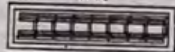
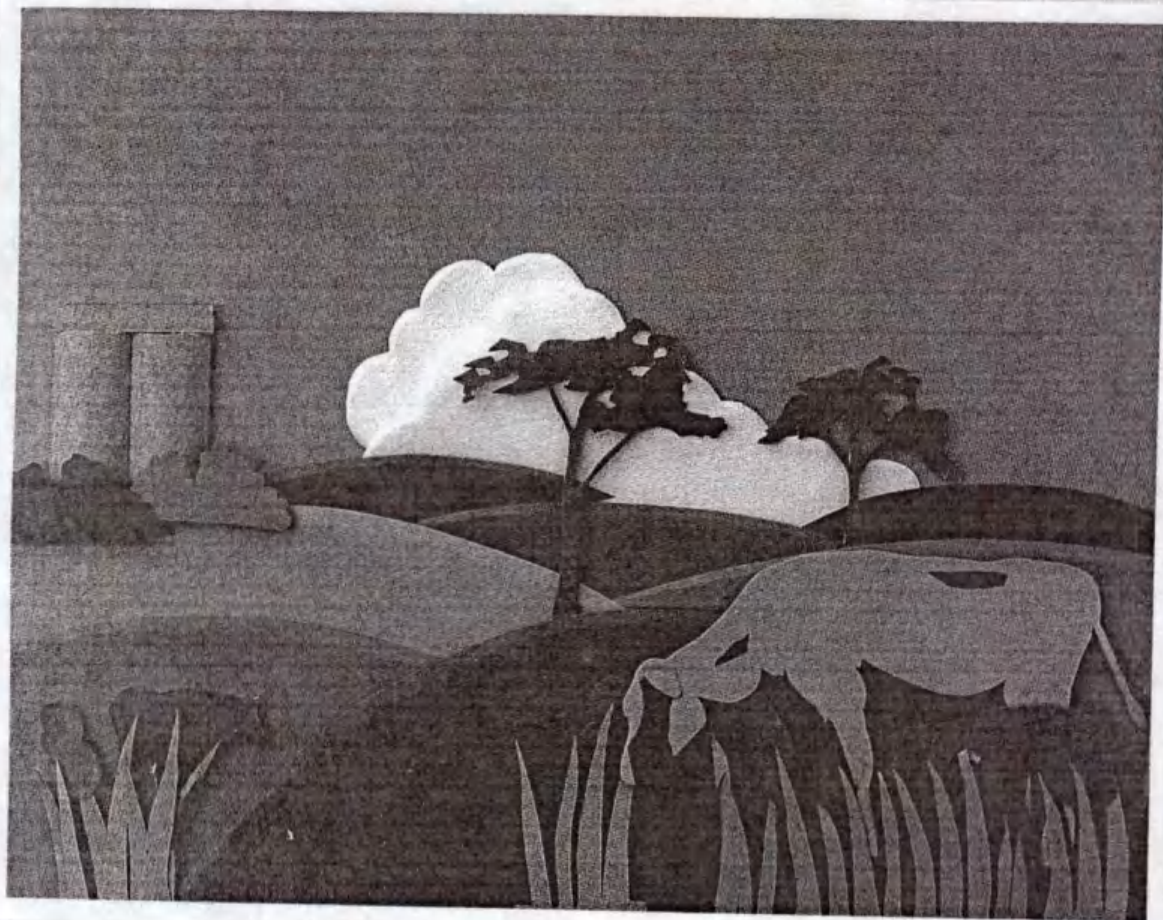


ISSN 0187 - 5779

TERRA

Latinoamericana

OCTUBRE - DICIEMBRE DE 2005 • VOLUMEN 23 NÚMERO 4



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

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 Alvarez 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 Buschiazio 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. Echevers 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 Buschiazio 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 Rodriguez 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.
Órgano Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Octubre-Diciembre de 2005 Volumen 23 Número 4
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	Dr. José Antonio Cueto Wong
Vicepresident	Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Secretary	Dr. Ranferi Maldonado Torres
Treasurer	M.C. Langen Corlay Chee
Technical Adviser	M.C. Laura Bertha Reyes Sánchez
International Relations	Dr. Enrique Salazar Sosa
Voters	Dra. Ma. de las Nieves Rodriguez 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
October-December, 2005 Volume 23 Num. 4

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

OCTUBRE - DICIEMBRE DE 2005 • VOLUMEN 23 • NÚMERO 4
OCTOBER - DECEMBER, 2005 • VOLUME 23 • NUMBER 4

DIVISION I

- 429 Variation of soil chemical properties in irrigated and non irrigated areas of the Laguna Region of Mexico.
Variación de las propiedades químicas del suelo en áreas irrigadas y no irrigadas de la Región Lagunera, México.
Marco A. Inzunza-Ibarra and H. Curtis Monger
- 437 Potasio en suelos de Yucatán.
Potassium in soils of Yucatán.
Lizette Borges-Gómez, Armando Escamilla-Bencomo, Manuel Soria-Fregoso y Victor Casanova-Villareal
- 447 Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del valle del Mezquital, Hidalgo.
Permissible limits of cadmium, nickel, and lead accumulation in soil in the Valley of Mezquital, Hidalgo, Mexico.
Antonio Vázquez-Alarcón, Lenom J. Cajuste, Rogelio Carrillo-González, Benjamín González-Zamudio, Edna Álvarez-Sánchez y Javier Z. Castellanos-Ramos

DIVISION II

- 457 Fosfatasa ácida, nitrato reductasa, glutamina sintetasa y eficiencia de uso de fósforo y nitrógeno en cereales.
Acid phosphatase, nitrate reductase, glutamine synthetase, and phosphorus and nitrogen use efficiency in cereals.
G. Cruz-Flores, R.D. Flores, G. Alcántar-González y A. Trinidad-Santos
- 469 Nitratos en soluciones nutritivas en el extracto celular de pecíolo de chile.
Nitrates in solutions and in petiole sap of pepper.
Basilio Brizuela-Amador Pérez, Gabriel Alcántar-González, Prometeo Sánchez-García, Leonardo Tijerina-Chávez, Javier Z. Castellanos-Ramos y Ranferi Maldonado-Torres

TERRA

Latinoamericana

- 477 Estudio preliminar sobre manejo nutrimental y aplicación de nematicida para el control de la infección por nematodos en papa.
Preliminary study on nutrient management and nematicide application for nematode infection control in potato.
Elizabeth Estañol-Botello, Ma. de las Nieves Rodríguez-Mendoza, Victor H. Volke-Haller, Emma Zavaleta-Mejía, Prometeo Sánchez-García y Cecilia Peña-Valdivia
- 487 Influencia del nitrógeno sobre la infección de tizón tardío en el cultivo de papa en Toluca, México.
Effect of nitrogen on late blight infection in potato crop in the Toluca Valley, Mexico.
Oswaldo A. Rubio-Covarrubias, Niklaus J. Grünwald y Mateo A. Cadena-Hinojosa
- 495 Fertilización foliar con urea en la partición de nitrógeno en espinaca.
Foliar fertilization with urea on the partitioning of nitrogen in spinach.
Libia Iris Trejo-Téllez, Fernando C. Gómez-Merino, Ma. de las Nieves Rodríguez-Mendoza y Gabriel Alcántar-González
- 505 Comportamiento hídrico de hojas y frutos de nogal pecanero y su relación con la calidad y germinación de frutos.
Pecan leaf and fruit behavior under three irrigation intervals and its relationship with quality and fruit germination.
Claudio Godoy-Ávila, Zulma Xopiyaxtle-Jarquín, Isidro Reyes-Juárez y Ciria A. Torres-Estrada
- 515 Variación estacional del potencial hídrico, tasa de fotosíntesis y conductancia estomática en el árbol del tule.
Seasonal variation in water potential, photosynthesis rate and stomatal conductance in the tule tree.
Gisela V. Campos-Angeles, J. Jesús Vargas-Hernández, Carlos Trejo-López, Javier López-Upton y Juan Velázquez-Mendoza

TERRA

Latinoamericana

- 523 Micorriza arbuscular, Bacillus y sustrato enriquecido con vermicomposta en el desarrollo de plantas de papayo.
Arbuscular mycorrhizae, Bacillus and substrate enriched with vermicompost on the development of papaya plants.
H. López-Moctezuma, R. Ferrera-Cerrato, J. Farias-Larios, S. Aguilar-Espinosa, Ma. del Rocío F. Bello y J.G. López-Aguirre

- 533 Efecto de la aplicación de hojarasca de mucuna sobre densidad y biomasa de lombrices de tierra.
Effect of mucuna litter on density and biomass of earthworm.
Esperanza Huerta, Carlos Fragoso y Patrick Lavelle

DIVISION III

- 545 Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de Vertisoles cultivados con caña azucarera.
Microbial carbon biomass and soluble carbon as quality indicators of Vertisols cultivated with sugarcane.
Liliana Armida-Alcudia, David Espinosa-Victoria, David J. Palma-López, Arturo Galvis Spinola y Sergio Salgado-García

- 553 Fertilización foliar en plantas de *Annona cherimola* Mill., inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares.
Foliar fertilization on *Annona cherimola* Mill. plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi.
M.J. Manjarrez-Martínez, A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato

- 563 Comparación preliminar de dos métodos de diagnóstico nutrimental en durazno, en Zacatecas, México.
Preliminary comparison of two methods of nutrimental diagnosis on peach in Zacatecas, Mexico.
R. Guerrero-Acosta, J.J. Avelar-Mejía, A. Lara-Herrera, A.F. Rumayor-Rodríguez, J.J. Llamas-Llamas y J. Hernández-Martínez

- 571 Diagnóstico campesino de la situación agrícola en Hocabá, Yucatán.
Rural farm diagnostic of the agricultural situation in Hocabá, Yucatán.
Francisco Bautista-Zúñiga, Javier Garcia y Aliza Mizrahi

TERRA

Latinoamericana

NOTA DE INVESTIGACION / Research Note

- 581 Sorgo cultivado con biofertilizantes, fitohormonas y fósforo inorgánico.
Sorghum cultivated with biofertilizers, fitohormones, and inorganic phosphorus.
Idalia Garza-Cano, Víctor Pecina-Quintero, Arturo Díaz-Franco, Héctor Williams-Alanis y José Alberto Ramírez-De León

ENSAYO / Essay

- 587 Investigación participativa en la milpa sin quema.
Participatory research in no burn milpa.
Heriberto E. Cuanalo y Rafael A. Uicah-Covoh

DIVISION IV

- 599 Verificación de tecnología para frijol de riego en la región centro del estado de Veracruz, México.
Verification of technology for irrigated beans in the central region of the State of Veracruz, Mexico.
Fco. Javier Ugalde-Acosta, Bernardo Villar-Sánchez, Ernesto López-Salinas y Oscar Hugo Tosquy-Valle

CARTA AL EDITOR / Letter to the Editor

- 605 Tour de la WRB al suroeste de México.
Norma Eugenia García-Calderón

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

Índice de Autores Volumen 23
Authors index Volume 23

609

Normas para publicación / Instructions to authors

611

IN MEMORIAM

DRA. ANA MARIA MESTA HOWARD



La Dra. Mesta Howard nació en la Ciudad de Zacatecas, Zac. Desde muy pequeña se trasladó a la Ciudad de Chihuahua, Chih. De modo que fue zacatecana por nacimiento y chihuahuense por adopción. Siempre demostró un gran cariño por las dos ciudades.

