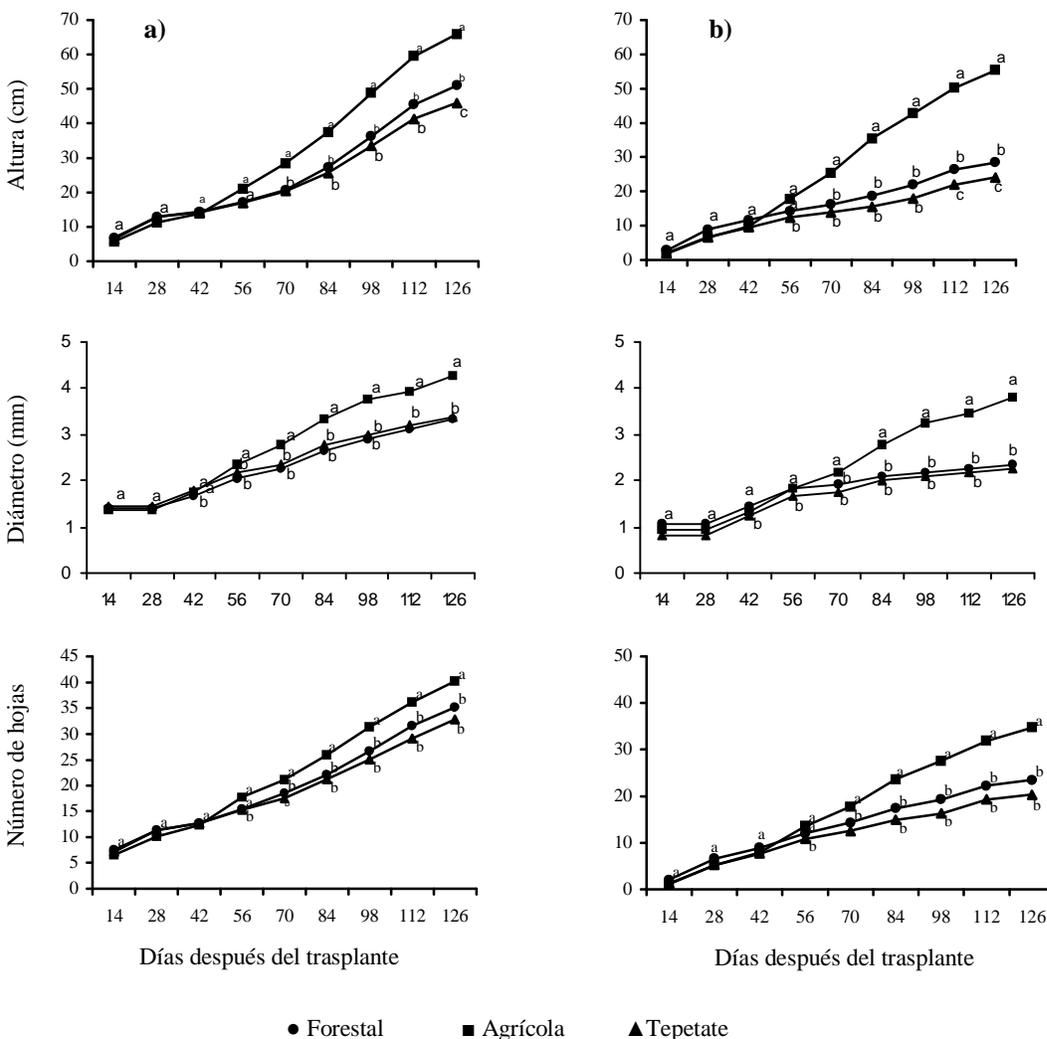


Figura 1. Efecto de dos tipos de suelo y tepetate sobre el incremento en altura, diámetro de tallo y número de hojas formadas de brinzales de *A. farnesiana* (a) y *P. glandulosa* (b). Medias con la misma letra en el mismo período después del trasplante, son estadísticamente iguales con $\alpha = 0.05$.

significativa-mente el crecimiento de las plantas. Se observó disminución del NHC, incremento del AF, PSH, PST, PSR y VR. En *A. farnesiana*, en suelo forestal y tepetate, las variables NHC, AF, PSH y PST mostraron diferencias significativas, mientras que incrementos en PSR y VR sólo se observaron en el suelo forestal. En cambio, en *P. glandulosa*, las variables que presentaron diferencias significativas, tanto en suelo forestal, como tepetate, fueron NHC, AF y PSH. No se observaron diferencias en la longitud radical de las plantas en los tratamientos establecidos (Cuadro 4). En suelo forestal y tepetate, el AF fue la variable que se afectó en mayor grado por la inoculación. En *A. farnesiana* se observaron incrementos con base en plantas no inoculadas en AF

entre 292 y 550% en suelo forestal, y entre 194 y 366% en tepetate, mientras que, en *P. glandulosa*, éstos fueron de 482 a 1698% en suelo forestal y de 386 a 2722 en tepetate (Cuadro 4). Es interesante resaltar que aun en el tepetate, el cual es muy pobre en nutrientes, la inoculación micorrízica mostró un importante efecto en el AF de ambas especies vegetales. Con esto, se enfatiza la importancia del uso de endófitos micorrízicos en sustratos con limitada disponibilidad nutricional.

Alarcón *et al.* (2000) señalaron que los HMA en suelos no fertilizados y deficientes en nutrientes, especialmente fósforo ($< 20 \text{ mg kg}^{-1}$), permiten al micobionte aprovechar con mayor eficiencia

Cuadro 3. Efecto de los hongos micorrízicos sobre el crecimiento de *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa* a 126 días después del trasplante e inoculación.

Especie	Hongo micorrízico	Altura cm	Diám. de tallo mm	Número de hojas		Área foliar cm ²	Peso seco			Longitud radical cm	Volumen radical cm ³
				Formadas	Caídas		Hoja	Tallo	Raíz		
<i>A. farnesiana</i>	Ninguno	41.3 b [†]	3.2 b	29.9 b	10.1 a	28.8 c	0.7 b	1.1 b	0.7 b	36.3 a	2.4 b
	<i>Glomus intraradices</i>	56.3 a	3.7 a	37.5 a	8.8 b	47.8 b	1.1 ab	1.6 ab	1.0 ab	36.0 a	3.2 ab
	<i>Glomus</i> spp. Zac-19	61.0 a	3.9 a	38.6 a	6.6 c	62.9 a	1.4 a	1.9 a	1.1 a	36.0 a	3.3 ab
	<i>Gi. rosea</i>	57.8 a	3.7 a	38.1 a	6.6 c	58.7 ab	1.1 ab	1.7 ab	1.0 ab	35.5 a	3.4 a
<i>P. glandulosa</i>	Ninguno	32.5 b	2.8 a	23.8 b	6.1 a	30.7 c	0.3 b	0.9 a	0.5 a	40.1 ab	1.7 a
	<i>Glomus intraradices</i>	32.0 b	2.7 a	24.6 b	4.8 ab	54.4 bc	0.5 ab	1.0 a	0.5 a	38.5 b	1.5 a
	<i>Glomus</i> spp. Zac-19	40.8 a	2.9 a	29.3 a	4.6 b	94.6 a	0.7 a	1.0 a	0.5 a	42.1 ab	1.7 a
	<i>Gi. rosea</i>	38.4 a	2.7 a	26.9 a	6.1 ab	68.1 b	0.5 ab	1.0 a	0.4 a	42.5 a	1.6 a

[†] Medias con la misma letra en la misma columna dentro de la misma especie son iguales a $\alpha = 0.05$ (según la prueba de la diferencia mínima significativa protegida por la prueba de F).

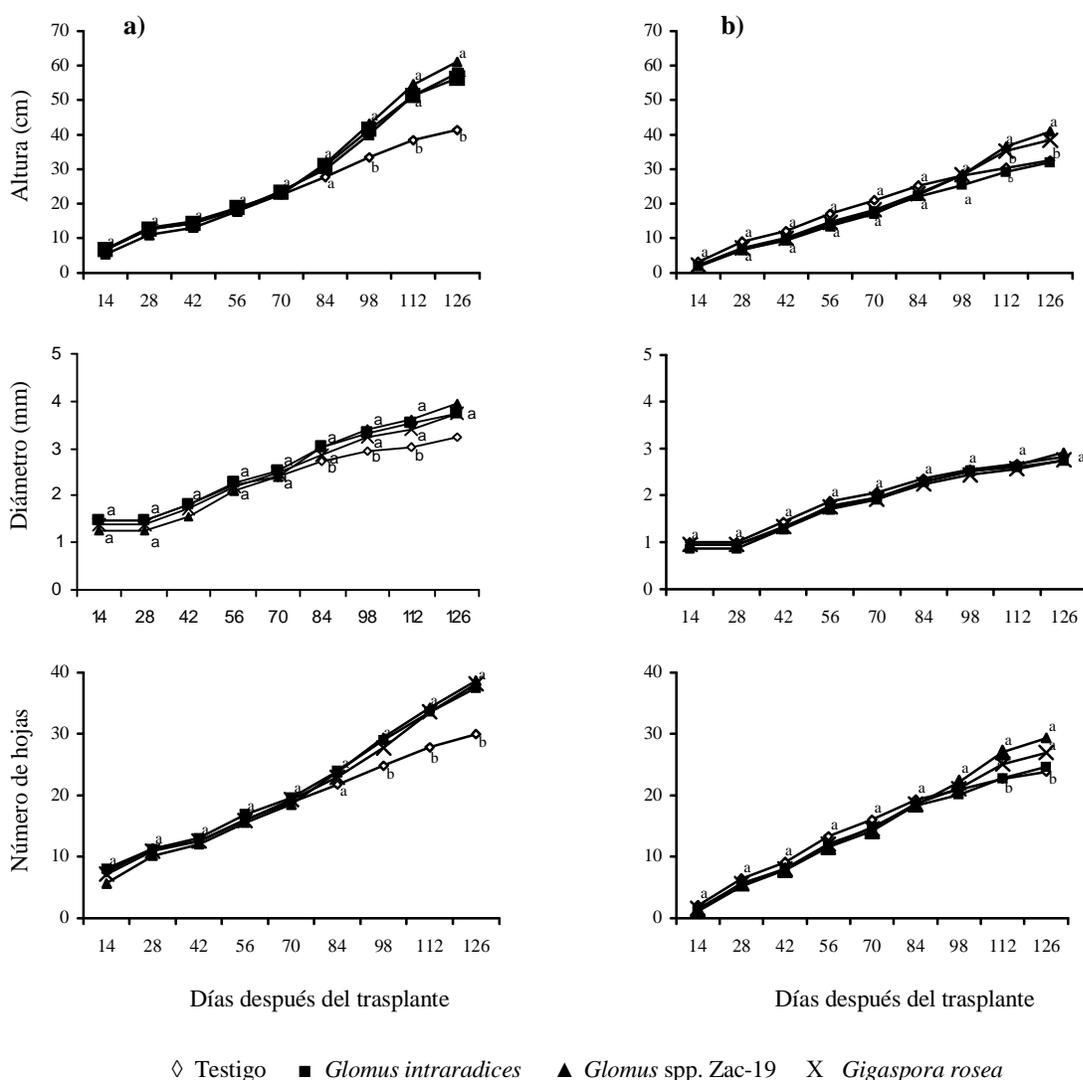


Figura 2. Efecto de los hongos micorrízicos sobre el incremento en altura, diámetro de tallo y número de hojas formadas de brinzales de *A. farnesiana* (a) y *P. glandulosa* (b). Medias con la misma letra en el mismo período, son estadísticamente iguales con $\alpha = 0.05$.

Cuadro 4. Interacción de los hongos micorrízicos, tipos de suelo y tepetate sobre el crecimiento de *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa*, correspondiente a 126 días después del trasplante.

Especie	Suelo	Hongo micorrízico	Num. de hojas caídas	Área foliar cm ²	Peso seco			Longitud radical cm	Volumen radical cm ³
					Hoja	Tallo	Raíz		
<i>A. farnesiana</i>	Forestal	Ninguno	14.80 a	10.16 c	0.16 b	0.39 b	0.26 b	39.55 a	1.17 b
		<i>G. intraradices</i>	12.20 b	39.84 b	0.81 ab	1.24 ab	0.83 ab	35.94 a	3.55 a
		<i>Glomus</i> spp. Zac-19	8.66 c	66.08 a	1.23 a	1.70 a	1.05 a	36.73 a	3.50 a
		<i>Gi. rosea</i>	7.00 c	61.90 ab	1.06 ab	1.20 ab	0.65 ab	36.91 a	2.50 ab
	Agrícola	Ninguno	3.16 a	65.25 a	1.57 a	2.15 a	1.51 a	31.79 a	4.22 a
		<i>G. intraradices</i>	4.53 a	71.38 a	1.84 a	2.47 a	1.32 a	34.36 a	3.83 a
		<i>Glomus</i> spp. Zac-19	2.80 a	71.60 a	1.74 a	2.53 a	1.41 a	32.81 a	3.70 a
		<i>Gi. rosea</i>	3.59 a	68.47 a	1.48 a	2.37 a	1.54 a	33.64 a	4.72 a
	Tepetate	Ninguno	12.46 a	10.92 b	0.34 b	0.69 b	0.52 a	37.72 a	1.83 a
		<i>G. intraradices</i>	9.73 b	32.16 ab	0.62 b	1.16 a	0.80 a	37.63 a	2.40 a
		<i>Glomus</i> spp. Zac-19	8.33 b	50.94 a	1.24 a	1.53 a	0.86 a	38.56 a	2.70 a
		<i>Gi. rosea</i>	9.26 b	45.72 ab	0.93 ab	1.45 a	0.95 a	35.93 a	2.90 a
<i>P. glandulosa</i>	Forestal	Ninguno	8.53 a	4.82 b	0.05 b	0.30 a	0.18 a	36.85 a	1.28 a
		<i>G. intraradices</i>	7.43 ab	28.09 b	0.21 ab	0.37 a	0.21 a	36.90 a	1.01 a
		<i>Glomus</i> spp. Zac-19	5.66 b	86.71 a	0.61 a	0.75 a	0.41 a	38.72 a	1.44 a
		<i>Gi. rosea</i>	8.66 a	40.79 b	0.30 ab	0.49 a	0.23 a	41.25 a	1.11 a
	Agrícola	Ninguno	0.86 a	85.00 b	0.98 a	2.20 a	1.07 a	40.01 a	2.80 a
		<i>G. intraradices</i>	0.55 a	123.49 ab	1.27 a	2.27 a	1.07 a	38.08 a	2.61 a
		<i>Glomus</i> spp. Zac-19	1.83 a	129.42 ab	1.17 a	1.89 a	0.87 a	44.35 a	2.70 a
		<i>Gi. rosea</i>	1.28 a	145.18 a	1.24 a	2.34 a	0.94 a	44.21 a	2.65 a
	Tepetate	Ninguno	9.06 a	2.40 b	0.02 a	0.28 a	0.20 a	43.63 a	1.00 a
		<i>G. intraradices</i>	6.46 b	11.68 b	0.08 a	0.30 a	0.16 a	40.51 a	0.95 a
		<i>Glomus</i> spp. Zac-19	6.50 b	67.73 a	0.40 a	0.56 a	0.24 a	43.14 a	1.13 a
		<i>Gi. rosea</i>	8.33 ab	18.34 b	0.12 a	0.27 a	0.14 a	42.20 a	0.94 a

Medias con la misma letra en la misma columna dentro de la misma especie son iguales a $\alpha = 0.05$ (según la prueba de la diferencia mínima significativa protegida).

los escasos nutrimentos del sustrato, haciéndolos disponibles y aprovechables para la planta.

De los inóculos utilizados, *Glomus* spp. Zac-19 mostró mayor efecto positivo en el incremento de las características que se evaluaron en las dos leguminosas. *P. glandulosa* tuvo un mayor efecto positivo a la inoculación que *A. farnesiana*, por lo que puede mencionarse que es una especie micotrófica y es más dependiente de la condición micorrízica. Esto es, obtiene mayor beneficio de la inoculación que *A. farnesiana*.

En algunas investigaciones se ha demostrado que los suelos ricos en nutrimentos, en especial fósforo, inhiben el efecto benéfico que los HMA pueden ofrecer a sus plantas hospedantes (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). Esta puede ser la razón del efecto nulo que la inoculación representó en las plantas cuando crecieron en el suelo agrícola.

Contenido de P en Follaje

Los tipos de suelo, el tepetate y la inoculación con los HMA influyeron en el contenido de fósforo en el follaje. En ambas leguminosas se observó que las plantas creciendo en el tepetate tuvieron mayor acumulación de este elemento en las hojas (0.40%), mientras que los suelos forestal (0.15% y 0.23%) y agrícola (0.11% y 0.15%), para *A. farnesiana* y *P. glandulosa*, respectivamente, no manifestaron diferencia significativa entre sí. Por otra parte, al analizar el efecto de la inoculación, se observó que *Glomus* spp. Zac-19 incrementó significativamente el contenido de P en el follaje de *A. farnesiana* (0.52%) en comparación con plantas no inoculadas (0.08%) e inoculadas con los otros hongos (0.10 a 0.16%). Mientras que en *P. glandulosa*, *Glomus* spp. Zac-19 (0.34%) y *Gi. rosea* (0.41%) presentaron los mayores contenidos de P, en comparación con plantas testigo e inoculadas con *G. intraradices*.

Con base en lo anterior, se mostró que el efecto benéfico por los HMA es importante, sobre todo si se considera que las plantas no se fertilizaron durante el tiempo de la investigación y su única fuente de obtención de nutrimentos fue la fertilidad basal de los suelos o el tepetate, la cual fue baja en el suelo forestal y tepetate. Esta condición de fertilidad permitió a los HMA aprovechar con mayor eficiencia escasos nutrimentos del sustrato, haciéndolos disponibles y aprovechables para la planta (Alarcón *et al.*, 2000; González-Chávez *et al.*, 2000).

Colonización Micorrízica

Las tres especies de HMA colonizaron las raíces de ambas leguminosas establecidas en los dos tipos de suelo y en el tepetate. En *A. farnesiana* se presentaron los mayores porcentajes de colonización micorrízica. En las raíces de las plantas creciendo en el suelo forestal y el tepetate se observaron los valores máximos promedio en colonización total con 61.7 y 67.2%, en arbusculos con 37.82 y 47.86% y vesículas con 24.9 y 27.2%, respectivamente. Las plantas creciendo en suelo agrícola presentaron valores de colonización total de 38%, de arbusculos 2.87% y vesículas de 1.49%. En contraste, en las raíces de *P. glandulosa* se observaron valores bajos en la colonización total (menor que 20%) en el suelo forestal y tepetate y menor que 5% en suelo agrícola. Aparentemente, los altos valores de P en el suelo agrícola afectaron negativamente en la colonización micorrízica y el efecto de la inoculación.

No se observaron diferencias significativas en la colonización radical entre las tres cepas micorrízicas. La efectividad de los HMA no siempre se correlaciona con la capacidad infectiva de éstos. Algunos investigadores han observado que plantas que presentan bajo porcentaje de colonización total, estimulan en mayor grado el crecimiento de las plantas (Plascencia *et al.*, 1997). Para este caso en particular, a pesar de la baja colonización micorrízica en *P. glandulosa*, se observó una significativa efectividad de los endófitos. En el caso de *A. farnesiana*, la infectividad de los hongos se relacionó positivamente con el incremento en crecimiento. De ahí la importancia para lograr los máximos beneficios con el uso de inoculantes para la producción de plantas de calidad, sobre todo se deben tomar en consideración algunos factores, como el tipo de hongo a utilizar, el hospedante y las condiciones de crecimiento (suelo o sustrato, nutrimentos, agua, luz).

CONCLUSIONES

- En el suelo forestal y en el tepetate el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) influyó positivamente en el incremento de las estructuras morfológicas de las dos especies, como se observó en la altura, diámetro de tallo, número de hojas presentes y caídas, área foliar, peso seco de hoja, tallo y raíz y volumen radical, así como en el contenido de fósforo en follaje. En el suelo agrícola, a pesar de que se presentaron los máximos valores promedio en estos caracteres, se inhibió la infectividad y efectividad de los micobiontes, por lo que el crecimiento se debió más al efecto de las características físicas y químicas del suelo, que a la acción de los HMA. En el suelo agrícola, la inoculación no es necesaria, debido a su alto contenido de P y otros nutrimentos.
- La inoculación de HMA es necesaria para la obtención de plantas forestales de calidad producidas en vivero cuando se utilizan sustratos pobres en fósforo (por ejemplo, menor que 20 mg kg⁻¹). Las posibilidades del éxito en el manejo de los HMA requieren de un cambio considerable en la tecnología de los viveros, desde la selección de cepas altamente efectivas y competitivas después de la desinfección del suelo, elección del tipo de sustrato y otras condiciones de crecimiento, como nutrimentos, agua y luz.

LITERATURA CITADA

- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra* 17: 179-191.
- Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato, M.C. González-Chávez y A. Villegas-Monter. 2000. Hongos micorrízicos arbusculares en la dinámica de aparición de estolones y nutrición de plantas de fresa Cv. Fern. obtenidas por cultivo *in vitro*. *Terra* 18: 211-218.
- Cardona, L.F. y J.A. Ocampo 1985. Estudio de la posible utilización de micorrizas VA como fertilizantes biológicos en dos suelos. *Anales de Edafología y Agrobiología*. XLIV: 453-462.
- De Lucena, C.N., V.T. Paulino, E.A. Veasey y F. das C. Leonidas. 1991. Effect of cutting frequency on the productivity of *Leucaena*. *Leucaena Res. Rep.* 12: 14-15.
- Flores-Bello, R., S. Aguilar, R. García y A. Zamora. 2000. Respuesta de crecimiento en plántulas de *Leucaena* a la micorriza arbuscular en condiciones de vivero. pp. 156-161. *In: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. Mundi Prensa. México, D.F.
- Gerdermann, J.W. y T.H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46: 235-244.

- Gómez, K.A. y A.A. Gómez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2a Edition. International Rice Research Institute Book. Manila, The Philippines.
- González-Chávez, M.C., R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en fruticultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- González-Chávez, M.C., R. Ferrera-Cerrato, A. Villegas-Monter y J.L. Oropeza. 2000. Selección de sustratos de crecimiento en microplántulas de cítricos inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19. Terra 18: 369-377.
- Guzmán-Plazola, R.A. y R. Ferrera-Cerrato. 1990. La endomicorriza vesículo-arbuscular en las leguminosas. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Manjarrez-Martínez, M.J., A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato. 2000. Biotecnología de la producción de inóculo micorrízico arbuscular y su control de calidad. pp. 238-250. *In*: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato (eds). Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Mundi Prens. México, D.F.
- 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. Br. Mycol. Soc. 55: 158-161.
- Plascencia E., F.O., J.J. Vargas H., R. Ferrera-Cerrato y V.A. González H. 1997. Efecto de la micorriza vesículo-arbuscular sobre el crecimiento y distribución de biomasa de plántulas de eucalipto. Terra 15: 7-14.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. México, D.F.
- Sanders, F.E. 1993. Modeling plant growth response to vesicular-arbuscular mycorrhizal infection. Adv. Plant Pathol. 9: 135-166.
- SAS Institute, Inc. 2000. SAS/STAT User's guide, Version 8.1. Cary, NC.
- Thatoi, H.N., S. Sahu, A.K. Misra y G.S. Padhi. 1993. Comparative effect of VAM inoculation on growth, nodulation and *Rhizobium* population of subabul (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit.) grown in iron mine waste soil. Indian Forester. 119: 481-489.

EFECTO DEL SISTEMA DE RIEGO Y TENSIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL AJO

Garlic Yield and Quality as Affected by Irrigation Type and Soil Water Tension

Juan Manuel Barrios-Díaz¹, Mari Carmen Larios-García¹, Javier Z. Castellanos^{2‡}, Gabriel Alcántar-González³, Leonardo Tijerina-Chávez³ y Ma. de las Nieves Rodríguez-Mendoza³

RESUMEN

Para evaluar el rendimiento y la calidad comercial del bulbo de ajo (*Allium sativum* L.), se realizó un experimento durante el ciclo otoño-invierno de 2000-2001 y 2001-2002. La variedad Tacázcuaru, tipo Taiwán, se sembró y se sometió a cuatro tratamientos de tensión de humedad del suelo (THS) en riego por goteo superficial y uno más de riego por surcos con intervalo entre riegos de dos semanas. Se utilizaron tensiómetros instalados a 0.15 y 0.3 m de profundidad y los valores de la THS en cada tratamiento de riego por goteo en los dos ciclos de cultivo fueron: 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30 y 25 a 50 kPa. El rendimiento total obtenido en estos tratamientos fue 26.9, 33.5, 35.9 y 37.3 t ha⁻¹ en el ciclo 2000-2001 y 29.1, 38.9, 39.0 y 41.9 t ha⁻¹ en el ciclo 2001-2002. El rendimiento en riego por surcos fue 28.7 y 32.9 t ha⁻¹, respectivamente, en cada ciclo. El ahorro de agua de los tratamientos con riego por goteo varió entre 28 y 49% con respecto al volumen de agua aplicada en riego por surcos. Considerando el rendimiento promedio de ambos ciclos se muestra que mediante el riego por goteo se obtienen bulbos de mayor calidad que con riego por surcos. El rendimiento de los calibres de bulbo < 55 mm de diámetro (No exportable, Gigante y Jumbo) fue 5.6 t ha⁻¹ en riego por goteo y 8.4 t ha⁻¹ con riego por surcos; los calibres de bulbo entre 55 y 70 mm (Extra jumbo, Super jumbo y Colossal) fueron los más frecuentes, se obtuvieron 25.8 t ha⁻¹ en riego por goteo y 21.6 t ha⁻¹ con riego por surcos; y el rendimiento

del calibre > 70 mm (Super colosal) fue 4.0 t ha⁻¹ en riego por goteo y 0.9 t ha⁻¹ en riego por surcos.

Palabras clave: *Allium sativum* L., fertirriego, riego por goteo, riego por surcos, tensiómetro.

SUMMARY

To evaluate yield and commercial quality of the garlic (*Allium sativum* L.) bulb, during the autumn-winter cycle, 2000-2001 and 2001-2002, an experiment was carried out in Celaya, Guanajuato, Mexico. Taiwan type garlic, Tacázcuaru variety was sowed and subjected to four soil water tension (SWT) treatments in surface drip irrigation and another by furrow irrigation with an interval of two weeks between irrigations. Tensiometers were installed at depths of 0.15 and 0.3 m and the ranges of SWT for each drip irrigation treatment in both growth cycles were: 5-10, 10-20, 20-30, and 25-50 kPa. Total yields obtained from these treatments were 26.9, 33.5, 35.9 and 37.3 t ha⁻¹ for the 2000-2001 season and 29.1, 38.9, 39.0 and 41.9 t ha⁻¹ for the 2001-2002 season. Yields of 28.7 and 32.9 t ha⁻¹ were obtained in furrow irrigation in each season, respectively. Water saved in drip irrigation treatments ranged from 28 to 49% with respect to the applied water volume in furrow irrigation. Considering the average yield of both seasons, it was showed that bulbs of higher quality were obtained with drip irrigation than with furrow irrigation. Bulb caliber < 55 mm diameter (Non exportable, Giant and Jumbo) yield was 5.6 t ha⁻¹ in drip irrigation and 8.4 t ha⁻¹ with furrow irrigation; bulb calibers between 55 and 70 mm (Extra jumbo, Super jumbo and Colossal) were more frequent: 28.5 t ha⁻¹ with drip irrigation and 21.6 t ha⁻¹ with furrow irrigation. Finally, caliber > 70 mm (Super colossal) yield was 4.0 t ha⁻¹ in drip irrigation and 0.9 t ha⁻¹ with furrow irrigation.

Index words: *Allium sativum* L., fertigation, drip irrigation, furrow irrigation, tensiometer.

¹ Escuela de Ingeniería Agrohídrica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 73800 Teziutlán, Puebla, México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 112, 38000 Celaya, Guanajuato, México.

[‡] Autor responsable (casteja100@hotmail.com)

³ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

INTRODUCCIÓN

Entre los factores que afectan el rendimiento de ajo se encuentra el manejo del agua de riego, por tal razón y debido a una estrategia de los gobiernos federal y estatal para el ahorro de agua y energía, los agricultores de la región Bajío en Guanajuato, México, están sustituyendo el método tradicional de riego en surcos por el de goteo, basándose en las ventajas agronómicas, económicas y en el medio ambiente que señalaron Thompson *et al.* (2002b). Además, de investigaciones realizadas previamente por Patel *et al.* (1996), Fabeiro *et al.* (2003) y Hanson *et al.* (2003), es conocido que el volumen de agua aplicado y el método de riego influyen en el rendimiento y en la calidad de la producción de ajo, como consecuencia del régimen de humedad del suelo; sin embargo, los resultados reportados son muy variables debido a diferencias en sistemas productivos, variedades cultivadas, condiciones agroclimáticas y criterios para la aplicación de los riegos. Una forma práctica para monitorear la humedad del suelo en cultivos con riego por goteo es en términos de la tensión de humedad del suelo (THS), medida con dispositivos conocidos como tensiómetros que ofrecen buena sensibilidad a cambios de humedad en un intervalo inferior a 30 kPa (Pier y Doerge, 1995), el cual es óptimo para el cultivo de ajo según Brewster y Rabinowitch (1990).

En varios estudios se ha demostrado que el empleo de riego por goteo incrementa el ahorro y la eficiencia de uso del agua (EUA) con respecto al riego por surcos, debido principalmente a que en este último se requiere aplicar suficiente agua para humedecer la zona radicular de los sitios más alejados de la fuente de abastecimiento del surco (Benjamin *et al.*, 1998). Algunos índices de EUA obtenidos en investigaciones previas, y comparando ambos sistemas de riego, son: Patel *et al.* (1996), en ajo con riego por goteo, reportaron valores desde 1.4 hasta 1.7 kg m⁻³ y en riego por surcos de 0.9 kg m⁻³; Al-Jamal *et al.* (2001) reportaron para cebolla valores máximos de 5.9 kg m⁻³ en riego por goteo y 4.6 kg m⁻³ en riego por surcos, aunque, debido a los elevados contenidos de humedad, los valores son mucho mayores.

Por otra parte, el tamaño del bulbo de ajo es el parámetro de calidad comercial más generalizado y el conocimiento del efecto del manejo del régimen de humedad en el suelo sobre la distribución del rendimiento por calibre de bulbo, puede permitir a

los agricultores tener una referencia para establecer sus metas de producción con base en la disponibilidad de agua para riego y sistema de riego seleccionado.

Por lo anterior y debido a las implicaciones técnicas de los sistemas de riego en la conservación de suelo, agua, productividad y sustentabilidad de la agricultura, el objetivo del presente estudio fue comparar el efecto del sistema de riego y la tensión de humedad sobre el rendimiento, el ahorro de agua, la EUA y la calidad del ajo cv. Tacátzcuaro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se condujo durante el ciclo agrícola otoño-invierno de 2000-2001 y 2001-2002, en Celaya, Guanajuato, México, ubicado en 20° 34' N y 100° 50' O, a una altitud de 1650 m.

Durante el período de cultivo se presentaron respectivamente en cada ciclo: 82.4 mm de lluvia (en ambos ciclos), 921.4 y 901.5 mm de evaporación, 46114 y 45267 W m⁻² de radiación solar global, 17.3 y 16.1 °C de temperatura media, 27.3 y 26 °C de temperatura media máxima, y 7.3 y 5.8 °C de temperatura media mínima; estos datos son resultado de observaciones realizadas en una estación meteorológica automática Marca Davis, ubicada a 100 m del sitio experimental.

El suelo de textura migajón arcillosa con 33, 32 y 35% de arena, limo y arcilla, respectivamente, se clasificó como Isotermic udic pelustert (Castellanos *et al.*, 2001a), con densidad aparente de 1.28 y 1.3 g cm⁻³ para las profundidades de 0.0 a 0.3 y 0.3 a 0.9 m, respectivamente. El contenido volumétrico de humedad del suelo con respecto a la THS fue de 0.34 m³ m⁻³ a 30 kPa y 0.15 m³ m⁻³ a 1500 kPa, obtenidos de la curva de retención de humedad. El pH del suelo fue 7.7 y el contenido de materia orgánica 1.6%.

La siembra se realizó el 3 de septiembre y el 1 de octubre, respectivamente para cada ciclo evaluado en 2000-2001 y 2001-2002. La variedad sembrada fue Tacátzcuaro (tipo Taiwán) con las características promedio, reportadas por Heredia *et al.* (1997): 95 cm de altura de planta, 12 dientes por bulbo y más de 70% de los bulbos cosechados sobrepasan 57 mm de diámetro. La población establecida fue aproximadamente de 381 000 plantas ha⁻¹ en parcelas experimentales de 54 m², con un arreglo topológico de 0.07 m entre plantas, a doble hilera (0.25 m entre hileras) y en surcos de 0.75 m de ancho. Las fechas de

cosecha iniciaron en marzo 17 y marzo 25, finalizando en marzo 29 y abril 12, para cada ciclo respectivamente.

El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar con cuatro repeticiones de cada tratamiento, según se detallan en el Cuadro 1. La dosis de N fue 450 kg ha⁻¹, utilizando como fuente nitrato de amonio (33.5%). El N se disolvió en el agua de riego para los tratamientos con riego por goteo y, en el tratamiento de riego por surcos, el N se colocó en bandas adyacentes e inferiores (0.1 m) a cada hilera de plantas. Los tratamientos de riego por goteo recibieron el N en 10 (ciclo 2000-2001) y 12 (ciclo 2001-2002) fertirriegos. En riego por surcos, el suministro de N se realizó únicamente en tres dosificaciones en ambos ciclos, ya que es la práctica común de los agricultores.

En el ciclo 2000-2001, en todos los tratamientos se aplicaron 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 45 kg ha⁻¹ de K₂O antes de la siembra y las fuentes fueron superfosfato triple y sulfato de potasio y magnesio (K₂SO₄·2MgSO₄). En adición, durante el desarrollo del cultivo se aplicaron a todos los tratamientos 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 75 kg ha⁻¹ de K₂O; las fuentes utilizadas fueron ácido fosfórico (H₃PO₄) y sulfato de potasio (K₂SO₄).

En el ciclo 2001-2002, en el tratamiento de riego por surcos se aplicaron 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ con superfosfato triple y 45 kg ha⁻¹ de K₂O con K₂SO₄·2MgSO₄ en el momento de realizar la primera fertilización con N (sexta semana); a los tratamientos de riego por goteo se aplicaron 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (H₃PO₄) y 85 kg ha⁻¹ de K₂O (K₂SO₄) disueltos en el agua de riego y durante el desarrollo del cultivo.

En el sistema de riego por goteo se utilizó cinta de goteo colocada en la superficie, marca T-tape con emisores de 3.6 L h⁻¹ m⁻¹ a 69 kPa de presión y separados a 0.3 m. Los riegos se realizaron de acuerdo

con la THS programada en cada tratamiento y medida cada día a las 8:30 h con tensiómetros instalados a 0.15 y 0.30 m de profundidad sobre la hilera de plantas, entre dos plantas y dos emisores de la cintilla de riego. Para el tratamiento de riego por surcos se usaron láminas de 0.08 a 0.1 m, de acuerdo con la práctica común de riego de los productores de ajo en la región. El agua empleada en cada tratamiento se cuantificó con un medidor volumétrico con precisión de un litro. La EUA se calculó con la relación del rendimiento total de bulbo y el volumen de agua aplicada. En cada tratamiento se suspendieron los riegos tomando como criterio un porcentaje de maduración del bulbo de 80%, el cual se calculó dividiendo el número de dientes del bulbo envueltos por túnicas de color morado, característica de la variedad Tacátzcuaro que indica su madurez, entre el número total de dientes; el porcentaje de maduración se calculó en 10 bulbos de cada tratamiento dos veces por semana.

El rendimiento total se estimó con base en una parcela útil de 8 m² en los cuatro surcos centrales de la parcela experimental; el total de bulbos cosechados se clasificó de acuerdo con su diámetro ecuatorial y peso promedio en los calibres comerciales de la Asociación de Productores y Exportadores de Ajo: No exportable (< 45 mm, 36 g), Gigante (45 a 50 mm, 49 g), Jumbo (50 a 55 mm, 62 g), Extra jumbo (55 a 60 mm, 77 g), Super jumbo (60 a 65 mm, 98 g), Colosal (65 a 70 mm, 122 g) y Super colosal (> 70 mm, 148 g).

Para el análisis de los resultados se utilizó el procedimiento ANOVA del programa estadístico SAS (SAS Institute, 1995). Se realizaron análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) con base en un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados en la producción de ajo cv. Tacátzcuaro.

Sistema de riego	Frecuencia del riego o THS planeada	THS promedio en el ciclo [†]		
		2000-2001	2001-2002	Promedio global
		----- kPa -----		
Surcos	Dos semanas	nd [‡]	nd	nd
Goteo	25 a 50 kPa	39	42	41
Goteo	20 a 30 kPa	24	27	26
Goteo	10 a 20 kPa	14	19	17
Goteo	5 a 10 kPa	8	10	9

[†] Promedio de las mediciones realizadas a 0.15 y 0.3 m de profundidad. THS = tensión de humedad del suelo. [‡] nd = no determinado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento Total

La tensión de humedad del suelo (THS), impuesta con riego por goteo al cultivo durante todo su ciclo, influyó significativamente sobre el rendimiento de ajo obtenido en cada tratamiento de ambos ciclos (Cuadro 2). Hanson *et al.* (2003) encontraron similar tendencia con riego por aspersión. El rendimiento total máximo fue de 37.3 t ha⁻¹ en el ciclo 2000-2001 y de 41.9 t ha⁻¹ en el ciclo 2001-2002; el promedio de estos rendimientos fue 6 y 28% mayor que los reportados por Heredia *et al.* (1997) y Castellanos *et al.* (2001b), con el mismo cultivar y la densidad estudiados.

El rendimiento total del tratamiento de riego por goteo más húmedo (5 a 10 kPa de THS) fue superior al obtenido con riego por surcos en 30 y 27%, respectivamente, para cada uno de los dos ciclos estudiados. El riego por goteo aumentó el rendimiento del cultivo debido, en parte, al frecuente y constante régimen de humedad al que es sometido el volumen radicular, lo cual, según Neeraja *et al.* (2001), influye en la solubilización, absorción y translocación de los nutrimentos aplicados como fertilizantes. Sin embargo, mantener el cultivo de ajo a THS inferiores a 10 kPa con riego por goteo significó una mayor cantidad de agua aplicada (Cuadro 2) y el incremento en el rendimiento no fue significativo con respecto a los tratamientos de THS inferiores a 20 kPa en el ciclo 2000-2001 y menores que 30 kPa en el ciclo 2001-2002. Pier y Doerge (1995), en sandía, Thompson y Doerge (1995), en lechuga romana, y Thompson *et al.* (2002a), en brócoli, hicieron reportes semejantes.

El rendimiento de ajo obtenido con riego por surcos en el ciclo 2000-2001 sólo fue comparable al conseguido con riego por goteo a un nivel de THS entre 25 y 50 kPa. Durante el ciclo 2001-2002, se obtuvo mayor rendimiento con riego por surcos que con el tratamiento con una THS más alta. Sin embargo, aun con estos resultados, el empleo del riego por goteo a una THS de 25 a 50 kPa significó que el volumen de agua aplicado por hectárea fuera mucho menor que al emplear riego por surcos, situación muy importante en las regiones con limitada disponibilidad del recurso. Patel *et al.* (1996) obtuvieron un incremento máximo en rendimiento de 8% en riego por goteo con respecto al rendimiento logrado con riego por gravedad. Los resultados de estos autores son sólo comparables con los tratamientos de más alta THS del presente estudio, lo cual indica que posiblemente ellos no optimizaron la tensión de humedad en el riego por goteo y perdieron potencial de rendimiento, por lo que únicamente lograron incrementos marginales.

Entre tratamientos de riego por goteo, el incremento máximo en rendimiento total fue de 39% en el ciclo 2000-2001 y 44% en el ciclo 2001-2002, obtenido con el tratamiento más húmedo respecto al rendimiento del tratamiento más seco (25 a 50 kPa de THS). Estos resultados indican la importancia de definir la tensión de humedad óptima del suelo para maximizar el rendimiento del cultivo en los sistemas de riego por goteo. Esto significa que no basta con cambiar el sistema de riego, sino que es vital desarrollar la tecnología para su operación y la variable más importante de ésta es el manejo de la tensión de humedad del suelo.

Cuadro 2. Volumen de agua, rendimiento total y eficiencia de uso de agua de ajo cv. Tacázcuaru.

Tratamiento	Volumen total aplicado [†]		Rendimiento total		Eficiencia de uso de agua	
	2000-2001	2001-2002	2000-2001	2001-2002	2000-2001	2001-2002
	----- m ³ ha ⁻¹ -----		----- t ha ⁻¹ -----		----- kg m ⁻³ -----	
Surcos	12977	11361	28.7 c [§]	32.9 b	2.22 c	2.89 c
Goteo 25 a 50 kPa [†]	6661	5725	26.9 c	29.1 c	4.04 b	5.08 b
Goteo 20 a 30 kPa	7637	6930	33.5 b	38.9 a	4.38 ab	5.62 a
Goteo 10 a 20 kPa	8097	7476	35.9 ab	39.0 a	4.43 a	5.21 ab
Goteo 5 a 10 kPa	8854	8627	37.3 a	41.9 a	4.22 ab	4.86 b
DMS			2.9	3.5	0.38	0.45
CV			4.0	4.2	4.39	4.24

[†] Intervalo de tensión de humedad del suelo medida a 0.15 y 0.3 m de profundidad. [‡] Incluye el volumen de agua aplicada mediante el riego más el de lluvia.

[§] Medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). DMS = diferencia mínima significativa; CV = coeficiente de variación (en %).

Volumen de Agua Aplicada

La cantidad de agua aplicada a cada tratamiento de riego por goteo y por surcos en el ciclo 2000-2001 fue mayor que la suministrada durante el ciclo 2001-2002. Esta situación probablemente tenga relación directa con una mayor cantidad de radiación solar global y temperatura promedio registradas durante el primer ciclo, lo cual aumentó la demanda hídrica e influyó de forma adversa sobre el rendimiento de ajo y la eficiencia de uso de agua (Cuadro 2). El ahorro de agua de los tratamientos de riego por goteo con respecto al establecido con riego por surcos, en ambos ciclos varió entre 49% con el tratamiento más seco y 28% con el tratamiento más húmedo. En el riego por goteo se favorece el ahorro de agua debido al humedecimiento de sólo una fracción del volumen total de suelo que incluye el de mayor actividad radicular. Sin embargo, la optimización de la tensión de humedad en el manejo del riego es el resultado de varias variables, entre las que destacan, además del ahorro del agua, el rendimiento, la calidad del bulbo y la rentabilidad.

Eficiencia de Uso del Agua (EUA)

El valor promedio de la EUA obtenida para los tratamientos con riego por goteo en cada ciclo es muy superior a la obtenida con riego por surcos. Patel *et al.* (1996), al comparar ambos sistemas de riego en el cultivo de ajo, reportaron diferencias superiores a 60%. En estos resultados se reflejan las diferencias físicas y en operación de cada método de riego. El riego por goteo se caracteriza por la aplicación del agua de una manera localizada, frecuente y dosificada, logrando que el contenido de humedad de la zona radicular del cultivo permanezca relativamente constante. Esto favorece a la absorción de nutrimentos por la planta, que se traduce en mayor rendimiento y, en consecuencia, la EUA se incrementa. Por el contrario, en el riego por surcos es necesario aplicar grandes volúmenes de agua al inicio del surco para garantizar en su parte final la aplicación de la lámina de riego requerida por el cultivo; esto significa que no hay un control adecuado en el suministro del agua a la zona radicular, provocando pérdidas por precolación y la disminución de la EUA.

Al comparar los tratamientos de riego por goteo, durante el ciclo 2000-2001, la EUA fue máxima con THS inferiores a 30 kPa y únicamente se obtuvieron diferencias entre los tratamientos con THS de

10 a 20 kPa y de 25 a 50 kPa. Panchal *et al.* (1992) y Fabeiro *et al.* (2003) reportaron también respuestas poco significativas para el cultivo de ajo. Durante el ciclo 2001-2002, la máxima EUA se obtuvo con la THS entre 10 y 30 kPa, disminuyendo cuando la THS fue inferior a 10 kPa y superior a 30 kPa; en el primer caso, los resultados coinciden con reportes hechos por Al-Jamal *et al.* (2001), en cebolla, y Patel *et al.* (1996) y Hanson *et al.* (2003), en ajo, en los cuales se establece que un incremento en la cantidad de agua aplicada cuando el riego se maneja a THS muy bajas, en general, causa una respuesta positiva en el rendimiento del cultivo, pero un decremento en la EUA; para el segundo caso, es claro que el aumento de la THS superior a 30 kPa provocó una disminución del rendimiento y, en consecuencia, la EUA decreció.

Calidad de Bulbo

Los resultados de este estudio muestran el beneficio del manejo del agua a mayor contenido de humedad en riego por goteo, pues mientras que en riego por surcos sólo se obtuvieron 6.1 y 7.7 t ha⁻¹ de bulbos de calibre Colosal y Super colosal, para el primer y segundo ciclo respectivamente, en el tratamiento más húmedo (5 a 10 kPa) se lograron 19.2 y 22.2 t ha⁻¹ de estos calibres para dichos ciclos. En el primer caso, estos calibres de mayor valor en el mercado sólo representan 21 y 23%, respectivamente, del rendimiento total, mientras que en el último, estas dos clases comerciales representan 51 y 53% de la cosecha total. Sólo en el tratamiento más seco (25 a 50 kPa) se obtuvieron rendimientos bajos de esos dos calibres grandes, muy similares a los logrados con el sistema de riego por surcos (Cuadros 3 y 4).

Al comparar los tratamientos seco y más húmedo de riego por goteo, fue más notorio en el primer ciclo evaluado que el rendimiento de calibres inferiores a 55 mm de diámetro (No exportable, Gigante y Jumbo) disminuyó en relación directa con el intervalo de THS; por otra parte, el rendimiento de los calibres de bulbo superiores a 60 mm de diámetro (Super jumbo, Colosal y Super colosal) se incrementó con la disminución de la THS. Fabeiro *et al.* (2001) reportaron tendencias similares para el cultivo de papa con riego por goteo y Sammis (1980), en el primero de tres años estudiados, al comparar los sistemas de riego por aspersión, goteo y surcos. En el cultivo de ajo, Hanson *et al.* (2003) reportaron un incremento lineal del peso promedio de bulbo fresco, con el incremento del agua aplicada.

Cuadro 3. Rendimiento de ajo cv. Tacázcuaru por calibre del bulbo, durante el ciclo 2000-2001.

Tratamiento	No exportable < 45 mm	Gigante 45 a 50 mm	Jumbo 50 a 55 mm	Extra jumbo 55 a 60 mm	Super jumbo 60 a 65 mm	Colosal 65 a 70 mm	Super colosal > 70 mm
----- t ha ⁻¹ -----							
Surcos	4.0 a [‡]	2.8 a	2.7 a	6.1 a	7.0 c	5.1 b	1.0 b
Goteo 25 a 50 kPa [†]	3.9 a	2.6 a	2.6 a	5.9 a	6.7 c	4.6 b	0.6 b
Goteo 20 a 30 kPa	3.0 ab	1.7 b	1.4 b	5.8 a	9.1 ab	9.7 a	2.8 b
Goteo 10 a 20 kPa	3.2 ab	1.7 b	1.3 b	5.6 a	9.4 a	10.8 a	3.9 b
Goteo 5 a 10 kPa	2.1 b	1.4 b	1.3 b	5.0 a	8.3 b	9.5 a	9.7 a
DMS	1.5	0.8	1.1	1.3	1.1	2.3	3.8
CV	20.1	18.0	27.4	9.9	5.8	12.7	46.8

[†] Intervalo de tensión de humedad del suelo medida a 0.15 y 0.3 m de profundidad. [‡] Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). DMS = diferencia mínima significativa; CV = coeficiente de variación (en %).

Cuadro 4. Rendimiento de ajo cv. Tacázcuaru por calibre del bulbo, durante el ciclo 2001-2002.

Tratamiento	No exportable < 45 mm	Gigante 45 a 50 mm	Jumbo 50 a 55 mm	Extra jumbo 55 a 60 mm	Super jumbo 60 a 65 mm	Colosal 65 a 70 mm	Super colosal > 70 mm
----- t ha ⁻¹ -----							
Surcos	1.3 ab [‡]	2.9 a	3.0 a	7.0 a	11.0 a	7.0 c	0.7 c
Goteo 25 a 50 kPa [†]	2.0 a	1.7 ab	2.5 ab	6.5 a	10.3 a	5.4 c	0.7 c
Goteo 20 a 30 kPa	0.8 ab	2.1 ab	2.1 ab	6.0 a	14.0 a	11.2 b	2.7 bc
Goteo 10 a 20 kPa	0.8 b	2.0 ab	2.0 ab	5.7 ab	13.6 a	11.1 b	3.8 b
Goteo 5 a 10 kPa	0.6 b	0.9 b	1.0 b	3.6 b	13.6 a	14.7 a	7.5 a
DMS	1.2	1.9	1.7	2.2	4.0	3.0	3.0
CV	47.6	44.1	35.1	16.8	14.1	13.4	42.1

[†] Intervalo de tensión de humedad del suelo medida a 0.15 y 0.3 m de profundidad. [‡] Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). DMS = diferencia mínima significativa; CV = coeficiente de variación (en %).

CONCLUSIONES

El rendimiento total de bulbo de ajo, obtenido con riego por goteo y con una THS inferior a 30 kPa, se incrementó significativamente con respecto al conseguido con riego por surcos. El rendimiento en riego por surcos fue comparable al logrado cuando en el riego por goteo la THS se mantuvo entre 25 y 50 kPa. Esta situación favoreció un ahorro de agua cercano a 50% respecto al volumen de agua aplicado en el método de riego por gravedad y, en consecuencia, la EUA prácticamente se duplicó. Por otra parte, mantener un valor de THS inferior a 10 kPa y con respecto a los resultados obtenidos con riego por surcos, disminuyó el rendimiento de calibres de bulbo con diámetro menor que 55 mm e incrementó el de calibres con diámetro mayor que 65 mm, sin embargo, el ahorro de agua se redujo considerablemente.

LITERATURA CITADA

- Al-Jamal, M.S., S. Ball y T.W. Sammis. 2001. Comparison of sprinkle, trickle and furrow irrigation efficiencies for onion production. *Agric. Water Manage.* 46: 253-266.
- Benjamin, J.G., L.K. Porter, H.R. Duke, L.R. Ahuja y G. Butters. 1998. Nitrogen movement with furrow irrigation and fertilizer band placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1103-1108.
- Brewster, J.L. y H.D. Rabinowitch. 1990. Garlic agronomy. pp. 147-157. In: Brewster, J.L. y H.D. Rabinowitch (eds.). *Onions and allied crops. Volume III. Biochemistry, food science, and minor crops.* CRC Press. Boca Raton, FL.
- Castellanos, J.Z., S. Villalobos, J.A. Delgado, J.J. Muñoz-Ramos, A. Sosa, P. Vargas, I. Lazcano, E. Álvarez-Sánchez y S.A. Enriquez. 2001a. Use of best management practices to increase nitrogen use efficiency and protect environmental quality in a broccoli-corn rotation of central Mexico. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 1265-1292.
- Castellanos, J.Z., J.L. Ojodeagua, F. Méndez, S. Villalobos-Reyes, V. Badillo, P. Vargas, I. Lazcano-Ferrat. 2001b. Phosphorus requirements by garlic under fertigation. *Better Crops Int.* 15(2): 21-23.
- Fabeiro-Cortés, C., F.J. Martín de Santa Olalla y J.A. de Juan-Valero. 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. *Agric. Water Manage.* 48: 255-266.

- Fabeiro-Cortés, C., F. Martín de Santa-Olalla y R. López-Urrea. 2003. Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agric. Water Manage.* 59: 155-167.
- Hanson, B.R., D. May, R. Voss, M. Cantwell y R. Rice. 2003. Response of garlic to irrigation water. *Agric. Water Manage.* 58: 29-43.
- Heredia, A., E. Heredia y J.A. Laborde. 1997. Number of cloves per bulb; selection criteria for garlic improvement II. Results with "Taiwan" type. *Acta Hort.* 433: 271-277.
- Neeraja, G., K. Malla Reddy, M. Suryanarayana Reddy y V. Praveen Rao. 2001. Influence of irrigation and nitrogen levels on bulb yield, nutrient uptake and nitrogen use efficiencies in *rabi* onion (*Allium cepa*). *Indian J. Agric. Sci.* 71: 109-112.
- Panchal, G.N., M.M. Modhwadia, J.C. Patel, S.G. Sadaria y B.S. Patel. 1992. Response of garlic (*Allium sativum*) to irrigation, nitrogen and phosphorous. *Indian J. Agron.* 37: 397-398.
- Patel, B.G., V.D. Khanpara, D.D. Malavia y B.B. Kaneria. 1996. Performance of drip and surface methods of irrigation for garlic (*Allium sativum*) under varying nitrogen levels. *Indian J. Agron.* 41: 174-176.
- Pier, J.W. y T.A. Doerge. 1995. Nitrogen and water interactions in trickle-irrigated watermelon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 145-150.
- Sammis, T.W. 1980. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface, and furrow irrigation methods for row crops. *Agron. J.* 72: 701-704.
- SAS Institute, Inc. 1995. ANOVA. *In: SAS user's guide.* Statistic. Cary, NC.
- Thompson, T.L. y T.A. Doerge. 1995. Nitrogen and water rates for subsurface trickle-irrigated romaine lettuce. *HortScience* 30: 1233-1237.
- Thompson, T.L., T.A. Doerge y R.E. Godin. 2002a. Subsurface drip irrigation and fertigation of broccoli. I. Yield, quality, and nitrogen uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 186-192.
- Thompson, T.L., T.A. Doerge y R.E. Godin. 2002b. Subsurface drip irrigation and fertigation of broccoli. II. Agronomic, economic, and environmental outcomes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 178-185.

EXTRACTOS VEGETALES Y SU EFECTO EN LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE DOS SUELOS SALINOS Y DE SOLUCIONES

Plant Extracts and its Effect on the Electric Conductivity of Two Saline Soils and Solutions

Leopoldo Partida-Ruvalcaba^{1‡}, Teresa de Jesús Velázquez-Alcaraz¹, Benigno Acosta-Villegas¹ y César Eduardo Angulo-Gaxiola¹

RESUMEN

Esta investigación se hizo con el propósito de determinar el efecto aparente de extractos vegetales en la conductividad eléctrica (CE) de suelos salinos o de soluciones con NaCl. Se tomaron muestras de la parte superficial de dos suelos salinos con CE de 19.8 y 12.1 dS m⁻¹ y se establecieron dos experimentos en macetas de poliestireno con capacidad de 1.0 L, sin orificios para drenado. Los extractos de frijol, maíz y garbanzo se obtuvieron mediante trituración de 1.0 kg de materia fresca de dichas plantas en 3.0 L de agua destilada, y filtrado de solución con lienzo de manta. Se realizaron tres aplicaciones de extracto al suelo, hasta que éste presentó apariencia pastosa; cada aplicación después de que el suelo se secó a temperatura ambiente. En laboratorio, se hicieron dos experimentos en frascos de cristal, en los cuales se depositaron 25, 50, 75 ó 100 mL de extracto de frijol, 1.0 g de NaCl y 75, 50, 25 ó 0 mL de agua destilada, para completar 100 mL en cada frasco. Los resultados indicaron que los extractos de frijol y maíz tuvieron más efecto aparente para disminuir la CE de la solución del suelo. En el primer experimento, la CE disminuyó de 19.8 a 17.7 dS m⁻¹ (10.6%) con el extracto de frijol, mientras que, en el segundo, la disminución fue de 12.1 a 10.0 dS m⁻¹ (17.3%) con el extracto de maíz; no obstante, en ambos experimentos, la CE disminuyó 2.1 dS m⁻¹. Asimismo, cuando se aplicó extracto de frijol a una solución con NaCl, la disminución de la CE fue de 37% después de 22 h y hasta 48% después de 144 h, con 75 y 100 mL de extracto, respectivamente.

Palabras clave: *cloruro de sodio, frijol, maíz, garbanzo.*

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa, km 17.5 carretera Culiacán-Eldorado, Culiacán, Sinaloa.

[‡] Autor responsable (parpolo@yahoo.com.mx)

Recibido: Septiembre de 2003. Aceptado: Agosto de 2005.

Publicado como nota de investigación en

Terra *Latinoamericana* 24: 83-89.

SUMMARY

This investigation was conducted to determine the apparent effect of vegetables extracts on electric conductivity (CE) of saline soils and solutions with NaCl. The samples were taken from the upper part of two saline soils with CE of 19.8 or 12.1 dS m⁻¹, and two experiments were set up in 1.0 L polystyrene flowerpots, without drain holes. The extracts of bean, corn, and chickpea were obtained by means of pulverizing 1.0 kg fresh matter of the plants in 3.0 L distilled water, and filtering the solution with canvas. Extracts were applied three times to the soil, until it assumed a doughy appearance; each application was performed after the soil dried at room temperature. In laboratory, two experiments were conducted in glass flasks with 25, 50, 75 or 100 mL bean extract and 1.0 g NaCl; 75, 50, 25 or 0 mL distilled water was added to complete 100 mL in each flask. The results indicated that the bean and corn extracts apparently caused a greater reduction of CE in the soil solution. In the first experiment, CE diminished from 19.8 to 17.7 dS m⁻¹ (10.6%) with the bean extract; while in the second it decreased from 12.1 to 10.0 dS m⁻¹ (17.3%) with the corn extract; nevertheless, in both experiments CE decreased by 2.1 dS m⁻¹. Likewise, when bean extract was applied to a solution with NaCl, decrease in CE was 37% after 22 h and up to 48% after 144 h, with 75 and 100 mL extract, respectively.

Index words: *sodium chloride, bean, corn, chickpea.*

INTRODUCCIÓN

México posee una extensión territorial de 2.022 millones de kilómetros cuadrados, los cuales representan 202.2 millones de hectáreas; la superficie continental es de 196.7 millones de hectáreas que se utilizan en actividades agrícolas, pecuaria, forestales y acuacultura. De la superficie referida, una importante cantidad (29.3 millones de hectáreas), que representa

aproximadamente 15% en relación con el total, está dedicada a la agricultura de cultivos básicos, como maíz, frijol, trigo, arroz, y de hortalizas, oleaginosas, frutales y forrajes (Turrent-Fernández y Cortés-Flores, 2005).

Lo anterior indica el potencial que México tiene para producir alimentos, lo cual es una característica importante en la historia de todo país (Evenson y Kisleev, 1976). Una cantidad de 500 000 ha, de los 29.3 millones, son improductivas debido a la elevada concentración de sales que poseen (Llerena-Villalpando, 1998), lo cual se hace evidente cuando dicha concentración aumenta después de un límite óptimo y comienzan a producirse los efectos salinos (Rodríguez-Suppo, 1982), toda vez que aumenta la presión osmótica en la solución del suelo en relación con la que existe en las células de las raíces de los cultivos, afectando la entrada de iones nutritivos en los pelos radiculares y, en consecuencia, la nutrición de las plantas (Millar *et al.*, 1980). La presencia de sal en concentraciones elevadas en el suelo es un factor de estrés común e importante en los desiertos (Flowers *et al.*, 1977), pero también limita el crecimiento de plantas en muchas regiones templadas (Greenway y Munns, 1980), ocasionando, incluso, la muerte de éstas.

Los suelos salinos presentan conductividad eléctrica de 4 ó más dS m^{-1} , pH de 7.3 a 8.5 y menos de 15% de sodio intercambiable, que hacen que el crecimiento y desarrollo de plantas no sean remunerativos o que determinan las posibilidades de remoción de sus sales o sodio intercambiable, mediante prácticas correctivas (Cepeda-Dovala, 1999; Plaster, 2000).

Las sales solubles son aquéllas que son tan solubles o más en agua que el yeso (sulfato de calcio, CaSO_4); no obstante, las de mayor interés para los suelos son los sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y los cloruros (Cl^-) de bases de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ , y las que más predominan en los suelos salinos son los cloruros y sulfatos (Plaster, 2000).

La sal de cocina es un compuesto binario formado por los elementos sodio y cloro, y puesto que el sodio tiene número de oxidación +1 y el cloro -1, la fórmula es NaCl , cuya disolución en agua siempre va acompañada de un cambio de energía, de tal manera que a partir del NaCl resultan los iones de Na^+ y Cl^- separados (Miller, 1978).

Los suelos salinos, sódicos y salino-sódicos pueden reducir la disponibilidad de humedad directa o

indirectamente, así como ejercer una influencia dañina sobre el crecimiento de los cultivos (Critchley y Siegert, 1997), ya que pueden estar defloculados y ser impermeables al agua y al aire, por lo que las plantas pueden crecer con mucha dificultad y, en casos severos, no crecer en absoluto (Gavande-Sampat, 1979).

El cultivo de plantas tolerantes a la salinidad y sodicidad ha sido otro método utilizado para remover el carbonato de calcio (CaCO_3) presente en un suelo salino-sódico, en lugar de usar un método químico, de manera que, cultivando especies como *Sesbania aculeata*, *Leptochloa fusca*, *Echinochloa colona* y *Eleusine coracana*, todas tolerantes a la salinidad y sodicidad, se ha encontrado que *Sesbania aculeata* es una de las más adecuadas para cultivarse en el tipo de suelo referido, así como para reducir los procesos de salinización y sodificación en estos suelos (Qadir *et al.*, 1996).

La aplicación de yeso al suelo con problemas de sodio cambiante por calcio, seguida por lixiviación de sales, es una práctica correctiva que se ha sugerido para mejorar las propiedades físicas y químicas de suelos con problemas de altas concentraciones de sodio o sales. Asimismo, la aplicación de agua suficiente para lixiviar sales hacia las partes más profundas del suelo, práctica que en la actualidad se observa seriamente limitada por la escasez de agua que ha estado ocurriendo en gran parte del territorio nacional.

Sin embargo, dichas prácticas no se han generalizado en la corrección de suelos con alta concentración de sales o sodio, por lo que, en la actualidad, México posee áreas importantes con este problema y, lo que es peor, éstas siguen aumentando paulatinamente, sobre todo en aquellas regiones que están próximas a las marismas o a las costas del Océano Pacífico, del Golfo de California y del Golfo de México, y en todas aquellas regiones que están utilizando agua del subsuelo para regar los cultivos, como las que se observan en los estados de Sonora, Baja California, Baja California Sur, Michoacán, Guanajuato, Estado de México y Coahuila.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto aparente de extractos vegetales en la conductividad eléctrica de un suelo salino o de soluciones con cloruro de sodio. La hipótesis formulada fue que, por su origen, los extractos vegetales son distintos en el contenido de sustancias, y que éstas pueden tener efecto en la conductividad

eléctrica de un suelo salino o de soluciones con cloruro de sodio, ocasionando cambios en dicha conductividad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo dos experimentos en invernadero y dos en laboratorio en Sinaloa, México (24° 37' 29" N, 107° 26' 36" O). En los primeros dos experimentos, se utilizaron muestras de dos suelos salinos arcillosos, tomadas de la parte superficial del suelo (muestras con signos visibles de sal después de un riego por gravedad). Uno con pH de 7.62, CE de 19.8, RAS igual a 4.86, y donde los cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio estuvieron en 100, 60, 43.5 y 20 meq L⁻¹, respectivamente, mientras que los aniones carbonatos, sulfatos, cloruros y bicarbonatos alcanzaron los respectivos valores de 0, 60.9, 137.5 y 25 meq L⁻¹. El otro suelo tuvo un pH de 7.74, CE igual a 12.1 y RAS de 4.16; así como cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio en concentraciones de 62.5, 48.5, 31 y 16 meq L⁻¹, respectivamente, en tanto que los respectivos valores de los aniones carbonatos, sulfatos, cloruros y bicarbonatos fueron de 0, 15, 82.5 y 25 meq L⁻¹. De cada muestra se tomaron 800 g de suelo para depositarlos en macetas de poliestireno con capacidad de 1.0 L y sin orificios para drenado.

En tres ocasiones se agregó extracto de materia fresca de frijol de la variedad Mayocoba (Azufrado Pimono 78), maíz y garbanzo, hasta que el suelo adquirió la apariencia pastosa, haciendo cada aplicación después de secar el suelo a temperatura ambiente del invernadero. El extracto se obtuvo mediante trituración de 1.0 kg de materia fresca de cada especie en 3 L de agua destilada, el cual sólo se analizó en su CE. Para la obtención del extracto se utilizaron plantas de frijol y garbanzo en estado de inicio de floración y las de maíz en estado juvenil con altura aproximada de 60 cm. El material vegetal se cortó en pequeños trozos, los cuales se trituraron con una batidora de la marca Braun con picador metálico y capacidad de 200 Watt, hasta que dicho material quedara bien licuado; después de triturar la materia, se llevó a cabo la filtración de la sustancia usando lienzo de manta de una capa, para obtener la sustancia líquida o extracto de cada especie.

En otros dos experimentos, se utilizó una solución de agua destilada más cloruro de sodio o sal de cocina y extracto de frijol en cuatro repeticiones, en los cuales el testigo fue una solución constituida con 1.0 g

de cloruro de sodio (NaCl) o sal de cocina diluida en 100 mL de agua destilada, por lo que la concentración de Na⁺ fue de 396.5 mg ó 17.2 meq por 100 mL de agua destilada. Del extracto de frijol se tomaron muestras de 25, 50, 75 y 100 mL, las cuales representaron a los tratamientos, el extracto se depositó en frascos de cristal con capacidad de 150 mL, a lo que se agregó 1.0 g de sal de cocina y se completó a 100 mL con agua destilada, de tal forma que las mezclas fueron: 1.0 g de sal de cocina + 100 mL de agua destilada + 0 mL de extracto (testigo); 1.0 g de sal de cocina + 75 mL de agua destilada + 25 mL de extracto; 1.0 g de sal de cocina + 50 mL de agua destilada + 50 mL de extracto; 1.0 g de sal de cocina + 25 mL de agua destilada + 75 mL de extracto; y 1.0 g de sal de cocina + 0 mL de agua destilada + 100 mL de extracto.

La mezcla se hizo inmediatamente después de obtener el extracto; los frascos se sellaron herméticamente y la mezcla se dejó en reposo a temperatura ambiente de laboratorio durante 22 h, y luego se realizó el análisis de la mezcla para estimar la conductividad eléctrica, a cuyo valor se le restó la cantidad observada en el extracto puro, la cual fue de 2.9 dS m⁻¹.

En el primer experimento, realizado en el laboratorio durante la primera quincena de noviembre de 2002, se continuó con el análisis de conductividad a las 44, 76 y 144 horas, mientras que, en el segundo, llevado a cabo durante la segunda quincena de diciembre del mismo año, el análisis se continuó a las 44 y 264 h, después de que se preparó cada solución, para volver a determinar la cantidad de dS m⁻¹, y observar si continuaba la disminución de la conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica de la solución del suelo, de las soluciones con cloruro de sodio y de los extractos, se determinó mediante un conductímetro de la marca Hanna, Modelo EC-214; sin embargo, para las soluciones salinas y los extractos, el respectivo análisis se hizo después de agitar las sustancias en los frascos de cristal. Los diseños experimentales que se utilizaron fueron los de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en invernadero y el completamente al azar en laboratorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación de medias de dS m⁻¹, observadas en los experimentos con muestras de suelo salino en las que se aplicó extracto vegetal (Cuadro 1), indicó

Cuadro 1. Comparación de medias de $dS\ m^{-1}$ observadas en muestras de suelo salino tratado con extracto vegetal.

Tratamiento	Experimento I	Experimento II
	- - - - $dS\ m^{-1}$ - - - -	
Extracto de garbanzo	19.3 ab [†]	12.9 a
Extracto de maíz	18.5 ab	10.0 b
Extracto de frijol	17.7 b	10.8 ab
Testigo (sin extracto)	19.8 a	12.1 ab

[†] Medias con la misma letra en columna son iguales, según Duncan a 0.05 de probabilidad.

diferencias significativas entre los tipos de extractos utilizados en relación con su efecto, a través de algunas sustancias que contienen, para disminuir la CE de la solución del suelo.

En el primer experimento puede apreciarse que con el extracto de frijol la CE disminuyó significativamente en 10.6% en relación con el promedio del suelo testigo, mientras que, en el segundo, la disminución fue de 10.7%, aunque no significativo con relación al promedio del testigo. No obstante, en el segundo experimento, la mayor disminución significativa fue de 17.3%, la cual se logró con el extracto de maíz.

El conocimiento de genética que refiere las diferencias químicas entre especies vegetales, debidas, en gran parte, a la constitución genética de cada una, permite entender que los extractos vegetales ocasionan un efecto aparente en la conductividad eléctrica de dicho suelo.

La conductividad eléctrica, observada en los extractos que se obtuvo de frijol, maíz o garbanzo, denotó que las plantas poseen sales en sus células y que la concentración de éstas puede variar de una especie a otra. Lo anterior coincide con lo reportado por Salisbury y Ross, en 2000, en el sentido de que de forma natural las plantas contienen sales en el citoplasma de sus células. Esto coincide con lo referido por Plaster, también en 2000, acerca de que una sal es una sustancia química que resulta de la reacción de un ácido con una base, como la reacción del ácido clorhídrico con el hidróxido de sodio para formar sal de mesa común (NaCl), ya que en el citoplasma de las células ocurren reacciones químicas que pueden conllevar a la formación de sales, como sulfatos, bicarbonatos, carbonatos y cloruros. Proceso que sucede cuando un hidrógeno del oxidrilo es reemplazado por un átomo de baja electronegatividad (Milton, 1971), con la consecuente formación de iones positivos o negativos que se pueden atraer por enlaces

iónicos, covalentes, u otro tipo de fuerzas para formar moléculas de sal (Morrison y Boyd, 1973).

La disminución notoria o escasa de la CE en la solución del suelo, después de que a éste se le agregó el extracto proveniente de frijol, maíz o garbanzo, puso en evidencia que las especies referidas varían en su composición química y que, en ellas, se encuentran o sintetizan sustancias que pueden reaccionar con las moléculas de sal o con los iones que resultan de éstas, transformando a las sales o iones en otras sustancias que quizás no ocasionen en el suelo condiciones negativas para el crecimiento de las plantas.

Sin embargo, también pudo ocurrir la formación de otros compuestos que funcionan como electrólitos fuertes o débiles, los cuales, como dice Miller (1978), influyen en la conductividad eléctrica de las soluciones, de tal forma que altas cantidades de electrólitos fuertes y la ionización de éstos en la solución del suelo, quizás hicieron que la corriente eléctrica fuera conducida más eficazmente en la solución de suelos tratados con extracto de garbanzo y en el testigo en relación con las soluciones de suelos manejados con extracto de frijol o maíz.

Quizás el Ca^{2+} sea una de las sustancias que tiene que ver con la disminución de la CE, ya que éste existe en el citosol pero, de acuerdo con Williamson (1984), en concentraciones bajas, casi micromolar, impide la formación de sales de calcio insolubles, de tal manera que elevadas concentraciones de Ca^{2+} hicieron posible que el Na^{+} soluble disminuyera en la solución del suelo, debido a que, como lo reportaron Millar *et al.* (1980), en la fracción coloidal el Ca^{2+} reemplaza al Na^{+} y este último se convierte en sulfato de sodio neutro que precipita en la solución y se lixivia del suelo. Esto último, en cierta forma, tiene relación con lo que informaron Qadir *et al.* (2001), quienes reportaron que la mejora de suelos salinosódicos puede lograrse con un aumento del Ca^{2+} en los sitios de intercambio catiónico a expensas de un gasto de sodio.

El potasio (K^{+}) es otra sustancia que ordinariamente se encuentra en todas las células de las plantas y, en especial, en las células guardas y las que rodean a éstas, y es tan abundante que es uno de los elementos más importantes en la contribución al potencial osmótico de las células (Salisbury y Ross, 2000), por lo que también puede considerarse que con los extractos se aplicaron importantes cantidades de K^{+} , lo que, a su vez, quizás también ocasionó cambios en la CE de la solución de los suelos, ya que, según

Benlloch *et al.* (1994), el K^+ puede reaccionar con el Cl^- para formar KCl e inhibir el efecto que producen los iones Na^+ y Cl^- .

En el primer experimento, que se hizo con extracto de frijol y cloruro de sodio o sal de cocina más agua destilada, los análisis de varianza hechos con los valores de $dS\ m^{-1}$ observados, al transcurrir 22, 44, 76 y 144 h, en las unidades experimentales (frascos con solución), indicaron diferencias significativas entre las dosis de extracto (Cuadro 2) en relación con el efecto que tuvieron, a través de algunas sustancias que contienen, para ocasionar cambios en la CE de las soluciones.

Lo anterior se corroboró con la comparación de medias de $dS\ m^{-1}$ (Cuadro 3), la cual indicó que, al término de 22 h, los mayores porcentajes de disminución fueron de 34 y 37% cuando se aplicaron las dosis de 75 y 100 mL de extracto, respectivamente; sin embargo, todas las dosis disminuyeron significativamente la CE con respecto al testigo, aunque con 25 y 50 mL sólo se lograron las respectivas disminuciones de 29 y 17%. En los análisis posteriores, también se observó disminución de la CE en forma significativa con todos los tratamientos en relación con el testigo, pero al cabo de 44 h lo más que se logró bajar la CE fue 34, 35 y 34%, con 25, 75 y 100 mL de extracto, respectivamente; mientras que al completarse 76 h, las mayores

disminuciones fueron de 44, 44 y 43%, con las mismas dosis. Al término de 144 h, también con dichas dosis, se obtuvieron las más fuertes disminuciones con porcentajes de 45, 48 y 44%, en el mismo orden.

En el Cuadro 3, también puede observarse que después de 22 h la CE disminuyó más, a través del tiempo, con 25 y 75 mL de extracto.

En el segundo experimento con sal de cocina diluida en agua destilada más extracto de frijol (Cuadro 4), los análisis de varianza hechos con los datos recabados al transcurrir 22, 44 y 264 h, después de que se elaboró la solución, indicaron diferencias significativas entre las dosis en cuanto a su efecto para disminuir CE, pero la comparación de medias indicó que dichas diferencias sólo se observaron entre el tratamiento de 25 mL de extracto y el testigo, al cabo de 22 y 264 h, tiempos en los que con 25 mL la CE disminuyó 15 y 19%, respectivamente, siendo los porcentajes más altos. Mientras que, al completarse 44 h, las diferencias significativas se dieron entre las dosis de 25 y 75 mL de extracto; no obstante, para este tiempo, la CE bajó 14% con la dosis de 25 mL en relación con el promedio observado en la solución testigo, en tanto que con 75 mL la CE incrementó 7%.

Con las dosis de 50 y 100 mL de extracto, la CE siempre fue inferior a la observada en la solución testigo, aunque no de manera significativa, y

Cuadro 2. Grados de libertad (GL), suma de cuadrados (SC) y cuadrados medios (CM) de los análisis de varianza hechos con los valores de $dS\ m^{-1}$ de las mezclas de sal de cocina con agua destilada y extracto de frijol.

FV	GL	SC	CM	Prob.>F [†]
$dS\ m^{-1}$ a 22 horas				
Dosis de extracto	4	113.04533	28.26133	0.0001
Repeticiones	3	8.29229	2.76410	0.1868
Error	12	17.64443	1.47037	
Total	19	138.98205		
$dS\ m^{-1}$ a 44 horas				
Dosis de extracto	4	95.74164	23.93541	0.0001
Repeticiones	3	1.98803	0.66268	0.6768
Error	12	15.30829	1.27569	
Total	19	113.03796		
$dS\ m^{-1}$ a 76 horas				
Dosis de extracto	4	163.48126	40.87031	0.0001
Repeticiones	3	2.90601	0.96867	0.3181
Error	12	8.91041	0.74253	
Total	19	175.29769		
$dS\ m^{-1}$ a 144 horas				
Dosis de extracto	4	187.47035	46.86759	0.0001
Repeticiones	3	1.11976	0.37325	0.8685
Error	12	18.85933	1.57161	
Total	19	207.44945		

[†] Prob.>F = significancia de la prueba de F.

Cuadro 3. Comparación de medias de dS m⁻¹ observadas en las mezclas de sal de cocina con agua destilada y extracto de frijol.

Tratamiento	dS m ⁻¹			
	22 horas	44 horas	76 horas	144 horas
Testigo (sin extracto de frijol)	17.5 a [†]	16.2 a	16.7 a	17.1 a
25 mL de extracto de frijol	12.4 bc	10.7 b	9.4 b	9.4 b
50 mL de extracto de frijol	14.5 b	12.4 b	10.6 b	11.0 b
75 mL de extracto de frijol	11.5 c	10.5 b	9.3 b	8.8 b
100 mL de extracto de frijol	11.0 c	10.6 b	9.5 b	9.6 b

[†] Medias con la misma letra en columna son iguales (Tukey a 0.05 de probabilidad).

Cuadro 4. Comparación de medias de dS m⁻¹ observadas, conforme transcurrió el tiempo, en las mezclas de sal de cocina, agua destilada y extracto de frijol.

Tratamiento	dS m ⁻¹		
	22 horas	44 horas	264 horas
Testigo (sin extracto de frijol)	19.4 a [†]	19.1 ab	19.6 a
25 mL de extracto de frijol	16.4 b	16.4 b	15.9 b
50 mL de extracto de frijol	18.0 ab	17.7 ab	17.2 ab
75 mL de extracto de frijol	20.3 a	20.4 a	19.6 a
100 mL de extracto de frijol	18.0 ab	18.1 ab	17.2 ab

[†] Medias con la misma letra, en la misma columna, son iguales (Duncan al 0.05 de probabilidad).

los porcentajes de disminución oscilaron entre 7 y 12% con ambas dosis. A diferencia de lo anterior, con 75 mL de extracto la CE aumentó 5 y 7% cuando transcurrieron 22 ó 44 h, respectivamente, pero al término de 264 h disminuyó, para quedar igual a la que se observó en la solución testigo.

En este cuadro también se nota disminución continua de la CE, después de 22 h, en las soluciones en que se aplicaron las dosis de 25 ó 50 mL de extracto.

La realización de reacciones entre sustancias de origen vegetal y los iones, transformando a los últimos en otras sustancias, se observó cuando el extracto de frijol se mezcló con una solución con base en cloruro de sodio o sal de cocina (NaCl). En estas reacciones, a través del tiempo, se registró una disminución paulatina y continua de la CE. Después de 22 h siguieron ocurriendo reacciones que ocasionaron una disminución de la CE, lo que, a su vez, confirma en forma más clara que la planta de frijol elabora y posee sustancias que pueden reaccionar con los iones que resultan de dicha sal, y que, una vez que éstas se incorporan a una solución salina, pueden provocar que la CE disminuya.

Sin duda que con 25 mL de extracto de frijol la aplicación de Ca²⁺ fue más baja en relación con las otras dosis aplicadas, y se limitó la formación de sales de calcio insolubles debido a las bajas concentraciones de Ca²⁺ como lo señaló Williamson

(1984), causando parte de la disminución de la CE observada en las soluciones con NaCl.

Puesto que con los extractos se aplicaron importantes cantidades de K⁺, entonces también este elemento ocasionó cambios en la CE de las soluciones con NaCl, al igual que en la solución de los suelos salinos, ya que de acuerdo con Benlloch *et al.* (1994), cuando el K⁺ reacciona con el Cl⁻ forma KCl e inhibe el efecto que producen el Na⁺ y Cl⁻.

Los electrólitos fuertes o débiles que se hayan formado en las soluciones con NaCl y extracto de frijol, también pudieron ocasionar la variación de la CE en los dos experimentos realizados en condiciones de laboratorio. De tal manera que los electrólitos débiles hicieron que la CE disminuyera a través del tiempo, sobre todo con las dosis de 25 y 75 mL de extracto de frijol, en el primer experimento, y, con las dosis de 25 y 50 mL, en el segundo.

Las diferencias observadas en la disminución de la CE, en términos de porcentajes, del primero al segundo experimento, hechos con soluciones con base en cloruro de sodio, se deben a las temperaturas que ocurrieron en noviembre y diciembre; en el primer mes el promedio fue de 23 °C y, en el segundo, de 18 °C, lo cual pudo afectar la velocidad de reacciones entre las sustancias contenidas en los extractos y los iones Na⁺ y Cl⁻.

La capacidad natural de las plantas de frijol y maíz, a través de los extractos utilizados y de

las sustancias contenidas en ellos, para disminuir significativamente la CE de la solución de un suelo salino, o específicamente la capacidad de las plantas de frijol para hacer decrecer la CE de soluciones con cloruro de sodio, tiene relación con lo reportado por Qadir *et al.* (1996). Estos autores reportaron que de cuatro especies estudiadas en condiciones de cultivo en un suelo salino-sódico, *Sesbania aculeata* fue la más adecuada para reducir los procesos de salinización y sodificación del suelo.

CONCLUSIONES

- Las plantas de frijol y maíz tienen sustancias que pueden reaccionar con las moléculas de sal, por lo que cuando éstas se adicionan al suelo pueden ocasionar que la CE disminuya en la solución del mismo.

- El extracto de frijol tuvo más efecto, a través de algunas sustancias que contiene, que los extractos de maíz y garbanzo en la disminución de la CE del suelo, y, cuando éste se aplicó a una solución con cloruro de sodio, la CE disminuyó significativamente.

- En el primer experimento de laboratorio, todas las dosis del extracto de frijol ocasionaron que la CE disminuyera significativamente con relación al testigo, pero, en el segundo experimento, sólo la dosis de 25 mL de extracto indujo una disminución significativa de la CE.

- En los dos experimentos hechos en laboratorio se observó que la CE tuvo una tendencia a disminuir paulatinamente, aunque, en el primer experimento, la disminución progresiva más prominente fue con las dosis de 25 y 75 mL de extracto, respectivamente, mientras que, en el segundo experimento, la tendencia progresiva en la disminución de la CE se obtuvo con las dosis de 25 y 50 mL de extracto.