Estudió la carrera de Químico Bacteriólogo y Parasitólogo e hizo estudios de doctorado con especialidad en Microbiología; ambas actividades las desarrolló en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional.

La Dra. Mesta Howard desarrolló actividades relacionadas con su carrera en la Ciudad de Chihuahua y para diversos Hospitales del ISSSTE.

Fue miembro activo de varias asociaciones científicas, entre las que destacan: American Society for Microbiology, Colegio de Químicos Bacteriólogos y Parasitólogos, Sociedad Mexicana de Inmunología, Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, y Asociación Mexicana de Microbiología. Fue Socia vitalicia y en algunas ocasiones desempeñó cargos en la mesa directiva de esta asociación.

Una vez que la Dra. Mesta Howard obtuvo el grado de Dr. en Ciencias, con especialidad en Microbiología, desarrolló su labor más destacada como científica y como docente en el Laboratorio de Microbiología General de la ENCB.

En esta escuela, la Dra. Mesta Howard destacó como investigadora, con un buen número de publicaciones en revistas científicas nacionales e internacionales. Desarrolló una excelente labor como maestra de Microbiología General, tanto en el aspecto teórico, como experimental, y así impartió cursos para licenciatura, para el posgrado, de actualización, de especialización, para la formación de profesores de Microbiología hasta completar alrededor de 140 cursos. También desempeñó una labor destacada en el trabajo administrativo y en actividades relacionadas con el buen funcionamiento de la Escuela. La Dra. Mesta Howard fue Subdirectora Académica de la propia escuela. Fungió como jefa y subjefa del Laboratorio de Microbiología General; formó parte del comité editorial de diversas revistas científicas, entre ellas *Terra Latinoamericana*; tuvo a su cargo la dirección de un sinnúmero de tesis de licenciatura y de grado. Fue evaluadora de proyectos de investigación para diversas instituciones de enseñanza; tuvo a su cargo a muchos estudiantes para los cuales fue consejera de estudios; formó parte de comités evaluadores de tesis para ser premiadas como las mejores de la institución.

Si bien es cierto que la Dra. Mesta Howard destacó brillantemente como investigadora y como docente, es también digna de admiración por su enorme calidad humana y su gran calidad moral por las cuales es y será un excelente ejemplo para todos los que tuvimos la fortuna de tratarla.

Descanse en paz, Dra. Mesta Howard.

VARIATION OF SOIL CHEMICAL PROPERTIES IN IRRIGATED AND NON-IRRIGATED AREAS OF THE LAGUNA REGION OF MEXICO

Variación de las Propiedades Químicas del Suelo en Áreas Irrigadas y no Irrigadas de La Región Lagunera, México

Marco A. Inzunza-Ibarra^{1‡} and H. Curtis Monger²

SUMMARY

Since approximately 1840, irrigation has been required for agriculture in the Laguna Region. This activity might have changed soil chemical properties throughout time. The objective of this work was to compile soil chemical data of irrigated soils in order to document the nature and changes of soil properties. Data of organic matter, pH, electrical conductivity and cation exchange capacity from irrigated areas and non-irrigated areas of 1975 and 1997 were compared. Also, digitized soil information of the Mexican Durango and Coahuila states was examined using a Geographic Information System to obtain soil maps of the region and to locate soil sample sites. Means comparison analysis was used to statistically contrast soil parameters from non-irrigated areas against irrigated areas. Also, histograms and graphs of soil data *versus* depth were used to display the ranges of soil properties. The results showed that organic matter diminished by 50 percent in irrigated soils in 1997 compared with 1975; pH values increased by 6% in irrigated soils; cation exchange capacity decreased 11% in soils under irrigation; and the electrical conductivity did not show statistical changes.

Index words: geographic information system, organic matter, pH, cation exchange capacity, electrical conductivity.

RESUMEN

Desde aproximadamente 1840, la agricultura en la Región Lagunera ha sido con riego. Esta continua

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID-RASPA. km 6.5, margen derecha canal Sacramento, 35140 Gómez Palacio, Durango, México.

[‡] Autor responsable (inzunza.marco@inifap.gob.mx)

² Department of Agronomy and Horticulture, New Mexico State University. Box 3Q, Las Cruces, NM. (cmonger@nmsu.edu)

Recibido: Julio de 2003. Aceptado: Marzo de 2005.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 23: 429-436.

práctica podría haber cambiado las principales propiedades químicas del suelo a través del tiempo. Considerando lo anterior, se realizó un análisis de datos del suelo para la materia orgánica, el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico en áreas irrigadas y áreas no irrigadas de 1975 y 1997, y así poder comprobar la hipótesis de si la práctica del riego pudo haber producido cambios significativos en las propiedades químicas de los suelos irrigados con respecto a los no irrigados. Se utilizó un sistema de información geográfica para localizar geográficamente los sitios de muestreo en el área de estudio a partir de información digitalizada de suelos de los estados mexicanos de Durango y Coahuila. Se realizaron análisis de comparación de medias para confrontar estadísticamente los parámetros del suelo de las áreas irrigadas con las no irrigadas a través de los años. También se usaron histogramas y gráficas de datos de suelo para mostrar los intervalos de las variables del suelo estudiadas. Los resultados mostraron que el contenido de materia orgánica en los suelos disminuyó 50% en los suelos irrigados para 1997, en comparación con 1975; los valores de pH se incrementaron 6% en las áreas de riego, la capacidad de intercambio catiónico disminuyó 11% en suelos irrigados, y la conductividad eléctrica en los suelos no presentó cambios estadísticos en el estudio.

Palabras clave: sistema de información geográfica, materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica.

INTRODUCTION

The Laguna Region has a desertic environment with an annual rainfall of less than 240 mm and an annual evaporation rate of more than 2500 mm. Thus, the agricultural areas of the region must be irrigated in order to obtain economically viable agriculture. Studies of long-term changes in soil properties are important because they provide direct evidence of

the effects of changes in land-use or climate pollution on soils. Soil characteristics such as organic matter (SOM), soil salinity (EC), pH, and cation exchange capacity (CEC) could have changed with irrigation practices through time (Lado *et al.*, 2004; Presley *et al.*, 2004). It is important to quantify how soil properties were modified, to know the environmental soil changes and then take the adequate future decisions to preserve soil resources. The goal of this paper was to investigate how soil characteristics (i.e., organic matter, pH, electrical conductivity, and cation exchange capacity) have changed through time with irrigation in the Laguna Region. To determine soil property changes for irrigation, soil organic matter, soil electrical conductivity, soil pH, and cation exchange capacity were considered by comparing data of irrigated and non-irrigated areas of the years 1975 and 1997.

MATERIALS AND METHODS

The study area is located in the Laguna Region between 24° 22' and 26° 23' N, and 102° 22' and 104° 47' W (SAGARPA, 2002). The study area included the counties of Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo, and Mapimí, all located in the Mexican Durango State. This area is the oldest portion of the Laguna practicing irrigation on agricultural lands. The soil sampling sites were distributed over almost the entire Gómez Palacio area with 177 soil sites, the southern part of Tlahualilo with 50 sites, the northern portion of Lerdo with 37 sites, and, finally, the southeastern part of Mapimí with 21 sites. In total, 285 soil sites were sampled during 1975 and 1997.

The soil samples were analyzed according to the methods reported by Richards (1977) to determine: soil organic matter, SOM (Walkley and Black method); pH, (Potentiometric method); electrical conductivity, EC (Saturation paste extract method, dS m^{-1}); and cation exchange capacity, CEC (Ammonium acetate method pH 7, $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Most of the 285 sampling sites were sampled at three or more soil depths (0-30), (30-60), (60-90), and (90-120 cm). The data of 1975 were reported in the Cartas Edafológicas (Soil Maps) of INEGI (1978). The data of 1997 in the Laguna Region were reported by CNA [Comisión Nacional del Agua (1998)].

The soil sample sites of 1975 were georeferenced using the Cartas Edafológicas (Soil Maps) of INEGI. The soil sample sites of 1997 were georeferenced by the CNA data using a Global Positioning System

(GPS). Also, the Carta de Uso del Suelo y Vegetación (Soil Land Use and Vegetation Maps) of INEGI (1981) and the report of CNA (1998) were used to classify the soil sample sites as non-irrigated (ni) or irrigated (i) areas. The Geographic Information System (ARC\VIEW) was used to locate, geographically, the 285 soil samples in the study area. An overlay process using GIS with the digital soil maps of Durango and Coahuila states and the digital map of the Laguna counties was made. The digital soil maps for the states were obtained by digitalization of the Cartas Edafológicas (Soil Maps) of INEGI by the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). The procedure permitted the geographic location of the sampling sites. In addition, a Tukey statistical analysis of mean comparisons was performed to average the data for each soil variable under study.

RESULTS AND DISCUSSION

Soil Organic Matter

The analysis of the SOM histograms of Figure 1 (1975) and Figure 2 (1997) revealed that the amount of SOM in the soil has changed significantly from 1975 to 1997 in irrigated areas. For irrigated areas in 1975, 90 percent of the SOM values were in the range from 0.0 to 1.4, and the remaining 10 percent values ranged from 1.5 to 1.9. However, the SOM histogram in Figure 2 shows that 90 percent of the SOM values for 1997 ranged from 0.2 to 0.55 and the remaining 10 percent ranged from 0.56 to 0.64 for irrigated areas. Thus, SOM decreased from irrigated areas in 1975 to irrigated areas in 1997 as an effect of the irrigation practices. Comparison between the amount of SOM in non-irrigated areas in 1975, illustrated in Figure 1, and the amount of SOM in irrigated areas in 1997, shown in Figure 2, implies that the SOM concentration decreased in irrigated areas. Figure 1 displays that 96 percent of the data in non-irrigated areas in 1975 had SOM values in the range from 0.0 to 1.2 percent; while Figure 2 shows that 100 percent of the data in irrigated areas in 1997 had SOM values from 0.20 to 0.64 percent. Therefore, the SOM content in the irrigated soils in 1997 was significantly lower than that of the non-irrigated areas in 1975. Finally, according to the SOM histogram in Figure 2, the range from 0.09 to 1.55 percent for non-irrigated areas in 1997 has a relative frequency of 0.94, while for irrigated areas in 1997, 90 percent of

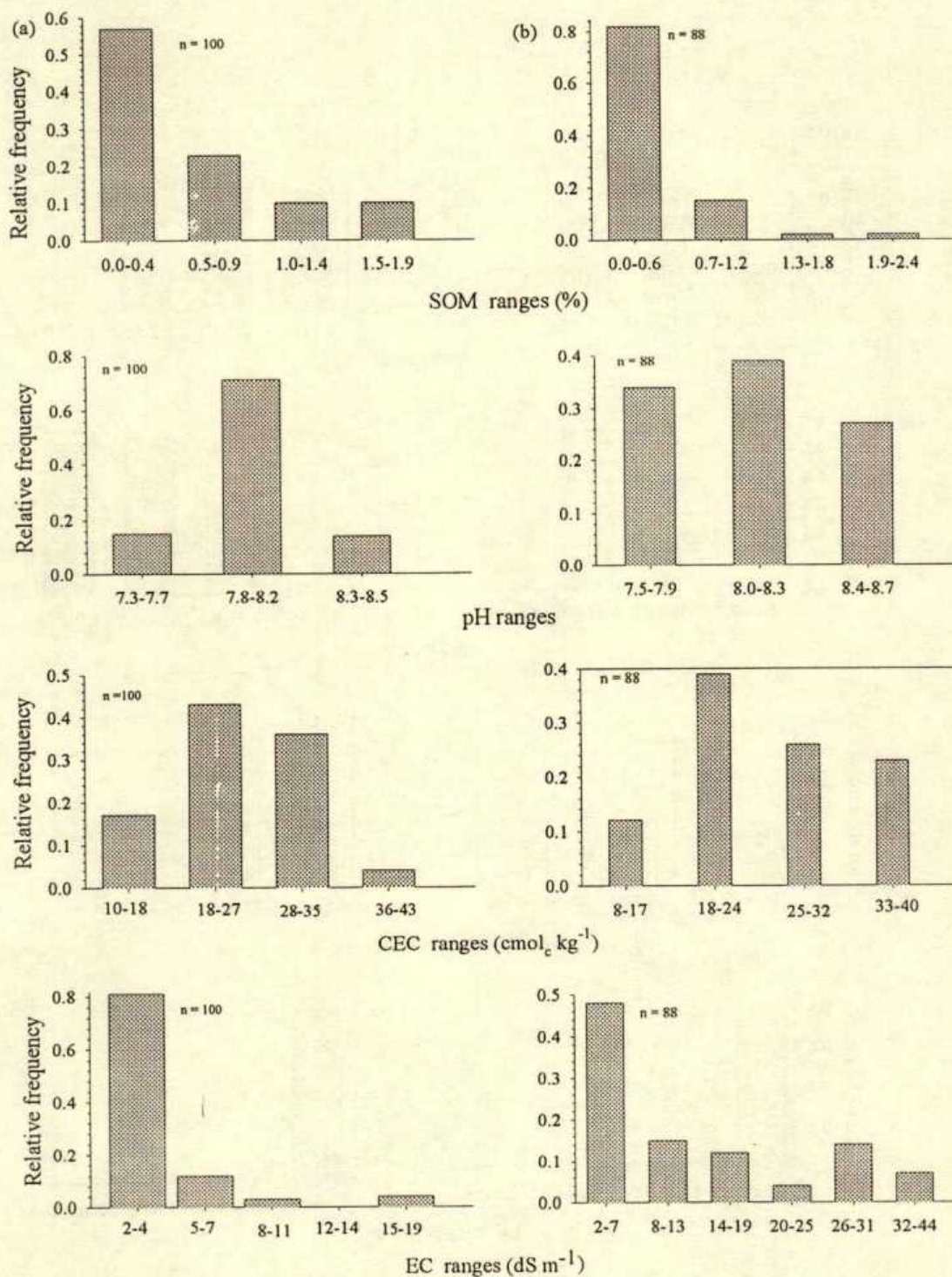


Figure 1. Soil variable ranges for the entire profile in 1975: (a) irrigated and (b) non-irrigated soils.

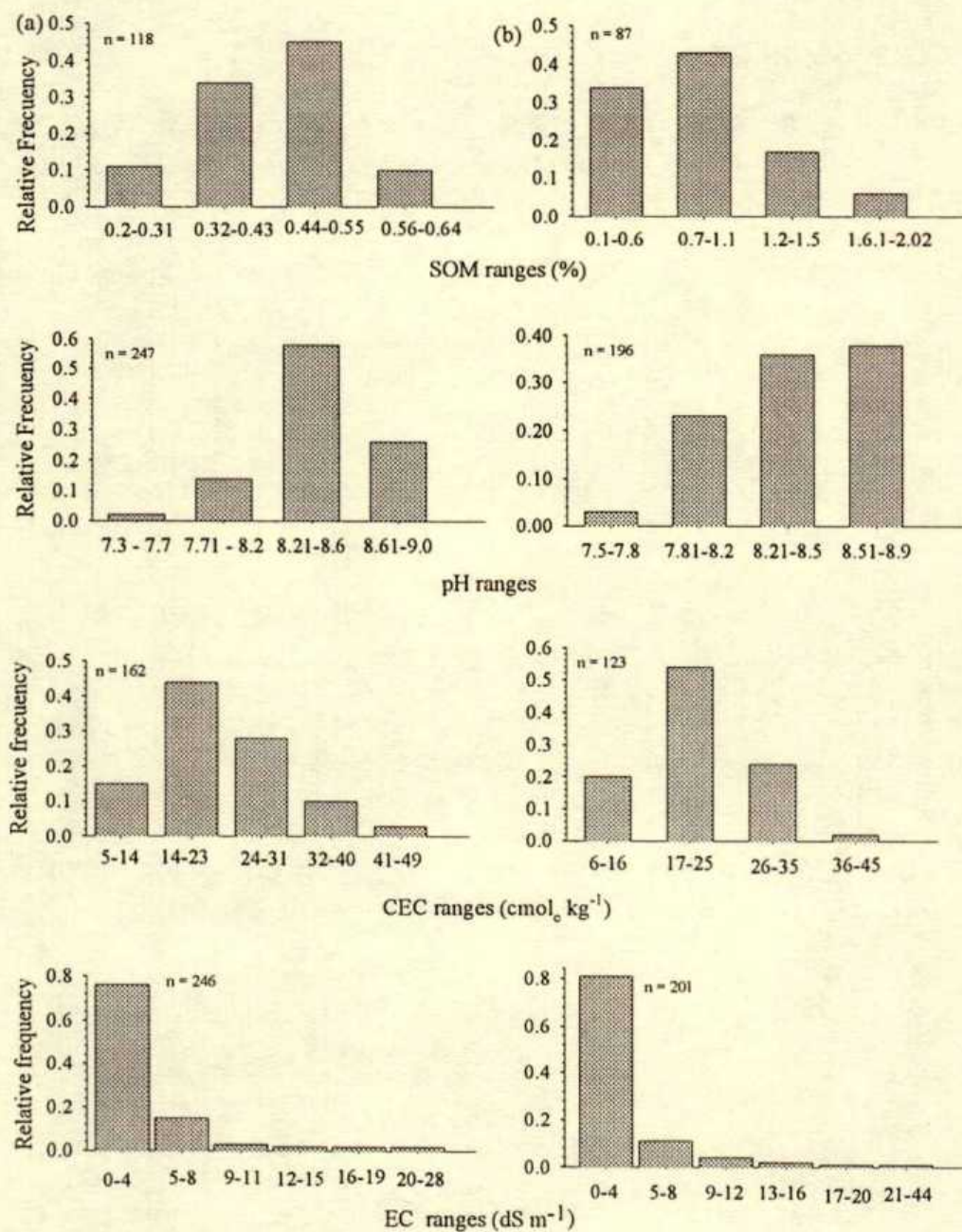


Figure 2. Soil variable ranges for the entire profile in 1997: (a) irrigated and (b) non-irrigated soils.

the SOM values were in the range from 0.2 to 0.55 (Figure 2), significantly lower than for non-irrigated areas. This means that in 1997 for this soil variable non-irrigated areas contained more SOM than irrigated areas. The results agree with Ortega *et al.* (2002) and Sainju *et al.* (2002), with the reduction of SOM under wet and dry soil conditions because they cause an increase in microbial activity (Presley *et al.*, 2004).

Soil pH

When pH data from irrigated areas in 1975 are compared with pH data from 1997 in irrigated areas, we consider that the pH values did increase from 1975 to 1997 with irrigation practices. The histogram of pH, included in Figure 1, shows that in 1975 pH ranged from 8.3 to 8.5 representing only 29 percent of the total pH values; however, in 1997 for irrigated areas, the highest pH ranged from 8.21 to 9.0 showing 84 percent of the total soil samples (Figure 2).