LITERATURA CITADA

- Benlloch, M., M.A. Ojeda, J. Ramos y A. Rodríguez-Navarro. 1994. Salt sensitivity and low discrimination between potassium and sodium in bean plants. *Plant Soil* 166: 117-123.
- Cepeda-Dovala, J.M. 1999. Química de suelos. Trillas. México, D.F.
- Critchley, W. y K. Siegert. 1997. Manual de captación de agua de lluvia. Versión 1991. Trad. al español por M. Anaya-Garduño. 1997. Publicación Especial 6. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Evenson, E.R. y Y. Kislév. 1976. Investigación agrícola y productividad. Editorial Tecnos. Madrid, España.
- Flowers, T.J., P.F. Troke y A.R. Yeo. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 28: 89-121.
- Gavande-Sampat, A. 1979. Física de suelos. Principios y aplicaciones. Editorial Limusa. México, D.F.
- Greenway, H. y R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31: 149-190.
- Llerena-Villalpando, F.A. 1998. Manual de diseño e instalación de drenaje parcelario en zonas áridas y semiáridas bajo riego. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-Universidad Autónoma Chapingo-Colegio de Postgraduados-Comisión Nacional del Agua. Jiutepec, Morelos, México.
- Millar, C.E., L.M. Turk y H.D. Foth. 1980. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Editorial Continental. México, D.F.
- Miller, A. 1978. Química básica. Harper y Row Latinoamericana, (HARLA). México, D.F.
- Milton, K.S. 1971. Química, estructuras y reacciones. Editorial Continental. México, D.F.
- Morrison, R.T. y R.N. Boyd. 1973. Química orgánica. Fondo Educativo Interamericano. México, D.F.
- Plaster, J.E. 2000. La Ciencia del Suelo y su manejo. Trad. al español por P. Scott. Editorial Paraninfo. Madrid, España.
- Qadir, M., R.H. Qureshi, N. Ahmad y M. Ilyas. 1996. Salt-tolerant forage cultivation on a saline-sodic field for biomass production and soil reclamation. *Land Degradation Dev.* 7: 11-18.
- Qadir, A., S. Schubert, A. Ghafoor y G. Murtaza. 2001. Ameliation strategies for sodic soils. *Land Degradation Dev.* 12: 357-386.
- Rodríguez-Suppo, F. 1982. Fertilizantes-Nutrición Vegetal. Editor S. A. AGT. México, D.F.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 2000. Fisiología de las plantas. Editorial Paraninfo. Madrid, España.
- Turrent-Fernández, A. y J.I. Cortés-Flores. 2005. Ciencia y tecnología en la agricultura mexicana: I Producción y sostenibilidad. *Terra Latinoamericana* 23: 265-272.
- Williamson, R.E. 1984. Calcium and the plant cytoskeleton. *Plant Cell Environ.* 7: 431-440.

APLICACIONES FOLIARES DE CALCIO Y SILICIO EN LA INCIDENCIA DE MILDIU EN LECHUGA

Foliar Sprays of Calcium and Silicon on Incidence of Downy Mildew Disease in Lettuce

Ignacio de Dios-Delgado¹, Manuel Sandoval-Villa^{1‡}, Ma. de las Nieves Rodríguez-Mendoza¹ y Elizabeth Cárdenas-Soriano¹

RESUMEN

La enfermedad mildiu, ocasionada por *Bremia lactucae* (Regel), es común en lechuga y genera pérdidas casi totales del cultivo en campo y en invernadero. Las plantas más vulnerables a plagas y enfermedades son aquellas expuestas a una nutrición deficiente. Los fertilizantes foliares mejoran la nutrición del cultivo e incrementan la calidad y la resistencia a enfermedades. El calcio y silicio favorecen la rigidez de las paredes celulares, generan resistencia a enfermedades y propician mayor vida postcosecha. Para probar el efecto del calcio y del silicio en la incidencia de *Bremia lactucae*, se realizó un experimento en cámara de crecimiento con temperatura y humedad relativa controlada. Los factores en estudio fueron: con y sin inoculación de plantas con el hongo *Bremia lactucae*, aplicación foliar a 40, 45 y 50 días después de la siembra de 0, 0.5 y 1% de nitrato de calcio y aplicación foliar de metasilicato de sodio a razón de 0, 2 y 4 mg L⁻¹ con tres repeticiones (54 unidades experimentales con 10 plantas cada una de ellas). La dosis más alta de calcio no correspondió a la mayor absorción en las hojas, pero la concentración de calcio aumentó en plantas inoculadas con *Bremia lactucae*. Altos valores de silicio ocasionaron antagonismo con calcio. La absorción de silicio fue 35% menor en plantas inoculadas con *Bremia lactucae* y, en general, la absorción de silicio, independientemente de la inoculación, fue baja. La inoculación ocasionó mayor altura y peso fresco de las plantas. La calidad postcosecha de las hojas medidas mediante lecturas SPAD fue mayor en plantas asperjadas con 0.5 y 1% de nitrato de calcio. La aplicación de 0.5% de nitrato

de calcio más 4 mg L⁻¹ de metasilicato de sodio disminuyó 10% el porcentaje de área foliar dañada por el hongo.

Palabras clave: *Bremia lactucae* (Regel), *aspersión nutricional*, *Lactuca sativa*.

SUMMARY

The disease known as mildew is caused by the fungus *Bremia lactucae* (Regel), the main lettuce disease since it may damage most lettuce leaves and it may occur both in the field and in the greenhouse. Plants supplied with low levels of mineral nutrients are more vulnerable to this fungus. Foliar spray is becoming an alternative in improving plant nutrition and enhancing crop quality and crop disease resistance. Calcium and silicon sprays improve cell wall structure, increase resistance to diseases, and improve crop shelf life. In order to test the effect of calcium and silicon on *Bremia lactucae* infestation, an experiment was conducted with the following factors and levels: fungus inoculation (with and without), calcium (foliar spray 0, 0.5, and 1%), and silicon (foliar spray 0, 2, and 4 mg L⁻¹). Sprays were supplied at 40, 45, and 50 days after sowing. A completely randomized design was used including three replications and a total of 54 experimental units. Each unit consisted of 10 seedlings. Contrary to expected, a high supply of calcium did not correspond to high calcium absorption but calcium concentration was higher in plants inoculated with *Bremia lactucae*. Silicon uptake was 35% lower in inoculated plants and this absorption, independently of inoculation, was low. Inoculation with *Bremia lactucae* caused taller plants and more fresh weight. Shelf life measured indirectly by SPAD readings was longer in non-inoculated plants and even longer when sprayed with 0.5 and 1% calcium nitrate. The combination of foliar sprays with 0.5% calcium plus 4 mg L⁻¹ silicon on lettuce decreased leaf damage caused by *Bremia lactucae* by 10%.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

[‡] Autor responsable (msandoval@colpos.mx)

Index words: *Bremia lactucae* (Regel), *nutrient sprays*, *Lactuca sativa*.

INTRODUCCIÓN

La lechuga, como todo cultivo, es afectada por plagas, maleza y enfermedades, de las cuales las más importantes son las ocasionadas por bacterias y hongos que disminuyen considerablemente la calidad, lo que propicia menor producción comercializable y de menor competitividad, al mismo tiempo se incrementan los costos del cultivo por la aplicación de agroquímicos para el control de las plagas y enfermedades.

La alta correlación encontrada entre la cantidad de calcio en los tejidos y la resistencia de las plantas hospedantes a enfermedades fungosas, se explica, en parte, porque el calcio afecta la incidencia de los parásitos de dos formas (Marschner, 1995): 1) el calcio es esencial para la estabilidad de las biomembranas, cuando los valores de calcio en los tejidos están bajos, el transporte de compuestos de bajo peso molecular como los azúcares del citoplasma al apoplasto es muy bajo; y 2) el incremento de pectatos de calcio incrementa la resistencia del tejido a la degradación por las poligalacturonasas que muchos hongos patógenos (*Leptosphaeria maculans*, *Pseudomonas syringae*, *Monilinia frutícola*, *Erwinia carotovora*) producen al invadir el tejido del hospedero (Atkinson *et al.*, 1996; Annis y Goodwin, 1997; Biggs *et al.*, 1997; Flego *et al.*, 1997). Sin embargo, se ha encontrado que en algunos intervalos de concentración, el calcio inhibe el crecimiento y la extensión de la pared celular (Carpita, 1987).

El calcio también es importante como translocador de señales para desencadenar una respuesta por parte de la planta a la infección de patógenos en términos de elongación y crecimiento celular (Marschner, 1995).

En cuanto al silicio, éste proporciona resistencia mecánica a las plantas de arroz y caña de azúcar al ataque de enfermedades fungosas al formar barreras estructurales externas y promover la producción de fenoles y, además, es un factor de tolerancia al exceso de aluminio, hierro y manganeso en suelos ácidos (Chérif y Belánger, 1992), y disminuye la transpiración del cultivo (Hewitt y Smith, 1974). La concentración crítica de este elemento en las plantas cultivadas es menor que 0.2%, mientras que el intervalo de suficiencia se ubica entre 0.2 a 2%; aunque niveles mayores que 2% no son tóxicos (Bennett, 1993).

El hecho de que el Si quede depositado en las paredes celulares del tejido epidérmico, proporciona a la planta diversos beneficios: evita la pérdida del agua por transpiración cuticular e incrementa la elasticidad de la pared celular durante el crecimiento de la planta al interactuar con pectinas y polifenoles (Marschner, 1995).

En México, la lechuga tradicionalmente se cultiva en campo; por ejemplo, se sembraron 9379 ha en 1997 (SAGAR, 1998). Sin embargo, en los últimos años han emergido nuevos mercados en el que los consumidores demandan un producto fresco y libre de patógenos. Esta demanda está siendo cubierta, en parte, por empresas que se dedican a producir lechuga juvenil y adulta en invernadero [$\pm 2\%$ de aproximadamente 2700 ha de invernadero en México (Steta, 2004)], que consiste en cultivar la planta por 35 a 45 días con alta densidad de siembra y se procede a su cosecha para consumo en fresco. Aun en estos ambientes controlados, se ha encontrado que el cultivo es atacado por mildiu (*Bremia lactucae* Regel) principalmente por la alta humedad relativa cercana a 100% y a las temperaturas bajas, lo que favorece la proliferación de este hongo (Davis *et al.*, 1997). El exceso de humedad relativa ocasiona menor transpiración de las plantas. Esto repercute principalmente en una menor absorción de calcio, debido a que el calcio es movilizado principalmente por flujo de masas (Marschner, 1995), lo cual reduce el tiempo de vida de anaquel de la lechuga cosechada. El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del calcio y silicio en la susceptibilidad de la lechuga cultivada en invernadero a mildiu con la hipótesis de que la acumulación de Ca y Si en el tejido de las hojas de lechuga incrementa la vida de anaquel de la lechuga juvenil.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se estableció en cámaras de crecimiento (1.0 x 0.9 x 0.7 m, ancho, alto y profundidad, respectivamente) del 18 de septiembre al 28 de noviembre de 2002. Las semillas de lechuga variedad "Parris Island Cos", susceptible a *Bremia lactucae*, se sembraron en macetas de unícel poliestireno y se utilizó como sustrato una mezcla de peat moss (85%) y agrolita (15%). Las condiciones de temperatura fueron: durante el día (8:00 a 18:00 h) de 20 °C y durante la noche (18:00 a 8:00 h) de 15 °C, y se utilizaron lámparas incandescentes y lámparas fluorescentes. La humedad relativa en las

cámaras se mantuvo superior a 85%. Para fertilizar las plantas se tomó como base la solución universal Steiner (Steiner, 1984).

El primer factor consistió en la aplicación al follaje de 0, 0.5 y 1% de nitrato de calcio y el segundo factor fue la aplicación de silicio a razón de 0, 2 y 4 mg L⁻¹ de metasilicato de sodio. Se escogió como fuente de calcio al nitrato de calcio porque es la fuente que utilizan los productores para corregir problemas de vida de anaquel. En el caso del silicio, se escogió el metasilicato porque es una de las fuentes de silicio de alta solubilidad. Como resultado de la combinación de estos tres factores se tuvieron 18 tratamientos. Las aplicaciones foliares de calcio y silicio se efectuaron a 40, 45 y 50 días después de la siembra (DDS). Estas aplicaciones se llevaron a cabo 40 DDS cada cinco días para simular la aplicación correctiva que pudieran llevar a cabo los productores. El tercer factor correspondió a la inoculación de las plantas (con y sin inóculo) con del hongo *Bremia lactucae* obtenido de plantas enfermas. Para la inoculación, la cual se llevó a cabo a 60 DDS, se preparó una suspensión de 5 x 10⁴ esporas mL⁻¹ en agua destilada y una gota de Tween 20, que se aplicó con un atomizador dejando las plantas a punto de goteo; posteriormente, cada planta se cubrió con una bolsa de plástico transparente para aumentar la humedad relativa, además se colocó un humidificador por 48 h. El diseño experimental fue un diseño completamente al azar con tres repeticiones, lo cual dio un total de 54 unidades experimentales.

A 70 DDS, se evaluó el porcentaje de daño por *Bremia lactucae* (12 días después de la inoculación: 82 DDS), el cual se midió a través del número de lesiones por hoja en un total de cinco plantas por unidad experimental; para ello se utilizó el porcentaje de daño en las hojas de acuerdo con la siguiente escala en cuanto al número de manchas de infección: 0, sin

daño; 1, 0 a 6.25% de daño en la hoja que representa dos manchas; 2, 6.25 a 12.5% o cuatro manchas; 3, 12.5 a 25% equivalente a siete manchas; 4, 25 a 50% igual a ocho manchas de infección; 5, mayor que 50% equivalente a 12 manchas de infección, altura de plantas, peso seco y fresco, área foliar medida con un integrador, y lecturas SPAD a 0, 2, 4, 6, 8 y 12 días después de la cosecha (DDC). En el material vegetal muestreado (70 DDS) se determinó el contenido de calcio y silicio con base en peso seco mediante la mineralización del tejido con digestión de ácido nítrico. Los extractos se leyeron por espectrofotometría de inducción de plasma, acoplado como se describe en Alcántar y Sandoval (1999).

Éste se llevó a cabo mediante un análisis de varianza y una prueba de separación de medias Tukey y se utilizó el programa estadístico SAS, Versión 8.1 (SAS Institute, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, se muestra el análisis de varianza para las variables evaluadas en este trabajo. En general, se observa un efecto de la inoculación para altura, lecturas SPAD y daño foliar. Se aprecia una interacción significativa entre la aplicación foliar de calcio y la inoculación para lecturas SPAD a 2, 4 y 6 días después de la cosecha (DDC). La concentración de calcio y silicio fue afectada, en menor proporción, por la inoculación ($\alpha = 0.1$). A continuación se presentan los resultados de las variables evaluadas.

Altura de Planta

En el momento de la cosecha (70 DDS), el análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas [$\alpha = 0.0001$ (Cuadro 1)] y las plantas inoculadas

Cuadro 1. Análisis de varianza para concentración de calcio y silicio en hojas de lechuga “Parris Island Cos”, altura de planta, lecturas SPAD y daño foliar por *Bremia lactucae*.

Fuente de variación	g.l.	Probabilidad mayor que F									
		Calcio 70 DDS	Silicio 70 DDS	Altura 70 DDS	Lecturas SPAD						Daño foliar 70 DDS
					0 DDC	2 DDC	4 DDC	6 DDC	8 DDC	12 DDC	
Inoculación (Ho)	1	x	x	***	***	***	***	***	***	**	***
Calcio (Ca)	2	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s
Silicio (Si)	2	*	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s
Ca*Ho	2	n s	n s	n s	n s	*	*	*	x	n s	n s
Si*Ho	2	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s
Ca*Si	4	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s
Ca*Si*Ho	4	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s	n s

ns = no significativo; *, **, *** = significativo ($\alpha = 0.05, 0.01$ y 0.001 , respectivamente); x = significativo ($\alpha = 0.1$).
DDS = días después de la siembra; DDC = días después de la cosecha.

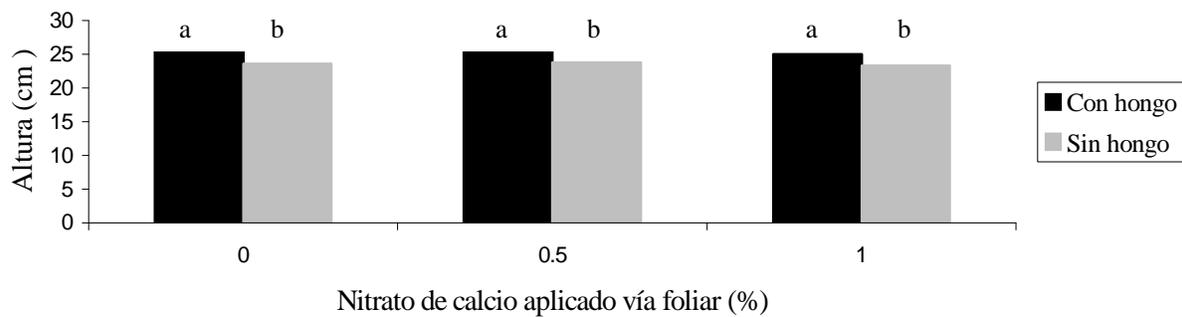


Figura 1. Efecto de aplicación foliar de nitrato de calcio aplicado a 40, 45 y 50 días después de la siembra (DDS) sobre la altura de plantas a 70 DDS de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Parris Island Cos desarrollada en cámara de crecimiento. Ciclo otoño-invierno, 2002.

alcanzaron la mayor altura (Tukey, $\alpha = 0.05$) (Figura 1). Es evidente que cualquiera que sea el mecanismo de acción del hongo, con frecuencia puede ocasionar un desequilibrio en el sistema hormonal de la planta y desencadenar respuestas anormales de crecimiento como la hiperplasia (Agris, 1988).

Área Foliar

El área foliar no presentó diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) a 70 días después de la siembra (DDS), aunque la mayor área foliar correspondió al tratamiento sin inóculo y sin nitrato de calcio aplicado vía foliar y la menor área correspondió a la mayor aplicación de nitrato de calcio (0.5 y 1%) (Figura 2). El calcio no ocasiona toxicidad a las plantas aun a concentraciones mayores que 5% (Bennett, 1993; Marschner, 1995), pero la aplicación frecuente de este nutrimento ocasiona antagonismo con potasio y magnesio, y reduce el crecimiento de las plantas.

Las plantas enfermas que desarrollaron los síntomas más severos de la enfermedad presentaron los valores más bajos en área foliar; al finalizar el experimento hubo necrosis y desprendimiento de tejido foliar que no se cuantificó. El área foliar fue menor en plantas a las cuales se aplicó metasilicato de sodio (Figura 2).

Peso Seco de Hojas

El peso seco de hojas no mostró diferencias estadísticas significativas; el valor más alto (2.6 g planta⁻¹) correspondió a la aplicación de 0.5% de nitrato de calcio e inoculación con *B. lactucae* y el más bajo a la aplicación de 1% combinado con la inoculación (2.4 g planta⁻¹).

El análisis de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$) no mostró diferencias significativas. Los tratamientos testigo y nitrato de calcio 0.5% más 4 mg L⁻¹ de metasilicato de sodio presentaron mayor acumulación de peso fresco (57.65 g y 56.56 g, respectivamente). El valor más bajo correspondió a la aplicación foliar de nitrato de calcio a 1% más 4 mg L⁻¹ de metasilicato de sodio (48.92 g). En general, la aplicación de nitrato de calcio a 1% disminuyó el peso seco y fresco de las lechugas (Figura 3). La misma tendencia ocurrió para las variables área foliar, peso fresco y peso seco, presentando un decremento en la dosis alta de nitrato de calcio (1%), lo que coincide con lo reportado por Carpita (1987), quien reportó que algunos intervalos de concentración del calcio inhiben el crecimiento y la extensión de la pared celular.

Lecturas SPAD en Lechuga

Una vez cosechadas las lechugas (70 DDS) se les tomó lecturas SPAD a 0, 2, 4, 6, 8 y 12 DDC para estudiar su comportamiento postcosecha. El análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas ($\alpha = 0.0001$), en las seis fechas posteriores a la cosecha en hojas inoculadas con *B. lactucae* y también se encontraron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) en tres muestreos a 2, 4 y 6 DDC (Cuadro 1), debidas a la interacción calcio*inoculación.

El análisis de comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$), mostró diferencias significativas para el factor inoculación, presentando los valores más altos de lecturas SPAD las plántulas sin inóculo y con aplicación de 0.5 y 1.0% nitrato de calcio (Figura 4). Esto se explica como degradación del tejido por el hongo.

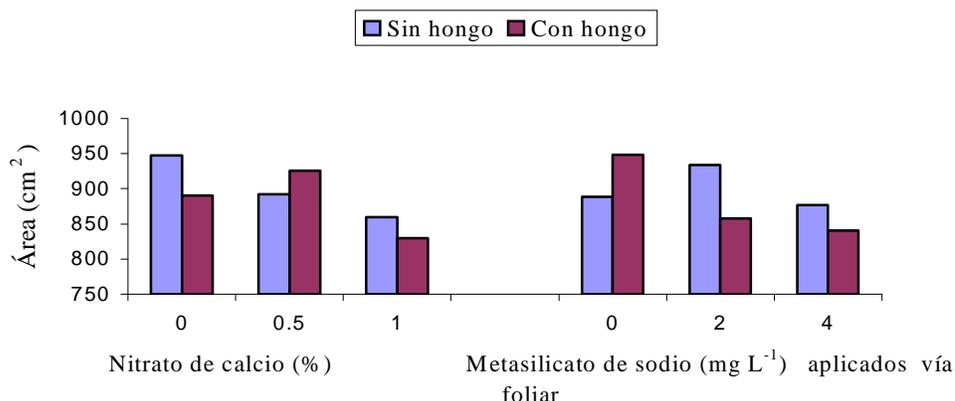


Figura 2. Efecto de la aplicación foliar de nitrato de calcio y metasilicato de sodio a 40, 45 y 50 días después de la siembra (DDS) sobre el área foliar a 70 DDS de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Parris Island Cos desarrollada en cámara de crecimiento. Ciclo otoño-invierno, 2002.

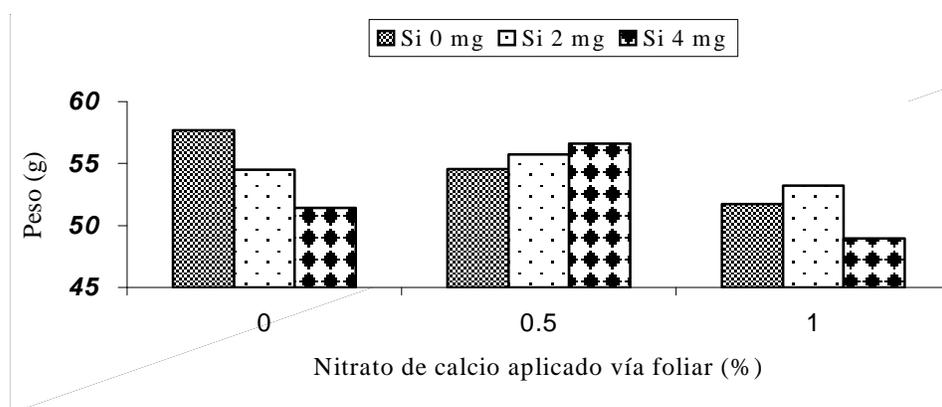


Figura 3. Efecto de la aplicación foliar de nitrato de calcio y metasilicato de sodio sobre el peso fresco a 70 días después de la siembra de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Parris Island Cos desarrollada en cámaras de crecimiento. Ciclo otoño-invierno, 2002.

Otro efecto que puede apreciarse en la Figura 4 es que el nitrato de calcio en la dosis 1%, mantuvo altos los valores SPAD en plantas no inoculadas, mientras que en las plantas inoculadas los valores son inferiores. Sin embargo, en ambos casos, las hojas se decoloran por el proceso natural de envejecimiento.

Absorción de Calcio

La concentración de calcio mostró diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) atribuidas a la aplicación foliar de metasilicato de sodio (Cuadro 1). La concentración más alta de calcio correspondió al tratamiento sin aplicación foliar de silicio [testigo

(Figura 5)]. Sin embargo, los intervalos de suficiencia de Ca para lechuga (2 a 2.8%), reportados por Mills y Jones (1991), indican que las concentraciones de calcio en lechugas están dentro del intervalo de suficiencia.

El calcio puede inducir resistencia a las enfermedades, pero en otras induce susceptibilidad, como lo demostró Taniguchi (1982). El calcio puede incrementar la severidad de las infecciones para la variante común del TMV en hojas de frijol. Un comportamiento similar ocurrió en la presente investigación, en la cual la inoculación con el hongo *Bremia lactucae* ocasionó mayores concentraciones de calcio en las hojas (Figura 6).

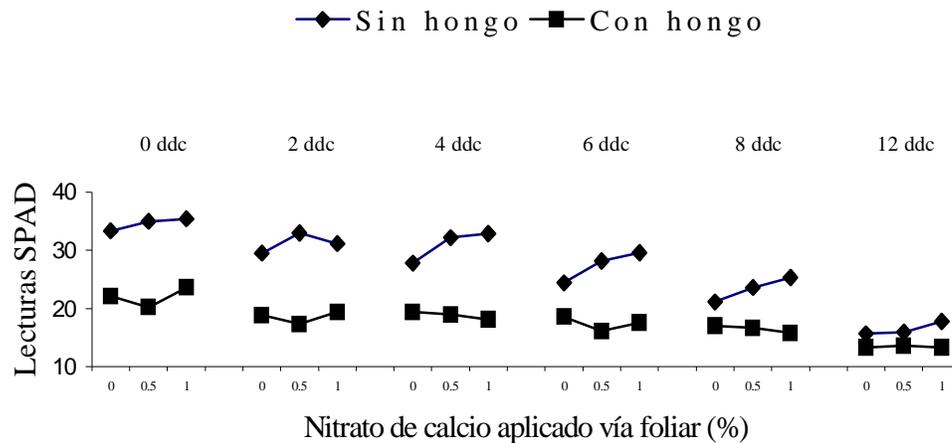


Figura 4. Efecto de la inoculación sobre lecturas SPAD a 0, 2, 4, 6, 8 y 12 días después de la cosecha almacenadas a temperatura ambiente 25 °C en hojas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Parris Island Cos desarrollada en cámaras de crecimiento. Ciclo otoño-invierno, 2002.

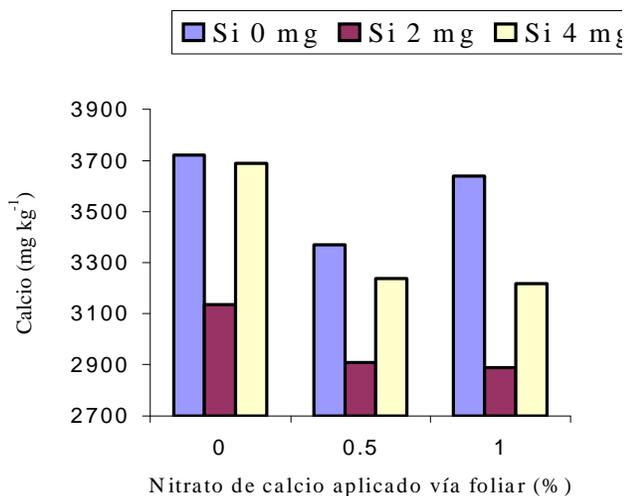


Figura 5. Efecto de aplicación de nitrato de calcio y metasilicato de sodio aplicado a 40, 45 y 50 días después de la siembra (DDS) en la concentración de calcio y silicio en hojas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Parris Island Cos desarrollada en cámaras de crecimiento cosechadas a 70 DDS. Ciclo otoño-invierno, 2002.

Absorción de Silicio

La presencia del hongo influyó significativamente en el contenido de silicio en las hojas de lechuga [$\alpha = 0.06$ (Cuadro 1)]. La prueba de Tukey ($\alpha = 0.1$) mostró que la concentración de Si en la hoja fue significativamente mayor en las plantas no inoculadas. En general, no hay una buena absorción de silicio en

las hojas (Figura 7), la concentración máxima fue de 12 mg kg⁻¹ y el valor crítico, según Bennett (1993), es menor que 20 mg kg⁻¹, por lo que los valores en el tejido vegetal son bajos en el presente estudio.

La distribución de silicio en los tejidos vegetales de la planta está determinada por la transpiración y ésta depende de la edad y de la madurez de las hojas, ya que las hojas maduras contienen más silicio que las jóvenes (Jarvis, 1987).

Porcentaje de Área Foliar Infectada

El análisis estadístico de las cuantificaciones del porcentaje de área foliar infectada mostró diferencias altamente significativas ($\alpha = 0.0001$) al factor inoculación (Cuadro 1). Las plantas inoculadas presentaron 11.48% de infección en comparación con 0% de las plantas que no se inocularon. Las plantas tratadas con nitrato de calcio (0.5%) y metasilicato de sodio (4 mg L⁻¹) presentaron menos porcentaje de área foliar infectada (Figura 8); Tukey, $\alpha = 0.05$. Las dosis altas de nitrato de calcio no presentaron disminución en el porcentaje de área foliar infectada, debido a que el N es ion acompañante del calcio. Schenk y Bettin (1990) reportaron que la deficiencia de nitrógeno en pepino redujo el crecimiento de mildiu. En el caso de silicio, la concentración en tejido vegetal fue muy baja lo que potencialmente no ayudó a favorecer la silificación de la pared celular y, por lo tanto, la resistencia mecánica de la lechuga al ataque de mildiu (Figura 8).

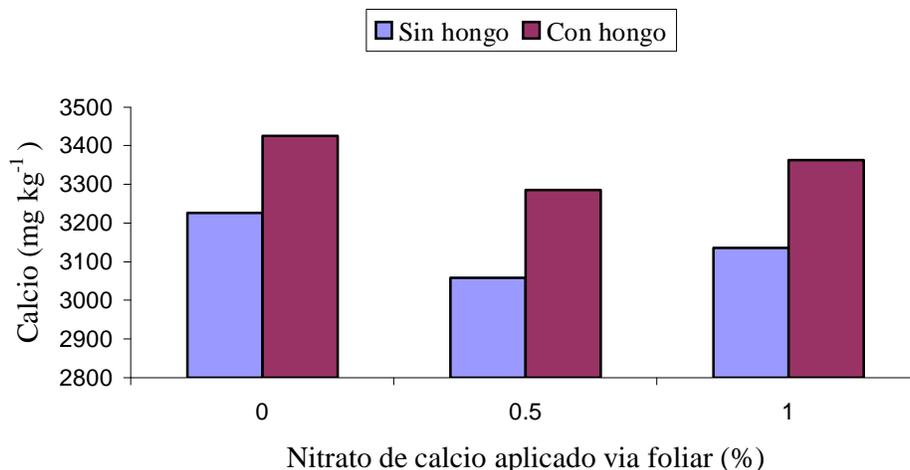


Figura 6. Efecto de la inoculación con *B. lactucae* sobre la concentración de calcio a 70 días después de la siembra en hojas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Parris Island Cos desarrollada en cámaras de crecimiento. Ciclo otoño-invierno, 2002.

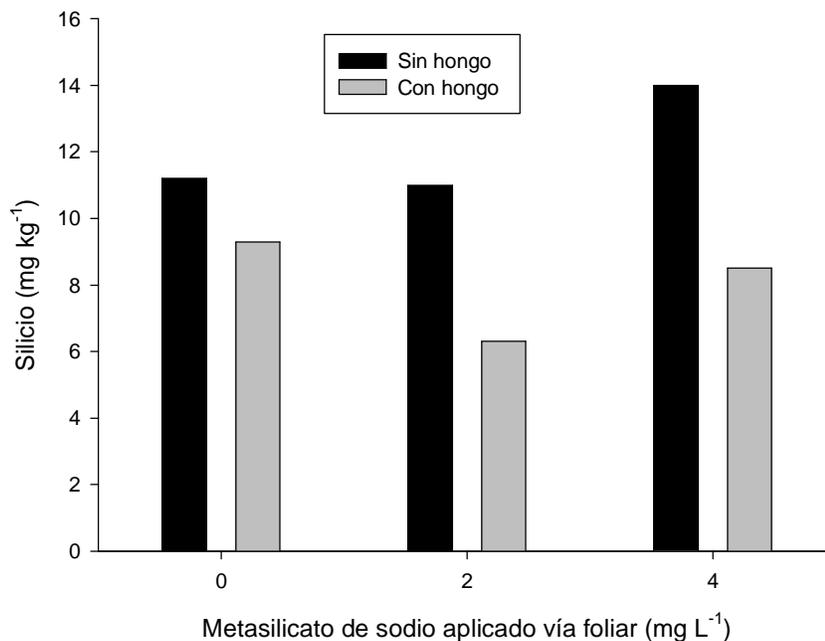


Figura 7. Efecto del metasilicato de sodio aplicado foliarmente a 40, 45 y 50 días después de la siembra (DDS) sobre la concentración de silicio a 70 DDS en hojas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Parris Island Cos desarrollada en cámaras de crecimiento. Ciclo otoño-invierno, 2002.

CONCLUSIONES

- Las plantas de lechuga desarrolladas en cámaras de crecimiento inoculadas con el hongo *Bremia lactucae* presentaron mayor concentración de calcio en el tejido vegetal, pero apenas disminuyen 10% la incidencia de

mildiu al combinar esta aplicación con la dosis más alta de silicio. Altas aplicaciones de calcio vía foliar no corresponden a altas concentraciones de calcio en tejido vegetal. La absorción de silicio por la planta fue baja y las plantas inoculadas con *Bremia lactucae* presentaron 35% menos silicio en tejido vegetal.

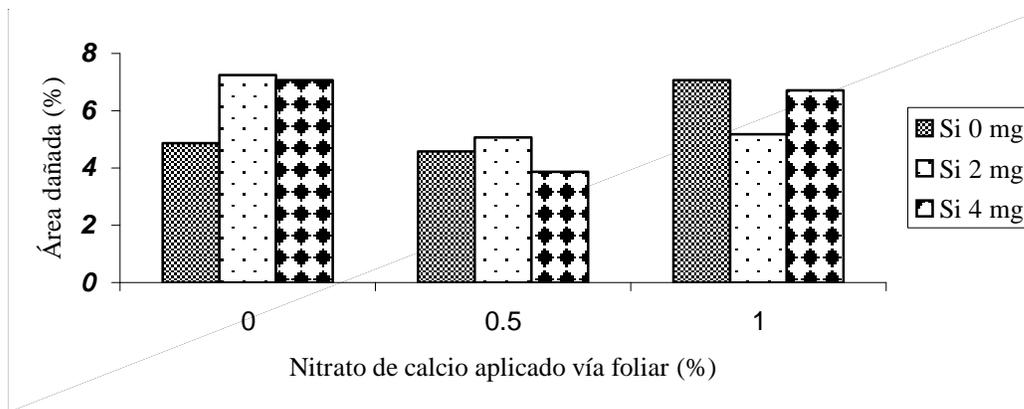


Figura 8. Efecto de la aplicación foliar de nitrato de calcio y metasilicato de sodio aplicado a 40, 45 y 50 días después de la siembra (DDS) sobre el porcentaje de área foliar dañada a 70 DDS en hojas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) vr. Parris Island Cos desarrollada en cámaras de crecimiento. Ciclo otoño-invierno, 2002.

- Las altas concentraciones de calcio y silicio disminuyeron el área foliar y el peso seco y fresco. La inoculación ocasionó disminución en la vida de anaquel y mayor altura de las plantas.

LITERATURA CITADA

- Agrios, G.N. 1988. Plant pathology. Academic Press. San Diego, CA.
- Alcántar-González, G. y M. Sandoval-Villa. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, estado de México.
- Annis, S.L. y P.H. Goodwin. 1997. Inhibition of polygalacturonase activity produced by *Leptosphaeria maculans* by leaf extracts of canola and its relationship to calcium. Can. J. Plant Pathol. 19: 1-7.
- Atkinson, M.M., S.L. Midland, J.J. Sims y N.T. Keen. 1996. Syringolide 1 triggers Ca^{2+} influx K^{+} efflux and extracellular alkalization in soybean cells carrying the disease-resistance gene Rpg4. Plant Physiol. 112: 297-302.
- Bennett, F.W. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. The American Phytopathological Society. St. Paul, MN.
- Biggs, A.R., M.M. El-Kholi, S. El-Neshawy y R. Nickerson. 1997. Effects of calcium salts on growth, polygalacturonase activity, and infection of peach fruit by *Monilinia fructicola*. Plant Dis. 81: 399-403.
- Carpita, N.C. 1987. The biochemistry of the "growing" plant cell wall. pp. 28-45. In: Cosgrove, D.J. y D.P. Knievel (eds.). Physiology of cell expansion during plant growth. American Society of Plant Physiologists. Rockville, MD.
- Cherif, M. y R.R. Belanger. 1992. Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long English cucumber. Plant Dis. 76: 1008-1011.
- Davis, R.M., K.V. Subbarao, R.N. Raid y E.A. Kurtz. 1997. Compendium of lettuce diseases. The American Phytopathological Society. St. Paul, MN.
- Flego, D., M. Pirhonen, H. Saarihahti, T.K. Palva y E.T. Palva. 1997. Control of virulence gene expression by plant calcium in the phytopathogen *Erwinia carotovora*. Mol. Microbiol. 25: 831-838.
- Hewitt, E.J. y T.A. Smith, 1974. Plant mineral nutrition. English Universities Press. London, UK.
- Jarvis, S.C. 1987. The uptake and transport of silicon by perennial ryegrass and wheat. Plant Soil 97: 429-437.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. London, UK.
- Mills, H.A. y J.B. Jones Jr. 1991. Plant Analysis Handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro Publishing. Athens, GA.
- SAGAR (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural). 1991-1998. Anuarios estadísticos de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos 1990-1997. México, D.F.
- SAS Institute, Inc. 2000. Statistical analysis system. Release 8.1. Cary, NC.
- Schenk, M.K. y A. Bettin. 1990. Influence of nitrogen nutrition on powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) infection and metabolism of cucumber (*Cucumis sativus*). pp. 551-556. In: Van Beusichem, M.L. (ed.). Plant nutrition-physiology and application. Kluwer. Dordrecht, The Netherlands.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-649. In: Proc. Sixth International Congress on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands.
- Steta, M. 2004. Perspectivas de la producción de hortalizas en invernadero en México. Documento en línea. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ForoIV/panel4/MarioSteta.pdf>. Consultado Diciembre de 2004.
- Taniguchi, T. 1982. Inhibition of tobacco mosaic virus infection by ethylenediaminetetracetic acid. Phytopathol. Z. 104: 151-157.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson y J.D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers. Macmillan. New York.

DIVERSIDAD DE LOMBRICES DE TIERRA CON LABRANZA DE CONSERVACIÓN Y CONVENCIONAL

Earthworm Diversity under Tillage and No-tillage Conditions

H. Brito-Vega¹, D. Espinosa-Victoria^{1‡}, B. Figueroa-Sandoval¹, C. Fragoso² y J.C. Patrón-Ibarra³

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la relación entre la diversidad de lombrices de tierra y la fertilidad del suelo con labranza de conservación y convencional durante las épocas de primavera e invierno. Los sitios de muestreo correspondieron a dos campos experimentales y a un Andosol, Xerosol háplico y Vertisol pélico, respectivamente. El muestreo de las lombrices de tierra y del suelo se realizó en monolitos de 25 x 25 x 30 cm (lado x lado x profundidad), dividiendo la profundidad entre estratos de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm. Se identificaron tres especies de lombrices de tierra: *Diplocardia* sp., *Aporrectodea caliginosa* y *Phoenicodrilus taste*, localizadas en los sistemas de labranza de conservación y convencional en el Xerosol háplico y Vertisol pélico. En el Vertisol pélico se observó que con labranza de conservación durante la primavera *Phoenicodrilus taste* presentó la población más alta (328 individuos m⁻²), en contraste con el Xerosol háplico (16 individuos m⁻²). Este dato coincidió con los contenidos más altos de carbono orgánico (18.6, 10.1 y 7.8%) y nitrógeno total (0.9, 0.6 y 0.5%) a las profundidades de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm, respectivamente, en los análisis del fraccionamiento de la materia orgánica del suelo (FMOS) de 0 > 250 µm. Las condiciones físico-químicas que presentó el Vertisol pélico fueron las óptimas para el desarrollo de *P. taste*.

Palabras clave: *Andosol, Xerosol háplico, Vertisol pélico, fraccionamiento de la materia orgánica del suelo, carbono orgánico.*

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

[‡] Autor responsable (despinos@colpos.mx)

² Instituto de Ecología, Jalapa, Veracruz, México.

³ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.

Recibido: Diciembre de 2003. Aceptado: Julio de 2005.

Publicado como nota de investigación en

Terra *Latinoamericana* 24: 99-108.

SUMMARY

The objective of the present work was to study the relationship between the diversity of earthworms and soil fertility under tillage and no-tillage conditions during spring and winter. The sampling sites were two experimental fields which exhibit Andosol, Haplic xerosol and Pelic vertisol, respectively. The earthworm and soil sampling were carried out in monoliths of 25 x 25 x 30 cm (side x side x depth), divided between depths of 0-10, 10-20, and 20-30 cm. The earthworm species *Diplocardia* sp., *Aporrectodea caliginosa*, and *Phoenicodrilus taste* were identified located under the systems of tillage and no-tillage and in the Haplic xerosol and Pelic vertisol. The highest population of *Phoenicodrilus taste* of 328 individuals m⁻² was found in Haplic xerosol (16 individuals m⁻²). These data coincide with the highest values of organic carbon (18.6, 10.1, and 7.8%) and total nitrogen (0.9, 0.6, and 0.5%) at a depth of 0-10, 10-20, and 20-30 cm, respectively, with particulate soil organic matter 0 > 250 µm. Also, physical and chemical conditions of Pelic vertisol were the optimum for the development of *P. taste*.

Index words: *Andosol, Haplic xerosol, Pelic vertisol, particulate soil organic matter, organic carbon.*

INTRODUCCIÓN

En México existen alrededor de 129 especies de lombrices de tierra descritas taxonómicamente. Los estados de Veracruz, Chiapas y Tamaulipas presentan el mayor número de especies, mientras que Coahuila, Aguascalientes y Zacatecas no cuentan con registros (Fragoso, 2001). La diversidad de las lombrices de tierra depende de tipo de suelo, vegetación, propiedades físico-químicas del suelo, contenido de materia orgánica, clima y manejo del suelo (Barea y Olivares, 1998). Las lombrices de tierra son factores de transformación e incorporación de materia orgánica dentro del suelo, también participan en la formación de agregados y en el movimiento de partículas, lo cual influye en la macroporosidad, aeración, infiltración, retención del suelo y fertilidad del mismo

(Langmaack *et al.*, 2002). El sistema de labranza convencional conlleva a la compactación del suelo, pérdida de nutrimentos y del propio suelo. Con este tipo de producción, el uso de grandes cantidades de fertilizantes y plaguicidas propicia la destrucción de hábitats naturales, eliminando la estructura biológica del sistema y, en consecuencia, el control natural de patógenos del suelo (Figuroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992). Las prácticas agrícolas de labranza convencional traen consigo la desaparición de muchas especies, entre éstas las lombrices de tierra (Düring *et al.*, 2002). Por otro lado, la labranza de conservación, enfocada a promover el uso de la capa de residuos vegetales de la cosecha anterior que quedan en la superficie del suelo, previene la evaporación del agua así como la erosión del mismo. Con este sistema de labranza se acumula la materia orgánica en la superficie del suelo que puede ser mineralizado, con lo que se incrementa la fertilidad del suelo (Doran y Parkin, 1994). Por otra parte, Edwards (1992) encontró que 4% del agua de lluvia fluye por los orificios realizados por las lombrices de tierra evitando encharcamiento sobre la superficie del terreno. Aslam *et al.* (1999) estudiaron el impacto de los sistemas de labranza en las lombrices de tierra en un Luvisol gleyico, observaron que las prácticas agrícolas redujeron hasta en 74% la población de lombrices de tierra, igualmente observaron que la biomasa microbiana, el nitrógeno y el fósforo declinaron en 45, 53 y 51%, respectivamente, durante un año a una profundidad de 0 a 5 cm. En México, la investigación agropecuaria se ha centrado básicamente en la búsqueda de técnicas que permitan satisfacer las demandas de la producción agrícola. Sin embargo, no se ha puesto suficiente atención en el impacto negativo que pudieran ejercer las prácticas agrícolas en la conservación de componentes de la fauna, en especial las lombrices de tierra, que juegan un papel referente dentro de los agroecosistemas. El objetivo del presente estudio fue determinar la relación entre la diversidad de lombrices de tierra y la fertilidad del suelo con labranza de conservación y convencional en dos campos experimentales, y en uno demostrativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en Santa Isabel de Ajuno, Michoacán, y Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, ambos sitios del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

(INIFAP); así como en el campo demostrativo de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) en Villadiego, Guanajuato. El campo experimental en Santa Isabel de Ajuno, Michoacán está localizado entre 101° 25' y 101° 52' O, y 19° 27' y 19° 44' N a una altitud de 2132 m, la precipitación media anual varía de 1000 a 1300 mm, distribuida principalmente en los meses de junio a octubre. El tipo de clima corresponde a templado lluvioso con temperatura media anual de 18 °C (García, 1988). El suelo predominante es de tipo Andosol (FAO, 1975). El campo experimental en Pabellón de Arteaga, Aguascalientes se encuentra ubicado entre 101°20' y 102° 23' O y entre 20° 10' y 22° 18' N; su altitud promedio es de 2052 m (INIA, 1991). El clima predominante es de tipo estepario o semidesértico (BS); la temperatura media anual es de 18 °C. La precipitación media anual del estado es de 544 mm (García, 1988). Los suelos son de tipo Xerosol háplico (FAO, 1975). Por último, el campo demostrativo en Villadiego, Guanajuato, geográficamente se ubica entre 20° 24' N y 101° 07' 26" O. El clima de la región, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), corresponde a semicálido subhúmedo. La precipitación media anual es de 700 mm y el valor promedio anual de la temperatura es de 19 °C. El suelo del sitio de investigación se clasifica como Vertisol pélico con textura fina (FAO, 1975).

El método que se utilizó para el muestreo y la extracción de las lombrices de tierra fue el de Anderson e Ingram (1989). Éste consistió en establecer un transecto al azar cada 5 m para la excavación de un monolito de 25 x 25 x 30 cm (lado x lado x profundidad), con tres repeticiones, debido a la superficie de la parcela correspondiente a labranza de conservación y convencional para los tres campos experimentales, y el muestreo se realizó en las épocas de primavera e invierno del 2002; estos monolitos se dividieron en tres capas de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad. Cada capa se revisó manualmente realizando la colecta de las lombrices de tierra en frascos que contenían formol a 4% y, además, se realizó el muestreo del suelo de cada capa subdividida del monolito tomando 2 kg aproximadamente para las determinaciones físicas y químicas.

La descripción e identificación taxonómica de las especies de lombrices se realizaron de acuerdo con las claves de Reynolds (1977), Sims y Gerard (1985), y Fragoso y Reynolds (1997). Estas claves consideran

color, tamaño, número de segmentos, distribución setal, ubicación del clitelo, prostomio, peristomio y poros dorsales sexuales. Con el apoyo de un microscopio estereoscópico, cajas Petri y alfileres entomológicos, se procedió a la identificación de las estructuras morfológicas del cuerpo de los especímenes.

Las muestras compuestas de las capas 0 a 10, 10 a 20, y 20 a 30 cm de profundidad de los monolitos del Andosol, Xerosol háplico y Vertisol pélico de cada parcela con labranza de conservación y convencional durante las épocas de primavera e invierno se secaron previamente y se tamizaron en Malla 10. Se les realizaron las siguientes determinaciones físico-químicas: el porcentaje del contenido de humedad por gravimetría; la densidad aparente por el método de parafina (Karlen *et al.*, 1996); el pH en una solución 1:2 por el método del potenciómetro; la conductividad eléctrica (1:5) se midió con un puente de Wheatstone; el fósforo (P) se determinó con el método Olsen; el fraccionamiento de la materia orgánica del suelo (FMOS) por el método de hexametáfosfato de sodio por dispersión de arcilla se realizó al pesar 70 g suelo y agitar por 2 h, la solución se fraccionó de 0 a 2 μm , 2 a 20 μm , 20 a 50 μm , 50 a 250 μm y $> 250 \mu\text{m}$ y, posteriormente, las fracciones se secaron a 70 °C por 24 h (Feller, 1979; Cambardella y Elliot, 1992). El carbono orgánico se cuantificó por combustión vía húmeda con 0.25 g de suelo por el método propuesto por Walkley y Black; y el nitrógeno total se determinó por el método semi-kjeldahl.

El diseño experimental con que se trabajó fue un arreglo factorial de 2 x 3 x 2 en bloques completamente al azar. El primer factor correspondió al manejo del suelo con un esquema de labranza de conservación (nivel a) y de convencional (nivel b). El segundo factor correspondió a la profundidad de muestreo del monolito: 0 a 10 cm (nivel a); 10 a 20 cm (nivel b) y 20 a 30 cm (nivel c), con tres repeticiones en cada sistema de labranza sobre los cuales se realizaron los muestreos de las lombrices de tierra y del suelo; y el último factor de estudio es durante dos épocas del año primavera (nivel a) e invierno (nivel b). Se realizaron ANOVAS, comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) y pruebas de correlación mediante el paquete SAS, Versión 6.2 (SAS Institute, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación Taxonómica

En el Cuadro 1, se observan las tres especies de lombrices de tierra identificadas en labranza de conservación y convencional de 0 a 30 cm de profundidad durante la época de primavera e invierno, las cuales se clasificaron taxonómicamente: **Phylum** Annelida, **Subphylum** Euclitellata, **Clase** Oligochaeta, **Orden** Opisthoptera y **Familias** Megascolecidae, Ocnerodrilidae y Lumbricidae.

Población de Lombrices y Fertilidad del Suelo

En el Cuadro 1, se presentan las poblaciones de *Diplocardia* sp., *Aporrectodea caliginosa* y *Phoenicodrilus taste* y, en el Cuadro 2, las características físico-químicas del Xerosol háplico con labranza de conservación y convencional durante primavera e invierno del 2002.

Con labranza de conservación las poblaciones de *Diplocardia* sp. fueron más altas en primavera que en invierno. De hecho, el número más alto de lombrices de esta especie (64 individuos m^{-2}) se observó en el estrato superficial de 0 a 10 cm de profundidad, en el que los valores de densidad aparente (1.7 g cm^{-3}) y de conductividad eléctrica (0.28 dS m^{-1}) fueron significativamente más altos que en los estratos de 10 a 20 y de 20 a 30 cm de profundidad. Durante el invierno, se detectaron individuos de la especie *Phoenicodrilus taste* (32 m^{-2}) únicamente en el estrato más profundo.

Con labranza convencional no se detectaron poblaciones de lombrices de tierra de 0 a 10 cm de profundidad; no obstante, la especie *Aporrectodea caliginosa* predominó durante la primavera, mientras que la especie *Diplocardia* sp. lo hizo en invierno.

Hendrix *et al.* (1998) mencionaron que *Diplocardia* sp. se reproduce en todas las estaciones del año, es tolerante a las altas temperaturas y, en especial, en áreas agrícolas. Además, Galeana *et al.* (1999) indicaron que el pH tiene un ligero abatimiento en labranza de conservación de 0 a 5 cm de profundidad, esto se atribuye a la aplicación de fertilizantes nitrogenados sin fósforo y que, además, el pH disminuye a través del tiempo. Edwards (1998) indicó que la gran mayoría de especies de

Cuadro 1. Identificación taxonómica y la población de las lombrices de tierra con labranza de conservación y convencional de Pabellón de Arteaga, Aguascalientes y Villadiego, Guanajuato, durante primavera e invierno.

Localidad	Sistema de labranza	Profundidad cm	Especie	Población individuos m ⁻²	Especie	Población individuos m ⁻²
			Primavera		Invierno	
Aguascalientes	Conservación	0 a 10	<i>Diplocardia</i> sp. (Michaelsen, 1923)	64 a [†]	-	-
		10 a 20	<i>Diplocardia</i> sp. (Michaelsen, 1923)	16 b	<i>Diplocardia</i> sp. (Michaelsen, 1923)	16 a
		20 a 30	<i>Diplocardia</i> sp. (Michaelsen, 1923)	16 b	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	32 b
	Convencional	0 a 10	-	-	-	-
		10 a 20	<i>Aporrectodea caliginosa</i> (Zicsi y Csuzdi, 1991)	94 a [†]	<i>Diplocardia</i> sp. (Michaelsen, 1923)	75 a [†]
		20 a 30	<i>Aporrectodea caliginosa</i> (Zicsi y Csuzdi, 1991)	40 b	<i>Diplocardia</i> sp. (Michaelsen, 1923)	38 b
Guanajuato	Conservación	0 a 10	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	-	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	23 a
		10 a 20	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	240 a [†]	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	60 b [†]
		20 a 30	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	328 b [†]	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	85 c [†]
	Convencional	0 a 10	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	64 a	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	72 a [†]
		10 a 20	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	192 b [†]	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	-
		20 a 30	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	80 b	<i>Phoenicodrilus taste</i> (Eisen, 1895)	45 b

[†] Valores en columna con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha = 0.05$).

las lombrices de tierra se desarrollan óptimamente a pH neutro y Shakir y Dindal (1997) mencionaron que el contenido de humedad del suelo requerida para un adecuado desarrollo de la lombriz de tierra es de 70 y 80%.

No se encontró ninguna especie de lombrices de tierra en el Andosol de Santa Isabel de Ajuno durante las épocas de primavera e invierno del 2002 (Cuadro 3). Esto puede deberse a los valores bajos de fósforo, carbono orgánico y nitrógeno total, los cuales son la fuente de alimento de las lombrices de tierra.

En el Cuadro 1, se presenta *Phoenicodrilus taste* y, en el Cuadro 4, las características físico-químicas del Vertisol pélico con los sistemas de labranza de conservación y convencional durante las épocas de primavera e invierno. Esta especie muestra una alta diferencia significativa en población en primavera como en invierno. Esta especie fue mayor con labranza de conservación durante la época de primavera con 240 y 328 individuos m⁻², presentando el suelo características físico-químicas: pH de 6.2 y 6.0, densidad aparente 1.2 g cm⁻³ y fósforo 15 y

13 mg kg⁻¹ de 10 a 20 y de 20 a 30 cm de profundidad, respectivamente; en cambio, con labranza convencional la población fue menor. Por otra parte, Crovetto (1992) mencionó que, en labranza tradicional, no son tan marcados los cambios de pH, pero sí en labranza de conservación con coberturas que tienden a cambiar y abatir el pH del suelo debido a la acumulación de materia orgánica y actividad microbiana del suelo. Fragoso (2001) indicaron que *Phoenicodrilus taste* es tolerante a pH de 5 a 8. Por otra parte, Kladvko (2001) mencionó que las lombrices de tierra están presentes cuando la densidad aparente tiene valores entre 0.7 y 1.2 g cm⁻³ en labranza de conservación.

Fraccionamiento de la Materia Orgánica del Suelo (FMOS)

El Xerosol háplico del campo experimental Pabellón de Arteaga, Aguascalientes con labranza de conservación presentó durante primavera el mayor contenido en carbono orgánico (8.5%) de 0 a 10 cm

Cuadro 2. Presencia de las lombrices de tierra en dos épocas del año y características físico-químicas del Xerosol háptico de las parcelas del campo experimental Pabellón de Artesaga, Aguascalientes.

Sistemas de labranza	Profundidad cm	Especie de lombriz de tierra		Contenido de humedad		pH		CE		Dap		Fósforo	
		Primavera	Invierno	Prim	Inv	Prim	Inv	Prim	Inv	Prim	Inv	Prim	Inv
Labranza de conservación	0 a 10	<i>Diplocardia</i> sp.	-	6 a	4 a	6,7 a	6,4 a	0,28 a	0,24 a	1,7 a ¹	1,2 a	3 a	7 a
	10 a 20	<i>Diplocardia</i> sp.	<i>Diplocardia</i> sp.	7 a	15 a	6,7 a	7,1 a	0,22 b	0,25 a	1,1 b	1,2 a	3 a	5 b
	20 a 30	<i>Diplocardia</i> sp.	<i>Phoenicodrilus toste</i>	8 a	26 a	6,9 a	7,1 a	0,20 b	0,19 b	1,1 b	1,3 a	3 a	7 c
Labranza convencional	0 a 10	-	-	5 a	8 a	6,6 a	6,9 a	0,25 a	0,30 a	1,1 a	1,0 a	4 a	8 a
	10 a 20	<i>Aporrectodea caliginosa</i>	<i>Diplocardia</i> sp.	8 a	10 a	6,7 a	7,0 a	0,28 a	0,28 a	1,1 a	1,0 a	5 a	6 b
	20 a 30	<i>Aporrectodea caliginosa</i>	<i>Diplocardia</i> sp.	10 a	11 a	6,9 a	7,1 b	0,37 b	0,27 b	1,0 a	1,0 a	5 a	6 b

¹ Valores en columna con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Cuadro 3. Presencia de las lombrices de tierra en dos épocas del año y características físico-químicas del Andosol de parcelas del campo experimental de Santa Isabel de Ajuno, Michoacán.

Sistemas de labranza	Profundidad cm	Especie de lombriz de tierra		Contenido de humedad		pH		CE		Dap		Fósforo	
		Primavera	Invierno	Prim	Inv	Prim	Inv	Prim	Inv	Prim	Inv	Prim	Inv
Labranza de conservación	0 a 10	-	-	45 a	28 a	6,0 a	5,7 a	0,13 a	0,18 a	0,83 a	0,80 a	4 a	8 a ¹
	10 a 20	-	-	48 a	19 a	6,4 a	5,6 a	0,10 a	0,15 b	0,76 b	0,83 a	4 a	7 a
	20 a 30	-	-	50 a	27 a	6,6 a	5,4 b	0,07 b	0,10 c	0,76 b	0,80 a	4 a	4 b
Labranza convencional	0 a 10	-	-	51 a	29 a	6,0 a	5,5 a	0,18 a	0,11 a	0,70 a	0,80 a	4 a	10 a
	10 a 20	-	-	52 a	25 a	6,2 a	5,7 b	0,11 ab	0,08 b	0,76 b	0,80 a	4 a	7 b
	20 a 30	-	-	58 a	29 a	6,5 b	5,7 b	0,08 b	0,08 b	0,76 b	0,83 a	4 a	6 c

¹ Valores en columna con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Cuadro 4. Presencia de las lombrices de tierra en dos épocas del año y características físico-químicas del Vertisol pélico de las parcelas del campo experimental de Villadiego, Guanajuato.

Sistemas de labranza	Profundidad cm	Especie de lombriz de tierra		Contenido de humedad		pH		CE		Dap		Fósforo	
		Primavera	Invierno	Prim.	Inv.	Prim.	Inv.	Prim.	Inv.	Prim.	Inv.	Prim.	Inv.
Labranza de conservación	0 a 10	-	<i>Phoenicodrilus</i> taste	28 a	26 a	6,6 a	6,8 a	0,5 a	0,4 a	1,2 a	1,2 a	16 a	19 a
	10 a 20	<i>Phoenicodrilus</i> taste	<i>Phoenicodrilus</i> taste	27 a	36 a	6,2 b	6,3 b	0,5 a	0,4 a	1,2 a	1,2 a	15 a	17 b
	20 a 30	<i>Phoenicodrilus</i> taste	<i>Phoenicodrilus</i> taste	22 a	42 a	6,0 b	6,4 b	0,5 a	0,4 a	1,0 a	1,3 a	13 b	14 c
Labranza convencional	0 a 10	<i>Phoenicodrilus</i> taste	-	29 a	23 a	5,2 a	6,8 a	0,4 a	0,5 a	1,1 a	1,2 a	13 a	15 a
	10 a 20	<i>Phoenicodrilus</i> taste	<i>Phoenicodrilus</i> taste	38 a	21 a	5,5 b	6,8 a	0,4 a	0,5 a	1,2 a	1,3 a	12 a	14 a
	20 a 30	<i>Phoenicodrilus</i> taste	<i>Phoenicodrilus</i> taste	30 a	24 a	6,0 c	6,9 a	0,4 a	0,4 a	1,3 a	1,3 a	6 b	12 b

† Valores en columna con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha = 0,05$).

de profundidad y nitrógeno total (0.34%) de 10 a 20 cm de profundidad, respectivamente del FMOS de $0 > 250 \mu\text{m}$ (Figuras 1 y 2) y donde se localizó *Diplocardia* sp. con una mayor población.

En el Vertisol pélico del campo experimental Villadiego, Guanajuato con labranza de conservación durante primavera se observó el mayor contenido en carbono orgánico (18.6%) y nitrógeno total (0.9%) de 0 a 10 cm de profundidad, respectivamente del FMOS

de $0 > 250 \mu\text{m}$ (Figuras 3 y 4), a la profundidad de 10 a 20 cm se encontró la máxima población de *P. taste*. Además, Jaiyeoba (2003) mencionó que la población de lombrices de tierra incrementa el contenido de carbono orgánico del suelo a través de la transformación de los residuos orgánicos. Además, indicó que las lombrices de tierra estarán presentes donde el suelo tenga un alto contenido de residuos orgánicos.

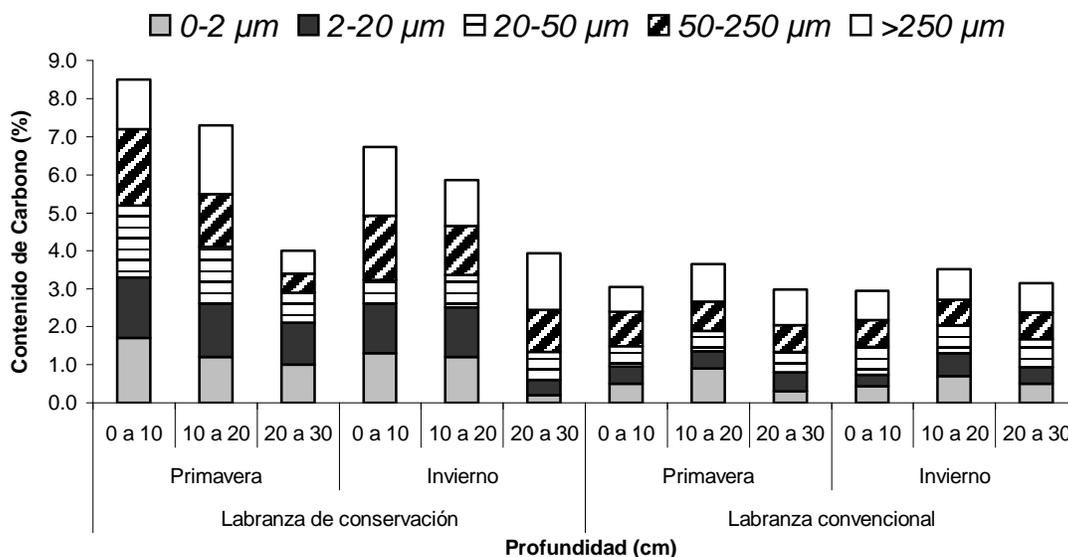


Figura 1. Fraccionamiento de la materia orgánica del Xerosol háplico en el contenido del carbono orgánico con labranza de conservación y convencional durante primavera e invierno en parcelas del campo experimental Pabellón de Arteaga, Aguascalientes.

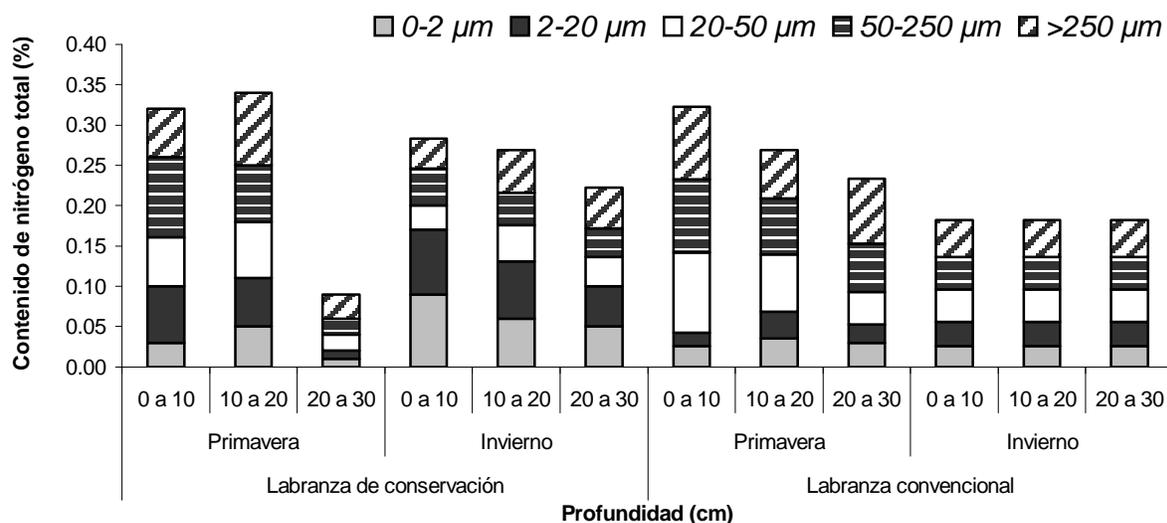


Figura 2. Fraccionamiento de la materia orgánica del Xerosol háplico en el contenido de nitrógeno total con labranza de conservación y convencional durante primavera e invierno en parcelas del campo experimental Pabellón de Arteaga, Aguascalientes.

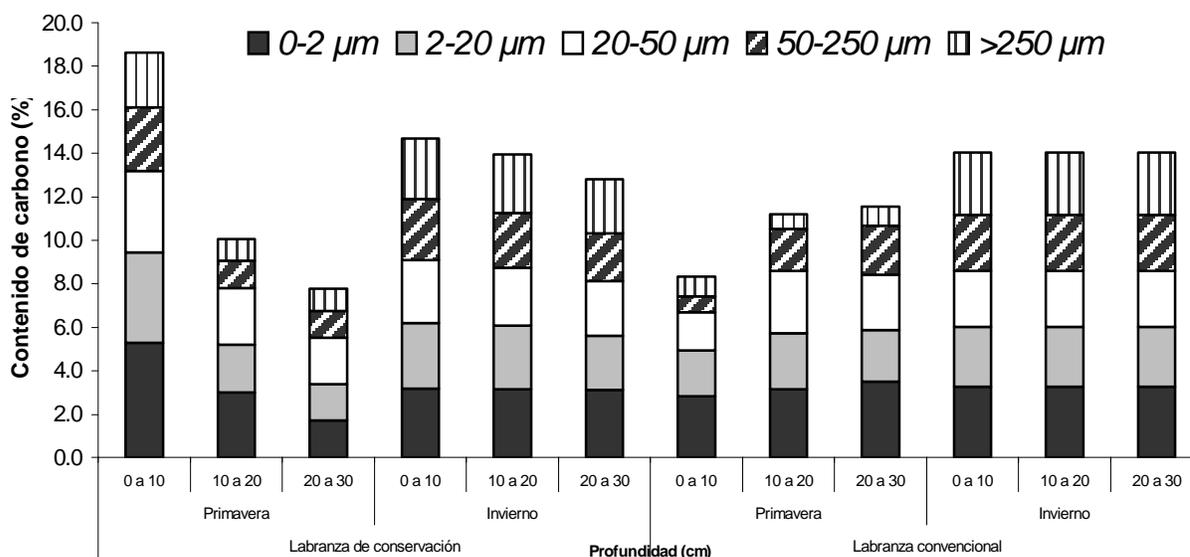


Figura 3. Fraccionamiento de la materia orgánica del Vertisol pálido en el contenido del carbono orgánico con labranza de conservación y convencional, durante primavera e invierno en parcelas del campo experimental Villadiego, Guanajuato.

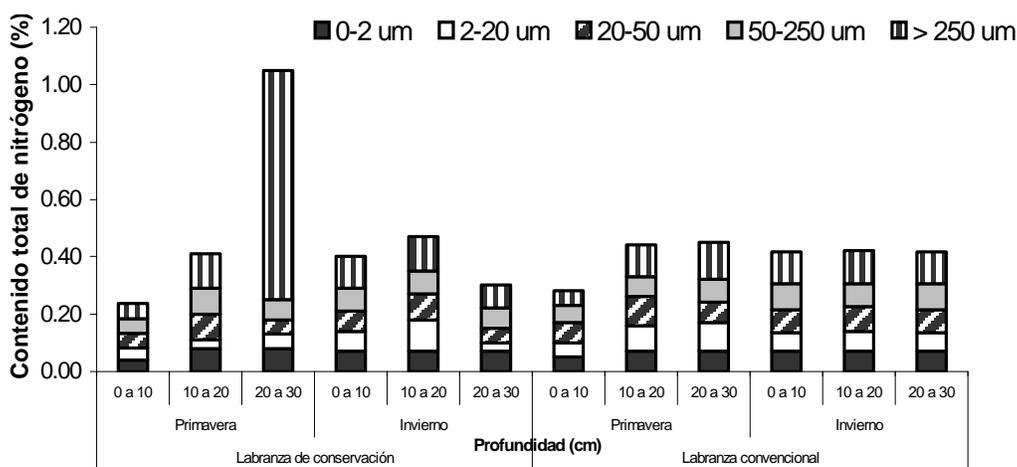


Figura 4. Fraccionamiento de la materia orgánica del Vertisol pálido en el contenido de nitrógeno total con labranza de conservación y convencional, durante primavera e invierno en parcelas experimentales Villadiego, Guanajuato.

En las Figuras 5 y 6 se observa que, durante el invierno, los FMOS de 0 > 250 μm para los contenidos de carbono orgánico y nitrógeno total en el Andosol, con ambos sistemas de labranza, fueron menores con respecto a los obtenidos de un bosque cercano no perturbado, que se tomó como área de

referencia. Los contenidos de carbono orgánico y nitrógeno total en el estrato de 0 a 10 cm de profundidad de la zona de referencia fueron de 18.2 y 3.63%, respectivamente. En este estrato se observó la mayor acumulación de residuos orgánicos, lo cual favoreció la presencia de la especie *Dichogaster* sp.

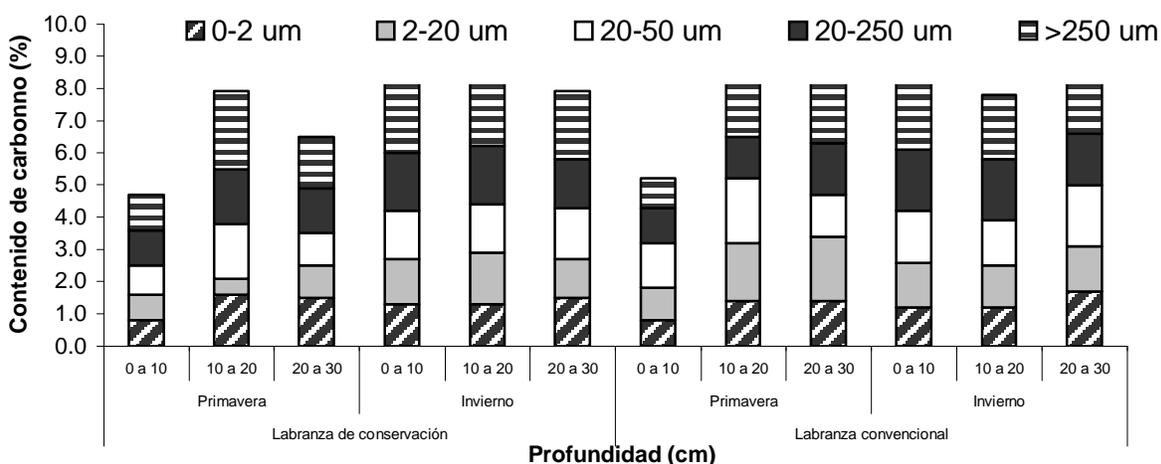


Figura 5. Fraccionamiento de la materia orgánica del Andosol en el contenido de carbono orgánico con labranza de conservación y convencional durante primavera e invierno en parcelas del campo experimental Santa Isabel de Ajuno, Michoacán.

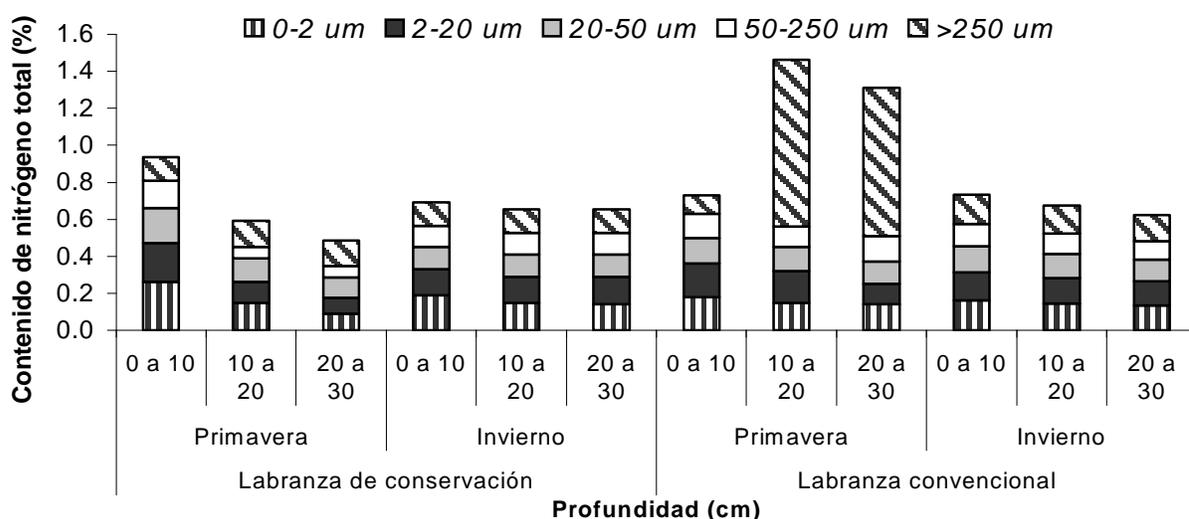


Figura 6. Fraccionamiento de la materia orgánica del Andosol en el contenido de nitrógeno total con labranza de conservación y convencional durante primavera e invierno en parcelas del campo experimental Santa Isabel de Ajuno, Michoacán.

CONCLUSIONES

- Se identificaron tres especies de lombrices de tierra: tres con labranza de conservación y convencional durante las dos épocas de primavera e invierno en el Xerosol háplico: *Diplocardia* sp., *Aporrectodea caliginosa* y *Phoenicodrilus taste*; en el Vertisol pélico: *Phoenicodrilus taste*. No se encontró ninguna especie de lombriz de tierra en el campo experimental de Santa Isabel de Ajuno, Michoacán; esto puede deberse a los valores bajos de fósforo, carbono orgánico y nitrógeno total, los cuales son la fuente de

alimento de las lombrices de tierra en los dos sistemas de labranza.

- El laboreo agrícola tiende a disminuir la población de lombrices de tierra en el sistema convencional con el paso del tiempo, mientras que, en el sistema de conservación, la población tiende a mantenerse o a incrementarse por las condiciones físico-químicas del suelo, por la calidad de residuos orgánicos que dejan en la superficie, y por el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total.

- Con labranza de conservación durante primavera en el Vertisol pélico del campo experimental de

Villadiego Guanajuato, *Phoenicodrilus taste* fue la que presentó el mayor número de población 240 y 328 individuos m⁻², presentando el suelo: pH, 6.2 y 6.0; densidad aparente, 1.2 g cm⁻³; fósforo, 15 y 13 mg kg⁻¹; carbono orgánico (C), 10.1 y 7.8%; y nitrógeno total (Nt), 0.6 y 0.5% en el fraccionamiento de la materia orgánica del suelo de 0 > 250 µm a la profundidad de 10 a 20 y de 20 a 30 cm, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- Anderson, J.M. y J.S.I. Ingram. 1989. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. CAB-International. Oxford, UK.
- Aslam, T., M.A. Choudhary y S. Saggiar. 1999. Tillage impacts on soil microbial biomass, C, N, and P, earthworms and agronomy after two years of cropping following permanent pasture in New Zealand. *Soil Tillage Res.* 51: 103-111.
- Barea, J.M. y J. Olivares. 1998. Manejo de las propiedades biológicas del suelo. pp. 173-193. *In: Jiménez-Díaz, R. y R. Lamo de Espinosa (eds.). Agricultura sostenible.* Mundi Prensa. Madrid, España.
- Cambardella, C.A. y E.T. Elliot. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Crovetto, H.D. 1992. Rastrojo sobre el suelo. Una introducción a cero labranza. Talleres Gráfico de Editorial Universitaria. Santiago de Chile, Chile.
- Doran, J.W. y T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. pp. 3-21. *In: Doran, J.W., D.C. Coleman, D.F. Bezdicek y B.A. Stewart (eds.). Defining soil quality for a sustainable environment.* Special Publication 35. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Düring, R.-A., T. Hoß y S. Gäth. 2002. Depth distribution and accumulation behavior of pollutants in long-term differently tilled soils. *Soil Tillage Res.* 66: 183-195.
- Edwards, C.A. 1992. Testing the effects of chemicals on earthworms: the advantages and limitations of field tests. pp. 75-84. *In: Greig-Smith, P.W. (ed.). Ecotoxicology of Earthworms.* Intercept Ltd. Hants, UK.
- Edwards, C.A. 1998. *Biology of earthworms.* Chapman and Hall. Boca Raton, FL.
- Eisen, G. 1895. Pacific coast oligochaeta I. *Mem. Calif. Acad. Sci.* 2(4): 63-122.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1975. *World Soil Resources Report 45.* Rome, Italy.
- Feller, C. 1979. Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols: application aux sols tropicaux à texture grossière, très pauvres en humus. *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie* 17: 339-346.
- Figueroa-Sandoval, B. y J.F. Morales-Flores. 1992. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Colegio de Postgraduados. México, D.F.
- Fragoso, C. 1997. Annelida (Oligochaeta). pp. 395-399. *In: González-Soriano, E., R. Dirzo y R. Vogt (eds.). Historia Natural de los Tuxtla.* Universidad Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para la Biodiversidad. México, D.F.
- Fragoso, C. 2001. Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta): diversidad, ecología y manejo. *Acta Zool. Mex. (nueva serie).* Número Especial 1: 131-171.
- Fragoso, C. y J.W. Reynolds. 1997. On some earthworms from central and southeastern Mexican mountains, including two new species of the genus *Dichogaster* (Dichogastrini). *Megadrilogica* 7(2): 9-19.
- Galeana-de la Cruz, M., A. Trinidad-Santos, N.E. García-Calderón y D. Flores-Román. 1999. Labranza de conservación y fertilización en el rendimiento de maíz y su efecto en el suelo. *Terra* 17: 325-335.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Gates, G.E. 1973. On more earthworms from Mexican caves. *Ass. Mex. Cave Stud. Bull.* 5: 21-24.
- Hendrix, P.F., D.A. Crossley, J.M. Blair y D.C. Coleman. 1998. Soil biota as components of sustainable agroecosystems. pp. 637-654. *In: Edwards, C.A., R. Lai, P. Madden, R.H. Miller y G. House (eds.). Sustainable agricultural systems.* Soil and Water Conservation Society. Ankeny, IA.
- INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas). 1991. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el estado de Aguascalientes. Pabellón, Aguascalientes, México.
- Jaiyeoba, I.A. 2003. Changes in soil properties due to continuous cultivation in Nigerian semiarid savannah. *Soil Tillage Res.* 70: 91-98.
- Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris y G.E. Schuman. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 4-10.
- Kladivko, J.E. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil Tillage Res.* 61: 61-76.
- Langmaack, M., S. Schrader, U. Rapp-Bernhardt y K. Kotzke. 2002. Soil structure rehabilitation of arable soil degraded by compaction. *Geoderma* 105(1-2): 141-152.
- Michaelsen, W. 1923. Oligochäten von den wärmeren Gebieten Amerikas und des Atlantischen Ozeans. Sowie ihre faunistischen Beziehungen. *Mitt. Zool. Mus. Hamburg* 41: 71-83.
- Ordaz-Chaparro, M.V., I. Barois y A. Aguilar-Santelises. 1996. Fauna del suelo de la Sabana de Huimanguillo alterada por cambios en el uso de la tierra. *Terra* 14: 387-393.
- Reynolds, J.W. 1977. The earthworms (Lumbricidae and Sparganophilidae) of Ontario. Life Sciences Miscellaneous Publications. Royal Ontario Museum. Toronto, ON, Canada.
- SAS Institute, Inc. 1998. *Statistical Analysis System para computadora.* Release 6. Cary, NC.
- Shakir, S.H. y D.L. Dindal. 1997. Density and biomass of earthworms in forest and herbaceous microecosystems in central New York: North America. *Soil Biol. Biochem.* 29: 275-285.
- Sims, R.W. y B.M. Gerard. 1985. Earthworms. Keys and notes to the identification and study of the species. Synopsis of the British fauna (New Series) 31. Brill/Backhuys. London, UK.
- Zicsi, A. y C. Csuzdi. 1991. Der erste Wiederfund von Zapotecia amecamecae Eisen, 1900 aus Mexiko. (Oligochaeta: Acanthodrilidae). *Misc. Zool. Hung.* 6: 31-34.

EFFECTO DEL SISTEMA DE LABRANZA CERO EN UN VERTISOL

Effect of No-tillage System in a Vertisol

César E. Ramírez-Barrientos^{1‡}, Benjamín Figueroa-Sandoval¹, Víctor M. Ordaz-Chaparro¹ y Víctor H. Volke-Haller¹

RESUMEN

El presente estudio se realizó para determinar el efecto en las características físicas y químicas del suelo con cuatro sistemas de labranza. Se seleccionaron como tratamientos parcelas comerciales localizadas en Valle de Santiago, Guanajuato, sujetas a labranza convencional (LCON), un año de labranza cero (L001), tres años de labranza cero (L003) y 11 años de labranza cero (L011); se tomaron muestras de suelo a profundidades de 0 a 10, de 10 a 20 y de 20 a 30 cm para los análisis correspondientes. En todos los tratamientos, el tipo de suelo fue Vertisol dístrico, la pendiente fue menor que 1% y la clase textural fue arcilla. Los resultados mostraron que las parcelas con labranza cero poseyeron valores mayores de densidad aparente, pH, contenido de nitrógeno, de fósforo, de materia orgánica y estabilidad de agregados, aunque muchos de los resultados no fueron estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$). La mayoría de los cambios se atribuyeron a las diferencias en el contenido de materia orgánica en las parcelas y en algunas características los efectos no fueron consistentes. La porosidad calculada en láminas delgadas de suelo confirmó los resultados de porosidad obtenidos con los valores de densidad. Variogramas de la humedad, densidad aparente y resistencia a la penetración no mostraron estructura de variabilidad espacial. El rendimiento fue mayor en el tratamiento de 11 años de labranza cero (L011).