When the pH data for non-irrigation areas in 1975 are compared with the pH values obtained for the irrigated areas in 1997, we deduced that the pH values have been raised in the latter data set. Figure 1 shows that the 8.0 to 8.7 pH values for non-irrigated areas in 1975 represented 66 percent of the total pH values, however, Figure 2 shows, for a similar range, 8.2 to 9.0, a percentage of 84 of the total pH data for irrigation areas in 1997. So, the pH ranges cited increased from 1975 to 1997 because the irrigation practices increased the salt content in soil of mainly calcium, magnesium, potassium, and sodium (Paliwal and Gandhi, 1973). In addition, the pH range from 8.2 to 8.9 represented 74 percent of the pH data for non-irrigated areas in 1997. According to Figure 2, the same pH range for the irrigated areas in the same year represented 84 percent. The values for this parameter were higher for the irrigated areas than for the non-irrigated areas in the same year. This was caused by the application of additional amounts of soluble salts in the soil profile with irrigation water.

Cation Exchange Capacity

A comparison between Figure 1 and Figure 2 shows that CEC values of 1975 are slightly higher than the CEC values of 1997. CEC ranged from 10.3 to 35.7 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ in 1975, as shown in Figure 1, and 96 percent of the CEC values were in this range. However, CEC values from 5.8 to 31.9 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ in

1997, displayed in Figure 2, had 87 percent of the CEC values in the latter range. Therefore, this soil variable decreased in a significant form over time. An explanation is that SOM is responsible for the variable charge of the soil particles. Thus, because SOM diminished, CEC decreased as well. A comparison of CEC ranges between non-irrigation areas in 1975 and irrigation areas in 1997 can be made. For non-irrigation areas in 1975, 88 percent of the total CEC values were included in the range from 16.8 to 40.3. In a similar CEC range from 14.6 to 40.6 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ in irrigated areas a percentage of 82 was shown. In other words, the soils in non-irrigated areas could be slightly higher in their capacity to absorb cations. This was caused by the SOM depletion through time from 1975 in non-irrigated soils to 1997 in irrigated areas.

Electrical Conductivity

The comparison of Figure 1 and Figure 2 shows that EC values of 1975 are slightly higher than the EC values of 1997. The EC range from 2.0 to 4.0 dS m^{-1} in Figure 1 for irrigated areas in 1975 has 80 percent of occurrence, however, for similar EC range from 0.3 to 4.2 dS m^{-1} in Figure 2 for irrigated soils in 1997 shows 76 percent of occurrence. The interpretation for this specific result is that the EC values diminished from 1975 to 1997 in the irrigated areas because the soil rehabilitation plans carried on for the irrigation district of the Laguna. This land reclamation has permitted the reduction of the saline areas. Similar conclusion is obtained when EC values for non-irrigated areas in 1975 and data of irrigated areas in 1997 were compared. EC ranges from 2.0 to 7.0 dS m^{-1} in 1975, shown in Figure 1, has 48 percent of the EC values, however, the EC range from 0.3 to 8.0 dS m^{-1} in 1997, displayed in Figure 2, has 92 percent of the EC values. This means that the non-saline to moderate saline areas increased from non-irrigated areas in 1975 to irrigated areas in 1997, which is explained by the cited land reclamation activities after 1975.

Finally, the value of 81 percent obtained for non-irrigated soils in 1997 in the EC range from 0.3 to 4.3 dS m^{-1} was higher than the 76 percent obtained for the same EC range in irrigated areas for the same year. In other words, in this specific range there were more areas free of salt problems in the non-irrigated areas than in the irrigation areas. This is due to the gradual salt accumulation in the soil profile by the application of water irrigation with high salt content.

Discussion of Soil Properties Changes with Mean Comparison Method

An analysis of the average of the soil variables using a statistical mean comparison analysis by two means of soil variables was done using the T test for Paired Comparisons. Table 1 shows the results of the statistical analysis that was done in the entire profile of the soil parameters. Tables 2 and 3 show the most important results and a hypothesis explanation of the result for each comparison.

CONCLUSIONS

The soil parameters analyzed to evaluate the changes of the soil characteristics showed statistically significant changes between 1975 and 1997. The soil organic matter diminished with 50 percent in

the irrigated areas from 1975 to the irrigated areas of 1997. Also, the soil organic matter decreased 30 percent between the non-irrigated areas of 1975 and the irrigated areas of 1997. According to the data of this study, the soil organic matter was affected by the irrigation practices from 1975 to 1997, because under wetting and drying of soils, microbial activity increased and more decomposition of SOM occurred.

- Soil pH increased significantly from irrigated and non-irrigated lands in 1975 to irrigated areas in 1997. The soil pH values of irrigated areas increased 5.6 percent from 1975 to 1997. Also, soil pH values raised 4.1 percent when pH values of non-irrigated soils in 1975 were compared with those of irrigated areas in 1997. In theory, this soil property was raised throughout this time due to the salts deposited by irrigation water.

Table 1. Mean comparison analysis for soil parameters in the study area.

Mean1 ¹	Mean2 ¹	$\rho > t $	Conclusion
SOM75i = 0.9 (%)	SOM97i = 0.4 (%)	0.0001	**
SOM75ni = 0.6 (%)	SOM97i = 0.4 (%)	0.056	*
SOM75ni = 0.6 (%)	SOM97ni = 0.8 (%)	0.06	ns
pH75i = 8.0	pH97i = 8.4	0.00001	**
pH75ni = 8.1	pH97i = 8.4	0.0001	**
pH75ni = 8.1	pH97ni = 8.4	0.0001	**
CEC75i = 23.7 (cmol _c kg ⁻¹)	CEC97i = 21.2 (cmol _c kg ⁻¹)	0.01	**
CEC75ni = 25.3 (cmol _c kg ⁻¹)	CEC97i = 22.7 (cmol _c kg ⁻¹)	0.01	**
CEC75ni = 25.3 (cmol _c kg ⁻¹)	CEC97ni = 21.2 (cmol _c kg ⁻¹)	0.0003	**
EC75i = 3.6 (dS m ⁻¹)	EC97i = 3.9 (dS m ⁻¹)	0.57	ns
EC75ni = 12.6 (dS m ⁻¹)	EC97i = 3.9 (dS m ⁻¹)	0.0001	**
EC75i = 3.6 (dS m ⁻¹)	EC97ni = 3.1 (dS m ⁻¹)	0.32	ns

¹75 = year 1975, i, ni = irrigated and non-irrigated areas. ¹97 = year 1997; ** highly significant at $\alpha = 99\%$; *significant at $\alpha = 95\%$; ns = not significant.

Table 2. Summary and hypotheses of parameters in non-irrigated and irrigated soils.

Results	Hypothesis
1. Non-irrigated soils versus irrigated soils in 1975	
a) SOM	Highest value in irrigated. More biomass production in irrigated areas than arid environment (Bowman <i>et al.</i> , 1999).
b) pH	Highest value in non-irrigated. More soluble salt because leaching occurred in irrigated soils.
c) CEC	Slightly higher value in non-irrigated. Charge is pH dependent (Bell, 1993).
d) EC	Highest value in non-irrigated. Before 1975, 10 000 m ³ ha ⁻¹ water were applied to irrigated soils and the salts were leached (Wienhold and Trooien, 1975).
2. Non-irrigated soils versus irrigated soils in 1997	
a) SOM	Highest value in non-irrigated. In irrigated areas optimal microbial conditions are generated. There is more decomposition of SOM than in non-irrigated (Lado <i>et al.</i> , 2004).
b) pH	Slightly higher in irrigated. More salt accumulation with irrigation water.
c) CEC	Slightly higher in irrigated. Changes because is pH dependent.
d) EC	Highest value in irrigated. The salt concentration in the soil profile was increased with the irrigation practices (Wienhold and Trooien, 1995).

Table 3. Changes in soil properties after 22 years and hypotheses.

Results	Hypothesis	
1. Non-irrigated soils in 1975 versus irrigated soils in 1997		
a) SOM	Decreased from 0.6 to 0.4. Significant differences.	Soils under cultivation using irrigation and tillage generate optimal conditions for decomposition of SOM (Ortega <i>et al.</i> , 2002).
b) pH	Increased from 8.1 to 8.4. Significant differences.	Soluble salt accumulation (rich in carbonates) with the water application through time is one of the causes that increased pH (Paliwal and Gandhi, 1973; Presley <i>et al.</i> , 2004).
c) CEC	Decreased from 25.3 to 22.7 cmol _c kg ⁻¹ . Highly significant differences.	One of the mayor components of soil CEC is SOM, which decreased. Thus the CEC values decreased too.
d) EC	Decreased from 12.6 to 3.9 dS m ⁻¹ . Highly significant differences.	Land reclamation of 1975 decreased salinity levels in irrigation lands. Highly levels of salinity were showed in non-irrigated areas before 1975 because sometimes these soils were only wet.
2. Irrigated soils in 1975 versus irrigated in 1997		
a) SOM	Decreased from 0.9 to 0.4 %. Highly significant differences.	Wetting and drying of the soil by irrigation, cultivation and tillage activities increase microbial activity and reducing SOM (Quiroga <i>et al.</i> , 1998).
b) pH	Increased from 8.0 to 8.4. Highly significant differences.	Irrigation practices have increased the pH level with the increment of soluble salts throughout time (Bordovsky <i>et al.</i> , 1999).
c) CEC	Decreased from 24.8 to 22.7 cmol _c kg ⁻¹ . Significant differences.	Because SOM decreased, CEC decreased (Bordovsky <i>et al.</i> , 1999).
d) EC	Increased from 3.6 to 3.9. It does not have significant differences.	The small increment is due to the additional salt applied with irrigation water (Costa <i>et al.</i> , 1991).
3. Non-irrigated soils in 1975 versus non-irrigated soils in 1997		
a) SOM	Slightly increased from 0.6 to 0.8%. It did not have statistical differences.	The small increment is because the arid environment is not adequate for SOM development.
b) pH	Increased from 8.1 to 8.4. Highly significant differences.	Different from expected results because according to EC and SOM results should decrease in 1997 (Billet <i>et al.</i> , 1990).
c) CEC	Decreased from 25.3 to 21.2 cmol _c kg ⁻¹ . Highly significant differences.	Different from expected results. Small increase of SOM should increase CEC (Crescimanno <i>et al.</i> , 1995).
d) EC	Decreased from 12.1 to 3.1 dS m ⁻¹ . Highly significantly differences.	This decrement perhaps was caused by the land reclamation actions in 1975 (SAGARPA, 2002).