Palabras clave: *densidad aparente, estabilidad de agregados, porosidad, pH, contenido de nitrógeno, contenido de fósforo, contenido de materia orgánica, variabilidad espacial.*

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Texcoco, estado de México.

[‡] Autor responsable (rccesar@yahoo.com)

Recibido: Junio de 2002. Aceptado: Junio de 2005.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 109-118.

SUMMARY

This study was conducted to determine the effect on physical and chemical soil characteristics with different tillage systems. Commercial plots were selected as treatments in Valle de Santiago, Guanajuato, Mexico. The plots were subjected to conventional tillage (LCON), one year of no-tillage (L001), three years of no-tillage (L003), and 11 years of no-tillage (L011). Soil samples were taken at depths of 0-10, 10-20, and 20-30 cm. In all treatments the soil was a Dystric vertisol with a slope of less than 1% and the textural class was clay. Results showed that no-tillage plots had higher values of bulk density, pH, N, P, and organic matter content and aggregate stability, but most of these results were not significantly different from those of conventional plots ($\alpha = 0.05$). Most of the changes were attributed to differences in organic matter content in the plots; however, in some characteristics the effects were not consistent. The porosity calculated in thin soil sheets confirmed the porosity results obtained with density values. Variograms of humidity, bulk density, and penetration resistance did not show any structure of spatial variability. Yield was higher in the L011 treatment.

Index words: *bulk density, porosity, pH, nitrogen content, phosphorus content, organic matter content, spatial variability.*

INTRODUCCIÓN

En las dos últimas décadas, se ha cuestionado a la agricultura intensiva por los efectos que tiene sobre la degradación del suelo (Kemper y Derpsch, 1981; Larson y Osborne, 1982; Alegre *et al.*, 1991; Franzen *et al.*, 1994); como consecuencia, se ha originado una fuerte corriente que busca detener y revertir estos efectos mediante el desarrollo de tecnologías alternativas que permitan seguir produciendo e incrementando la producción con un marco de conservación del suelo y del agua.

La labranza cero es una opción viable de producción para una gran diversidad de condiciones edáficas y climáticas que permite abatir drásticamente la erosión y conservar la humedad, además de reducir los costos de producción (Russell, 1977; Phillips *et al.*, 1980; Larson y Osborne, 1982; Brady, 1984; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Blevins y Frye, 1993; Lal *et al.*, 1994). El rendimiento que se obtiene con este sistema es aceptable y ha sido posible mantener o incrementar la rentabilidad de los cultivos con respecto a la labranza convencional, gracias a que las plantas se desarrollan satisfactoriamente a pesar de los cambios físicos y químicos que se presentan en el suelo (Barreto, 1989; Logan *et al.*, 1991; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992).

Entre los cambios físicos que experimenta el suelo cuando se somete a un sistema de labranza cero destacan:

- a) la densidad aparente en muchos suelos se incrementa y la porosidad se reduce, debido a la compactación, aunque existen factores biológicos y ambientales que permiten que el intercambio gaseoso y las condiciones hídricas sean adecuadas (Brady, 1984; Mielke *et al.*, 1986; Lal, 1989; Ball y Smith, 1991; Blevins y Frye, 1993; Hussain *et al.*, 1998);
- b) la agregación y la estructura de los suelos se mejoran, existiendo un aumento de la estabilidad de agregados (Lal, 1989; Unger, 1990; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Hermawan y Cameron, 1993; Rhoton *et al.*, 1993; Lal *et al.*, 1994; Cunha-Medeiros *et al.*, 1996), debido al incremento de la materia orgánica y de la actividad biológica (Wilson *et al.*, 1982; Lal, 1989; Soane, 1990; Logsdon y Linden, 1992; Franzen *et al.*, 1994);
- c) la retención de la humedad aumenta por la presencia de residuos en la superficie y por el incremento de la proporción de micro y mesoporos (Brady, 1984; Roth *et al.*, 1988; Lal, 1989; Alegre *et al.*, 1991; Logan *et al.*, 1991; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Kovar *et al.*, 1992; Lal *et al.*, 1994; Hussain *et al.*, 1998);
- d) la temperatura del suelo se reduce, lo que incrementa el riesgo de retrasos en la germinación en lugares fríos y ayuda al desarrollo de los cultivos en climas cálidos (Alegre *et al.*, 1991; Kovar *et al.*, 1992; Blevins y Frye, 1993);
- e) los residuos vegetales permiten reducir la evaporación y el escurrimiento superficial beneficiando la infiltración del agua en el suelo (Larson y Osborne, 1982; Brady, 1984; Unger, 1990;

Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Blevins y Frye, 1993; Sembiring *et al.*, 1995);

f) la erosión se reduce significativamente, debido a la presencia de los residuos vegetales en la superficie (Lal, 1989; Unger, 1990; Alegre *et al.*, 1991; Blevins y Frye, 1993; Carter, 1994).

Acercas de los cambios químicos en sistemas de labranza cero se mencionan:

- a) el pH disminuye en la capa superficial del suelo por la colocación superficial de estiércoles y fertilizantes nitrogenados, y por la descomposición superficial de los residuos de los cultivos (Mahler y Harder, 1984; Logan *et al.*, 1991; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Blevins y Frye, 1993; Lal *et al.*, 1994);
- b) el contenido de nitrógeno se incrementa en las capas superficiales, debido a la concentración de residuos vegetales en la superficie y a la reducción neta de la actividad biológica en los sustratos de origen vegetal en ausencia de labores de labranza (Russell, 1977; Maurya, 1986; Logan *et al.*, 1991; Langdale *et al.*, 1992; Blevins y Frye, 1993; Rhoton *et al.*, 1993; Lal *et al.*, 1994; Bowman y Halvorson, 1998);
- c) el fósforo presenta una concentración mayor en las capas superficiales (Russell, 1977; Logan *et al.*, 1991; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Blevins y Frye, 1993; Rhoton *et al.*, 1993; Lal *et al.*, 1994);
- d) el contenido de potasio se incrementa en las capas superficiales, aunque en menor cantidad que el de nitrógeno y de fósforo, debido a la aplicación superficial de fertilizantes potásicos (Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992);
- e) el contenido de materia orgánica es mayor en las capas superficiales del suelo, ya que se dejan los residuos vegetales en la superficie, y se incrementa la actividad radical y biótica (Russell, 1977; Barreto, 1989; Logan *et al.*, 1991; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Blevins y Frye, 1993);
- f) la capacidad de intercambio catiónico aumenta por los incrementos en el contenido de materia orgánica (Rhoton *et al.*, 1993; Lal *et al.*, 1994).

Otros cambios son: mayor actividad radical en las capas superficiales del suelo, dado el mejoramiento de las condiciones de humedad y temperatura por la presencia de residuos vegetales en la superficie (Black, 1968; Lal, 1989; Unger, 1990; Bathke *et al.*, 1992; Blevins y Frye, 1993; Carter, 1994).

En México, hay experiencias en la aplicación de labranza cero desde hace 20 años; sin embargo, su adopción ha sido lenta y se ha mantenido estancada en los últimos años [350 000 ha (FIRA, 1996)].

Considerando estos antecedentes, es importante obtener información de los cambios que ocurren en el suelo con este sistema en parcelas de diferente antigüedad. Para este propósito, se eligió el municipio de Valle de Santiago, Guanajuato, donde se ubican algunas de las parcelas comerciales con mayor antigüedad en México (FIRA, 1996). El trabajo se realizó en un mismo tipo de suelo y el objetivo fue determinar el efecto del sistema de labranza cero sobre algunas características físicas y químicas del suelo en parcelas con un período de manejo de hasta 11 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el municipio de Valle de Santiago, Gto., cerca del Centro de Desarrollo Tecnológico Villadiego, del Banco de México-FIRA. El suelo se clasifica como Vertisol déstrico, de acuerdo con el sistema propuesto por la FAO (FAO-UNESCO, 1988), con un contenido de arcilla de 50 a 65% y de limo de 25 a 35%, y se cultiva con la rotación anual maíz-trigo.

Se seleccionaron cuatro parcelas ubicadas en terrenos planos, con pendientes menores que 1%; cada parcela correspondió a los sistemas de labranza: labranza convencional (LCON), un año de labranza cero (L001), tres años de labranza cero (L003) y 11 años de labranza cero (L011). Las labores de labranza se realizaron con maquinaria. En LCON fueron: rastreo, barbecho, dos rastreos, surcado, siembra-fertilización y dos cultivadas; en los manejos de labranza cero sólo se realizó la siembra-fertilización. Los implementos usados en LCON fueron: rastra de discos, arado de discos, surcadora de timones, sembradora-fertilizadora unitaria de precisión convencional; en labranza cero se utilizó una sembradora-fertilizadora especializada de discos.

La toma de muestras de suelo se hizo en cinco etapas. En la primera etapa (I), se tomaron muestras de suelo en cada parcela en las capas 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad; estas muestras se tomaron en el mes de noviembre de 1999, antes del ciclo otoño-invierno (OI) 1999/2000 previo a las labores de preparación del terreno en LCON; el muestreo en las parcelas se realizó sobre una línea diagonal, con respecto a la orientación de los surcos, tomándose las muestras en cinco sitios, distantes 15 m uno de otro, dentro de las camas de siembra, para conformar una sola muestra compuesta de 2 kg en cada parcela y para

cada capa; con estas muestras se determinaron las características químicas y físicas del suelo, excepto la estabilidad de agregados. La segunda etapa (II) se hizo el mismo día que la etapa I, usando el mismo método de muestreo; se colectaron tres muestras de suelo por parcela, de 1.5 kg cada una, para determinar la estabilidad de agregados. En la tercera etapa (III), se recogieron las muestras de suelo, a 10 cm de profundidad, 40 días después de la siembra y se utilizaron en el análisis de variabilidad espacial; el método de muestreo fue sistemático sobre una retícula cuadrada con sitios equidistantes a 10 m, cubriendo la totalidad de la parcela. En la cuarta etapa (IV), se tomaron las muestras de suelo para el estudio de la porosidad con imágenes de láminas delgadas; se extrajeron por duplicado, de cada capa y del centro de las parcelas LCON y L011, muestras no disturbadas 45 días después de la siembra del cultivo de trigo. En la quinta etapa (V), se obtuvieron las muestras de suelo para la determinación de la distribución radical; y se realizó cuando el cultivo llegó a su madurez fisiológica, a finales del mes de abril de 2000; el método de muestreo consistió en colectar las muestras en tres sitios equidistantes a 20 m en el centro de las parcelas. La extracción de las muestras, en las etapas I, II y V, se hizo con pala recta, cuchillo y espátula; en la etapa III, se usó una barrena de acero terminada en un sinfín; en la etapa IV, se utilizó un muestreador de densidad aparente adaptado con el que se obtuvieron cilindros de suelo no disturbados.

Características Físicas del Suelo

Las características físicas se determinaron con las metodologías descritas en Klute (1986) y fueron: densidad aparente (D_a), densidad real (D_r), porosidad (f), humedad a capacidad de campo (CC), humedad a punto de marchitez permanente (PMP), humedad aprovechable (HA), índice de contracción (IC), estabilidad de agregados en seco (EAS), estabilidad de agregados en húmedo (EAH) y el diámetro medio ponderado de agregados en seco (DMP).

La D_a se midió con el método de la parafina (Campbell y Henshall, 1991) y con el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986a); la primera determinación se hizo en terrones del suelo secado al aire y, la segunda, en muestras de suelo que se humedecieron y se estabilizaron a -300 kPa (CC) en cilindros de PVC de 5 cm de diámetro y 3 cm de altura.

La Dr se determinó con el método del picnómetro (Blake y Hartge, 1986b) y se utilizó junto con los valores de la Da para determinar la porosidad del suelo (Brady, 1984) en condiciones de humedad a CC (fc) y de suelo seco (fp). La porosidad también se analizó mediante imágenes obtenidas de láminas delgadas de 60 μm de espesor (Ordaz-Chaparro, 1995), la captura y el proceso de medición se hizo con la ayuda de un estereoscopio y el programa de computo IMAGE-PRO PLUS v.4.0 w; el aumento utilizado fue el de 0.67X. La EAS se hizo aplicando el método de Yoder (Kemper y Rosenau, 1986), los resultados se usaron para calcular el estado estructural del suelo (EES), el coeficiente de estructuración (KE) y el DMP; los tamices utilizados tuvieron las aperturas de malla: 11.50, 4.76, 2.00, 1.00, 0.50, 0.25 y 0.10 mm. Para determinar la EAH también se empleó el método de Yoder (Kemper y Rosenau, 1986) y el juego de tamices tuvo las aperturas de malla: 4.76, 2.00, 1.00, 0.50, 0.25 y 0.10 mm. Para obtener el IC, se preparó pasta a saturación de cada muestra, con la que se llenó un juego de cápsulas de aluminio de 4.54 cm de diámetro y 1.38 cm de altura, las cuales se secaron al aire durante dos días y, posteriormente, se secaron en la estufa hasta peso constante; el volumen contraído se estimó mediante el rellenado de las cápsulas con parafina.

Características Químicas del Suelo

Las características químicas se determinaron con las metodologías descritas en Page *et al.* (1982), considerando las indicaciones de otros autores y fueron: pH, contenido de nitrógeno total (N), de fósforo (P), de potasio (K), de materia orgánica (MO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Para determinar el pH, se utilizó un potenciómetro digital, la calibración se hizo con dos soluciones estándares de pH 4.5 y 7.0, ajustándolo cada 15 lecturas (Aguilar-Santelises, 1988). El N total se determinó mediante combustión húmeda con el método microkjeldahl modificado para inclusión de nitratos (Aguilar-Santelises, 1988). El P se obtuvo mediante el método Olsen, por colorimetría (Olsen y Sommers, 1982; Aguilar-Santelises, 1988), utilizándose un espectrofotómetro. El K y la CIC se obtuvieron por el método del acetato de amonio, 1 N pH 7.0 (Aguilar-Santelises, 1988; Tan, 1996); en la determinación del K se usó un flamómetro; la CIC fue determinada por destilación y titulación del amonio.

La MO se determinó por el método de Walkley y Black (Schnitzer, 1982; Aguilar-Santelises, 1988), mediante la oxidación de la MO con dicromato de potasio en un medio ácido.

Características Biológicas

Las características biológicas obtenidas fueron la distribución radical (DR) y el rendimiento (R) producido al final del ciclo del cultivo de trigo. La DR se determinó mediante la obtención del peso seco de las raíces (Böhm; 1979) contenidas en cubos de 10 cm de lado en cada capa estudiada; la separación de las raíces se hizo con un tamiz con apertura de malla de 0.10 mm en húmedo. El rendimiento se determinó mediante entrevista con los dueños de las parcelas estudiadas, siendo sólo verificable el proporcionado por el Banco de México-FIRA mediante la revisión de sus registros.

Variabilidad Espacial

En el análisis de variabilidad espacial, realizado en LCON y L011, se determinaron: humedad volumétrica (HV), humedad gravimétrica (HG), densidad aparente (Da) y resistencia a la penetración (RP). El análisis se hizo mediante la elaboración de los variogramas (McBratney y Webster, 1986; Oliver y Webster, 1991) de cada una de las características estudiadas. La HG se obtuvo secando las muestras en la estufa y la HV se determinó con un equipo de reflectometría TDR (Time Domain Reflectometry). La RP se determinó midiendo el índice de cono con un penetrómetro a intervalos de 2.5 cm y hasta una profundidad de 30 cm. La Da se determinó relacionando los valores de humedad, sustrayendo a la unidad el cociente HV/HG. Para la obtención de los variogramas se usó el programa de computo S-PLUS 2000 w, mediante la función "Variogram". Las gráficas de los variogramas se realizaron en el programa de computo EXCEL.

Análisis Estadístico

El análisis de varianza y la comparación de medias, con la prueba de Tukey, se hicieron con el paquete de computación SAS, Versión 8 (SAS Institute, 1999), considerando un diseño factorial 4 x 3 (sistemas de labranza, profundidades).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y biológicos del suelo se ordenaron de acuerdo con el sistema de labranza y con las capas estudiadas según se presentan en el Cuadro 1.

Características Físicas del Suelo

Los valores de densidad real (D_r) se encontraron dentro del intervalo propuesto por Marshall y Holmes (1979) y cercanos al valor convencional de 2.65 Mg m^{-3} .

En densidad aparente por el método de la parafina (Dap), no existió diferencia marcada entre los sistemas de labranza en las capas inferiores; los valores mayores se observaron en LCON con diferencias significativas respecto a L001 y L003 en la capa de 0 a 10 cm. En densidad aparente por el método del cilindro (Dac), los sistemas de labranza cero tuvieron valores mayores, en especial L011, lo que coincidió con lo reportado por Ball y Smith (1991), Franzen *et al.* (1994) y Hussain *et al.* (1998), quienes atribuyeron el fenómeno a una disminución de la macroporosidad. También se observó un incremento con la profundidad, lo que concordó con lo reportado por Marshall y Holmes (1979), Brady (1984) y Dao (1996). Considerando que el intervalo de la densidad aparente en suelos de textura fina es de 1.0 a 1.4 Mg m^{-3} (Brady, 1984), los valores obtenidos con el método de la parafina fueron altos, mientras que los valores con el método del cilindro coincidieron más con el intervalo señalado; es posible que los datos generados con el método de la parafina se deban a la fuerte contracción ocurrida en los terrones usados, lo que, a su vez, explica las diferencias entre sistemas en labranza cero.

Con relación a la porosidad obtenida cuando el suelo se secó al aire (f_p), se esperaba que el mayor contenido de materia orgánica en L011 propiciara una mayor porosidad; sin embargo, no fue así, ya que L001 y L003 tuvieron valores mayores. Cuando el suelo se humedeció a CC (f_c), la porosidad obtenida fue mayor en LCON, antes de realizarse la preparación del terreno, que en el resto de los sistemas; además, se apreció una ligera disminución en L011 y una disminución en las capas inferiores respecto a la capa de 0 a 10 cm. Los valores de porosidad en las láminas delgadas mostraron un comportamiento similar con los valores para el suelo húmedo, siendo LCON el que presentó mayor

porosidad en las dos primeras capas (34 y 26%) con relación a L011 (18 y 13%), para igualarse en la capa de 20 a 30 cm (12%); sin embargo, existieron diferencias entre estos valores y los de f_c , siendo mayor en LCON. La mayoría de los trabajos realizados reportan que la porosidad total se reduce en los sistemas de conservación y conforme la profundidad se incrementa (Mielke *et al.*, 1986; Blevins y Frye, 1993); por lo que las diferencias de los valores respecto a f_p y f_c pueden deberse al efecto de la materia orgánica en el proceso de contracción.

Con relación al coeficiente de estructuración (KE), se observó que éste fue mayor en los sistemas de labranza cero y se apreció una tendencia de que KE fue mayor conforme el tiempo se incrementó en labranza cero. De manera similar, el estado estructural del suelo (EES) fue mayor en los sistemas de labranza cero. Considerando que valores altos de KE y EES están asociados a una mejor estructura del suelo, resultó que los sistemas de labranza cero tuvieron una mejor estructura con relación a la estabilidad de sus agregados en seco. En la estabilidad de agregados en húmedo (EAH), se observó que los valores mayores se encontraron en los sistemas de labranza cero, no obstante que las diferencias son pequeñas con respecto a LCON; esto concuerda con lo reportado por Figueroa-Sandoval y Morales-Flores (1992), Rhoton *et al.* (1993) y Cunha-Medeiros *et al.* (1996). El diámetro medio ponderado (DMP) de los agregados mostró una ligera disminución conforme se incrementó el número de años bajo labranza cero y conforme se incrementó la profundidad, lo que difiere de lo hallado por Cunha-Medeiros *et al.* (1996); este comportamiento se debe a que en los sistemas de labranza cero los agregados estables fueron de menor tamaño a los encontrados en LCON.

Los índices de contracción (IC) mayores ocurrieron en LCON, lo que se atribuyó al menor contenido de materia orgánica; se apreció un ligero incremento al aumentar la profundidad en LCON, L001 y L003.

Con relación a CC, PMP y HA, se observó que LCON presentó los valores más elevados, tanto en CC, como en PMP, dando valores mayores de HA, lo cual se atribuyó a que la porosidad fue mayor en condiciones de suelo húmedo, con respecto al resto de los sistemas cuyos valores fueron cercanos entre sí. Roth *et al.* (1988), Alegre *et al.* (1991), Figueroa-Sandoval y Morales-Flores (1992), y Hussain *et al.* (1998) indicaron que en labranza cero hay un mayor

Cuadro 1. Características físicas, químicas y biológicas del suelo en sistemas de labranza en Valle de Santiago, Guanajuato.¹

Sistema	Profundidad cm	Dt ¹	Dap	Dac	fp	fc	KE	EFS	EAH	DMP	IC	CC
			Mg m ⁻³			%		%		mm		%
LCON	0 a 10	2.50 g ²	1.71 ab	0.84 f	32 cd	66 a	1.0 k	50 j	70 abc	9.2 a	62 abc	65 b
	10 a 20	2.50 g	1.74 ab	0.86 ef	31 cd	66 a	0.9 i	47 k	72 abc	9.1 b	63 ab	71 ab
	20 a 30	2.45 i	1.76 a	0.93 ef	28 d	62 abc	2.1 h	67 g	75 ab	7.9 h	64 a	75 a
L001	0 a 10	2.46 h	1.48 de	0.97 de	40 ab	61 bcd	1.5 j	60 l	73 abc	8.0 e	55 cde	48 c
	10 a 20	2.51 f	1.65 abcd	1.18 bc	34 bcd	53 efg	2.1 g	68 f	77 ab	8.1 c	56 bcde	52 c
	20 a 30	2.54 d	1.72 ab	1.17 c	32 cd	54 ef	2.6 d	72 d	73 abc	7.2 d	59 abcd	52 c
L003	0 a 10	2.59 b	1.39 e	0.97 de	46 a	63 ab	2.4 e	71 e	63 c	6.8 i	48 c	50 c
	10 a 20	2.46 h	1.59 abcd	1.07 cd	35 bc	57 de	4.8 b	83 b	67 bc	6.2 k	57 abcd	52 c
	20 a 30	2.50 g	1.52 cde	1.17 c	39 b	53 efg	1.7 i	62 h	78 a	8.1 i	60 abcd	51 c
L011	0 a 10	2.52 e	1.59 bcd	1.08 cd	37 bc	57 cde	2.2 f	68 f	79 a	7.8 g	55 bcde	47 c
	10 a 20	2.61 a	1.68 abc	1.32 a	36 bc	49 fg	5.2 a	84 a	74 ab	6.4 j	48 e	46 c
	20 a 30	2.56 c	1.61 abcd	1.30 ab	37 bc	49 g	4.0 c	80 c	67 bc	6.1 c	52 de	50 c

Sistema	Profundidad cm	PMP	HA	pH	N	P	K	MO	CIC	DR	R
		%	%		%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	%	cmol _c kg ⁻¹	%	t ha ⁻¹
LCON	0 a 10	42 a	23 abc	7.8 bc	0.10 gh	3 g	920 bcde	2.1 d	38 a	69 d	7.0 b
	10 a 20	40 a	31 ab	7.5 cd	0.12 ef	4 fg	1320 a	2.0 de	27 b	19 e	
	20 a 30	42 a	33 a	7.6 cd	0.09 h	2 g	1040 abcd	1.5 f	16 de	12 g	
L001	0 a 10	27 bc	21 bc	5.4 h	0.20 b	32 c	840 cde	4.5 b	19 cd	94 a	6.5 c
	10 a 20	30 bc	22 bc	7.1 e	0.20 b	22 de	1040 abcd	3.2 c	17 de	3 i	
	20 a 30	31 bc	22 bc	8.3 a	0.11 fg	9 f	760 de	2.2 d	17 e	3 k	
L003	0 a 10	29 bc	21 bc	7.4 d	0.16 c	19 e	1120 abcd	2.4 d	25 b	84 b	5.5 d
	10 a 20	31 bc	21 bc	7.9 b	0.12 ef	4 fg	1000 abcd	1.5 ef	20 c	9 i	
	20 a 30	31 b	20 c	7.7 bc	0.14 d	2 g	640 e	1.5 f	21 c	7 j	
L011	0 a 10	25 c	22 bc	6.1 g	0.23 a	53 a	1240 ab	5.4 a	19 cd	73 c	7.5 a
	10 a 20	26 bc	20 c	6.7 f	0.14 de	41 b	1160 abc	2.1 d	16 e	16 f	
	20 a 30	26 bc	24 abc	7.5 cd	0.11 fg	25 d	1000 abcd	1.3 f	17 de	11 h	

¹ Valores de características físicas y químicas del suelo antes de las labores de preparación del terreno en sistemas de labranza convencional (LCON), un año de labranza cero (L001), tres años de labranza cero (L003) y 11 años de labranza cero (L011).

² Dr = densidad real; Dap = densidad aparente por el método de la parafina; Dac = densidad aparente por el método del cilindro; fp = porosidad del suelo seco al aire; fc = porosidad del suelo a CC; IC = índice de contracción; KE = coeficiente de estructuración; EFS = estado estructural del suelo; DMP = diámetro medio ponderado; EAH = estabilidad de agregados en húmedo; CC = humedad del suelo a capacidad de campo; PMP = humedad del suelo a punto de marchitez permanente; HA = humedad aprovechable; pH = potencial de hidrógeno; N = contenido de nitrógeno; P = contenido de fósforo; K = contenido de potasio; MO = contenido de materia orgánica; CIC = capacidad de intercambio catiónico; DR = distribución de raíces; R = rendimiento de trigo ciclo Otoño-Invierno 1999/2000.

³ Medias con igual letra sobre la misma columna no son significativamente diferentes con $\alpha = 5\%$ de acuerdo con la prueba de medias de Tukey.

contenido de humedad debido al mayor contenido de materia orgánica y a la reconfiguración del espacio poroso; sin embargo, el mayor contenido de humedad en labranza cero está estrechamente relacionado a la presencia del mantillo en la superficie (Brady, 1984; Unger, 1990; Logan *et al.*, 1991; Kovar *et al.*, 1992; Lal *et al.*, 1994), el cual no se cuantificó. Estos resultados indicaron que no necesariamente existe una correlación positiva entre la estructura medida mediante la estabilidad de agregados en seco y la retención de humedad.

Características Químicas del Suelo

Respecto al pH, se observó que los valores de los sistemas de labranza cero fueron menores en comparación con LCON en la capa superficial y mostraron una disminución con la profundidad del suelo. Los sistemas de labranza cero mostraron valores próximos entre sí, por lo que no se observó que L011 tuviera condiciones significativamente más ácidas. Las diferencias entre los sistemas de labranza convencional y labranza cero concordaron con lo reportado por Mahler y Harder (1984), Blevins y Frye (1993), Rhoton *et al.* (1993), y Bowman y Halvorson (1998), quienes explicaron que la acidificación del suelo en la capa superficial se atribuye a la aplicación superficial de los fertilizantes y, en menor grado, a la deposición superficial de los residuos de cosecha.

Con relación al contenido de nitrógeno (N), se observó que el contenido de N total en la capa superficial fue mayor en los sistemas de labranza cero; esto coincide con lo reportado por Blevins y Frye, (1993), Rhoton *et al.* (1993), Lal *et al.* (1994), y Bowman y Halvorson (1998), quienes lo atribuyeron principalmente al depósito superficial de residuos de cosechas.

También se observó un mayor contenido de fósforo (P) para los sistemas de conservación en la capa superficial, debido a su poca movilidad y a que las aplicaciones de fertilizantes y la deposición de residuos son superficiales, lo que coincide con lo reportado por Logan *et al.* (1991), Figueroa-Sandoval y Morales-Flores (1992), Blevins y Frye (1993), y Lal *et al.* (1994).

El contenido de potasio (K) mostró valores altos, lo que se atribuyó a la naturaleza misma de los suelos y mostró cierta estratificación en L001 y L011, lo que señalaron Figueroa-Sandoval y Morales-Flores (1992).

El contenido de materia orgánica (MO) fue superior en las parcelas de labranza cero, apreciándose una estratificación también reportada por Barreto, (1989), Logan *et al.* (1991), Figueroa-Sandoval y Morales-Flores (1992), y Blevins y Frye (1993), quienes la atribuyeron a la no incorporación de los residuos de las cosechas en el suelo y a la mayor proliferación de raíces en las capas superficiales.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) no tuvo la estratificación esperada y los valores más altos se presentaron en LCON. Rhoton *et al.* (1993) y Lal *et al.* (1994) señalaron que los cambios esperados en la CIC son más notorios cuando se trabaja con suelos muy pobres en materia orgánica y en los que el contenido de arcilla es mínimo.

Variabilidad Espacial

Los resultados del análisis de la variabilidad para HG, HV, Da y RP mostraron que los variogramas obtenidos no tuvieron estructura de la variabilidad espacial (datos muy dispersos) en las parcelas (LCON y L011), en las direcciones muestreadas y, en el caso de la resistencia a la penetración, a ninguna profundidad. Los variogramas tampoco presentaron consistencia en el efecto nugget, que señala la ocurrencia de varianza natural sin influencia del espaciamiento entre la toma de muestras, lo que indicó la independencia espacial de las variables. Los datos obtenidos verificaron que los valores de resistencia a la penetración y la densidad aparente son mayores en labranza cero (Cuadro 2). En esta variable se observó que los valores tuvieron un comportamiento similar a los obtenidos en Dac, pero con diferencias grandes en LCON. Ehlers *et al.* (1983), Bengough (1991) y Campbell y O'Sullivan (1991) han señalado valores límites para el crecimiento radical de 4.9 MPa, para sistemas de labranza cero, y 3.6 MPa, para sistemas convencionales.

Características Biológicas

La distribución del peso seco de raíces (DR) muestra que en los sistemas de labranza cero hubo una mayor proliferación de raíces en la capa superficial, lo cual coincide con lo reportado por Ehlers *et al.* (1980), Unger (1990), Blevins y Frye (1993) y Carter (1994), quienes atribuyeron este efecto a la estratificación de algunos nutrientes y de la materia

Cuadro 2. Parámetros de la variabilidad de algunas características del suelo en dos sistemas de labranza en el valle de Santiago, Guanajuato, 40 días después de la siembra de trigo.

Parámetro	Medias		Desviación estándar		C.V.	
	LCON [†]	L011 [‡]	LCON	L011	LCON	L011
HV (%)	32.8	38.1	4.9	10	15%	26%
HG (%)	60.6	37.0	3.8	3	6%	8%
Dap (Mg m ⁻³)	0.54	1.03	0.08	0.25	14%	24%
RP 0 a 10 (kPa)	289	736	79	235	27%	32%
RP 10 a 20 (kPa)	377	1,050	72	211	19%	20%
RP 20 a 30 (kPa)	486	1,269	113	303	23%	24%

[†] LCON = labranza convencional; [‡] L011 = labranza de conservación para 11 años de labranza cero. HV = humedad volumétrica; HG = humedad gravimétrica; Dap = densidad aparente (Dap = HV/HG); RP = resistencia a la penetración. Los números indican el intervalo de profundidad en cm.

orgánica, así como a las condiciones de humedad más favorables que se logran con el mantillo. La tendencia con el tiempo de menor proliferación de raíces en la capa superficial en los sistemas de labranza cero puede deberse a que hay una mayor ocurrencia de bioporos que permiten una incursión gradual y mayor de las raíces a profundidades mayores (Larson y Osborne, 1982; Ehlers *et al.*, 1983; Lal *et al.*, 1994).

El rendimiento (R) de trigo en labranza cero (Cuadro 1) fue aceptable, considerando el contexto económico; las empresas fueron exitosas al mantener o incrementar sus márgenes de utilidad debido al ahorro en costos, principalmente en las labores de preparación del terreno (Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; FIRA, 1996).

CONCLUSIONES

- Los suelos sometidos a sistemas de labranza cero presentaron características diferentes a las encontradas en labranza convencional, principalmente de tipo químico; existiendo una mayor fertilidad en los sistemas de labranza cero en la capa superficial de 0 a 10 cm de profundidad.

- Existieron diferencias significativas entre los sistemas de labranza para las características físicas: densidad aparente, contenido de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente; en labranza convencional se observaron los valores más altos.

- Existieron diferencias significativas en todas las características químicas, excepto para el contenido de potasio, y se presentaron los valores más altos en labranza cero.

- En los sistemas de labranza cero, en particular el de 11 años de labranza cero, se observó la estratificación de características químicas, como: pH, contenido de

nitrógeno, contenido de fósforo y contenido de materia orgánica; además, se observaron diferencias relacionadas con la antigüedad en el sistema de labranza cero para las características: pH, contenido de nitrógeno, materia orgánica y densidad aparente, en la capa de 0 a 10 cm de profundidad.

- Se observó que aquellas características que sufrieron detrimento en labranza cero, como la porosidad y la retención de humedad, no afectaron demasiado el desarrollo de los cultivos, ya que el rendimiento fue cercano al obtenido en labranza convencional.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Santelises, A. 1988. Métodos de análisis de suelos. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo/Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Alegre, J.C., D.K. Cassel y E. Amezcuita. 1991. Tillage systems and soil properties in Latin America. *Soil Tillage Res.* 20: 147-163
- Ball, B.C. y K.A. Smith. 1991. Gas movement. pp. 511-549. *In:* Smith, K.A. y C.E. Mullins (eds.). *Soil analysis. Physical methods.* Marcel Dekker. New York.
- Barreto, H.J. 1989. Cambios en propiedades químicas, patrones de fertilización y enalamiento en suelos bajo labranza cero. pp. 43-70. *In:* Barreto, H.J. (ed.). *Labranza de conservación en maíz.* Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo. El Batán, México.
- Bathke, G.R., D.K. Cassel, W.L. Hargrove y P.M. Porter. 1992. Modification of soil physical properties and root growth response. *Soil Sci.* 154: 316-329.
- Bengough, A.G. 1991. The penetrometer in relation to mechanical resistance to root growth. pp. 431-445. *In:* Smith, K.A. y C.E. Mullins (eds.). *Soil analysis. Physical methods.* Marcel Dekker. New York.
- Black, C.H. 1968. *Soil-plant relationships.* 2nd ed. John Wiley. New York.
- Blake, G.R. y K.H. Hartge. 1986a. Bulk density. pp. 363-375. *In:* Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.* Agronomy 9. 2nd ed. American

- Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Blake, G.R. y K.H. Hartge. 1986b. Particle density. pp. 377-382. *In: Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. Agronomy 9. 2nd ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Blevins, R.L. y W.W. Frye. 1993. Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Adv. Agron.* 51: 33-78.
- Böhm, W. 1979. *Methods of studying root systems.* Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg, Germany.
- Bowman, R.A. y A.D. Halvorson. 1998. Soil chemical changes after nine years of differential N fertilization in a no-till dryland wheat-corn-fallow rotation. *Soil Sci.* 163: 241-247.
- Brady, N.C. 1984. *The nature and properties of soils.* 9th ed. MacMillan. New York.
- Campbell, D.J. y J.K. Henshall. 1991. Bulk density. pp. 329-366. *In: Smith, K.A. y C.E. Mullins (eds.). Soil analysis. Physical methods.* Marcel Dekker. New York.
- Campbell, D.J. y M.F. O'Sullivan. 1991. The cone penetrometer in relation to trafficability, compaction, and tillage. pp. 399-429. *In: Smith, K.A. y C.E. Mullins (eds.). Soil analysis. Physical methods.* Marcel Dekker. New York.
- Carter, M.R. 1994. A review of conservation tillage for humid temperate regions. *Soil Tillage Res.* 31: 289-301.
- Cunha-Medeiros, J., R. Espejo-Serrano, J.L. Hernanz-Martos y V. Sánchez-Girón. 1996. Effect of various soil tillage systems on structure development in a Haploxeralf of Central Spain. *Soil Tech.* 11: 197-204.
- Dao, T.H. 1996. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustoll. *Agron. J.* 88: 141-148.
- Ehlers, W., B.K. Khosla, U. Köpke, R. Stülpnagel, W. Böhm y K. Baeumer. 1980. Tillage effects on root development, water uptake and growth of oats. *Soil Tillage Res.* 1: 19-34.
- Ehlers, W., U. Köpke, F. Hesse y W. Böhm. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Tillage Res.* 3: 261-275.
- FAO-UNESCO. 1988. *Soil map of the world.* Roma, Italy.
- Figueroa-Sandoval, B. y F.J. Morales-Flores. 1992. *Manual de producción de cultivos con labranza de conservación.* Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Colegio de Postgraduados-Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas. Salinas, San Luis Potosí, México.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 1996. *Labranza de conservación para una agricultura sustentable. Experiencias y logros de FIRA.* Boletín Informativo 281. Banco de México-FIRA. Morelia, Michoacán, México.
- Franzen, H., R. Lal y W. Ehlers. 1994. Tillage and mulching effects on physical properties of a tropical Alfisol. *Soil Tillage Res.* 28: 329-346.
- Hermawan, B. y K.C. Cameron. 1993. Structural changes in a silt loam under long-term conventional or minimum tillage. *Soil Tillage Res.* 26: 139-150.
- Hussain, I., K.R. Olson y J.C. Siemens. 1998. Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. *Soil Sci.* 163: 970-981.
- Kemper, B. y R. Derpsch. 1981. Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil Tillage Res.* 1: 253-267.
- Kemper, W.D. y R.C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. pp. 425-442. *In: Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties. Agronomy 9. 2nd ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Klute, A. (ed.). 1986. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties. Agronomy 9. 2nd ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Kovar, J.L., S.A. Barber, E.J. Kladvik y D.R. Griffith. 1992. Characterization of soil temperature, water content, and maize root distribution in two tillage systems. *Soil Tillage Res.* 24: 11-27.
- Lal, R. 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. *Adv. Agron.* 42: 85-197.
- Lal, R., T.J. Logan, D.J. Eckert, W.A. Dick y M.J. Shipitalo. 1994. Conservation tillage in the Corn Belt of the United States. pp. 73-114. *In: Carter, M.R. (ed.). Conservation tillage in temperate agroecosystems.* Lewis Publishers/C.R.C. Press. Boca Raton, FL.
- Langdale, G.W., L.T. West, R.R. Bruce, W.P. Miller y A.W. Thomas. 1992. Restoration of eroded soil with conservation tillage. *Soil Tech.* 5: 81-90.
- Larson, W.E. y G.J. Osborne. 1982. Tillage accomplishment and potential. pp. 1-11. *In: Predicting tillage effects on soil physical properties and processes.* Special Publication 44. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Logan, T.J., R. Lal y W.A. Dick. 1991. Tillage systems and soil properties in North America. *Soil Tillage Res.* 20: 241-270.
- Logsdon, S.D. y D.R. Linden. 1992. Interactions of earthworms with soil physical conditions influencing plant growth. *Soil Sci.* 154: 330-337.
- Mahler, R.L. y R.W. Harder. 1984. The influence of tillage methods, cropping sequence, and N rates on the acidification of a northern Idaho soil. *Soil Sci.* 137: 52-60.
- Marshall, T.J. y J.W. Holmes. 1979. *Soil physics.* Cambridge University Press. Cambridge, MA.
- Maurya, P.R. 1986. Effect of tillage and residue management on maize and wheat yield and on physical properties of an irrigated sandy loam soil in Northern Nigeria. *Soil Tillage Res.* 8: 161-170.
- McBratney, A.B. y R. Webster. 1986. Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *J. Soil Sci.* 37: 617-639.
- Mielke, L.N., J.W. Doran y K.A. Richards. 1986. Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. *Soil Tillage Res.* 7: 355-366.
- Oliver, M.A. y R. Webster. 1991. How geostatistics can help you. *Soil Use Manage.* 7: 206-217.
- Olsen, S.R. y L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. pp. 403-430. *In: Page, A.L., R.H. Miller y D.R. Keeney (eds.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy 9. 2nd ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Ordaz-Chaparra, V.M. 1995. Impact de la culture intensive des agrumes sur le fonctionnement des sols dans une zone tropicale du Mexique (Etat de Tabasco). *Série Sols* 20. Institut National Agronomique. Paris-Grignon, France.

- Page, A.L., R.H. Miller y D.R. Keeney (eds.). 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy 9. 2nd ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Phillips, R.E., R.L. Blevins, G.W. Thomas, W.W. Frye y S.H. Phillips. 1980. No-tillage in agriculture. *Science* 208: 1108-1113.
- Rhoton, F.E., R.R. Bruce, N.W. Buehring, G.B. Elkins, G.W. Langdale y D.D. Tyler. 1993. Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no-tillage systems. *Soil Tillage Res.* 28: 51-61.
- Roth, C.H., B. Meyer, H.G. Frede y R. Derpsch. 1988. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Paraná, Brazil. *Soil Tillage Res.* 11: 81-91.
- Russell, R.S. 1977. Plant root systems: their function and interaction with soil. McGraw Hill. London, UK.
- SAS Institute, Inc. 1999. SAS Software. Versión 8. Cary, NC.
- Schnitzer, M. 1982. Organic matter characterization. pp. 581-594. *In:* Page, A.L. R.H. Miller y D.R. Keeney (eds.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy 9. 2nd ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Sembiring, H., W.R. Raun, G.V. Johnson y R.K. Boman. 1995. Effect of wheat straw inversion on soil and water conservation. *Soil Sci.* 159: 81-89.
- Soane, B.D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil Tillage Res.* 16: 179-201.
- Tan, K.H. 1996. Soil sampling, preparation, and analysis. Marcel Dekker. New York.
- Unger, P.W. 1990. Conservation tillage systems. *Adv. Soil Sci.* 13: 27-68.
- Wilson, G.F., R. Lal y B.N. Okigbo. 1982. Effects of cover crops on soil structure and on yield of subsequent arable crops grown under strip tillage on an eroded Alfisol. *Soil Tillage Res.* 2: 233-250.