- The electrical conductivity did not show consistency in the results. This soil variable did not present significant changes through time for irrigated areas from 1975 to 1997. However, the electrical conductivity values from non-irrigated areas in 1975 were statistically higher than those from irrigated areas in 1997. This conclusion may be explained that after 1975 a rehabilitation of the irrigation district was realized and this included saline and sodic soil reclamation. This explains that the electrical values of non-irrigated lands of 1997 were significantly lower than those of 1975.

- The soil cation exchange capacity parameter showed highly significant differences in mean values from 1975 to 1997. The average value of irrigated areas in 1975 was significant higher than the mean value of irrigated areas in 1997. Also, the values significantly diminished from non-irrigated areas in 1975 to irrigated areas in 1997. The hypothesis that explains

both situations is that the organic matter decreased from 1975 to 1997. It is recommended for more precise work to take soil samples through time in the same geographic position in which control plots are compared with treated plots of similar soil types. This would eliminate a significant source of sampling error.

REFERENCES

- Bell, A.M. 1993. Organic matter, soil properties, and wheat production in the high valley of Mexico. *Soil Sci.* 156: 86-93.
- Billet, M.F., F. Parker, E.A. Fitzpatrick, and M.S. Cresser. 1990. Forest soil chemical changes between 1949/50 and 1987. *J. Soil Sci.* 41: 133-145.
- Bordovsky, D.G., M. Choudhary, and C.J. Gerard. 1999. Effect of tillage, cropping, and residue management on soil properties in the Texas Rolling Plains. *Soil Sci.* 164: 331-340.
- Bowman, R.A., M.F. Vigil, D.C. Nielsen, and R.L. Anderson. 1999. Soil organic matter changes in intensively cropped dryland systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 186-191.

- CNA (Comisión Nacional del Agua). 1998. Localización geográfica de sitios de muestreo del estudio de salinidad. Cd. Lerdo, Durango, México.
- Costa, J.L., L. Prunty, B.R. Montgomery, J.L. Richardson, and R.S. Alessi. 1991. Water quality effects on soils and alfalfa: II. Soil physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 203-209.
- Crescimanno, G., M. Iovino, and G. Provenzano. 1995. Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1701-1708.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Historia). 1978. Cartas Edafológicas G13D15, G13D16, G13D25, G13D26. Scale: 1:250 000. México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1981. Cartas de uso del suelo y vegetación G13D15, G13D16, G13D25, G13D26. Scale 1:250 000. Mexico, D.F.
- Lado, M., A. Paz, and M. Ben-Hur. 2004. Organic matter and aggregate-size interactions in saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 234-242.
- Ortega, R.A., G.A. Peterson, and D.G. Westfall. 2002. Residue accumulation and changes in soil organic matter as affected by cropping intensity in no-till dryland agroecosystems. *Agron. J.* 94: 944-954.
- Paliwal, K.V. and A.P. Gandhi. 1973. Some relationships between quality of irrigation waters and chemical characteristics of irrigated soils of the Nagaur District, Rajasthan. *Geoderma* 9: 213-220.
- Presley, D.R., M.D. Ransom, G.J. Kluitenberg, and P.R. Finnell. 2004. Effects of thirty years of irrigation on the genesis and morphology of two semiarid soils in Kansas. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1916-1926.
- Quiroga, A.R., D.E. Buschiazzo, and N. Peinemann. 1998. Management discriminant properties in semiarid soils. *Soil Sci.* 163: 591-597.
- Richards, L.A. 1977. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Trad. al español. LIMUSA. México, D.F.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2002. Anuario estadístico de la producción agropecuaria. Delegación en la Región Lagunera Durango-Coahuila. Lerdo, Durango, México.
- Sainju, U.M., B.P. Singh, and S. Yaffa. 2002. Soil organic matter and tomato yield following tillage, cover cropping, and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 94: 594-602.
- Wienhold, B.J. and T.P. Trooien. 1995. Salinity and sodicity changes under irrigated alfalfa in the northern great plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1709-1714.

POTASIO EN SUELOS DE YUCATÁN

Potassium in Soils of Yucatán

Lizette Borges-Gómez^{1†}, Armando Escamilla-Bencomo¹, Manuel Soria-Fregoso² y Víctor Casanova-Villareal²

RESUMEN

Los suelos de Yucatán, México, muestran una amplia gama de expresiones morfológicas, debido a la diversidad de los materiales de origen y a las condiciones climáticas y topográficas de la entidad. Se han reconocido 20 zonas fisiográficas con una gran variedad de suelos, sin embargo, su conocimiento físico y químico ha sido muy general, ya que se ha considerado el espacio que ocupa como una superficie homogénea. Dado que la disponibilidad de K depende de su contenido en la solución del suelo, del adsorbido a los coloides del suelo, de la capacidad del suelo para mantener una concentración de K en solución y de su difusión a través de la solución del suelo, en este trabajo se evaluaron las fracciones soluble (Ks), intercambiable (Ki), el poder amortiguador (b') y la difusión efectiva (D_e) del K en 16 suelos con potencial agrícola. Los resultados se correlacionaron con el porcentaje de arcilla, la materia orgánica (MO), la capacidad de intercambio catiónico (CIC), Ca y Mg. Los resultados mostraron diferencias ($P < 0.0001$) entre los suelos en Ks, Ki, D_e y b' . Una relación bastante pobre ($r^2 = 0.6$) existe entre Ki y Ks. Ninguna variable mostró relación con la MO y CIC; suelos con contenidos menores que $1.2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Ki presentaron relación negativa con Ca y Mg ($r^2 = 0.74$). Los suelos con alto porcentaje de arcilla ($\geq 25\%$) estuvieron relacionados con Ki ($r^2 = 0.9$), sin embargo, no se encontró relación de D_e y b' con el contenido de arcilla, por lo que un siguiente estudio podría estar dirigido a la identificación de minerales que expliquen estas diferencias.

Palabras clave: potasio soluble e intercambiable, coeficiente de difusión, poder amortiguador.

¹ Centro de Investigación Científica de Yucatán. Calle 43 No. 130, Col. Chuburna de Hidalgo, 97200 Mérida, Yucatán, México.

[†] Autor responsable (lizette_borges@hotmail.com)

² Instituto Tecnológico Agropecuario de Conkal, km 16.3 antigua carr. Mérida-Motul, Yucatán, México.

Recibido: Noviembre de 2003. Aceptado: Abril de 2005.

Publicado en Terra Latinoamericana 23: 437-445.

SUMMARY

The soils of Yucatan exhibit a wide range of morphological expressions due to the diversity of original materials and to the climatic and topographical conditions of the area. Twenty physiographical areas have been recognized with a great variety of soils. However, information on the physical and chemical aspects of the soil is rather general, since the space it occupies has been regarded as a homogenous surface. Given the fact that K availability depends on the content of soil solution, the amount adsorbed to the colloids, the capacity to maintain a K concentration in solution and its diffusion throughout the soil solution, this work evaluated the fractions of soluble K (Ks), exchangeable (Ki), the buffer power (b'), and the effective diffusion (D_e) in 16 soils with agricultural potential. The results were correlated with the percentage of clay, organic matter (OM), cationic exchange capacity (CEC), Ca, and Mg. The results showed differences ($P < 0.0001$) in Ks, Ki, D_e , and b' . A poor relationship ($r^2 = 0.6$) was found between Ki and Ks. None of these showed a relationship with OM and CEC; soils with contents lower than $1.2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ Ki presented a negative relationship with Ca and Mg ($r^2 = 0.74$). The soils with a high percentage of clay ($\geq 25\%$) showed a better relationship with Ki ($r^2 = 0.9$); however, no relationship was registered for D_e and b' with the percentage of clay, therefore a subsequent study could focus on the identification of minerals which might explain these differences.

Index words: soluble and exchangeable potassium, coefficient of diffusion, buffer power.

INTRODUCCIÓN

El potasio es un elemento esencial, tanto en los animales, como en las plantas. Los requerimientos por las plantas lo ubican en el quinto lugar después del C, O, H y N (Marschner, 1995). En la corteza terrestre, el K es de los elementos más predominantes y

su concentración en la litósfera es en promedio de 2.6% (Sparks y Huang, 1985). La mayor parte del K disponible para las plantas es de origen inorgánico, ya que se forma a través del intemperismo de las rocas, por esto, en suelos orgánicos es posible encontrar el contenido más bajo de K ($< 0.03\%$).

En el suelo, el K se clasifica en cuatro categorías: i) presente en la solución del suelo, ii) intercambiable, iii) difícilmente intercambiable y iv) formando parte de los minerales del suelo (Barber, 1984). La disponibilidad de nutrimentos del suelo para las plantas depende, principalmente, de la cantidad y naturaleza en la solución del suelo y de su asociación con los nutrimentos adsorbidos o contenidos en la fase sólida del mismo (Comerford, 1999; Cox *et al.*, 1999). A medida que el cultivo remueve el K de la solución del suelo, el K intercambiable se libera y repone el K de la solución del suelo. De esta forma, por medio de los procesos de intercambio catiónico, el K está continuamente disponible para el crecimiento de las plantas; esto ocurre sólo si el suelo contiene suficiente K (Wild, 1989). La adsorción de K en las superficies de intercambio y su disponibilidad dependen de las características físico-químicas del suelo.

Yucatán se caracteriza por una diversidad edáfica, en la cual predominan los suelos del tipo Leptosoles, Rendzinas y Cambisoles, ubicados en la región centro y norte del estado. Estos suelos son someros, de colores que van del rojo al negro, pasando por diversas tonalidades de café con abundante contenido de piedras y frecuentes afloramientos de coraza calcárea. Hacia el sur y oriente del estado, se encuentran los suelos profundos (Luvisoles, Nitosoles, Vertisoles y Gleysoles), libres de afloramientos rocosos y piedras. Otros suelos son los asociados geográficamente con el litoral marino (Regosoles, Histosoles y Solonchacs), los cuales se caracterizan por ser profundos, sin rocas, de color ligeramente amarillento o grisáceo, y con textura arenosa (Wilson, 1980; Duch, 1988).

Desde el punto de vista agrícola, el conocimiento de las características físicas y químicas de los suelos de Yucatán, para un mejor aprovechamiento, es muy general. A pesar de la importancia del K en la nutrición de los cultivos, las formas y el contenido de este mineral se han estudiado pobremente en los suelos de Yucatán. En general, la forma analizada ha sido el K intercambiable y, para algunos sitios, se han reportado contenidos de 0.1 a 2.2 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Duch, 1988; Weisbach *et al.*, 2002; Bautista-Zúñiga

et al., 2003). No obstante que la forma de K inmediatamente disponible para la planta es la presente en la solución del suelo, no existe un documento serio que mencione las condiciones que prevalecen para los diferentes suelos de Yucatán.

El análisis de la disponibilidad de K para las plantas requiere de estimar el movimiento del nutrimento en la solución, desde la superficie de las partículas de la cual se libera hasta las inmediaciones de la raíz. El movimiento de los nutrimentos ocurre por difusión o flujo de masas y es obvio que el contenido de agua está muy relacionado con el abastecimiento del nutrimento. Las aplicaciones de las leyes de Darcy y de Fick permiten estimar el movimiento de nutrimentos producidos por el flujo de la transpiración y por los gradientes de difusión establecidos entre la superficie de la raíz y la solución global del suelo (Comerford, 1999). Por otra parte, al removerse los nutrimentos de la solución del suelo, ya sea por lixiviación o por captación de la planta, un suelo fértil debe tener la capacidad para reponer lo que se ha removido de la solución. Esta capacidad está descrita por el poder amortiguador del suelo (b'), el cual se refiere a la capacidad de la fase sólida del suelo para mantener una concentración de K en la solución del suelo (Barber, 1984; Van Rees *et al.*, 1990a; Comerford, 1999; Tinker y Nye 2000). La evaluación del coeficiente efectivo de difusión (D_e) y del poder amortiguador (b') se ha utilizado para conocer la disponibilidad de nutrimentos y en la aplicación de modelos matemáticos para predecir la absorción de nutrimentos (Van Rees *et al.*, 1990b).

Entre los principales factores que afectan la distribución de K entre la fase sólida y líquida del suelo, se encuentran el contenido y tipo de arcilla (Barber, 1984). Esto se debe a que las fuerzas con que el K es retenido varían con el tipo de arcilla y la posición del ion en la misma. Cuando más débil esté el K retenido en la superficie de las arcillas, más fácil podrá ser liberado a la solución del suelo.

Con lo anterior descrito, el presente trabajo de investigación se realizó con los objetivos de: i) hacer una revisión del contenido de K soluble y su relación con el K intercambiable en 16 suelo de Yucatán, ii) relacionar el contenido de K con características del suelo que participan en el complejo de intercambio, y iii) evaluar el poder amortiguador y la difusión efectiva del K a través de la solución del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo con los límites naturales y políticos reconocidos, el estado de Yucatán se localiza entre 19° 40' y 21° 37' N y entre 87° 30' y 90° 26' O. Dentro de estos límites se eligieron 16 suelos con potencial productivo con base en la zonificación edáfica y fisiográfica del estado (Duch, 1988; 1991). Cada sitio se georeferenció utilizando un GPS MAGALLANES-300 (Cuadro 1).

El muestreo de suelo se realizó en una superficie promedio de 500 m². En cada sitio se recolectaron al rededor de 80 muestras simples, para formar tres

muestras compuestas. Las muestras se tomaron de la capa arable del suelo; en los suelos profundos la profundidad de muestreo fue de 0 a 30 cm, mientras que, en los suelos someros, la profundidad fue de 0 a 15 cm, o bien, hasta donde la presencia de las piedras lo permitió. En ningún caso el muestreo fue mayor que 30 cm de profundidad. Los suelos se secaron a la sombra y se tamizaron en un tamiz de 2 mm de diámetro. Para la caracterización de los suelos se evaluaron: pH, por el método potenciométrico, relación suelo/agua 1:2; textura, por el método del densímetro de Bouyoucos (Gee y Bauder, 1986); porcentaje de materia orgánica (MO), por el método

Cuadro 1. Clasificación y ubicación de los suelos estudiados en el estado de Yucatán, México.

Suelo	Localidad	Ubicación	Coordenadas geográficas ¹	Clasificación EUA	Sistema FAO	Nomenclatura maya
1	Akil	km 1 carr. Akil-Tekax	20°14'49.74" 89°19'48"	Lithic Eutrochrepts	Cambisol crómico	K'ancab
2	Becanchen	km 3 carr. Bencanchen-Nohalal	19°52'54" 89°13'22"	Lithic Rendolls	Rendzina	Chaclu'um
3	Buctzotz	km 2 carr. Buctzotz-Temax	21°11'30" 88°46'43"	Lithic Eutrochrepts	Cambisol calcárico	K'ancab
4	Cacalchen	km 1.8 carr. Cacalchen-Mérida	20°59'10.43" 89°14'35.38"	Lithic Rendolls	Rendzina	Chaclu'um
5	Celestún	km 15 carr. Kinchil-Mérida	20°51'33" 90°12'55"	Lithic Ustorthents	Leptosol	Chaltún
6	Chemax	km 15 transecto Chemax-Xcatzin	20°42'22" 87°52'28"	Lithic Rendolls	Rendzina	Chaclu'um
7	El Cuyo	Ejido Sac-Bo	21°27'31" 87°38'44"	Lithic Rendolls	Rendzina	Pus-lu'um
8	Maxcanù	Carr. Maxcanu-Santo Domingo	20°34'42" 90°02'23"	Typic Ferrudalfs	Luvisol vértico	K'ancab
9	Peto	km 3 de la población de Xoy	20°08'3" 88°58'02"	Typic Ferrudalfs	Luvisol vértico	K'ancab
10	San Isidro	Ejido San Isidro municipio de Tekax	19°49'44" 89°25'05"	Typic Haplauderts	Vertisol pélico	Ya áx-hom
11	Tekit	Entronque carr Tekit-Mérida	20°31'48" 89°20'24"	Lithic Rendolls	Rendzina	Chaclu'um
12	Telchac Pueblo	km 1.8 carr. Telchac Pblo-Telchac Pto.	21°13'8.1" 89°16'13.3"	Lithic Ustorthents	Leptosol	Tze'kel
13	Temozón	km 4 carr. Temozón-Calotmul	90°49'96" 88°11'34"	Lithic Rendolls	Rendzina	Chaclu'um
14	Tizimin	km 10 carr. Tizimin- Buctzotz	21°8'54" 88°11'34"	Lithic Rendolls	Rendzina	Chaclu'um
15	Tzucacab	km 5 del cruce con Bencanchen	20°04'06" 89°06'14"	Typic Ferrudalfs	Luvisol vértico	Ya'ax-hom
16	Xul	Ejido Xul, municipio de Oxkutzcab	20°4'14.4" 89°28'41.4"	Vertic Eutrochrepts	Cambisol calcárico	K'ancab

¹ En todos los casos, estas coordenadas corresponden a latitud norte (la primera) y longitud oeste (la segunda).

de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982); capacidad de intercambio catiónico (CIC), por el método de NH_4OAc ; y calcio y magnesio, extraídos con NH_4OAc 1 N pH 7, relación 1:20 (Grant y Thomas, 1982).

Se analizaron, en réplica de tres, las concentraciones de K intercambiable. Para ello, 20 mL de NH_4OAc 1 N pH 7 se añadieron a 1 g de suelo, la suspensión se agitó durante 10 min, por acción recíproca y, posteriormente, se centrifugó y se filtró. En el filtrado se cuantificó el contenido de K intercambiable (K_i). El análisis de K soluble en agua (K_s) se realizó en la solución de los suelos a capacidad de campo, por el método de centrifugación (Elkhatib *et al.*, 1987).

Las concentraciones de K_i y K_s se obtuvieron por espectroscopía de absorción atómica, con un equipo Perkin-Elmer, Modelo N9300141. Se utilizó una lámpara de cátodo hueco con una longitud de onda de 766.5 nm, la flama se obtuvo con la mezcla de aire y acetileno, y la sensibilidad de medición fue de 0.043 mg L^{-1} .

La movilidad de K en el suelo se evaluó a través del coeficiente efectivo de difusión (D_e), descrito por la ecuación (Nye, 1966; Olsen y Kemper, 1968):

$$D_e = D_L \theta f / b'$$

donde: D_L es el coeficiente efectivo de difusión de potasio en el agua, θ es el contenido de agua en el suelo, f es el factor de impedancia que toma en cuenta el trayecto tortuoso que sigue el ion, ocasionado por los poros del suelo, y b' es el poder amortiguador del suelo.

El contenido volumétrico de agua ($\theta = \text{L}^3 \text{L}^{-3}$) se obtuvo al evaluar el porcentaje de humedad del suelo a capacidad de campo y su relación con la densidad aparente del suelo (ρ) (Mg m^{-3}).

El poder amortiguador del suelo (b') está definido por Van Rees *et al.* (1990a) como:

$$b' = \theta + \rho K_d$$

donde: K_d está descrita por $\delta C_s / \delta C_l$, donde: C_s es la concentración (mmol kg^{-1}) de K en la fase sólida en equilibrio con C_l que es la concentración de K (mmol L^{-1}) en la fase líquida. Los valores de K_d se determinaron por la pendiente (C_s/C_l) de la isoterma de desorción lineal, usando el método de membranas de intercambio catiónico. Para ello, 1 g de suelo más

una membrana de intercambio catiónico se agitaron por tiempos (1, 5, 10, 20, 40, 60, 120, 180, 240 min) y, posteriormente, se cuantificaron el K removido por la membrana (C_s) y el K en equilibrio en la solución del suelo (C_l).

La distancia en que difunde el K en el suelo de un punto dado en un tiempo determinado se obtuvo de la ecuación (Tinker y Nye, 2000):

$$\text{Movilidad} = (2D_e t)^{1/2}$$

donde: D_e es el coeficiente de difusión efectiva ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$) y t es el tiempo (s).