EROSIONABILIDAD ACANALADA DE UN ANDOSOL EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA EN LA MESETA TARASCA, MICHOACÁN

Rill Erodibility of an Andisol Under Different Tillage Systems in the Meseta Tarasca, Michoacán

Miguel A. Velásquez-Valle^{1‡}, Mario R. Martínez-Menes², Miguel Bravo-Espinosa¹, Jaime de J. Velázquez-García¹, Ken N. Potter³ y Mario Tiscareño-López⁴

RESUMEN

El parámetro de erosionabilidad acanalada (K_r) se utiliza para estimar el proceso de desprendimiento y acarreo de partículas de suelo por acción del flujo concentrado. La resistencia del suelo a este proceso depende directamente de las propiedades intrínsecas del mismo. Para determinar este parámetro en un Andisol, se utilizó un equipo acondicionado con una boquilla sumergible colocada a una distancia de 16.5 cm sobre la superficie del suelo que libera un gasto de agua a presión. La velocidad del flujo de agua se aplicó a 301, 464 y 556 cm s^{-1} . Los tratamientos evaluados fueron labranza convencional y de conservación (labranza cero más 100% de cobertura de residuos). Los resultados indican que las diferencias del parámetro de erosionabilidad acanalada entre labranza convencional y de conservación, 0.184 y 0.012 $\text{cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$, respectivamente, son mayores antes de las lluvias, debido a las prácticas de preparación del suelo en el sistema convencional. Sin embargo, el valor de K_r para el tratamiento de labranza de conservación se encontró similar antes y después de la época de lluvia 0.012 $\text{cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$ a causa de un proceso de consolidación de la capa superficial del suelo.

Palabras clave: erosión, flujo concentrado, índice jet, boquilla sumergible.

¹ Centro Nacional de Investigaciones para Producción Sostenible, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 7-111, Morelia, Michoacán, México.

[‡] Autor responsable (velasquez.agustin@inifap.gob.mx)

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

³ USDA Grassland, Soil and Water Laboratory. Temple, TX.

⁴ Campo Experimental de Pabellón, INIFAP. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México.

SUMMARY

The rill erodibility parameter (K_r) is used to measure soil particle detachment and transport process by concentrated flow. Soil resistance to this process depends directly upon its intrinsic properties. Equipment with a submerged jet nozzle was used to apply water flow and to determine the K_r parameter for an Andisol. The submerged jet nozzle was adjusted to be 16.5 cm above soil surface and water flow velocity was applied at 301, 464, and 556 cm s^{-1} . The two tillage systems evaluated were conventional and conservation tillage (No till and 100% of crop residue for cover). Results indicated that rill erodibility differences between conventional and conservation tillage treatments, 0.184 y 0.012 $\text{cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$, respectively, were more important before the rainy season due to soil preparation for the first treatment. However, K_r values for the conservation tillage treatment were equal before and after the rainy season 0.012 $\text{cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$ caused by a soil surface consolidation process.

Index words: erosion, concentrated flow, jet index, submerged jet.

INTRODUCCIÓN

En los modelos de erosión basados en procesos hidrológicos y en mecánica de erosión como el ‘water erosion prediction project’ (WEPP) (Lane y Nearing, 1989) se utilizan ecuaciones de conservación de masa y *momentum* para simular con mayor precisión el proceso erosivo. En el modelo WEPP este proceso está representado por la ecuación propuesta por Foster y Meyer (1972):

$$\frac{dG}{dx} = D_i + D_f \quad (1)$$

donde: x representa la distancia en un plano (L), G es la carga de sedimento transportado ($\text{M T}^{-1} \text{L}^{-1}$), D_i es

la tasa de erosión del área entre canalillos ($M L^{-2} T^{-1}$) y D_f es la tasa de erosión en áreas de flujo concentrado ($M L^{-2} T^{-1}$). En el caso de desprendimiento de partículas de suelo en áreas de flujo concentrado, la tasa de erosión es modelada con la ecuación:

$$D_f = D_c (1 - G/T_c) \quad (2)$$

donde: D_c es la capacidad de desprendimiento por flujo concentrado ($M L^{-2} T^{-1}$) y T_c es la capacidad de transporte de sedimentos del flujo ($M L^{-1} T^{-1}$). Cuando el esfuerzo cortante del flujo es mayor o excede al esfuerzo crítico, la capacidad de desprendimiento por flujo concentrado (D_c) se expresa como:

$$D_c = K_r (t_f - t_c) \quad (3)$$

donde: K_r es el parámetro de erosionabilidad acanalada ($1 T^{-1}$), t_f es el esfuerzo cortante promedio del flujo actuando sobre el suelo ($M L^2$) y t_c es el esfuerzo crítico cortante del suelo ($M L^2$) (Ascough *et al.*, 1997). Según estimaciones de Selby (1991), la proporción de sedimentos removida por la erosión acanalada varía de 50 a 90% en áreas de ladera con respecto a la erosión laminar.

Desde la década de los veinte, se empezó a reconocer que los suelos difieren en su capacidad para resistir el proceso de erosión (Bennett, 1926). Posteriormente, otros trabajos aportaron grandes conocimientos para clarificar la importancia del concepto de erosionabilidad del suelo en relación con el proceso de erosión hídrica (Middleton, 1930; Baver, 1933; Cook, 1936 y Wischmeier y Smith, 1965, citados por Bryan *et al.*, 1989). Sin embargo, todavía a finales de los ochenta no existía una clara definición del término de erosionabilidad del suelo (Bryan *et al.*, 1989). Una de las definiciones más aceptadas es la que propusieron Lal y Elliot (1994) e indica que la erosionabilidad acanalada (K_r) es el proceso de desprendimiento y acarreo de partículas de suelo por acción del flujo concentrado que se forma durante el escurrimiento. Existen evidencias de que el parámetro de erosionabilidad acanalada varía de acuerdo con el uso y tipo de suelo. Se han reportado rangos del parámetro K_r para diferentes usos; por ejemplo, para suelos agrícolas los intervalos observados fueron de 0.0008 a 0.0031 $s m^{-1}$ Norton y Brown (1992). En México, Villar *et al.* (1998) reportaron un valor del parámetro K_r de

0.0043 $s m^{-1}$ para suelos con uso agrícola del estado de Chiapas. En Andosoles con uso agrícola del estado de Michoacán, se reportaron valores de K_r de 0.0002 y 0.083 $s m^{-1}$ para sistemas de labranza cero (con 100% de cobertura de residuos) y convencional, respectivamente (Tiscareño *et al.*, 1999).

Los objetivos del presente estudio fueron: a) presentar un método alternativo para la determinación del parámetro erosionabilidad acanalada (K_r) y b) reportar los valores del parámetro K_r para dos sistemas de labranza en un Andosol.

MATERIALES Y MÉTODOS

El lugar donde se estableció el experimento se encuentra ubicado en la cuenca del Lago de Pátzcuaro en el estado de Michoacán. La unidad de suelos (FAO-UNESCO, 1990) representativa de la cuenca son los Andosoles. Estos suelos se caracterizan físicamente por una textura media a arenosa, con poca o nula pedregosidad superficial. Son suelos sin estructura y fácilmente erosionables por el agua y el viento, en especial cuando están secos o con un uso agrícola sin prácticas de conservación. La profundidad de los suelos, en general, es mayor que un metro. Considerando las condiciones fisiográficas de la región, la pendiente de los terrenos agrícolas en la cuenca varía de 2 a 45%. La mayoría de los suelos son de baja fertilidad, pobres en materia orgánica y con una densidad aparente menor que 0.8 $g cm^{-3}$ (Velásquez *et al.*, 1997). El sitio experimental se encuentra junto a la comunidad rural de Santa Isabel de Ajuno, en el municipio de Pátzcuaro, Michoacán. En este lugar, desde 1995 se establecieron varios tratamientos de manejo de suelo en lotes de escurrimiento tipo Wischmeier (Wischmeier y Smith, 1978) con el objetivo de realizar una evaluación de su impacto sobre aspectos hidrológicos y de erosión con el cultivo de maíz. A partir de ese año, el cultivo y manejo en los tratamientos de labranza han sido constantes.

El método y equipo utilizado en este estudio fueron descritos por Hanson (1991) y Allen *et al.* (1997). El equipo necesario para obtener los valores de campo se muestra en la Figura 1. La determinación en campo del parámetro de K_r consistió en aplicar a presión una cantidad de agua sobre el suelo y en función de las características y condición del suelo se cuantificó la respuesta



Figura 1. Determinación del parámetro K_r en un lote de escurrimiento de labranza de conservación en Santa Isabel de Ajuno, Pátzcuaro, Michoacán.

hidrológica. Inicialmente, la parte basal del equipo que es un anillo metálico, se enterró y se niveló. Después, sobre la parte galvanizada se colocó un acrílico para tener un nivel de referencia inicial de la superficie del suelo y se ubicó el tubo con la boquilla a la distancia correcta sobre la superficie del suelo (16.5 cm). Una vez realizado lo anterior, se llenó de agua el interior de la estructura galvanizada, evitando alterar físicamente la superficie del suelo. Antes de iniciar la prueba se puso nuevamente el tubo con la boquilla sobre la estructura galvanizada y con la fuente de energía se inyectó el agua dentro del mismo.

Cuando el nivel del agua alcanzó la salida, se registró el tiempo de inicio de la prueba. Después de diez minutos de iniciada, se suspendió la inyección de agua al tubo, éste se retiró y se determinó la

profundidad del orificio causada en el suelo por el chorro de agua. Esta operación se repitió dos veces cada diez minutos, antes de cambiar a la segunda y tercera posición de salida. Con este procedimiento en campo, por sitio de muestreo se obtienen nueve lecturas de la profundidad producida por el chorro de agua aplicada. Mediante un análisis de regresión lineal simple entre la profundidad producida (cm) en cada lectura y la presión utilizada, se obtuvo el valor de la pendiente de cada ecuación, el cual corresponde al índice (J_i); posteriormente, se substituyó este valor para obtener el valor de K_r (Hanson, 1991) en la ecuación:

$$K_r = 0.003 e^{385 J_i} \quad (4)$$

Para la realización de este estudio, se seleccionaron dos tratamientos de labranza contrastantes en intensidad de laboreo y porcentaje de cobertura con residuos en la superficie del suelo. El tratamiento de labranza convencional consiste en retirar el residuo de cultivo de la cosecha anterior, realizar prácticas de barbecho y rastreo antes de la siembra, y una escarda para el control de malezas como lo hace el productor de la región. El tratamiento de labranza de conservación permite dejar 100% de residuos de maíz de la cosecha anterior y sembrar, en forma directa, sin mover el suelo. Después de la cosecha del grano de maíz, el rastrojo se corta y se desmenuza simulando el picado de una desvaradora y se deja como cobertura sobre la superficie del suelo. Con esta cobertura por residuos y con la cobertura vegetal del cultivo durante el ciclo se asegura una protección adecuada al suelo por un mayor tiempo. La pendiente en los lotes de labranza convencional y de conservación es de 9.3 y 10.1%, respectivamente. Los efectos acumulados de cinco años de ambos tratamientos sobre algunas propiedades físicas y materia orgánica del suelo se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Propiedades físicas y materia orgánica del suelo en lotes de escurrimiento con labranza convencional y de conservación.

Variable	Unidad	Labranza convencional	Labranza de conservación
Materia orgánica	%	2.01	4.31
Densidad aparente	$g\ cm^{-3}$	0.95	0.89
Conductividad			
Hidráulica saturada	$mm\ h^{-4}$	5.3	59.7

En campo, las fechas de determinación del parámetro Kr fueron el 10 de noviembre de 1999, después del periodo de lluvias (Potter *et al.*, 2002) y el 20 de marzo del 2000 (antes del periodo de lluvias). La condición física del suelo más contrastante entre estas dos fechas fue la falta de agregación entre las partículas de suelo, ya que en la fecha de determinación antes del periodo de lluvias, el suelo en el tratamiento de labranza convencional se encontraba totalmente “suelto” por la reciente aplicación de las prácticas de arado y rastreo. La condición del suelo en el lote de labranza de conservación, específicamente la capa superficial del suelo, permaneció estabilizada todo el año debido a procesos de formación de estructura (Tiscareño *et al.*, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2, se presentan los valores de Kr para las dos fechas de muestreo y los dos tratamientos de labranza.

Variación Estacional

Los resultados obtenidos señalan que la susceptibilidad del suelo a ser erosionado es modificada temporalmente por el manejo del suelo. La variación estacional más importante del parámetro Kr se observó en el tratamiento de labranza convencional, debido al manejo o a las actividades de movimiento de suelo realizadas. Es pertinente señalar que con el sistema de labranza convencional después de aplicar las escardas y hasta el final del ciclo de cultivo, existe un efecto de estabilización o consolidación de la capa superficial del suelo basado principalmente en un proceso de sellado de la misma (Hillel, 1980). Lo anterior

Cuadro 2. Variabilidad estacional del parámetro de erosionabilidad acanalada (Kr) para los tratamientos de labranza en Santa Isabel de Ajuno, Mich.

Tratamiento	Antes del temporal		Después del temporal [†]	
	Ji [‡]	Kr	Ji	Kr
		cm ³ (N-s) ⁻¹		cm ³ (N-s) ⁻¹
Labranza convencional	0.0107	0.184	0.0031	0.010
Labranza de conservación	0.0037	0.012	0.0036	0.012

[†] Fuente: Potter *et al.* (2002). [‡] Ji = parámetro de la Ecuación 4.

justifica la diferencia encontrada entre los valores reportados por Potter *et al.* (2002) y los encontrados en el presente estudio.

Por otro lado, con respecto al comportamiento de los valores de Kr en suelos bajo labranza de conservación, puede señalarse que la capa superficial del suelo no responde de manera diferente en un periodo corto de tiempo (de noviembre 1999 a marzo 2000); que permita encontrar valores de Kr diferentes, como los observados en el tratamiento de labranza convencional. Por ello, las tasas de pérdida de suelo que se han reportado en los lotes con labranza conservacionista han sido mas bajas con respecto a los tratamientos donde se realizan prácticas de movimiento de suelo (Velásquez *et al.*, 1997).

Impacto de los Tratamientos de Labranza

En la Figura 2, la pendiente positiva de la línea de regresión para labranza convencional (LT) indica que las capas superficiales del suelo no ofrecen resistencia al desprendimiento y remoción por la acción de la aplicación del flujo; mientras que en el caso de las capas superficiales del suelo con labranza de conservación (después de cinco años con este sistema de manejo) se han creado las condiciones para resistir la acción erosiva del flujo. La resistencia lograda en suelos con labranza de conservación es debida a incrementos en el contenido de materia orgánica que favorecen la formación de estructuras con mayor estabilidad (Tiscareño *et al.*, 1999; Hillel 1980).

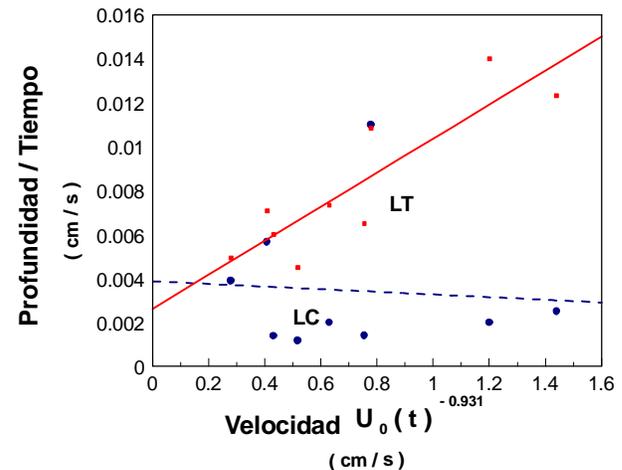


Figura 2. Relación entre la función de velocidad y la profundidad para los tratamientos de labranza convencional (LT) y de conservación (LC).

CONCLUSIONES

- Con el método propuesto por Hanson (1991) para determinar el parámetro de erosionabilidad acanalada (K_r) se identificaron diferencias entre los tratamientos de sistemas de labranza en estudio. Las principales diferencias se encontraron antes de la época de lluvia, debido a que la capa superficial del suelo en cada tratamiento presentó condiciones físicas contrastantes determinadas por su manejo.

- El parámetro de erosionabilidad acanalada (K_r) para un Andosol con labranza de conservación fue de $0.012 \text{ cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$ para antes y después del periodo de lluvias, que fueron las dos épocas de muestreo. Con respecto a la labranza convencional, el parámetro K_r observado fue de 0.184 y $0.010 \text{ cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$, para antes y después de las dos épocas de muestreo, respectivamente. Estas diferencias sugieren que el manejo del suelo, de labranza cero más una cobertura de residuos de 100%, reduce la susceptibilidad de los Andosoles a erosionarse por la acción del flujo concentrado (erosión en surcos). Lo anterior tiene relevancia debido a que en la región se practica la agricultura de laderas (laboreo excesivo y sin cobertura) y los riesgos de formación de canalillos, arroyuelos y/o cárcavas dentro de las parcelas se incrementan con la ocurrencia de tormentas de alta intensidad.

LITERATURA CITADA

- Allen, P.M., J. Arnold y E. Jakubowski. 1997. Design and testing of a simple submerged-jet device for field determination of soil erodibility. *Environ. Eng. Geosciences* 3: 579 – 584.
- Ascough II, J.C., C. Baffaut, M.A. Nearing y B.Y. Liu. 1997. The WEPP watershed model: I. Hydrology and erosion. *Trans. ASAE* 40: 921-933.
- Bennett, H.H. 1926. Some comparisons of the properties of humid-tropical and humid-temperate American soils, with special reference to indicated relations between chemical composition and physical properties. *Soil Sci.* 21: 349–375.
- Bryan, R.B., G. Govers y J. Poesen. 1989. The concept of soil erodibility and some problems of assessment and application. *Catena* 16: 393–412.
- FAO-UNESCO. 1990. Mapa mundial de suelos, leyenda revisada. Versión en español, preparada por la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Roma, Italia.
- Foster, G.R. y L.D. Meyer. 1972. Transport of soil particles by shallow flow. *Trans. ASAE* 15: 99–102.
- Hanson, G.J. 1991. Development of a jet index to characterize erosion resistance in earthen spillways. *Trans. ASAE* 34: 2015-2020.
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of soil physics*. Academic Press. New York.
- Lal, R. y W. Elliot. 1994. Erodibility and erosivity. pp. 181-208. *In: Lal, R. (ed.). Soil erosion research methods*. 2nd ed. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, IA.
- Lane, L.J. y M.A. Nearing (eds.). 1989. *Water Erosion Prediction Project: hillslope profile model documentation. Report 2*. National Soil Erosion Research Laboratory. US Department of Agriculture. West Lafayette, IN.
- Norton, L.D. y L.C. Brown. 1992. Time-effect on water erosion for ridge tillage. *Trans. ASAE* 35: 473–478.
- Potter, K.N., J. de J. Velásquez-García y H.A. Torbert. 2002. Use a submerged jet device to determine channel erodibility coefficients of selected soils of Mexico. *J. Soil Water Conserv.* 57: 272–277.
- Selby, M.J. 1991. *Hillslope materials and processes*. Oxford University Press. Oxford, UK.
- Tiscareño, L.M., M. Tapia-Vargas, A.D. Báez-González y M. Velásquez-Valle. 1999. Simulación de lluvia para la caracterización hidrológica y de erosión de suelos bajo labranza convencional y labranza cero. pp. 99–114. *In: Uso de lluvia artificial para parametrizar modelos de procesos hidrológicos*. Libro Científico 1, Capítulo VII. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria–Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Gómez Palacio, Durango, México.
- Velásquez-Valle, M.A., M. Tiscareño, R. Claverán y M. Gallardo. Erosión y productividad bajo labranza de conservación. I. Avances de investigación en suelos de Ando de Michoacán. 1997. Folleto Técnico 1. Centro Nacional de Investigación en Producción Sostenible-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Morelia, Michoacán, México.
- Villar-Sánchez, B., B. Figueroa-Sandoval, J.L. Oropeza-Mota, L. Landois-Palencia y V. Volke-Haller. 1998. Erosionabilidad de suelos y su impacto en la productividad del maíz en el trópico mexicano. *Agrociencia* 32: 199-207.
- Wischmeier, W.H. y D.D. Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. USDA Handbook 537. US Government Printing Office. Washington, DC.

DINÁMICA Y DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL DEL GUAYABO EN IGUALA, GUERRERO, MÉXICO

Dynamic and Nutritional Diagnosis of Guava in Iguala, Guerrero, Mexico

Agustín Damián-Nava^{1‡}, Víctor A. González-Hernández², Prometeo Sánchez-García²,
Cecilia B. Peña-Valdivia² y Manuel Livera-Muñoz²

RESUMEN

Se estudió la dinámica y el diagnóstico nutricional en árboles de guayabo (*Psidium guajava* L.) en Iguala, Guerrero, México, donde es un cultivo de recién introducción. Los mayores valores foliares de N se presentaron en enero cuando inició la principal brotación vegetativa y reproductiva; luego disminuyeron durante el crecimiento de los frutos y maduración de la hoja; los valores más altos de K se obtuvieron de febrero (amarre del fruto) a abril (fase III de crecimiento del fruto) y en octubre. La concentración de Ca más alta fue de abril (etapa III de crecimiento del fruto) a mayo (maduración del fruto); las mayores concentraciones de Fe y Mn se observaron de marzo a octubre. El contenido de P, Mg, Cu y B fue constante durante el año. Sólo el Mg estuvo en intervalo inferior a la referencia. Para el diagnóstico nutricional, los árboles estudiados se agruparon con base en su rendimiento. De acuerdo con el diagnóstico nutricional por el método convencional (MC), el contenido de todos los nutrientes, excepto Ca y Mn, fue de normal a alto. Con el método desviación del óptimo porcentual (DOP), todos los índices (excepto Fe) fueron deficientes; para la mayoría de los grupos de guayabos su orden de requerimiento nutricional (ORN) de macronutrientes fue: P > Mg > Ca > N > K. El ORN de los micronutrientes fue Zn > Mn. Con el método DRIS, en la mayoría de los grupos de guayabo, los nutrientes N, Mn y Zn resultaron deficientes, y su ORN fue N > Mn > Zn. Se encontró que con el DOP, la correlación del índice de desbalance nutricional y del rendimiento fue baja ($R^2 = 0.47$); para DRIS dicha

correlación fue alta ($R^2 = 0.93$). Por lo tanto, DRIS fue el mejor método para diagnosticar el desbalance nutricional del guayabo.

Palabras clave: *Psidium guajava* L., métodos de diagnóstico nutricional, orden de requerimiento nutricional.

SUMMARY

The nutritional dynamics and diagnosis of guava (*Psidium guajava* L.) trees were studied in Iguala, Guerrero, Mexico, where it was recently introduced. The highest foliar contents of N occurred in January, when most of the vegetative and reproductive shoots were spouting. They decreased during fruit growth stage and leaf maturing, while the highest K values were obtained from February (fruit ripening) to April (stage III of fruit growth) and in October. The highest concentration of Ca was from April to May (stage III to fruit maturing) and the highest concentrations of Fe and Mn occurred from March to October. The content of P, Mg, Cu, and B was constant during the year. Only Mg was in a lower range than the reference. According to the conventional method (MC), all nutrients, except Ca and Mn, varied from normal to high concentrations. However, with the deviation from optimum percentage method (DOP) all macro and micronutrients (except Fe) had negative indexes and for the majority of the guava groups, their most frequent order of nutritional requirements (ORN) for macronutrients was P > Mg > Ca > N > K, and for micronutrients Zn > Mn. With DRIS, in the majority of the guava groups, the nutrients N, Mn, and Zn showed negative values, with the following ORN: N > Mn > Zn. The relationship between the nutritional unbalance index (IDN) and fruit yield for DOP was low ($R^2 = 0.47$), but it was high ($R^2 = 0.93$) for DRIS. Therefore, DRIS was the best method for diagnosing the nutritional unbalance in guava trees.

¹ Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Periférico Poniente s/n, 40100 Iguala, Guerrero, México.

[‡] Autor responsable (agudana@yahoo.com.mx)

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

Index words: *Psidium guajava L., methods of nutrimental diagnosis, order of nutrimental requirement.*

INTRODUCCIÓN

El análisis químico de tejido vegetal es una excelente herramienta para conocer el estado nutrimental en casi la totalidad de los vegetales; su objetivo fundamental es diagnosticar anomalías nutrimentales en los cultivos (Alcántar-González y Sandoval-Villa, 1999) y sirve como base para ofrecer recomendaciones de fertilización (Mills y Jones, 1996).

En guayabo (*Psidium guajava* L.), como en otras especies, la composición nutrimental de las hojas varía con la edad y la posición de las mismas en los brotes, el tipo de brote (vegetativo o reproductor) y el estado fenológico del árbol. Por ejemplo, los valores de N, P, K, Zn y Cu en hojas de guayabo disminuyen a medida que la hoja aumenta de edad, y Ca, Mg y Mn se incrementan (Singh y Rajput, 1978a), pero se estabilizan a los cinco meses de edad (Kumar y Pandey, 1979).

En la época de floración y fructificación del guayabo, los valores de K son bajos, lo que se atribuye a su movilización hacia los frutos en formación (Guerra y Bautista, 2002). Lo mismo encontraron Singh y Rajput (1978a) y Chaudary *et al.* (1989) al observar similares tendencias de N, P y K en plantas de esta especie, porque sus valores son más altos en los brotes fructíferos que en los vegetativos. El contenido foliar de K, Ca y Mg también varía entre fechas, de manera que al disminuir K, se incrementa Ca y, en menor grado, Mg (Guerra y Bautista, 2002). Por esta razón, el muestreo de hojas para el análisis debe considerar edad y posición de la hoja en el brote, tipo de brote y etapa fenológica. Para guayabo, Mata-Beltrán y Rodríguez-Mendoza (1990) recomendaron muestrear entre el tercer y quinto nudo a partir del ápice, mientras que Singh y Rajput (1978b) y Chaudary *et al.* (1989) indicaron que deben muestrearse hojas de cuatro a ocho meses de edad de la parte media de los brotes vegetativos.

Por otro lado, los valores obtenidos del análisis foliar pueden ser interpretados por diversas técnicas de diagnóstico nutrimental: el método convencional (MC) que genera intervalos o valores críticos (Mills y Jones, 1996), la desviación del óptimo porcentual (DOP) (Montañés *et al.*, 1993), y el sistema integrado

de diagnóstico y recomendación (DRIS) (Beaufils, 1973).

El MC se basa en los valores óptimos de nutrimentos (Mills y Jones, 1996; Lucena, 1997), pero sin considerar las condiciones de clima, suelo y fuente nutrimental con la que se generaron los intervalos, por lo que éstas pueden variar entre sitios y autores.

El DOP cuantifica la cantidad en que un nutrimento se desvía con respecto a su norma específica. En este método, el valor nutrimental óptimo para cualquier elemento es igual a cero, de modo que los valores positivos indican excesos y los negativos deficiencias. El método permite calcular el índice de desbalance nutrimental (IDN), que se refiere a la suma de los valores absolutos de los índices DOP (Montañés *et al.*, 1993) y representa el balance nutrimental total de la planta, que puede relacionarse con el rendimiento.

El DRIS hace uso de relaciones entre nutrimentos para calcular los índices de desbalance nutrimental de un cultivo; estos desbalances pueden ser por deficiencias o excesos, porque el exceso de un nutrimento puede provocar deficiencia de otros y disminución del rendimiento. El DRIS también requiere de valores estándares o normas de referencia, los cuales se obtienen de un muestreo previo que permita obtener los datos básicos para generar las normas (Beaufils, 1973).

Por ser el guayabo un cultivo de reciente introducción en el estado de Guerrero, se desconoce su dinámica nutrimental a lo largo del año. Además, no se ha especificado el mejor método para hacer el diagnóstico nutrimental en esta especie que contribuya a dar un manejo nutrimental adecuado al cultivo para la obtención de un rendimiento alto y buena calidad de fruto. En el presente estudio, se evaluó la dinámica nutrimental del guayabo en diversas épocas del año en Iguala, Guerrero, y se compararon los tres métodos de diagnóstico nutrimental (MC, DOP y DRIS) para elegir el que mejor proporcione el estado nutrimental del guayabo en la etapa de fructificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio de dinámica y diagnóstico nutrimental del guayabo se llevó a cabo en una huerta experimental, ubicada a 18° 20' 45" N y 99° 24' 40" O, y una altitud de 735 m. Su clima es cálido, el más seco de los subhúmedos, cuya precipitación pluvial acumulada de junio a septiembre

de 2001 fue de 1050 mm, y su temperatura media tendió a mantenerse en 30 °C a lo largo del año, excepto de octubre a febrero cuando descendió a 25 °C (García, 1981). El suelo es profundo de color pardo oscuro, con 40% de arcilla, pH de 8.2, con 1.5% de materia orgánica; 0.3% de N total, 15 mg kg⁻¹ de P y K de 2 cmol_c kg⁻¹ de suelo.

Cada mes, desde noviembre 30 de 2001 hasta abril 30 de 2002, se aplicaron riegos de auxilio. Al inicio del experimento los árboles tenían 3.5 años, y estuvieron distribuidos en un arreglo de tresbolillo y a distancias entre planta de 6 m. No se les hizo aplicación de fertilizantes ni podas. Las malezas se controlaron con herbicida Faena[®] (del grupo de los glifosatos) a 10 mL L⁻¹ de agua, y la mosca de la fruta (*Anastrepha* spp.) se controló semanalmente con Malatión[®] (2 mL L⁻¹ de agua), adicionado con proteína hidrolizada (10 mL L⁻¹).

Para determinar la dinámica nutrimental, cada mes durante un año (junio 2001 a mayo 2002), se muestrearon 40 hojas maduras del tercero al sexto nudo de brotes vegetativos menores que un año, ubicados en la parte media de la copa del árbol. Para el diagnóstico nutrimental de brotes vegetativos, se tomaron hojas en abril, cuando los frutos de la cosecha principal se encontraban en la etapa III de crecimiento. Los 36 árboles muestreados se agruparon de acuerdo con su rendimiento individual, en < 35, 35 a 40, 41 a 45, 46 a 50, 51 a 55, 56 a 60 y > 60 kg árbol⁻¹.

El N total se determinó por el método microkjeldahl (Alcántar-González y Sandoval-Villa, 1999); P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn y B fueron extractados por digestión triácida y analizados con el método de espectrometría de emisión atómica de plasma por inducción acoplada (AES-ICP) (Alcántar-González y Sandoval-Villa, 1999).

Los contenidos de nutrientes obtenidos para la dinámica nutrimental fueron comparados con valores críticos propuestos por diversos autores (Singh y Rajput, 1978a; Borys y Acalde, 1987; Guerra y Bautista, 2002) para determinar su valor en la hoja: bajo, normal y alto. Las concentraciones nutrimentales, obtenidas en cada grupo de árboles en el mes de abril, se interpretaron y se compararon con los métodos de diagnóstico MC, DOP y DRIS.

Para el MC, los resultados de los análisis foliares se compararon directamente con los valores de varios autores y se clasificaron de acuerdo con la concentración obtenida por grupo de árboles, como: bajo, normal y alto. En cuanto al método DOP,

la norma se obtuvo de la media de los datos de cada grupo de árboles estudiados y el índice DOP se obtuvo mediante la ecuación:

$$I_A = \frac{A - a}{a} \times 100$$

donde: I_A = índice del nutriente; A = concentración del elemento obtenido del análisis foliar; a = media del nutriente (norma).

El contenido nutrimental también se referenció con las etapas fenológicas de las mismas plantas en las que se obtuvo el valor de los nutrientes, investigadas por Damián-Nava *et al.* (2004) con la única finalidad de conocer cuál era el estado nutrimental en cada una de las etapas (Figura 1).

El IDN se calculó mediante la suma de los valores absolutos de los índices DOP; cuanto menor fue el valor absoluto de la suma de los índices DOP, más cercano del óptimo estuvo el conjunto de elementos considerados. Las normas DRIS utilizadas como referencia en esta investigación (Cuadro 1) se obtuvieron de 196 observaciones de análisis foliar y rendimiento, en huertos de guayabo de Calvillo, Aguascalientes y de Apozol, Zacatecas. Para calcular los índices DRIS, orden de requerimiento nutrimental (ORN) e índice de desbalance nutrimental (IDN), se utilizó un programa de cómputo denominado IDRIS.

Por último, se correlacionaron el IDN y el rendimiento de cada grupo de árboles para los métodos DOP y DRIS, para observar la tendencia del IDN a medida que disminuye o incrementa el rendimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica Nutrimental del Guayabo

La concentración foliar de N varió durante el periodo de muestreo; los valores más altos se presentaron en enero (> 25 g kg⁻¹), abril (≥ 20 g kg⁻¹) y agosto (20.3 g kg⁻¹), y los menores valores (< 20 g kg⁻¹) se observaron en julio y de septiembre a diciembre. En comparación con los resultados (15.7 g kg⁻¹) de Guerra y Bautista (2002), obtenidos en Lara, Venezuela, en Iguala, México el contenido de N en las hojas de guayabo de enero a febrero fue alto, mientras que en los demás meses estuvo dentro del intervalo normal (Figura 1).

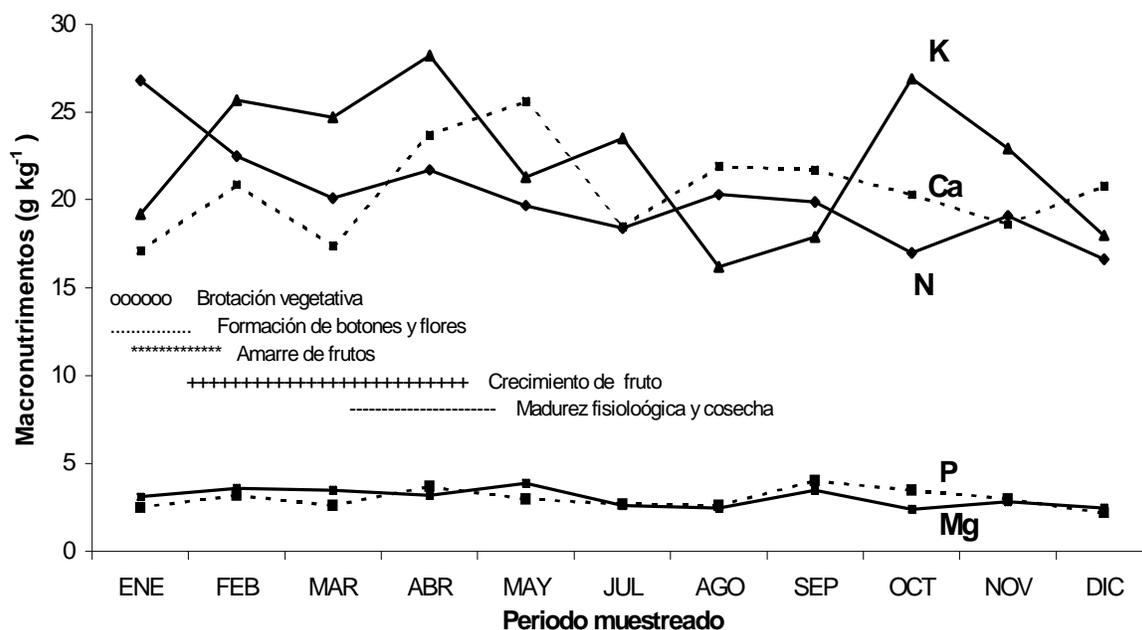


Figura 1. Dinámica nutricional en árboles de guayabo en Iguala, Guerrero. Las líneas parciales indican los eventos fenológicos de la cosecha principal, obtenidos por Damián-Nava *et al.* (2004).

Los más altos valores de N foliar coincidieron con la formación principal (invernal) de nuevos brotes vegetativos y mayor número de hojas nuevas, así como con el desarrollo de botones florales, flores y frutos jóvenes (“amarre”) encontrados en Iguala, Guerrero (en la misma huerta) por Damián-Nava *et al.* (2004).

Cuadro 1. Normas obtenidas para el cálculo de los índices DRIS en guayabo.

Expresión nutrientes	Norma media	CV [†] %	Expresión nutrientes	Norma media	CV %
N/Mn	0.0288	59.530	Mg/N	0.0891	50.165
N/Zn	0.0843	25.806	Mg/P	1.1415	62.698
P/N	0.0936	43.977	Mg/Ca	0.1773	24.503
K/N	0.6259	31.384	Mg/Fe	0.0013	35.516
K/P	7.1773	32.800	Mg/Mn	0.0024	63.668
K/Ca	1.3903	45.890	Mg/Zn	0.0072	39.397
K/Mg	8.0629	47.021	Fe/N	65.979	19.694
K/Fe	0.0098	36.330	Fe/P	845.68	50.889
K/Mn	0.0185	63.990	Mn/P	629.15	73.040
K/Zn	0.0507	31.193	Mn/Fe	0.7049	55.393
Ca/N	0.5099	38.855	Zn/P	158.08	53.104
Ca/P	6.9221	70.147	Zn/Ca	27.025	38.608
Ca/Fe	0.0077	30.254	Zn/Fe	0.1918	19.410
Ca/Mn	0.0137	59.601	Zn/Mn	0.3632	60.473

Fuente: Avelar (1997). [†] CV = coeficiente de variación.

En contraste, el contenido de N disminuyó a medida que en la planta se observó menos formación de nuevas hojas e inició la maduración de los frutos. Aunque en la presente investigación no se hicieron estudios al respecto, Singh y Rajput (1978a) indicaron que el N es transportado hacia las hojas cuando éstas están en pleno crecimiento y, posteriormente, cuando las hojas están maduras, el N parece ser transportado hacia el fruto. Después de esta fructificación y maduración de la hoja, el contenido foliar de N fue poco variable, como también ha sido reportado por Kumar y Pandey (1979), quienes indicaron que el contenido nutricional en la hoja se estabiliza a cinco meses de edad.

El contenido foliar de P fue poco variable en el año; su mayor concentración (4 g kg^{-1}) ocurrió en septiembre y la menor ($\leq 2.5 \text{ g kg}^{-1}$) de diciembre a enero (Figura 1). En comparación con los valores (2.9 a 3.2 g kg^{-1}), propuestos por Singh y Rajput (1978a), el contenido de P estuvo dentro de los intervalos normales o altos, en Iguala.

El K presentó dos picos de concentración alta ($\geq 22.9 \text{ g kg}^{-1}$), en abril y en octubre (Figura 1). En esta investigación, el K varió de intervalo normal a intervalo alto a lo largo del año, según la concentración (12.5 g kg^{-1}), reportada por Guerra y Bautista (2002). Los valores normales coincidieron

con el inicio de la formación de nuevas hojas y brotes vegetativos en la misma huerta (Damián-Nava *et al.*, 2004) (Figura 1), y los valores altos cuando se desarrollaron los frutos (en abril) de la cosecha principal y en octubre.

La concentración más alta de Ca (25.6 g kg^{-1}) en las hojas se presentó en mayo y la más baja (17.1 g kg^{-1}) en enero (Figura 1). El contenido de Ca, comparado con lo que reportaron Guerra y Bautista (2002) (16.4 g kg^{-1}), varió de normal a alto, pero con los mayores valores en abril y mayo, período que corresponde con las hojas completamente maduras y cosecha de fruto (Damián-Nava *et al.*, 2004). La concentración de Mg tuvo poca variación durante el año, con el contenido más alto (3.9 g kg^{-1}) en mayo (Figura 1). De acuerdo con los valores (5.6 g kg^{-1}) propuestos por Singh y Rajput (1978a), en la India, y Guerra y Bautista (2002) en Lara, Venezuela, los valores de Mg siempre estuvieron en el intervalo bajo, en Iguala.

La concentración de Fe se aumentó de enero (160 mg kg^{-1}) a marzo, para después mantenerse más o menos constante ($360 \text{ a } 380 \text{ mg kg}^{-1}$) hasta diciembre (Figura 2). Aun en enero y febrero,

el contenido de Fe siempre estuvo en el intervalo alto, comparado con el valor (94.1 mg kg^{-1}) de Borys y Alcalde (1987).

El contenido de Mn en las hojas fue bajo de noviembre a diciembre ($60 \text{ a } 80 \text{ mg kg}^{-1}$), en abril se incrementó y en adelante tendió a mantenerse constante (110 mg kg^{-1}) (Figura 2). El Mn, de acuerdo con lo propuesto por Guerra y Bautista (2002) (88.8 mg kg^{-1}), estuvo en el intervalo normal de abril a octubre, y bajo de noviembre a diciembre. El Zn estuvo normal de abril a noviembre y de diciembre a febrero (Figura 2), pero de enero a marzo su contenido fue bajo de acuerdo con lo propuesto (31.3 mg kg^{-1}) por Borys y Alcalde (1987) y Guerra y Bautista (2002).

El B y el Cu tuvieron pocas variaciones en el año (la mayor de 32.8 mg kg^{-1} en agosto y la menor de 20 mg kg^{-1} en enero para B y 14.7 mg kg^{-1} en septiembre y 8.3 mg kg^{-1} en enero para Cu) y fueron los de menor concentración entre los nutrientes medidos (Figura 2). El contenido de Cu se ubicó dentro del intervalo normal al compararlo con lo sugerido (11.1 mg kg^{-1}) por Guerra y Bautista (2002), y no se encontró referencia para ubicar al B.