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza, utilizando el programa Statgraphic Plus, Versión 4.1 (Statgraphic, 1999). La comparación de medias por Tukey se realizó con un nivel de confianza de 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de los Suelos

Seis clases de suelos se identificaron de acuerdo con la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1994) y el Sistema FAO (DETENAL, 1974) (Cuadro 1). Los suelos predominantes se clasificaron como Lithic Rendolls (Rendzinas); en menor número los clasificados como Typic Ferrudalfs (Luvisol vértico), Lithic Eutrochrepts (Cambisol crómico y calcárico) y Lithic Ustorthents (Leptosol); y sólo se identificó un tipo de los suelos Vertic Eutrochrepts (Cambisol calcárico) y Typic Haplauderts (Vertisol pélico). Del mismo modo, de acuerdo con la nomenclatura maya, los suelos se agruparon en seis clases: los pertenecientes a la clase Chacl'um y a la clase K'ancab fueron de mayor número, dos suelos del tipo Ya'ax-hom y sólo se identificaron un Chaltún, un Puslu'um y un Tzek'kel. Dado que la clasificación maya no considera las propiedades químicas del suelo y su clasificación se basa, principalmente, en características del paisaje, como son tipo de vegetación que sostiene, color, pedregosidad, profundidad, drenaje, relieve y pendiente (SARH, 1982), esta clasificación difiere de la Taxonomía EUA. No obstante, la clasificación maya está ampliamente difundida entre técnicos y campesinos de la península de Yucatán y se ha tomado como base en un gran número de estudios, por ello, en este estudio, se incluye dicha clasificación.

pH de los Suelos

Aunque los suelos de Yucatán se caracterizan por ser alcalinos o ligeramente alcalinos, cinco suelos mostraron un pH menor que 7 (Cuadro 2), uno de ellos tuvo un pH de 5.23 y coincidió con el contenido más bajo de Ca ($0.1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Bertsch (1995), señaló que la aplicación intensiva de fertilizantes nitrogenados, como sulfato de amonio y nitrato de amonio, genera acidez residual a través de la formación disociada de H_2SO_4 y HNO_3 . Es probable que el pH bajo (5.23) del suelo ubicado en el ejido de San Isidro se deba al uso de este tipo de fertilizantes. El pH afecta la solubilización, disponibilidad y absorción de los nutrientes; el valor óptimo se encuentra entre 6 y 6.5, por lo que los suelos con pH mayor o menor que el óptimo pueden presentar problemas de disponibilidad de nutrientes.

Contenido de Potasio Soluble (K_s) e Intercambiable (K_i) del Suelo

Los contenidos de K_s y K_i fueron diferentes entre los sitios de estudio ($P < 0.0001$) (Cuadro 3). Esto se debe a que las fracciones de K_i dependen del material parental y su meteorización, así como del contenido y de la naturaleza de los coloides del suelo (Wang *et al.*, 2004). El menor contenido de K_i ($0.769 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) se encontró en el sitio Cacalchen, ubicado al norte de Yucatán, donde los suelos se caracterizan por ser

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas seleccionadas de los suelos de Yucatán, México.

Suelo ¹	pH	Arcilla -%	MO ²	CIC ³	Ca	Mg
					$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	
1	7.32	18	5.1	36.7	17.3	2.55
2	7.44	37	5.6	39.9	44.15	1.35
3	7.19	14	10.5	52.8	28.0	2.7
4	7.0	11	12.8	55.9	36.7	1.45
5	7.24	9	16.1	58.6	52.1	3.8
6	7.24	14	7.9	43.7	23.45	1.95
7	7.53	17	9.7	45.2	47.85	1.85
8	6.23	25	3.8	31.9	9.75	2.1
9	6.59	43	3.6	29.8	9.25	1.35
10	5.23	24	3.4	26.4	0.1	1.05
11	7.19	15	5.9	40.5	15.2	2.55
12	7.25	13	10.1	44.2	27.3	1.35
13	7.10	34	6.7	39.1	19.35	1.45
14	6.74	19	6.6	34.3	11.7	3.0
15	6.29	49	2.3	29.1	8.51	2.15
16	7.01	27	4.2	28.6	8.05	0.8

¹La clase de suelo y la localidad pueden verse en el Cuadro 1. ²Materia orgánica. ³Capacidad de intercambio catiónico.

superficiales y pedregosos. El contenido de K_i se incrementó hacia el sur, donde los suelos son más profundos. Por ejemplo, el suelo de Tzucacab (Luvisol vértico) presentó el mayor contenido de K_i ($3.015 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); alto contenido de K_i se ha reportado en Luvisoles y Vertisoles de España (Jiménez y Parra, 1991; Roca-Jove y Vallejo-Calzada, 2000).

De acuerdo con Duch (1988), los materiales que forman el sustrato geológico del estado son, en su mayoría, formaciones terciarias y, en menor medida, cuaternarias con diferentes tiempos de meteorización, aumentando la edad geológica del material hacia el sur del estado. Esto explica la diferencia de concentración de K: los suelos superficiales son los más jóvenes y con menor contenido de K, mientras que los suelos profundos del sur son los de mayor tiempo de formación y mayor contenido de K. No obstante, por su contenido intercambiable (mayor que $0.6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) todos los suelos podrían clasificarse como ricos en K, sin embargo, éste no es del todo aprovechado por las plantas (Wang *et al.*, 2004). Comerford (1999) describe que la habilidad de un suelo para proporcionar nutrientes ocurre a través de los mecanismos de i) liberación de nutrientes de la fase sólida del suelo y ii) movimientos de los nutrientes, a través de la solución del suelo, hacia las raíces para que ocurra la absorción. Por lo tanto, en un suelo fértil debe considerarse al "estatus suelo-planta".

Cuadro 3. Contenido de K intercambiable y soluble en suelos del estado de Yucatán, México.

Suelo	K_{sol} mM	ES ¹	K_{int} $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	ES ¹
1	0.069 fgh	0.005	0.997 g	0.006
2	0.358 c	0.007	2.405 c	0.053
3	0.072 fgh	0.002	0.996 g	0.005
4	0.020 h	0.001	0.769 i	0.016
5	0.673 cd	0.017	2.345 c	0.019
6	0.196 f	0.003	0.911 h	0.012
7	0.155 fgh	0.002	1.640 e	0.039
8	0.782 c	0.005	1.865 d	0.004
9	0.915 b	0.017	2.490 b	0.029
10	0.734 c	0.021	1.171 f	0.008
11	0.064 gh	0.005	1.199 f	0.014
12	0.023 h	0.003	0.878 h	0.004
13	0.593 d	0.020	2.384 c	0.004
14	0.100 fgh	0.013	1.022 g	0.007
15	2.350 a	0.175	3.015 a	0.042
16	0.328 e	0.020	1.216 f	0.015

Cifras con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($n = 3$). ¹Error estándar.

De manera similar a lo observado con el contenido de K_i , los contenidos más bajos de K_s se encontraron en el norte de Yucatán, en la zona de Leptosoles y Rendzinas (Telchac Pueblo 0.023 mM, Cacalchen 0.020 mM y Buctzotz 0.072 mM); estos suelos, además de ser limitados en profundidad por la presencia de roca dura o material calcáreo, tienen un drenaje muy rápido, lo que ocasiona filtraciones de K a capas más profundas y disminuye el contenido de K_s en la capa superficial del suelo (Peniche, 1994).

No siempre los suelos con alto contenido de K intercambiable tienen un alto contenido de K_s ; esto se aprecia en suelos como Tzucacab y Becanchen, ambos con alto contenido de K_i , sin embargo, sólo Tzucacab reportó un alto valor de K_s (2.35 mM), no así Becanchen, donde sólo la fracción intercambiable tuvo una alta concentración (2.41 $\text{cmol}_e \text{kg}^{-1}$) y no el K_s , cuyo contenido fue de 0.358 mM. Esto explica la pobre relación ($r^2 = 0.6011$) existente entre K_i y K_s .

Relaciones del K con el Porcentaje de Arcilla, Calcio y Magnesio

Una relación negativa entre K_i y Ca ($K_i = -63.26$ (Ca) + 83.024, $r^2 = 0.7377$) se observó en suelos con contenido menor que 1.22 $\text{cmol}_e \text{kg}^{-1}$ de K (Suelos 1, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 14 y 16). Esto puede deberse a la presencia de sitios más selectivos para K en estos suelos. Evangelou y Lumbanraja (2002) demostraron que la selectividad en el intercambio de cationes depende del número y tipo de cationes presentes. Appel *et al.* (2003) evaluaron el coeficiente de selectividad de diferentes proporciones de K/Ca en Oxisoles y Ultisoles y reportaron una preferencia del ion K sobre el Ca, atribuyéndose esto, a la abundancia de caolinita, la cual se caracteriza por su alta selectividad por el ion K debido a su alta densidad de carga y baja energía de hidratación por el K. Por su parte, Dufey y Delvaux (1989) señalaron que se ha reconocido una alta heterogeneidad de sitios de adsorción de K en suelos arcillosos y, en las reacciones de intercambio entre K y otro catión mayoritario como el Ca, la selectividad de K decrece en relación con el Ca, debido a que el ion K se acumula inicialmente en la mayoría de los sitios selectivos. Los suelos en los cuales no hubo relación entre el contenido de K_i y los contenidos de Ca y Mg fueron, en general, aquellos que presentaron los mayores porcentajes de arcilla (Suelos 2, 8, 9, 13 y 15); es probable una menor proporción de arcillas selectivas por el ion K en estos suelos, por lo que

el alto contenido de K_i estuvo más bien relacionado con la cantidad de arcilla que con el tipo de arcilla presente ($K_i = 0.0432$ (%arcilla) + 0.8094, $r^2 = 0.92$). Los Suelos 5 (Chaltún) y 7 (Puslu'um) no presentaron relación con Ca y Mg, ni con el contenido de arcilla; esto se atribuye a las características propias de estos tipos de suelo, ambos pertenecientes al litoral marino, ricos en materia orgánica. El suelo Chaltún se caracteriza por su continua roca que aflora y el Puslu'um por ser tierra suelta con piedras (SARH, 1982).

Difusión Efectiva (D_e) de Potasio en el Suelo

Una diferencia significativa ($P < 0.0001$) en la difusión de K se encontró cuando los suelos se llevaron a capacidad de campo (Cuadro 4). Estas diferencias se deben a que en arcillas minerales 1:1, como la caolinita, los cationes intercambiables se encuentran adsorbidos sobre la superficie externa de los cristales y pueden moverse en forma libre sobre éstos. En arcillas minerales 2:1, como la montmorillonita, algunos cationes se encuentran en la superficie y una cantidad importante se encuentra entre las láminas de aluminosilicatos y, por lo tanto, la movilidad depende de la expansión de las láminas y del espesor de agua entre éstas (Tinker y Nye, 2000). Es probable que en suelos como Becanchen, la difusión de K es mayor debido a una mayor proporción de arcillas 1:1. El tipo de arcilla

Cuadro 4. Coeficiente de difusión efectiva (D_e) y poder amortiguador del suelo (b') en suelos de Yucatán, México.