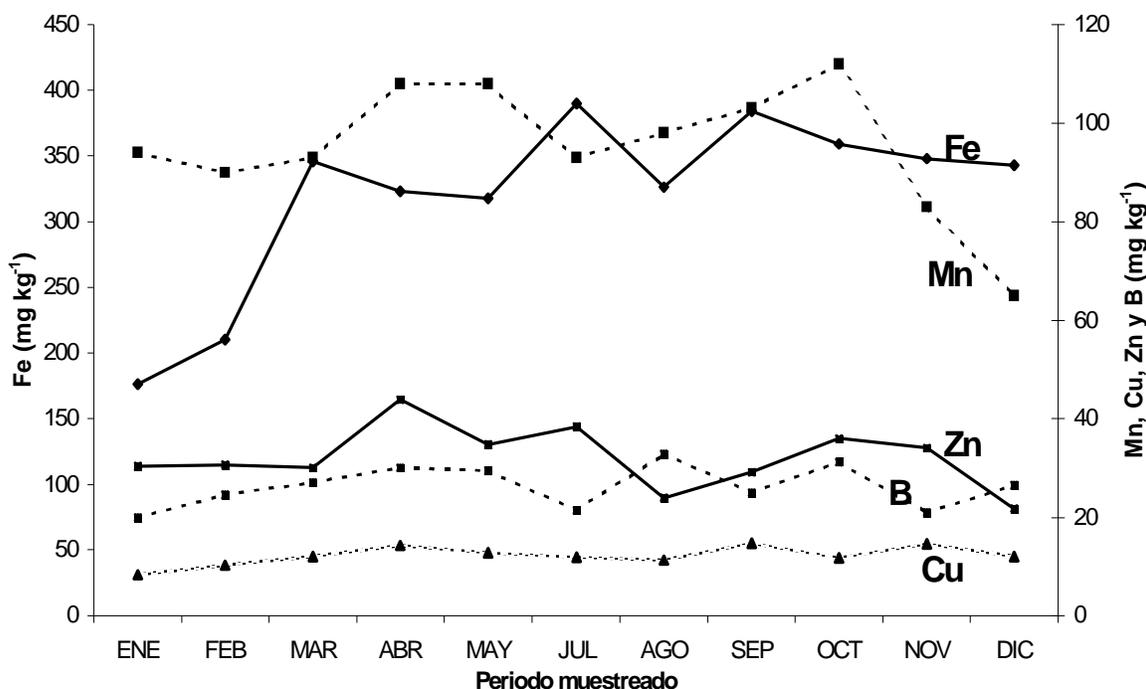


Figura 2. Dinámica nutrimental en árboles de guayabo en Iguala, Guerrero.

Diagnóstico Nutricional

Los resultados de los tres métodos de diagnóstico del estado nutricional de guayabos de 3.5 años de edad en Iguala, Guerrero, se encuentran en el Cuadro 2, agrupados de acuerdo con el rendimiento de cada árbol.

Según el método convencional, todos los nutrientes están en el intervalo de normal a alto, excepto el Ca y Mn que son inferiores a lo normal. Con el DOP, todos los macronutrientes produjeron índices negativos y, en la mayoría de los intervalos de rendimiento considerados, dieron el orden de requerimiento nutricional (ORN): $P > Mg > Ca > N > K$. Todos los micronutrientes, con excepción del Fe, tuvieron signo negativo, lo cual indica deficiencia nutricional y su ORN fue $Cu > B > Zn > Mn$. También con el método DRIS, se encontró que, en la mayoría de los intervalos de rendimiento considerados, los índices DRIS para N, Mn y Zn fueron negativos y el ORN para los guayabos con rendimiento intermedio fue $N > Mn > Zn$; mientras

que en las plantas de menor y mayor rendimiento, la mayoría del ORN fue $Mn > N > Zn$.

El IDN para el método convencional no existe debido a que éste analiza de manera individual a los nutrientes, sin considerar sus interacciones. Para el DOP, el IDN fue de 771.41 a 909.99 y considera deficientes a todos los nutrientes, con excepción del Fe, aun en el grupo de árboles de mayor rendimiento. En cambio, el IDN del DRIS resultó de 77.88 a 98.69 y considera deficientes a tres nutrientes (N, Mn y Zn). De acuerdo con el IDN del DRIS, las deficiencias nutricionales de las hojas de guayabo son mínimas, congruentes con el aspecto normal de la planta y con la producción de fruto que puede ser hasta de 16.7 t ha^{-1} , mayor que la media regional (10 a 12 t ha^{-1}) de las zonas productoras de Calvillo, Aguascalientes, y Apozol, Zacatecas (Avelar, 1997).

En las Figuras 3 y 4, construidas a partir de la relación entre el IDN y el rendimiento de cada grupo de árboles para los métodos DOP y DRIS, se observa que, para ambos métodos, la tendencia del IDN disminuye a medida que el rendimiento es mayor.

Cuadro 2. Comparación de índices, ORN e IDN a través de métodos de diagnóstico (MC, DOP y DRIS) en la evaluación del estado nutricional de grupos de guayabo de 3.5 años, clasificados con base en el rendimiento por árbol en Iguala, Guerrero.

Intervalo kg árbol ¹	Método [†]	Índices									ORN [‡]	IDN [§]
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn			
< 35	MC	alto	alto	normal	normal	alto	alto	bajo	normal	Mn		
	DOP	-97.51	-99.65	-97.55	-97.98	-99.64	342.50	-13	-62.15	$P > Mg > Ca > K > N > Zn > Mn$	909.99	
	DRIS	-22.04	5.24	0.88	2.21	2.53	14.57	-38.15	-14.57	$Mn > N > Zn$	98.69	
36 a 40	MC	normal	alto	alto	normal	alto	alto	bajo	normal	Mn		
	DOP	-98	-96.6	-96.8	-98.15	-99.62	230.5	3.5	-61.6	$Mg > Ca > N > K > P > Zn$	787.76	
	DRIS	-32.68	10	12.76	0.26	5.55	21.14	-8.44	-8.59	$N > Zn > Mn$	99.42	
41 a 45	MC	alto	alto	normal	bajo	alto	alto	bajo	normal	$Ca = Mn$		
	DOP	-97.58	-99.64	-97.44	-98.11	-99.62	245.5	-18.5	-65.65	$P > Mg > Ca > N > K > Zn > Mn$	824.03	
	DRIS	-18.67	8.34	4.63	1.85	7.51	24.27	-14.65	-13.29	$N > Mn > Zn$	93.22	
46 a 50	MC	alto	alto	normal	bajo	alto	alto	bajo	normal	$Ca = Mn$		
	DOP	-97.61	-99.67	-98.87	-98.02	-99.68	305	-7	-69.7	$Mg > P > K > Ca > N > Zn$	864.54	
	DRIS	-21.02	4.64	-2.65	3.21	-0.14	33.4	-10.77	-6.66	$N > Mn > Zn > K > Mg$	82.5	
51 a 55	MC	normal	alto	normal	bajo	alto	alto	bajo	normal	$Ca = Mn$		
	DOP	-97.64	-99.64	-97.52	-98.33	-99.56	251.5	8.5	-56.9	$P > Mg > Ca > N > K > Zn$	809.54	
	DRIS	-28.98	6.25	1.32	5.22	11.01	21.39	-7.48	-4.37	$N > Mn > Zn$	79.95	
56 a 60	MC	normal	alto	normal	bajo	alto	alto	normal	normal	Ca		
	DOP	-97.74	-99.68	-97.48	-98.16	-99.62	185.5	-28.5	-59.75	$P > Mg > Ca > N > K > Zn > Mn$	769.41	
	DRIS	-9.37	6.34	5.75	2.53	8.91	15.16	-17.02	-2.73	$Mn > N > Zn$	78.61	
> 60	MC	alto	alto	alto	bajo	alto	alto	alto	normal	Ca		
	DOP	-97.37	-99.69	-97.54	-98.54	-99.56	194.5	-23	-61.55	$P > Mg > Ca > K > N > Zn > Mn$	771.41	
	DRIS	-11.84	4.95	4.1	-6.91	14.18	15.71	-14.55	-5.64	$Mn > N > Ca > Zn$	77.88	

[†] MC = método convencional; DOP = desviación del óptimo porcentual; DRIS = sistema integrado de diagnóstico y recomendación; [‡] ORN = orden de requerimiento nutricional; [§] IDN = índice de desbalance nutricional.

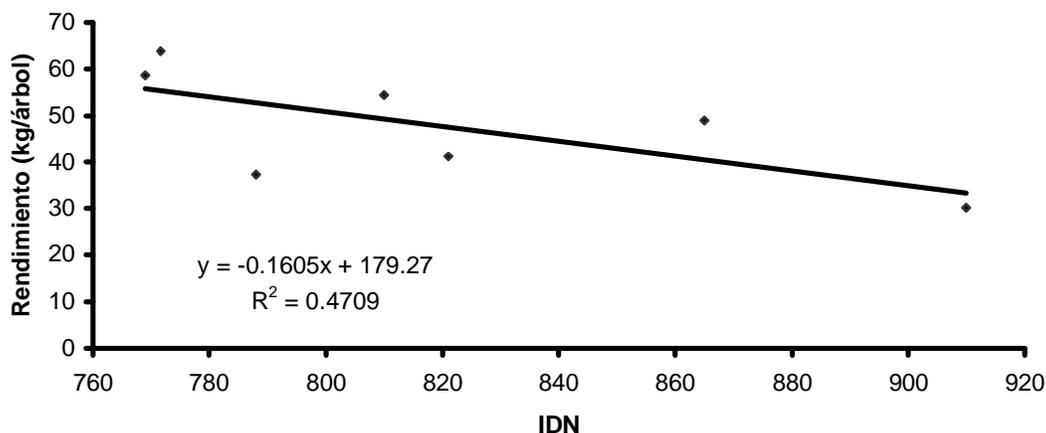


Figura 3. Relación entre el índice de desbalance nutricional del método DOP y el rendimiento del guayabo, en Iguala, Guerrero.

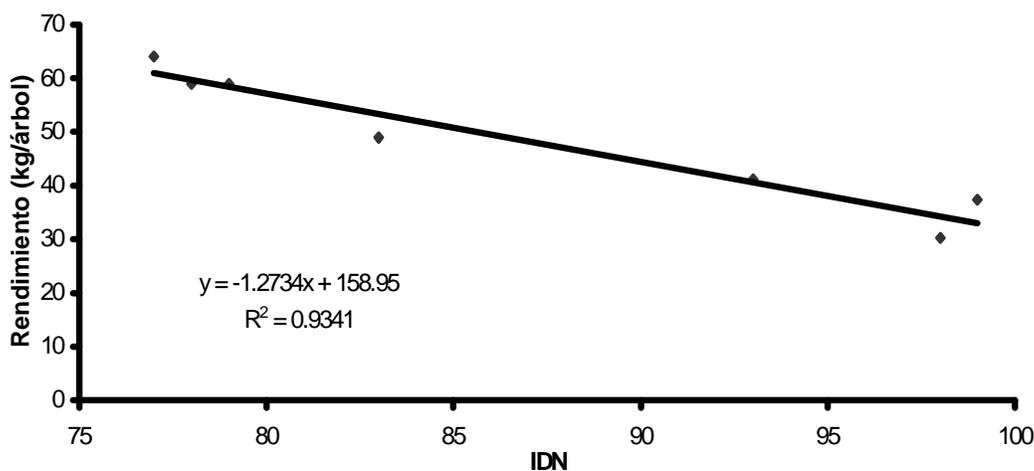


Figura 4. Relación entre el índice de desbalance nutricional del método DRIS y el rendimiento de guayabo, en Iguala, Guerrero.

Sin embargo, en el método DOP, la correlación del IDN y del rendimiento es bajo ($R^2 = 0.4709$), sin embargo, en el DRIS esta correlación es alta ($R^2 = 0.9341$). Por lo tanto, en esta investigación, DRIS fue el mejor método para diagnosticar los desbalances nutrimentales del guayabo debido a que correlacionó mejor con el rendimiento.

CONCLUSIONES

- Las concentraciones de P, Mg, B, Cu y Zn tuvieron poca variación en las hojas de guayabo durante el año y las de N, K y Ca variaron ampliamente.
- El método de diagnóstico convencional (MC) consideró como deficientes a Ca y Mn; la desviación

del óptimo porcentual (DOP) consideró deficientes a todos los nutrientes, excepto al Fe; y el DRIS marcó como deficientes al N, Mn y Zn.

- El sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) fue el mejor método para diagnosticar nutrientes del guayabo en Iguala, Guerrero, México, debido a que el IDN tuvo una correlación alta con el rendimiento

LITERATURA CITADA

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

- Avelar-Mejía, J.J. 1997. El declinamiento del guayabo (*Psidium guajava* L.) y factores asociados con su presencia y severidad. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Beaufils, E.R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Soil Science Bulletin 1. University of Natal. Pietermaritzburg, S. Africa.
- Borys, M.W. y S. Alcalde-Blanco. 1987. Algunas alteraciones nutrimentales en guayabo *Psidium guajava* L. Revista Chapingo 56 y 57: 62-68.
- Chaudary, S., K. Ram y A. Rehalia. 1989. Standardization of foliar sampling technique in guava. Indian J. Hort. 46(2): 161-163.
- Damián-Nava, A., V.A. González-Hernández, P. Sánchez-García, C.B. Peña-Valdivia y M. Livera-Muñoz. 2004. Crecimiento y fenología del guayabo (*Psidium guajava* L.) cv. "Media China" en Iguala, Guerrero. Rev. Fitotec. Mex. 27: 349-358.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Guerra, E. y D. Bautista. 2002. Contenido foliar de elementos nutricionales en tres clones de guayaba (*Psidium guajava* L.) en época de alta actividad de crecimiento. Biagro 14(2): 99-144.
- Kumar, P. y R. Pandey. 1979. Sampling for mineral content in leaves of guava cultivar Lucknow 49. Acta Horticulturae 11: 163-174.
- Lucena, J.J. 1997. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants. A critical review. Acta Horticulturae 448: 179-192.
- Mata-Beltrán, I. y A. Rodríguez-Mendoza. 1990. Cultivo y producción del guayabo. Trillas. México, D.F.
- Mills, H.A. y B.J. Jones. 1996. Plant Analysis Handbook II. Micro-Macro Publishing. Athens, Georgia.
- Montañés, L., L. Heras, J. Abadía y M. Sanz. 1993. Plant analysis interpretation based on a new index. Deviation from optimum percentage (DOP). J. Plant Nutr. 16(7): 1289-1308.
- Singh, N. y C. Rajput. 1978a. Effect of leaf age and position and fruiting status on guava leaf mineral composition. J. Hort. Sci. 53: 73-74.
- Singh, N. y C. Rajput. 1978b. Leaf analysis as a guide to nitrogen nutrition of guava (*Psidium guajava* L.). Progressive Hort. 13: 27-39.

COBERTURA DE LEGUMINOSAS EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN LOS ALTOS DE CHIAPAS, MÉXICO

Legume Cover Crops in Corn Production in the Highlands of Chiapas, Mexico

H.U. Bernardino-Hernández¹, J.D. Álvarez-Solís^{1‡}, N.S. León-Martínez¹ y L. Pool-Novelo¹

RESUMEN

Se evaluó el efecto de mucuna y frijol botil como cultivos de cobertura sobre algunas características físicas, químicas y biológicas del suelo, el control de arvenses y el rendimiento de maíz (*Zea mays*) en Santa Martha, Chenalhó, Chiapas. El trabajo se realizó con la participación de campesinos tzotziles en cuatro sitios cultivados con maíz ubicados en las zonas templada y cálida de la comunidad. En cada sitio, se establecieron parcelas grandes sin y con cobertura de mucuna en el ciclo de cultivo previo, y, como parcelas chicas, las coberturas de mucuna, frijol botil y un control sin cobertura, con un diseño de parcelas divididas en bloques al azar con tres repeticiones. Los resultados mostraron que la cobertura anterior de mucuna cortada y dejada sobre el suelo tuvo un efecto positivo en el control de arvenses, incrementó el rendimiento de maíz e influyó en el balance positivo entre los ingresos totales y los costos de producción. Sin embargo, la cobertura anterior no tuvo efecto significativo cuando el mantillo se quemó antes de la siembra de maíz o se utilizó para la alimentación de ganado en la temporada seca. Las coberturas de mucuna y de frijol botil en el segundo ciclo presentaron escasa producción de biomasa aérea a 150 días y no tuvieron efecto significativo en el control de arvenses. En la zona cálida, la mucuna produjo más biomasa que el frijol botil, pero, en la zona templada, el frijol botil produjo más biomasa que la mucuna, con valores máximos de biomasa aérea seca de 2.5 y 1.0 t ha⁻¹ para mucuna y frijol botil, respectivamente. El rendimiento de maíz mostró una correlación positiva con la materia orgánica, N total y P Olsen del suelo y negativa con la biomasa de arvenses.

¹ Departamento de Agroecología, División de Sistemas de Producción Alternativos, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Apartado Postal 63, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

[‡] Autor responsable (dalvarez@sclc.ecosur.mx)

Palabras clave: control de arvenses, *Zea mays*, *Mucuna sp.*, *Phaseolus coccineus*.

SUMMARY

The effect of mucuna and botil bean as cover crops on some soil physical, chemical and biological characteristics, control of weeds and corn yield (*Zea mays*) was evaluated in Santa Martha, Chenalhó, Chiapas, Mexico. Fieldwork was conducted with the participation of tzotzil farmers in four sites with corn cultivation located in the temperate and hot zones of the community. In every site, major plots with or without mucuna cover in the previous cropping cycle were established, and as minor plots, the covers of mucuna, botil bean, and a control without cover under a design of split plots in randomized blocks with three replications. Results showed that when the previous cover of mucuna was cut and left on the soil surface there was a positive effect on the control of weeds, it increased corn yield and influenced the positive balance between the total income and the production costs. Nevertheless, the previous cover did not have a significant effect when litter was burned before corn sowing, or when it was grazed by cattle during the dry season. Dry matter production of legume covers in the second cycle was scarce at 150 days, and there was no significant effect on the control of weeds. Mucuna had higher production of biomass than botil bean in the hot zone, but botil bean had more biomass than mucuna in the temperate zone, with a maximum value of dry matter production of 2.5 and 1.0 t ha⁻¹ for mucuna and botil bean, respectively. Corn yield showed a positive relationship to organic matter, total N and Olsen P, and negative to weed biomass.

Index words: control of weeds, *Zea mays*, *Mucuna sp.*, *Phaseolus coccineus*.

INTRODUCCIÓN

La producción de maíz (*Zea mays* L.) en laderas abruptas de la región de Los Altos de Chiapas

se realiza mediante prácticas tradicionales en proceso de transformación debido a la generación de nuevos conocimientos. La producción de maíz en estas laderas presenta baja productividad y altos riesgos de degradación del suelo por erosión hídrica y pérdida de su fertilidad (Álvarez-Solís *et al.*, 1998). La producción de maíz con fertilizantes de origen industrial se enfrenta al alto costo económico y ambiental que significa el empleo de estos insumos y a la baja rentabilidad que las inversiones de capital tienen en la agricultura de ladera (Pool-Novelo *et al.*, 2000).

En este contexto se encuentra la comunidad de Santa Martha, municipio de Chenalhó, donde a través de un Taller de Evaluación Rural Participativa se detectaron como problemas relevantes la escasa fertilidad de los suelos y la baja productividad del maíz (Pool-Novelo *et al.*, 1997). Una alternativa que podría ayudar a resolver estos problemas lo constituye el uso de leguminosas como cultivos de cobertura, ya que éstas han mostrado efectos favorables en el control de arvenses (Caamal *et al.*, 1996), retención de humedad (Buckles *et al.*, 1992), disminución de la erosión y recuperación de la fertilidad del suelo (Aguilar-Jiménez, 1997). Entre las leguminosas que se han empleado con mayor éxito como cobertura en las regiones cálidas de los países tropicales se encuentra la mucuna (*Mucuna* sp.) (Flores *et al.*, 1992). Sin embargo, existe poca información sobre especies que puedan utilizarse como coberturas en tierras altas y templadas (> 1500 m de altitud).

Una especie promisoriosa como cultivo de cobertura en tierras altas y templadas es el frijol botil (*Phaseolus coccineus* subesp. *coccineus* Delgado), debido a su buena adaptación y alta capacidad fijadora de nitrógeno y producción de biomasa (Álvarez-Solís y León-Martínez, 1991). Esta leguminosa se cultiva en las tierras altas de Centroamérica y del sureste de México (Delgado-Salinas, 1988) como especie asociada al maíz a bajas densidades mediante el uso de espalderas entre los surcos de siembra. En

el presente trabajo, se evaluó el comportamiento de mucuna y frijol botil como coberturas en el cultivo de maíz, mediante la valoración de sus efectos sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como en el control de arvenses y rendimiento de maíz en las condiciones ambientales y prácticas de manejo locales en la comunidad indígena de Santa Martha en la región de Los Altos de Chiapas. La hipótesis de trabajo fue que las coberturas de leguminosas contribuyen, de manera diferencial, en el mejoramiento de la fertilidad del suelo y la productividad del maíz, con un mejor comportamiento del frijol botil en la zona templada y de la mucuna en la zona cálida de la comunidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en Santa Martha, Chenalhó, Chiapas (16° 55' 20.63" y 17° 01' 39.97" N; 92° 39' 27.17" y 92° 42' 57.01" O) habitada por campesinos mayas de la etnia tzotzil. La comunidad presenta un gradiente altitudinal de 800 a 2200 m, en el que se diferencia una zona cálida (< 1000 m, con clima cálido subhúmedo y temperaturas medias de > 22 °C), una zona de transición (de 1000 a 1500 m, con clima semicálido subhúmedo y temperaturas medias entre 18 y 22 °C), y una zona templada (> 1500 m, con clima templado subhúmedo y temperaturas medias de < 18 °C). Los suelos predominantes son Luvisol crómico en la zona templada y Feozem háplico en la zona cálida (INEGI, 1993). La precipitación total anual oscila entre 1200 y 1500 mm (Pool-Novelo *et al.*, 1997).

En el ciclo agrícola 2000, se sembró maíz sin y con cobertura de mucuna en cuatro sitios de la comunidad (Cuadro 1). Dos sitios se localizaron en la zona templada (Sitios 1 y 2) y dos en la cálida (Sitios 3 y 4). La siembra de mucuna se realizó 40 días después de la siembra del maíz (ddsm) en medio del surco a una distancia de 1 m entre matas y 1 m entre filas. La mucuna se dejó como cobertura sin

Cuadro 1. Características de los sitios experimentales.

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
Altitud (m)	1640	1560	1000	850
Ubicación en el paisaje	media loma	pie de montaña	media ladera	media ladera
Pendiente (%)	10	10	20	28
Textura	franco arcilloso	franco arcilloso	franco arcilloso	franco arcillo arenoso

cosechar las semillas y en la preparación del terreno para el siguiente ciclo agrícola, se cortó y se depositó en la superficie del suelo, con excepción del Sitio 1 donde se quemó. La mucuna tuvo un mejor desarrollo en la zona cálida que en la templada, con un aporte estimado de biomasa aérea seca de 1.0 y 0.6 t ha⁻¹, respectivamente; sin embargo, la cantidad de mantillo en los sitios de la zona cálida disminuyó debido a su aprovechamiento para la alimentación de ganado mediante pastoreo directo en la temporada seca.

En el ciclo agrícola 2001, se dividieron las superficies de cada sitio sin y con el antecedente de cobertura de mucuna en tres bloques con base en la pendiente general del terreno y se sembró maíz con cobertura de mucuna, cobertura de frijol botil y un control sin cobertura, con un esquema de parcelas divididas en bloques al azar con tres repeticiones. Las parcelas grandes se asignaron al antecedente de cobertura de mucuna y, las chicas, a las coberturas del segundo ciclo. La parcela chica tuvo un área total de 64 m² y área útil de 25 m². Se realizó la siembra directa de cuatro a cinco semillas/mata de maíz criollo (amarillo en la zona templada y blanco en la cálida) con distancia entre matas y entre surcos de 1 m (10 000 matas ha⁻¹). A 40 dds, se sembraron tres semillas/mata de mucuna y frijol botil en medio del surco a una distancia de 1 m entre matas y 1 m entre filas. El control de arvenses y la fertilización se realizaron de acuerdo con el conocimiento, el tiempo disponible y las posibilidades económicas de cada productor. El control de arvenses se realizó en tres ocasiones en la zona templada y en dos en la cálida. El primero se hizo previo a la siembra de las leguminosas con Cuprocuat/Herpivol en los Sitios 1 y 3, y con azadón en los Sitios 2 y 4; el segundo se realizó 30 a 40 días después de la siembra de las leguminosas (dds) con Gramoxone en los Sitios 2, 3 y 4, y con azadón en el Sitio 1; el tercero se efectuó 60 a 70 dds con azadón. Se utilizó una dosis de fertilización de 120-100-00 que se aplicó fraccionada en tres ocasiones: la primera a la siembra del maíz (00-60-00, con superfosfato de calcio triple), la segunda 40 dds (60-20-00, con urea y superfosfato de calcio triple), y la tercera 80 dds (60-20-00, con urea y superfosfato de calcio triple), con excepción del Sitio 4, que no tuvo esta última aplicación. La dobla de la caña del maíz, para acelerar el secado de la mazorca, se realizó a 180 dds en todos los sitios.

En el ciclo agrícola 2001, se determinaron las constantes de humedad: capacidad de campo y punto

de marchitez permanente a la siembra de maíz (Cavazos y Rodríguez, 1992) y se registró la dinámica de humedad gravimétrica del suelo cada 20 a 25 días. A 150 dds, se obtuvieron muestras compuestas de suelo en cada parcela chica, mediante la recolecta de cinco submuestras en zigzag a una profundidad de 0 a 20 cm, y se realizaron los análisis: materia orgánica (digestión húmeda de Walkley y Black), N total (semi microkjeldahl), fósforo extractable (Olsen), y biomasa microbiana (Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000).

A 150 y 210 dds, se obtuvo el peso seco (60 °C por 72 h) del follaje de mucuna y frijol botil, y el número y peso seco de nódulos en la raíz. Al follaje se le determinó la concentración de N y P (Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000). Se midió la cobertura del suelo y la biomasa aérea seca de arvenses en dos cuadrantes de 1 m² seleccionados al azar en cada parcela chica (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974).

Se midió el rendimiento de grano de maíz en 10 matas con competencia completa colectadas al azar dentro de la parcela útil a 210 dds. La relación B/C se obtuvo al dividir los beneficios representados en ingresos monetarios totales (IT) entre los costos monetarios totales (CT) para cada tratamiento (Urrutia-Campos, 1989). Los beneficios se estimaron a partir del rendimiento de grano de maíz y su valor de venta. Los costos totales se determinaron mediante la fórmula:

$$CT = DM + TNP + GI \text{ (Martínez-Quezada, 1995)}$$

donde: DM = desembolso monetario (jornales pagados); TNP = trabajo no remunerado (trabajo personal y familiar); y GI = gasto de insumos.

Los datos se procesaron mediante análisis de varianza para un diseño de parcelas divididas por sitio. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Se realizaron análisis de correlación y de regresión múltiple entre las variables de respuesta y el rendimiento de maíz. Se utilizó el Sistema de Análisis Estadístico para Windows, Versión 8.0 (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del Suelo

En general, no se observaron deficiencias de humedad del suelo durante el ciclo de cultivo, con

excepción del Sitio 4 en la zona cálida con un contenido de humedad igual al punto de marchitez permanente (PMP) a la siembra de maíz y leguminosas (Figura 1). En ese mismo periodo hubo más humedad con antecedente de mucuna que sin mucuna en los Sitios 2 y 3, posiblemente debido al efecto del mantillo de mucuna del ciclo anterior que se depositó sobre la superficie del suelo, similar a lo observado por Buckles *et al.* (1992) en laderas del litoral del Atlántico de Honduras. Este efecto no ocurrió en los Sitios 1 y 4 posiblemente por la quema del mantillo en el Sitio 1 y porque la pendiente pronunciada y la textura más arenosa del Sitio 4 influyeron, de manera negativa, en la retención de humedad indistintamente de la cobertura antecedente. Es importante señalar que, en la temporada de lluvias, hubo la presencia de corrientes superficiales provenientes de la montaña que modificaron la dinámica de humedad del suelo en el Sitio 2, con una mayor afectación del tratamiento sin antecedente de mucuna, por lo cual, a partir de julio, se obtuvieron valores más altos que la capacidad de campo en esa condición.

Los suelos presentaron contenidos altos de materia orgánica (MO), N total y biomasa microbiana, con valores promedio de 6.9%, 0.37%, y 2.0 mg g⁻¹, respectivamente, y no hubo diferencias significativas entre tratamientos en ningún sitio. El contenido de P Olsen fue significativamente ($P \leq 0.05$) más alto con

antecedente de mucuna que sin mucuna en el Sitio 2, con valores de 7.5 y 3.0 mg kg⁻¹, respectivamente. En este sitio, el contenido de P Olsen al inicio del experimento fue de 6.7 y 7.3 mg kg⁻¹ con y sin antecedente de mucuna, respectivamente, lo cual indica que el P extraíble disminuyó sin antecedente de mucuna. Esta disminución no es atribuible a una diferencia en la dosis de fertilización, ya que si bien los Sitios 1, 2 y 3 se fertilizaron tres veces mientras que el Sitio 4 se fertilizó sólo dos veces, al interior de cada uno de los sitios se aplicó la misma dosis de fertilización. De ahí que la disminución de P extraíble en el tratamiento sin antecedente de mucuna pudo haber sido una consecuencia de la disolución del superfosfato de calcio triple aplicado en la fertilización y su lavado hacia afuera del sitio, debido a las condiciones de mayor humedad y la presencia de corrientes superficiales que se registraron en la temporada de lluvias en esa condición.

Biomasa de Leguminosas y de Arvenses

Tanto el frijol botil, como la mucuna produjeron escasa biomasa aérea hasta el momento del primer muestreo (150 dds), pero a 210 dds la biomasa de frijol botil se incrementó 300% y la de mucuna 900%. Este efecto se debe a una mayor exposición a la luz debido a la dobla de las cañas de maíz hacia finales del ciclo de cultivo (octubre-noviembre), coincidiendo

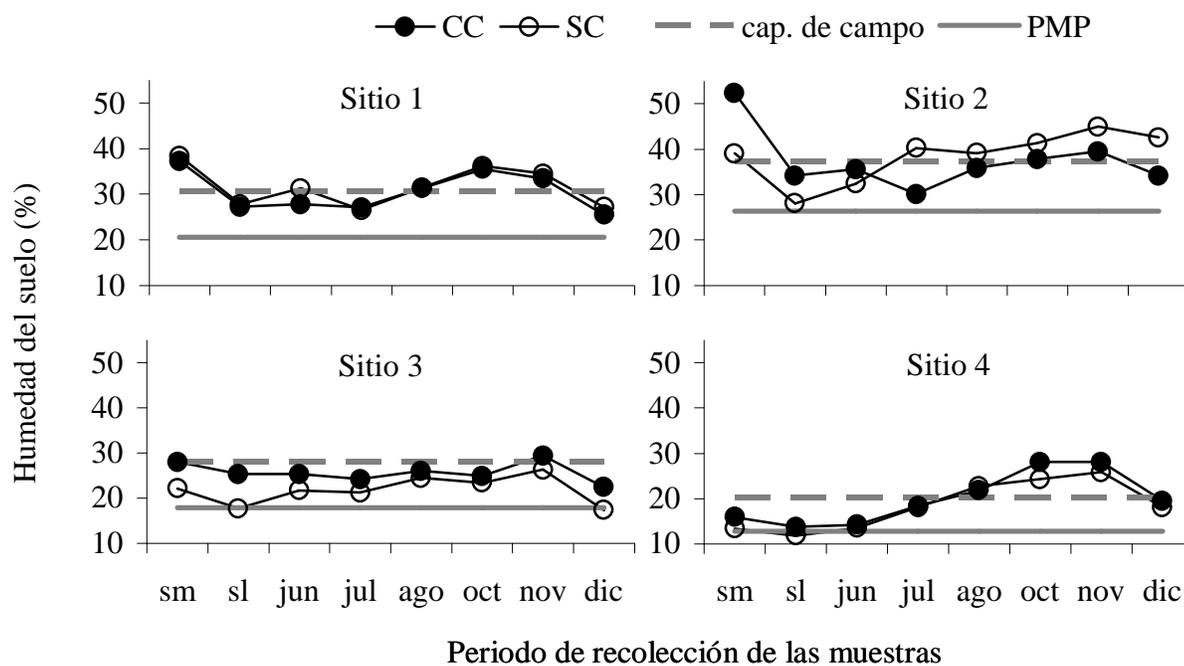


Figura 1. Humedad del suelo durante el ciclo. Sm = siembra de maíz, sl = siembra de leguminosas, CC y SC = con y sin cobertura de mucuna, PMP = punto de marchitez permanente.

con la etapa de rápido crecimiento de las leguminosas (Narváez-Carbajal y Paredes, 1994). En el Sitio 2 (zona templada), el frijol botil produjo significativamente ($P \leq 0.05$) más biomasa aérea que la mucuna en ambos muestreos. En el Sitio 1, no fue así debido a la alta incidencia de arvenses competidoras que inhibieron el desarrollo del frijol botil. Por el contrario, en los Sitios 3 y 4 (zona cálida), la mucuna produjo significativamente ($P \leq 0.05$) más biomasa aérea que el frijol botil en el segundo muestreo; en este caso, el antecedente de cobertura influyó positivamente en la biomasa de mucuna (Cuadro 2).

La concentración de N en el follaje fue significativamente ($P \leq 0.05$) más alta en la mucuna que en el frijol botil en el Sitio 3 (Cuadro 2). La concentración de P del follaje tuvo un promedio general de 0.29% y no varió significativamente entre leguminosas en ningún sitio. La mayor concentración de N en el follaje de mucuna que en el frijol botil en el Sitio 3 es atribuible al diferente comportamiento de la nodulación nativa inducida por *Rhizobium* que presentaron las leguminosas entre sitios y, en consecuencia, con su capacidad para fijar el N atmosférico. En el Sitio 3, el frijol botil tuvo menos nódulos (5 nódulos planta⁻¹) que en los otros sitios (19 a 61 nódulos planta⁻¹), mientras que la mucuna tuvo similar número de nódulos en todos los sitios (3 a 5 nódulos planta⁻¹); además, el peso seco de

nódulos fue 26.5 veces más alto en mucuna que en frijol botil en el Sitio 3, y solo 3.5 veces más alto en los otros sitios.

Con los datos de la producción de materia seca a 210 dds, se estimó que, en la zona cálida, la mucuna podría aportar al suelo 85 y 7 kg ha⁻¹ de N y P, respectivamente; mientras que, en la zona templada, el frijol botil aportaría 40 y 3 kg ha⁻¹ de N y P, respectivamente, por lo que es de esperar que los residuos de estas leguminosas contribuyan paulatinamente a disminuir el uso de fertilizantes.

La cantidad y la composición de arvenses fueron diferentes en los cuatro sitios. En la zona templada, la producción de biomasa aérea seca de arvenses fue 3.5 veces más alta en el Sitio 1 que en el Sitio 2; con predominancia del pasto *Arthraxon hispidus* en el Sitio 1, conocida por los productores como cola de conejo, y de las arvenses de hoja ancha *Galinsoga parviflora*, *Commelina difusa* y *Sigesbeckia jorullensis* en el Sitio 2. En la zona cálida hubo similar producción de biomasa aérea seca de arvenses y predominancia de especies de hoja ancha que pastos en ambos sitios, principalmente *Galinsoga parviflora*, *Pteridium aquilinum* y *Chamaecrista ruta* en el Sitio 3, y *Jaegeria hirta* y *Anthericum aurantiacum* en el Sitio 4. La especie reportada por los productores para consumo humano fue *Galinsoga parviflora*, conocida como tzuy.

Cuadro 2. Producción de biomasa aérea y contenido foliar.

Sitio	Antecedente	Leguminosa	Biomasa		Contenido foliar
			150 dds [†]	210 dds	Nitrógeno
			t ha ⁻¹		%
1	Con mucuna	Mucuna	0.10 a [‡]	0.21 a	2.98 a
		Frijol botil	0.07 a	0.27 a	3.16 a
	Sin mucuna	Mucuna	0.08 a	0.35 a	3.49 a
		Frijol botil	0.07 a	0.15 a	3.41 a
2	Con mucuna	Mucuna	0.07 b	0.19 b	3.42 a
		Frijol botil	0.14 a	1.01 a	3.88 a
	Sin mucuna	Mucuna	0.06 b	0.19 b	3.56 a
		Frijol botil	0.17 a	0.48 a	3.40 a
3	Con mucuna	Mucuna	0.23 a	2.47 a	3.42 a
		Frijol botil	0.28 a	0.31 b	3.14 b
	Sin mucuna	Mucuna	0.25 a	1.11 b	3.54 a
		Frijol botil	0.27 a	0.78 b	3.28 b
4	Con mucuna	Mucuna	0.20 a	0.53 a	4.04 a
		Frijol botil	0.09 a	0.25 b	2.68 a
	Sin mucuna	Mucuna	0.05 a	0.13 b	3.67 a
		Frijol botil	0.19 a	0.30 b	3.74 a

[†] dds = días después de la siembra de maíz. [‡] Medias seguidas de la misma letra por columna en cada sitio no difieren significativamente entre sí ($P \leq 0.05$).

El análisis estadístico indicó significativamente ($P \leq 0.05$) mayor producción de biomasa aérea seca de arvenses sin el cultivo antecedente de mucuna que con mucuna en el Sitio 2 con valores de 0.7 y 0.3 t ha⁻¹ de biomasa, respectivamente. La menor producción de biomasa de arvenses con antecedente de mucuna en este sitio es atribuible al efecto del mantillo en el control de arvenses, impidiendo su germinación y crecimiento, similar a lo observado por Caamal *et al.* (1996) en Yucatán. En los otros tres sitios no hubo efecto significativo de las coberturas, lo que pudo ser una consecuencia del lento crecimiento que presentaron las leguminosas hasta 150 dds, alcanzando una cobertura de suelo de < 20%. Por el contrario, las arvenses crecieron más rápidamente superando en desarrollo a las leguminosas. Debido a ello, los productores decidieron realizar el control de arvenses en varios momentos durante el ciclo de cultivo. Además, la quema en el Sitio 1 para limpiar el terreno antes de la siembra o el pastoreo directo de ganado en los Sitios 3 y 4 significó la eliminación o la disminución del mantillo de mucuna del ciclo anterior y, con ello, se inhibió el efecto de la cobertura en el control de arvenses.

Rendimiento de Maíz

La producción de grano de maíz fue significativamente ($P \leq 0.05$) más alta con antecedente de mucuna que sin mucuna en el Sitio 2 (Cuadro 3). En los otros sitios, no hubo efecto significativo de los tratamientos en el rendimiento de maíz. El mayor rendimiento de maíz con antecedente de mucuna que sin mucuna en el Sitio 2 se relaciona con las condiciones más favorables de humedad y contenido de P Olsen del suelo y la menor biomasa de arvenses

competidoras observadas en ese tratamiento. El análisis de correlación bivariada de Pearson indicó correlación positiva del rendimiento de maíz con la MO ($r = 0.30$, $P \leq 0.05$), el N total ($r = 0.42$, $P \leq 0.05$) y el P Olsen del suelo ($r = 0.27$, $P \leq 0.05$) y negativa con la biomasa de arvenses ($r = -0.26$, $P \leq 0.05$). Asimismo, el análisis de regresión lineal múltiple por pasos mostró que el rendimiento de maíz (Y) tuvo una relación positiva con el N total, el P Olsen y la biomasa microbiana del suelo, y negativa con la biomasa de arvenses, obteniéndose la ecuación:

$$Y = 0.37 + 4.83 \text{ N total} + 0.06 \text{ P Olsen} + 0.23 \text{ biomasa microbiana} - 0.30 \text{ biomasa de arvenses}$$

($P \leq 0.01$, $R^2 = 0.34$ y $n = 72$)

Las prácticas de manejo y la heterogeneidad ambiental probablemente influyeron en el valor bajo del coeficiente de correlación múltiple.

Relación Beneficio/Costo

El costo de mano de obra y los insumos durante el ciclo de cultivo fueron ligeramente más altos con antecedente de mucuna que sin mucuna, debido al desembolso monetario por la compra de semilla de la mucuna y los jornales invertidos durante su siembra. Los costos de producción variaron entre sitios, debido al número de deshierbes manuales y la dificultad para su realización, es decir, implicó más fuerza de trabajo la eliminación de pastos que arvenses de hoja ancha, lo que explica el alto costo de producción observado en el Sitio 1. Sin embargo, en el Sitio 3, se requirió menos mano de obra, debido a que el productor realizó el control de arvenses mediante el uso de herbicidas; esto permitió reducir hasta en 90%

Cuadro 3. Rendimiento de grano de maíz por efecto de los factores de cobertura antecedente y actual por sitio experimental.

Sitio	Antecedente	Cobertura actual			Media
		Mucuna	Frijol botil	Testigo	
----- t ha ⁻¹ -----					
1	Con mucuna	2.2	2.3	2.4	2.3 a [†]
	Sin mucuna	2.2	2.2	2.8	2.4 a
2	Con mucuna	4.0	4.1	4.5	4.2 a
	Sin mucuna	2.6	3.3	2.9	2.9 b
3	Con mucuna	2.1	1.9	2.5	2.2 a
	Sin mucuna	1.9	2.5	1.9	2.1 a
4	Con mucuna	1.7	2.0	2.0	1.9 a
	Sin mucuna	2.1	2.4	3.0	2.5 a

[†] Medias seguidas de la misma letra por columna y sitio no difieren significativamente entre sí ($P \leq 0.05$).

Cuadro 4. Relación beneficio/costo del cultivo de maíz en los cuatro sitios experimentales con y sin el antecedente de cobertura de mucuna.

Sitio	Antecedente	Costo de la producción	Valor de la producción	Ingreso neto	B/C
----- \$ -----					
1	Con mucuna	6539.8	5530.7	-1009.1	0.84
	Sin mucuna	6202.8	5850.7	-352.1	0.94
2	Con mucuna	6130.0	10031.2	3901.2	1.64
	Sin mucuna	5793.0	7051.2	1258.2	1.22
3	Con mucuna	4099.7	5188.8	1089.1	1.26
	Sin mucuna	3762.7	5059.2	1296.5	1.34
4	Con mucuna	4055.6	4533.9	478.3	1.13
	Sin mucuna	3718.6	5972.8	2254.2	1.61

el trabajo físico. Otro factor que influyó en el balance B/C fue la aplicación de fertilizantes, debido a que los Sitios 1, 2 y 3 recibieron tres aplicaciones de fertilizantes, mientras que el Sitio 4 tuvo dos. Es por esta razón que la relación B/C más alta se obtuvo con antecedente de mucuna en el Sitio 2, seguido de sin antecedente de mucuna en el Sitio 4, y la menor en el Sitio 1 (Cuadro 4). De esta manera, la relación B/C es sensible al comportamiento de sus componentes: producción de maíz, trabajo invertido y costo de insumos externos, ya que los valores más altos se debieron al incremento en la producción de maíz, mientras que los valores más bajos al aumento de mano de obra, como lo observado por Mendoza-Escalante *et al.* (1997) en Sahcabá, Yucatán.

CONCLUSIONES

- La heterogeneidad de las condiciones ambientales y la diversidad de prácticas de manejo agrícola influyeron en el comportamiento de la mucuna y del frijol botil como coberturas en el cultivo de maíz. El manejo, que consistió en cortar y dejar la cobertura antecedente de mucuna sobre el suelo, contribuyó a disminuir la biomasa de arvenses, mejoró la producción de maíz, e influyó en el balance positivo entre el ingreso total y los costos de producción. Por el contrario, la quema del mantillo para limpiar el terreno antes de la siembra o la disminución del mantillo por pastoreo directo de ganado durante la temporada seca inhibieron el beneficio esperado de la cobertura.

- Las coberturas de mucuna y de frijol botil en el segundo ciclo presentaron escasa producción de biomasa aérea y no tuvieron un efecto significativo en el control de arvenses. En la zona cálida, la mucuna produjo más biomasa que el frijol botil, pero, en la zona templada, el frijol botil produjo más biomasa que

la mucuna, con una producción de biomasa aérea seca máxima de 2.5 y 1.0 t ha⁻¹ para mucuna y frijol botil, respectivamente. El rendimiento de maíz mostró una correlación positiva con materia orgánica, N total y P Olsen del suelo y negativa con biomasa de arvenses.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los revisores y al editor de la revista Terra, cuyos comentarios fueron de utilidad para el mejoramiento de este artículo. A M.A. López-Anaya quien participó en los análisis del suelo.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Jiménez, C.E. 1997. La utilización del nescafé (*Stizolobium deeringianum* Bort.) como abono verde por los indígenas choles del Valle de Tulijá, al norte del estado de Chiapas, México. Red Gestión de Recursos Naturales 7: 33-40.
- Álvarez-Solís, J.D. y N.S. León-Martínez. 1991. Inoculation of *Phaseolus coccineus* L. with *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* strains under glasshouse conditions. Trop. Agric. (Trinidad) 68: 219-224.
- Álvarez-Solís, J.D., P.M. Rosset, B.M. Díaz-Hernández, H. Plascencia-Vargas y R.R. Rice. 1998. El impacto de la transformación del paisaje sobre la base productiva en Los Altos de Chiapas. pp. 65-82. In: Manejo y conservación de suelo y agua en Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.
- Buckles, D., I. Ponce, G. Saín y G. Medina. 1992. Tierra cobarde se vuelve valiente: uso y difusión del frijol abono (*Mucuna deeringianum*) en laderas del Litoral del Atlántico de Honduras. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, México.
- Caamal, A., J. Jiménez-Osornio y B.E. Valverde. 1996. Utilización de leguminosas como cobertura para el control de malezas en maíz, en Yucatán, México, como alternativa al sistema de roza-tumba-quema. Red Gestión de Recursos Naturales 4: 31-37.
- Cavazos, T. y O. Rodríguez. 1992. Manual de prácticas de física de suelos. Trillas. México, D.F.

- Delgado-Salinas, A. 1988. Variation, taxonomy, domestication, and germoplasm potentialities in *Phaseolus coccineus*. pp. 441-463. In: Gepts, P. (ed.). Genetic resources of *Phaseolus* beans. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Flores, M., R. Alemán, T. Solomon y R. Zepeda. 1992. La utilización de leguminosas en sistemas agrícolas de regiones de altura. Noticias sobre Cultivos de Cobertura 6. Centro Internacional de Información sobre Cultivos de Cobertura. Tegucigalpa, Honduras.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1993. Carta Edafológica E15-11 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Escala 1:250 000. Aguascalientes, México.
- Martínez-Quezada, A. 1995. Crisis del café y estrategias campesinas (El caso de la Unión de Ejidos Majomut en Los Altos de Chiapas). Dirección de Centros Regionales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Mendoza-Escalante, A., T. Kelly y J. Jiménez-Osornio. 1997. Evaluación económica de un sistema de labranza y abonado en la asociación de maíz con leguminosas (*Mucuna deeringianum* y *Canavalia ensiformis*): una alternativa al sistema roza-tumba-quema en la comunidad de Sahcabá, Yucatán. Red Gestión de Recursos Naturales 8: 5-14.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley. New York.
- Narváez-Carbajal, G. y H.E. Paredes. 1994. El pica pica (*Mucuna pruriens*) más que un abono verde para el maíz, en el norte del Istmo oaxaqueño. Universidad Autónoma Chapingo. Oaxaca, Oax., México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. 31 de diciembre de 2002.
- Pool-Novelo, L., N.S. León-Martínez, M.J. Ruiz-Díaz, R.E. Zúñiga-López, A. López-Meza, O. Sánchez-Carrillo, R. Pérez-Pérez, S.H. Cortina-Villar, B.M. Díaz-Hernández, H. Plascencia-Vargas, R. Moguel-Viveros y M.R. Parra-Vázquez. 1997. Ordenamiento territorial y planes de manejo comunitario en Santa Martha, Chenalhó, Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur-Rockefeller-Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. México.
- Pool-Novelo, L., A. Trinidad-Santos, J. Etchevers-Barra, J. Pérez-Moreno y A. Martínez-Garza. 2000. Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de Los Altos de Chiapas, México. Agrociencia 34: 251-259.
- SAS Institute, Inc. 1999. The SAS system for Windows. Release 8.0. Cary, NC.
- Urrutia-Campos, J. 1989. Metodología para la identificación, formulación, ejecución y evaluación de proyectos productivos con participación de la comunidad. Cuadernos de Capacitación 13. Editorial INCA-RURAL. México, D.F.

ADOPCIÓN DE VARIEDADES DE FRIJOL EN EL NOROESTE DE ZACATECAS

Adoption of Bean Varieties in Northeastern Zacatecas, México

Guillermo Galindo-González^{1‡} y Román Zandate-Hernández¹

RESUMEN

En el noroeste de Zacatecas, en el primer semestre de 2003, se realizó un estudio que tuvo como objetivo conocer el grado de adopción de 11 variedades de frijol en condiciones de temporal. Estas variedades fueron: Negro Durango, Negro Altiplano, Negro 8025, Negro Vizcaya, Negro Otomí, Flor de Mayo 2000, Flor de Junio Victoria, Negro Ontiveros, Pinto Bayacora, Flor de Mayo Sol y Flor de Mayo M-38. Las variedades mencionadas se difundieron por medio del establecimiento de parcelas demostrativas en los años 2000, 2001 y 2002, en 10 comunidades de los municipios de Sombrerete, Río Grande, Miguel Auza y Juan Aldama. Para realizar lo anterior, de una población de 16 139 productores se tomó aleatoriamente una muestra compuesta por 94 unidades. Con el objetivo de recopilar la información, se diseñó, se probó y se aplicó un cuestionario integrado por preguntas cerradas y abiertas. Los resultados revelaron que, durante 2001 y 2002, los entrevistados cultivaron 30 variedades de frijol; específicamente en 2001, dos productores sembraron Flor de Mayo Sol, tres Pinto Bayacora y uno Negro Durango; en 2002, tres sembraron Flor de Mayo Sol, cinco Pinto Bayacora, uno Negro Durango y uno Negro Ontiveros. También se determinó que, de las variedades difundidas, los agricultores tienen programado a futuro sembrar Pinto Bayacora, Flor de Mayo Sol, Negro Vizcaya, Negro Otomí, Negro Ontiveros y Negro Altiplano.

Palabras clave: divulgación, transferencia de tecnología, desarrollo rural.

¹ Campo Experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 18, 98500 Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México.

[‡] Autor responsable (galindog_mx@yahoo.com.mx)

Recibido: Julio de 2004. Aceptado: Julio de 2005.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 141-147.

SUMMARY

In the first semester of 2003, in northeastern Zacatecas, Mexico a study was done to determine the degree of adoption of 11 bean varieties under rainfed conditions. These varieties were Negro Durango, Negro Altiplano, Negro 8025, Negro Vizcaya, Negro Otomí, Flor de Mayo 2000, Flor de Junio Victoria, Negro Ontiveros, Pinto Bayacora, Flor de Mayo Sol, and Flor de Mayo M-38. The mentioned varieties were made known by means of established demonstration plots in 2000, 2001, and 2002 in 10 communities of the municipalities Sombrerete, Río Grande, Miguel Auza, and Juan Aldama. To carry out this study, from a population of 16 139 growers a sample was taken at random from 94 sample units. To collect information a questionnaire of closed and open questions was designed, piloted and applied. The results showed that during 2001 and 2002 the interviewed growers cultivated 30 bean varieties; especially, in 2001; two growers sowed Flor de Mayo Sol, three Pinto Bayacora, and one Negro Durango; in 2002, three sowed Flor de Mayo Sol, five Pinto Bayacora, one Negro Durango and one Negro Ontiveros. Furthermore, it was determined that in the future the growers will cultivate Pinto Bayacora, Flor de Mayo Sol, Negro Vizcaya, Negro Otomí, Negro Ontiveros, and Negro Altiplano from the demonstrated varieties.

Index words: divulgation, transfer of technology, rural development.

INTRODUCCIÓN

México no es autosuficiente en la producción de frijol; específicamente, en el año 2003, el costo del grano importado de esta leguminosa fue de 44 millones de dólares (Bancomext, 2004). Zacatecas es el principal productor de frijol en el país; en 2003, se cosecharon 646 720 ha, con una producción de 443 717 t, en condiciones de temporal (SAGARPA, 2004). El cultivo de frijol lo practican 96 500 agricultores y representa la actividad agrícola

más importante en Zacatecas (Ortega-Rivas y Ochoa-Bautista, 2003).

La principal zona productora de frijol se localiza en el noroeste del estado y comprende los municipios de Sombrerete, Río Grande, Miguel Auza y Juan Aldama; en ésta se localiza 37.64% de la superficie total sembrada. El rendimiento de frijol obtenido es bajo (aproximadamente 686 kg ha⁻¹), por lo que existe un vacío entre el proceso de investigación y la adopción de tecnología.

La mayoría de los productores usan como semilla los granos que producen; además, tienen poco acceso a materiales genéticos, porque no existe un mercado formal de variedades mejoradas de frijol. Las semillas criollas presentan un ciclo largo, son susceptibles a plagas y enfermedades, y tienen bajo potencial de rendimiento.

En un estudio realizado por Pérez y Galindo en 1998 (Pérez-Trujillo y Galindo-González, 2003), se determinó que las semillas de frijol sembradas por los agricultores en el noroeste del estado fueron Negro San Luis (54.54%), Pinto Villa (23.23%), Bayo (19.19%), Flor de Mayo (16.16%), Flor de Junio (5.05%), Manzano (5.05%), Canario (3.03%), Bayo Baranda (2.09%) y Bayo Blanco (2.02%). De éstas, Pinto Villa y Manzano fueron liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Con el propósito de difundir nuevas variedades de frijol generadas en el INIFAP, se establecieron, en los años 2000, 2001 y 2002, parcelas demostrativas para incrementar el rendimiento de este cultivo y su productividad en el noroeste del estado. Las variedades que se difundieron fueron: Negro Durango, Negro Altiplano, Negro 8025, Negro Vizcaya, Negro Otomí, Flor de Mayo 2000, Flor de Junio Victoria, Negro Ontiveros, Pinto Bayacora, Flor de Mayo Sol y Flor de Mayo M-38; las siete primeras presentan un ciclo intermedio, las tres siguientes son precoces y Flor de Mayo M-38 es tardía. Estas variedades presentan resistencia a la sequía, antracnosis y roya, así como tolerancia a bacteriosis.

Se fomentó la distribución de las variedades mostradas por medio de la venta de la semilla obtenida en las mismas parcelas o por el canje "kilo x kilo", con la finalidad de que los productores las probaran directamente en sus predios.

De esta manera, el objetivo del presente estudio fue conocer el grado de adopción de las variedades de frijol difundidas en parcelas demostrativas, entre los productores que se dedican al cultivo de

esta leguminosa en la región noroeste del estado de Zacatecas.

La transferencia de tecnología es un proceso, a través del cual un elemento, objeto o idea es creado en un lugar y trasladado y aplicado en otro (Caetano-de Oliveira, 1990); ésta involucra las fases de generación, validación y adopción.

La adopción es la decisión de los productores de incorporar una innovación a su proceso productivo (Mendoza-Mendoza, 1998). Cuando se trata de incluir una nueva práctica se genera una duda en el receptor que influye sobre la necesidad sociológica de "seguridad" y es la que tiende a mantener la práctica tradicional (Instituto Nacional de Capacitación Rural, 2000).

El proceso de adopción incluye las etapas: conocimiento, interés, evaluación, ensayo y adopción; además, éste es afectado por los indicadores: conocimiento, disponibilidad de recursos económicos y físicos, habilidades, destrezas y disposición de los productores a cambiar parcial o totalmente su forma tradicional de practicar la agricultura (Acosta-Díaz *et al.*, 2002).

Con respecto a las innovaciones, éstas son conocimientos, prácticas u objetos que un individuo percibe como nuevos. La tecnología puede considerarse como una innovación y se refiere al conjunto de técnicas que se aplican en una área de conocimiento (Pérez-Cerón y Mata-García, 2003). En los sistemas de producción agrícola, la tecnología se materializa en la creación de nuevas plantas y semillas mejoradas por el hombre, en métodos empleados en el desarrollo y la protección de cultivos, así como de implementos, herramientas y medios de trabajo diseñados para practicar la agricultura.

En un estudio realizado en el sureste de Antioquía, Colombia, se encontró que los productores se motivaron a la adopción de innovaciones a través de otras personas (93%), entidades gubernamentales (2%), o por medio de la comunicación masiva (5%) (Quirós-Dávila *et al.*, 1996).

Se ha determinado que las variables que influyen en la adopción de innovaciones por parte del productor son: exposición a los medios de comunicación, relación con casas comerciales que distribuyen productos para el campo, interés, experiencia, nivel económico, relación con centros de investigación, contacto con agentes de cambio, fatalismo, contacto con instituciones del sector agropecuario, crédito, empatía, grado de capacitación, escolaridad, relación con agentes de cambio,

aspiraciones, motivación a la realización, espíritu de innovación, cosmopolitismo, edad, superficie cultivada y las características de las innovaciones (Reyna-Corona *et al.*, 1981; Álvarez *et al.*, 1985; Galindo-González, 1992, 1995a,b, 1996, 2001; Quirós-Dávila *et al.*, 1996; Hegeüs *et al.*, 2000; Acosta-Díaz *et al.*, 2002).

En el presente estudio, se planteó la hipótesis de que la adopción de las nuevas variedades de frijol es gradual, debido a que los productores pasan por diferentes etapas dentro del proceso y a que las variedades que les interesan a los receptores son, principalmente, las de color negro, ya que éstas responden a la demanda del mercado.

La parcela demostrativa es un medio de comunicación grupal que afecta a todos los sentidos (Quirós-Dávila *et al.*, 1989) y se destina a mostrar, mediante ejemplos, la conveniencia de aplicar una práctica; éste es uno de los esquemas preferidos por los productores para recibir información sobre nuevas tecnologías (Acosta-Díaz *et al.*, 2002). La demostración puede ser de métodos o resultados; la primera persigue que un grupo de receptores aprenda algo, mediante la observación y la práctica; la segunda, su propósito es mostrar los resultados obtenidos (Instituto Nacional de Capacitación Rural, 2000).

Las limitantes de la parcela demostrativa son: dificultad para encontrar un buen productor demostrador, el extensionista debe hacer visitas a la parcela demostrativa durante su establecimiento y desarrollo, la parcela puede ser afectada por causas fortuitas y su desarrollo demanda un largo tiempo (Galindo-González *et al.*, 1997).

Galindo-González (1995b, 1996) determinó que el porcentaje de productores del centro del estado de Zacatecas y de Tabasco que asistía a estos eventos era bajo, lo cual confirma que este medio es poco utilizado para transferir innovaciones a los productores rurales, a pesar de ser de los más eficientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron cinco parcelas demostrativas en cada uno de los municipios de Sombrerete, Río Grande, Miguel Auza y Juan Aldama (siete en 2000, ocho en 2001 y cinco en 2002) y se realizaron 18 demostraciones antes de la madurez fisiológica del cultivo (siete en 2000, ocho en 2001, y tres en 2002), a las que asistieron un total de 659 productores y

técnicos. La superficie de cada una de las parcelas varió de 2 a 5 ha.

Para seleccionar a los productores demostradores (con los cuales se establecieron las parcelas demostrativas), se tomó en consideración que: tuvieran espíritu de cooperación; representaran al promedio típico, desde el punto de vista socioeconómico; fueran buenos agricultores e innovadores; contaran con los medios necesarios para realizar los trabajos requeridos en las parcelas; tuvieran facilidad de comunicación verbal y fueran honestos.

Los terrenos facilitados por los productores demostradores reunieron las siguientes características: condiciones agronómicas semejantes a la mayoría del resto de productores, ubicados al borde de una carretera o camino vecinal y tuvieran un mínimo semejante al promedio de la tenencia de la tierra que predomina en la zona.

En esta investigación, se determinó el grado de adopción de las variedades de frijol difundidas en las 20 parcelas demostrativas mencionadas; por lo tanto, es de tipo descriptivo, ya que se busca especificar propiedades de personas. En este tipo de estudios, se seleccionan variables que se miden independientemente, para así describir lo que se investiga (Hernández-Sampieri *et al.*, 2000).

En los cuatro municipios se localizan 16 139 productores que cultivan frijol, principalmente en condiciones de temporal, y están registrados en la base de datos del Programa de Apoyos al Campo (PROCAMPO). Estos productores son posibles usuarios de las variedades de frijol del INIFAP que se difundieron en las parcelas demostrativas señaladas.

Para calcular el tamaño de la muestra, se aplicó el muestreo aleatorio simple, sobre el cual todos y cada uno de los individuos de la población tienen la misma e independiente probabilidad de ser seleccionados como miembros de la muestra (Santoyo-Cortés *et al.*, 2000). La ecuación aplicada fue:

$$n = (N) (Z^2_{\alpha/2}) (pn) (qn) / (N) (d^2) + (Z^2_{\alpha/2}) (pn) (qn)$$

donde: n = tamaño de la muestra; N = 16139 (población total); d = 10% (precisión); $Z^2_{\alpha/2} = 1.94$ (confiabilidad); pn = 0.5 (probabilidad de éxito); qn = 0.5 (probabilidad de fracaso).

Esta ecuación tiene las siguientes características: es aplicable cuando no se conoce pn y qn; mediante el cálculo de “n” a través de ésta, se obtiene un tamaño máximo que cubre cualquier otro posible tamaño, y

los resultados obtenidos son de absoluta confianza; ésta es susceptible de utilizarse como una estimación del tamaño de muestras para encuestas o muestreos piloto, eliminando tamaños arbitrarios.

Al aplicar la fórmula señalada, se determinó que $n = 94$. El tamaño de muestra determinado se distribuyó proporcionalmente entre el número de productores de los municipios seleccionados que sembraron frijol de temporal en 2002, tomando como referencia la base de datos de PROCAMPO. La selección de las unidades de muestreo se realizó extrayendo aleatoriamente una a una las unidades de la población, por medio de tablas de números aleatorios.

Para recopilar la información necesaria, se diseñó, se probó y se aplicó un cuestionario, tomando en consideración información requerida, tipo y contenido de preguntas, forma de respuesta, palabras a utilizar y su secuencia, y prueba de cuestionario. Las preguntas fueron de hecho y de opinión; las respuestas, abiertas, cerradas y dicotómicas.

El trabajo de campo se realizó en el primer semestre de 2003 por dos encuestadores, quienes se capacitaron sobre el contenido del cuestionario y su aplicación. Para analizar la información, se utilizó el paquete estadístico SPSS, que es especializado en estudios sociales y mercadotécnicos (Microsoft, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los años estudiados (2000, 2001 y 2002), de los entrevistados, 10.64% sembraron un genotipo, 40.42%, dos; 28.37%, tres; 16.67%, cuatro; y 3.9%, más de cuatro. En el Cuadro 1, se observa que, en 2001, se cultivaron 28 variedades y, en 2002, 30 (principalmente criollas de la región), lo cual está relacionado con el mercado, donde existe una gran diversidad de preferencias. Por lo anterior, los productores deciden las variedades a sembrar considerando el mercado. Del total de la producción obtenida en los municipios estudiados, aproximadamente 20% se destina al autoconsumo, ya que algunas variedades que se siembran atienden a nichos específicos de mercado.

El Cuadro 1 muestra que, en 2001, las principales variedades que los productores cultivaron fueron: Negro San Luis (82.97%), Bayo Blanco (30.85%), Pinto Villa (22.34%), Manzano (20.21%), Flor de Junio (15.96%), Flor de Mayo (9.57%), Bayo (8.51%), Flor de Mayo Media Oreja (6.38%) y Pinto

Burro (6.38%). En 2002, destacaron Negro San Luis (84.04%), Bayo Blanco (32.98%), Pinto Villa (23.40%), Manzano (19.15%), Flor de Junio (18.08%), Pinto (15.96%), Flor de Mayo (13.80%), Bayo (8.51%), Flor de Mayo Media Oreja (8.51%) y Canario (7.45%).

Por otra parte, en 2001, la superficie promedio cultivada de frijol más alta correspondió al Negro Rajuela, seguida de Negro San Luis, Negro Laja y Pinto Mestizo; en 2002, ésta correspondió a los genotipos Negro Laja, Negro Rajuela, Negro San Luis y Flor de Mayo Sol.

En 2001, Negro Rajuela y Pinto Bayacora registraron el mayor rendimiento; en 2002, Flor de Mayo Media Oreja, Flor de Mayo Sol y Bayo Manteca fueron los más rendidores (Cuadro 1).

De las variedades difundidas en 2001, dos productores cultivaron Flor de Mayo Sol, tres Pinto Bayacora y uno Negro Durango; en 2002, tres agricultores sembraron Flor de Mayo Sol, cinco Pinto Bayacora, uno Negro Durango y otro Negro Ontiveros (Cuadro 1). Según Caetano-de Oliveira (1998), dentro del proceso de adopción (en función del tiempo), este grupo de agricultores se ubica dentro de los innovadores, quienes, por lo general, representan 2.5% del total. Además, se determinó que un alto porcentaje de agricultores, en los años señalados, cultivaron las variedades Pinto Villa y Manzano, y, en menor proporción, Negro Zacatecas y Pinto Mestizo, también generadas en el INIFAP y que no se incluyeron en los módulos de transferencia de tecnología.

Ucles y Janssen (1998) mencionaron que para la adopción de una nueva variedad de frijol no basta que ésta tenga buen rendimiento y alta tolerancia a enfermedades; además, señalaron que, para competir con las variedades establecidas en el mercado, es necesario tener en cuenta aspectos fundamentales, como: precio y aceptación, disponibilidad de semilla, tamaño de grano y color del mismo.

Por otra parte, el bajo rendimiento que se obtiene en el cultivo de frijol, aunado a elevados márgenes de comercialización por deficiencias en el mercado, origina costos altos y desfavorables precios relativos para este grano. Sobre lo anterior, Morales-Carrillo (2000) determinó que si el rendimiento del cultivo era de 700 kg ha^{-1} y el precio de venta de $\$ 4.1 \text{ kg}^{-1}$, entonces el productor no recibiría ganancias, aun sumando el estímulo del PROCAMPO, teniendo una pérdida de $\$ 1380 \text{ ha}^{-1}$; además, afirmó que con

Cuadro 1. Superficie cultivada con frijol y rendimiento obtenido en los años agrícolas 2001 y 2002, por tipo de variedad.

Variedad [†]	2001			2002		
	Agricultores [‡]	Sup. prom. [§]	Ren. prom. [#]	Agricultores	Sup. prom.	Ren. prom.
		ha	kg ha ⁻¹		ha	kg ha ⁻¹
Negro San Luis ⁴	78	43	562	79	39	760
Bayo Blanco ⁴	29	13	467	31	14	684
Pinto Villa ^{1,3,5}	21	17	574	22	15	719
Manzano ^{1,3}	19	6	603	18	10	675
Flor de Junio ⁴	15	15	570	17	11	686
Flor de Mayo ⁴	9	10	614	13	12	636
Bayo ⁴	8	6	456	8	4	656
Flor de Mayo Media Oreja ⁴	6	14	608	8	10	1044
Pinto Burro	6	5	483	4	4	433
Canario ⁴	5	8	463	7	6	858
Pinto ⁴	4	11	347	15	6	688
Negro Zacatecas ^{1,3,5}	2	10	225	2	6	300
Negro Rajuela ⁴	3	45	750	3	43	800
Pinto Laja ⁴	2	8	700	2	10	400
Alubia	1	7	500	2	3	700
Flor de Mayo Sol ^{1,2,5}	2	18	675	3	24	1000
Negro Laja	3	39	275	2	54	555
Pinto Mestizo ^{1,3}	2	20	350	1	20	350
Pinto Bayacora ^{1,2,5}	3	7	750	5	7	650
Rosa de Castilla	2	11	600	1	12	850
Pinto Tejano ⁴	1	1	NR ^{††}	1	1	350
Bayo Manteca	1	5	300	1	7	1000
Bayo Rata	1	5	150	1	2	300
Pinto Nacional	1	10	NR	2	11	650
Pinto Claro ⁴	1	10	NR	1	10	600
Frijola	1	5	400	1	5	600
Peruano	1	7	500	1	7	900
Negro Durango ^{1,2}	1	5	NR	1	20	80
Negro Bola				4	5	825
Negro Ontiveros ^{1,2,5}				1	3	750

[†] Variedades generadas en el INIFAP.

² Variedades de frijol difundidas en módulos demostrativos en 2000, 2001 y 2002.

³ Variedades de frijol generadas en el INIFAP, pero no difundidas en 2000, 2001 y 2002.

⁴ Variedades de frijol criollo que tienen programado sembrar los productores a futuro.

⁵ Variedades de frijol generadas en el INIFAP que tienen programado sembrar los productores en los próximos ciclos agrícolas.

[‡] Número de agricultores que la sembraron; [§] Sup. prom. = superficie promedio sembrada; [#] Ren. prom. = rendimiento promedio obtenido de grano;

^{††} NR = no respondió.

un rendimiento de 500 kg ha⁻¹ y un precio de venta de \$ 7.5 kg⁻¹, no es suficiente para considerar rentable esta actividad.

En lo que se refiere a las variedades de frijol criollas, los productores manifestaron que sembrarán a futuro: Negro San Luis (87.23%), Bayo Blanco (24.46%), Flor de Mayo Media Oreja (21.28%), Pinto (11.79%), Flor de Junio (8.51%), Flor de Mayo (7.44%), Bayo (6.38%), Canario (6.38%), Pinto Laja (3.19%), Pinto Tejano (2.12%), Negro Rajuela (2.12%) y Pinto Claro (2.12%). De las generadas por el INIFAP, las que tienen programado sembrar son Pinto Villa (27.65%), Pinto Bayacora (6.38%),

Flor de Mayo Sol (2.12%), Negro Vizcaya (2.12%), Negro Otomí (1.06%), Negro Zacatecas (1.06%), Negro Ontiveros (1.06%) y Negro Altiplano (1.06%). Es importante destacar que las variedades de frijol negro Vizcaya, Otomí y Altiplano no fueron sembradas por los productores en 2001 y 2002; sin embargo, éstas se difundieron en los módulos demostrativos, lo cual indica que algunos productores se encuentran en la etapa de interés dentro del proceso de adopción y que dichas variedades son potenciales para sembrarse en los próximos ciclos agrícolas. Las razones por las cuales los productores sembrarán las variedades mencionadas aparecen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Principales razones por las cuales los productores tienen programado sembrar en el futuro diferentes variedades.

Variedad	Razones [†]
Negro San Luis	1, 2, 3, 4, 5, 6
Bayo Blanco	2, 8, 7, 1, 4, 9
Flor de Mayo Media Oreja	2, 1, 8
Pinto	2, 1, 4
Flor de Junio	2, 7, 8, 1, 3, 4, 10
Flor de Mayo	2, 4, 8, 1
Bayo	8, 2, 1, 4
Canario	2, 1, 4, 9, 8, 11, 7
Pinto Laja	2, 1, 3, 7
Pinto Tejano	1, 7
Negro Rajuela	1, 2, 6
Pinto Claro	2, 9
Pinto Villa	2, 7, 1, 4, 8, 9, 6, 3
Pinto Bayacora	7, 2, 1, 8
Flor de Mayo Sol	2, 7, 3, 4, 1
Negro Vizcaya	2, 7
Negro Otomí	2, 7
Negro Zacatecas	7, 2, 4, 9, 5
Negro Ontiveros	2, 7
Negro Altiplano	7, 2

[†] 1 = buen precio; 2 = buen rendimiento; 3 = no se mancha; 4 = resiste la sequía; 5 = resiste el exceso de agua; 6 = no se pica; 7 = precoz; 8 = buen sabor; 9 = resiste plagas y enfermedades; 10 = no se desgrana; 11 = resiste heladas.

CONCLUSIONES

- Las principales variedades de frijol que los productores cultivaron en 2001 y 2002 fueron: Negro San Luis, Bayo Blanco, Pinto Villa, Manzano, Flor de Junio, Flor de Mayo, Bayo, Flor de Mayo Media Oreja y Pinto.

- Los agricultores entrevistados tienen programado seguir sembrando a futuro las variedades criollas Negro San Luis, Bayo Blanco, Flor de Mayo Media Oreja, Pinto, Flor de Junio, Flor de Mayo, Bayo, Canario y Pinto Laja. De las variedades generadas en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), las que a futuro tienen programado sembrar son: Pinto Villa, Pinto Bayacora, Flor de Mayo Sol, Negro Vizcaya, Negro Otomí, Negro Zacatecas, Negro Ontiveros y Negro Altiplano, entre las cuales destacan los frijoles negros.

- Del presente estudio se desprenden las recomendaciones: intensificar el establecimiento de parcelas demostrativas (en diferentes localidades), para continuar difundiendo entre los productores del noroeste de Zacatecas las nuevas variedades de frijol generadas en el INIFAP; seguir fomentando la distribución (entre los productores) de las variedades difundidas por medio de su venta o canje;

e involucrar, dentro de la estrategia, el uso de otros medios de comunicación (masivos e interpersonales), ya que cada uno de éstos desempeña su papel en las etapas del proceso de adopción (conocimiento, interés, evaluación, ensayo y adopción).

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, así como a la Fundación PRODUCE Zacatecas, A.C., por el apoyo económico brindado para la realización del presente estudio. A los productores que participaron en el establecimiento de los módulos demostrativos, así como a los que se encuestaron. Finalmente, a Iván de Jesús Zandate-García, por sus útiles aportaciones.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Díaz, E., G. Galindo-González, B. Cázares-Enríquez, R. Zandate-Hernández y H. Pérez-Trujillo. 2002. Guía para el establecimiento, conducción y evaluación de parcelas demostrativas. Tema Didáctico 4. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Zacatecas. Zacatecas, México.
- Álvarez, G., G. Martínez-Valdés y H. Díaz-Cisneros. 1985. La utilización de la tecnología en dos comunidades del Plan Mixteca Alta, estado de Oaxaca: el caso de las recomendaciones para maíz de temporal. *Agrociencia* 61: 13-26.
- Bancomext (Banco Nacional de Comercio Exterior). 2004. Sumario estadístico. Comercio Exterior (México) 54: 550-557.
- Caetano-de Oliveira, A. 1990. Filosofía, organización y lineamientos operativos de la red de investigación en divulgación científica y tecnológica del INIFAP. Publicación Especial 4. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Zacatecas. Zacatecas, México.
- Caetano-de Oliveira, A. 1998. Principios básicos de extensión y asistencia técnica rural: SINDER-PEAT-PCE. Instituto Nacional de Capacitación del Sector Agropecuario. México, D.F.
- Galindo-González, G. 1992. Aspectos relacionados con la comunicación agropecuaria entre ejidatarios del Mezquite, Zacatecas. *Rev. Fitotec. Mex.* 15: 193-196.
- Galindo-González, G. 1995a. Uso de innovaciones agrícolas en la región central de Zacatecas, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 18: 140-150.
- Galindo-González, G. 1995b. Uso de medios de información por los productores de cacao de Tabasco, México. *Terra* 13: 191-202.
- Galindo-González, G. 1996. Las innovaciones agrícolas y el desarrollo rural en México. *Problemas del Desarrollo* 27: 69-80.

- Galindo-González, G. 2001. Uso de innovaciones en el grupo de ganaderos para la validación y transferencia de tecnología "Joachín", Veracruz, México. *Terra* 19: 385-392.
- Galindo-González, G., J. Juárez-Calderas y J. García-Castellanos. 1997. Comunicación rural y transferencia de tecnología. Instituto Nacional de Capacitación Rural. México, D.F.
- Hegeüs, P., R. González y V. Rosii. 2000. El productor de la colonia 19 de abril ante la adopción de tecnología; un estudio de caso. Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni", Universidad de la República Oriental de Uruguay. Paysandú, Uruguay.
- Hernández-Sampieri, R., C. Fernández-Collado y P. Baptista-Lucio. 2000. Metodología de la investigación. McGraw-Hill. México, D.F.
- Instituto Nacional de Capacitación Rural. 2000. Las demostraciones en parcelas de módulos demostrativos. México, D.F.
- Mendoza-Mendoza, S. 1998. Transferencia de tecnología: conceptos, estrategias en uso y necesidades de investigación. Instituto Nacional de Capacitación Rural-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Zacatecas, México.
- Microsoft Corporation. 1999. SPSS base 10.0. Manual del usuario. Dublín, Irlanda.
- Morales-Carrillo, N. 2000. Rentabilidad del frijol y esquemas de comercialización. Universidad Autónoma Chapingo-Centro Regional Universitario Centro Norte. Zacatecas, México.
- Ortega-Rivas, C. y R. Ochoa-Bautista. 2003. El frijol mexicano y el nuevo siglo. *Claridades Agropecuarias* 124: 6-15.
- Pérez-Cerón, J. y B. Mata-García. 2003. Conceptos y principios para el empoderamiento tecnológico comunitario. pp. 21-64. *In: Mata-García, B. (ed.). Desarrollo rural participativo para una agricultura sustentable.* Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Pérez-Trujillo, H. y G. Galindo-González. 2003. Situación socioeconómica de los productores de frijol de temporal en Zacatecas. *Terra* 21: 137-147.
- Quirós-Dávila, E., J. Sánchez-Téllez y E. Plaza-Mora. 1989. Guía para la selección y producción de medios para la transferencia de tecnología agropecuaria. Instituto Colombiano Agropecuario. Cali, Colombia.
- Quirós-Dávila, E., M. Arévalo-Arteaga, U. Munera-Arteaga, C. Díaz-Amarís y J. Ríos-Betancourt. 1996. Factores determinantes de la adopción de tecnología de frijol en Urrao Antioquia. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Cali, Colombia.
- Reyna-Corona, E., M. Portillo-Vásquez y J. Sánchez-Cisneros. 1981. Adopción de tecnología para el impulso de la producción de maíz de temporal en el estado de Tlaxcala, México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D.F.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2004. Disponible: (http://www.sian.sagarpa.gob.mx/ar_comdeagr.html) (23 de mayo de 2004).
- Santoyo-Cortés, H., P. Ramírez-Moreno y M. Suvedi. 2000. Manual para la evaluación de programas de desarrollo rural. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial-Universidad Autónoma Chapingo-Instituto Nacional de Capacitación Rural. México, D.F.
- Ucles, N. y W. Janssen. 1998. Seguimiento a la variedad Frijólica 0-3.2 en el sur-oeste de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.

Revisores de este número
Reviewers of this number

Aguilar Sánchez, G.	Chapingo, estado de México
Alegre, Julio C.	Lima, Perú
Almendros Martín, M.	Madrid, España
Ayala Orduño, José Luis	Chapingo, estado de México
Betancourt Yáñez, Pedro	Barquisimeto, Lara, Venezuela
Cadena Zapata, Martín	Saltillo, Coahuila, México
Campos Cascaredo, Adolfo	Xalapa, Veracruz, México
Carrillo González, Rogelio	Montecillo, estado de México
Corlay Chee, Langen	Chapingo, estado de México
Cortés Flores, José I.	Montecillo, estado de México
Cortés T., Héctor	Jiutepec, Morelos, México
De la Torre Almaráz, Rodolfo	México, D.F.
Delgado Álvarez, Adriana	Montecillo, estado de México
Escalona Aguilar, Miguel Ángel	Xalapa, Veracruz, México
Espinosa E., José Refugio	Chapingo, estado de México
Figueroa-Viramontes, U.	Torreón, Coahuila, México
Fimbres-Fontes, A.	Caborca, Sonora, México
García Pérez, Rafael E.	Chapingo, estado de México
González Chávez, Ma. del Carmen	Montecillo, estado de México
Granados Sánchez, Diodoro	Chapingo, estado de México
Gutiérrez Coronado, Marco A.	Ciudad Obregón, Sonora, México
Namucho V., Rodolfo	Jiutepec, Morelos, México
Ordaz Chaparro, Víctor M.	Montecillo, estado de México
Ortega Escobar, Manuel	Montecillo, estado de México
Palma Trujano, A.	Chapingo, estado de México
Peña-Valenti, Fermín José	Cd. de la Habana, Cuba
Pérez-Zamora, Octavio	Colima, Colima, México
Quiroga Garza, H. Mario	Torreón, Coahuila, México
Ramírez Ayala, C.	Montecillo, estado de México
Ruiz Vega, Jaime	Sta. Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México
Sagardoy, Marcelo A.	Bahía Blanca, Argentina
Serrano Covarrubias, Luis M.	Chapingo, estado de México
Vergara Sánchez, Miguel Ángel	Chapingo, estado de México
Zamudio González, Benjamín	Zinacantepec, estado de México
Zárate Valdez, José Luis	Ciudad Obregón, Sonora, México
Zavaleta Mejía, Emma	Montecillo, estado de México

Editores Técnicos de este número
Technical Editors of this number

Adame Martínez, Salvador	Toluca, estado de México
Alcántar González, Gabriel	Montecillo, estado de México
Coras Merino, Pablo M.	Chapingo, estado de México
Espinosa E., José Refugio	Chapingo, estado de México
González Chávez, Ma. del Carmen	Montecillo, estado de México
Granados Sánchez, D.	Chapingo, estado de México
Gutiérrez Castorena, Carmen	Montecillo, estado de México
López Alcocer, Eduardo	Guadalajara, Jalisco, México
Pérez Nieto, Joel	Chapingo, estado de México
Rodríguez Mendoza, Ma. Nieves	Montecillo, estado de México
Vargas Hernández, Mateo	Chapingo, estado de México



TERRA

Latinoamericana

Formato para la **suscripción electrónica** a la revista Terra Latinoamericana

Para tener acceso a los cuatro números de un año (a partir de 2003), el costo de suscripción es de 300 pesos o su equivalente en dólares.

Nombre: _____

Dirección: _____

Ciudad: _____ Estado: _____

País: _____ correo electrónico: _____

Teléfono: _____ Fax: _____

Depositar o transferir el monto correspondiente en la cuenta bancaria que se describe abajo y enviar la ficha a la dirección indicada.

Sociedad Mexicana de la Ciencia de Suelo, A.C.
Cuenta: 9200035115-4
Sucursal 5682 Texcoco
Banca Santander SERFIN
CLABE: 014180920003511540

Universidad Autónoma Chapingo
Departamento de Suelos
km. 38.5 Carr. México-Texcoco
56230 Chapingo, Méx.
Apartado Postal 45
Tel y Fax: 01 595 95 2 17 21
e-mail: terra@correo.chapingo.mx