Suelo	D_e $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$	ES ¹	b'	ES ¹
1	9.9×10^{-8} f	1.4×10^{-8}	77.3 b	1.15
2	1.8×10^{-6} a	6.2×10^{-8}	32.9 efg	0.76
3	9.4×10^{-7} c	7.4×10^{-8}	26.5 ghi	1.29
4	7.4×10^{-8} f	1.1×10^{-8}	58.2 cd	3.63
5	1.5×10^{-6} b	8.1×10^{-8}	23.5 ghi	1.41
6	9.5×10^{-7} c	7.6×10^{-8}	28.8 fghi	2.49
7	4.6×10^{-7} de	2.5×10^{-8}	32.5 efg	1.62
8	6.6×10^{-7} d	3.0×10^{-8}	17.4 hi	0.83
9	2.3×10^{-7} ef	1.4×10^{-8}	121.6 a	8.25
10	7.1×10^{-7} cd	8.3×10^{-8}	14.2 i	0.50
11	1.5×10^{-7} f	2.4×10^{-8}	34.9 efg	2.15
12	5.9×10^{-8} f	5.9×10^{-8}	62.1 c	0.43
13	9.3×10^{-7} c	2.4×10^{-8}	31.6 efg	0.65
14	7.6×10^{-7} c	6.6×10^{-8}	42.4 ef	4.89
15	8.4×10^{-7} c	1.2×10^{-8}	28.1 fghi	0.42
16	5.9×10^{-7} d	2.4×10^{-8}	45.9 de	0.79

Cifras con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales. n = 3. ¹ ES = error estándar.

predominante en Yucatán se ha estudiado poco debido a la dificultad del análisis ocasionado por su alto contenido de carbonatos de calcio (Duch, 1988) y de materia orgánica (entre 50 y 150 g kg⁻¹ de C) (Shang y Tiessen, 2003). Sin embargo, en suelos del norte, se ha reportado la presencia de caolinita y, en áreas con alta precipitación o donde el drenaje es pobre, la presencia de montmorillonita (Wilson, 1980) también se ha identificado en suelos Chaclu'um la presencia de halloisita, boehmita, cuarzo, hematita, calcita e illita (Bautista-Zúñiga *et al.*, 2003).

El coeficiente de difusión de K en el agua (D_L) es de 1.9×10^{-5} cm² s⁻¹ y es un valor constante, mientras que los valores de D_e del K en el suelo, en general, se encuentran entre 1×10^{-6} y 1×10^{-7} cm² s⁻¹ (Barber, 1984), dentro de este rango estuvieron 13 de los 16 suelos estudiados. En los suelos de Akil, Cacalchen y Telchac Pueblo, la difusión de K fue menor (9.9×10^{-8} , 9.4×10^{-8} y 6.9×10^{-8} cm² s⁻¹, respectivamente). En arcillas no hidratadas, como por ejemplo la illita, los valores de D_e pueden ser tan bajos como 1×10^{-23} cm² s⁻¹ (Tinker y Nye, 2000). Esto sugiere que mientras más arcillas de este tipo contenga el suelo, la difusión de K será menor.

El poder amortiguador (b') fue diferente en los suelos ($P < 0.0001$) y no mostró relación con el porcentaje de arcilla. Mengel y Busch (1982) ya han señalado esto con anterioridad y es evidente la presencia de diferentes tipos de minerales en el suelo. Por lo tanto, el siguiente estudio puede estar dirigido a la identificación de los minerales que explique cuáles

son las arcillas predominantes en estos suelos y cuál es el efecto de éstas sobre la capacidad del suelo para mantener una concentración de K en la solución del suelo y el desplazamiento de K a través de la solución del suelo. El suelo que mostró la menor capacidad para mantener una concentración de K en solución fue el de Peto ($b' = 121$).

En promedio, el desplazamiento de K en la solución del suelo fue de 0.3 cm d⁻¹ (Figura 1); en un intervalo de 0.1 a 0.55 cm d⁻¹ en los suelos de Telchac Pueblo y Becanchen, respectivamente, lo que indica que el K de Becanchen se mueve aproximadamente seis veces más rápido que el K del suelo de Telchac Pueblo.

CONCLUSIONES

- El mayor contenido de K soluble y K intercambiable se presenta en los suelos profundos ubicados al sur del estado y la concentración de ambas fracciones disminuye en el norte; los de menor contenido son los suelos someros, Leptosoles y Rendzinas.
- Con excepción del sitio Tzucacab, los contenidos de K soluble son bajos; los menores contenidos se presentaron en Telchac Pueblo, Cacalchen y Buctzotz.
- Una relación muy pobre existe entre el K intercambiable y el K soluble del suelo, por lo que la disponibilidad de K para los cultivos puede estar mejor descrita por el poder amortiguador del suelo (b') y el coeficiente efectivo de difusión (D_e).

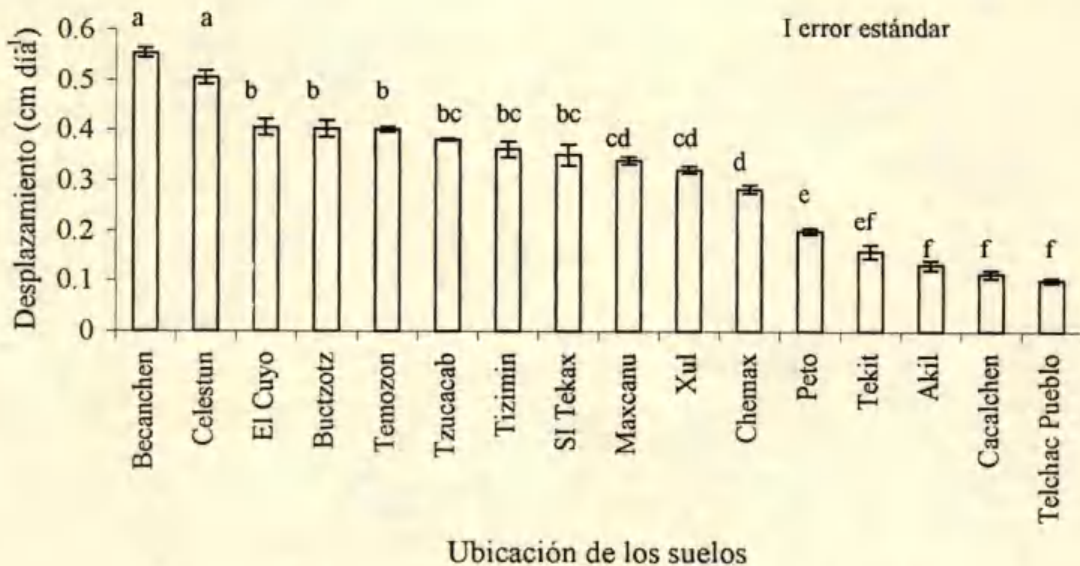


Figura 1. Desplazamiento de potasio en la solución de los suelos de Yucatán a capacidad de campo.

- El suelo de San Isidro es de mayor capacidad para mantener una concentración de K en la solución del suelo, pero el que muestra una mayor coeficiente de difusión efectiva es el de Becanchen

- Los valores de b' y D_e no estuvieron relacionados con el porcentaje de arcilla, por lo que un segundo estudio, en el que se identifiquen los tipos de minerales presentes en el suelo, podría explicar las diferencias de los valores de b' y D_e entre los suelos.

LITERATURA CITADA

- Appel, C., L.Q. Ma, R.D. Rhue y W. Reve. 2003. Selectivities of potassium-calcium and potassium-lead exchange in two tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1707-1714.
- Barber, S.A. 1984. Soil nutrient bioavailability. John Wiley. New York.
- Bautista-Zúñiga, F., J. Jiménez-Osorio, J. Navarro-Alberto, A. Manu y R. Lozano. 2003. Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles cársticos. *Terra* 21: 1-11.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Instituto Tecnológico de San Carlos-Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
- Comerford, N. 1999. Mecanismos de captación de nutrimentos en ecosistemas forestales: de cómo interpretar la fertilidad en el contexto de la conservación de recursos genéticos. pp. 127-135. *In: Orellana, R., A. Escamilla y A. Larqué (eds.). Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.*
- Cox, A.E., B.C. Joern, S.M. Brouder y D. Gao. 1999. Plant available potassium assessment with a modified sodium tetraphenylboron method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 902-911.
- DETENAL. Dirección de Estadística del Territorio Nacional. 1974. Sistema de clasificación de suelos FAO/UNESCO. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F.
- Duch, G.J. 1988. La conformación territorial del estado de Yucatán. Universidad Autónoma Chapingo-Centro Regional de la Península de Yucatán. Texcoco, México.
- Duch, G.J. 1991. Fisiografía del estado de Yucatán. Su relación con la agricultura. Universidad Autónoma Chapingo-Centro Regional de la Península de Yucatán. Texcoco, México.
- Dufey, J.E. y B. Delvaux. 1989. Modeling potassium-calcium exchange isotherms in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1297-1299.
- Elkhatib, E.A., J.L. Hern y T.E. Staley. 1987. A rapid centrifugation method for obtaining soil solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 578-583.
- Evangelou, V.P. y J. Lumbanraja. 2002. Ammonium-potassium-calcium exchange on vermiculite and hydroxy-aluminum vermiculite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 445-455.
- Gee, G.W. y J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. pp. 383-409. *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.*
- Jiménez, C. y M.A. Parra. 1991. Potassium quantity-intensity relationships in calcareous vertisol and inceptisols of southwestern Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 985-989.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. London, UK.
- Mengel, K. y R. Busch. 1982. The importance of the potassium buffer power on the critical potassium level in soils. *Soil Sci.* 133: 27-32.
- Nelson, D.W. y L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp. 539-547. *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.*
- Nye, P.H. 1966. The measurement and mechanism of ion diffusion in soil. I. The relation between self-diffusion and bulk diffusion. *J. Soil Sci.* 17: 16-23.
- Olsen, S.R. y W.D. Kemper. 1968. Movement of nutrient to plant roots. *Adv. Agron.* 20: 91-151.
- Peniche, N. 1994. Riesgos y oportunidades para el campo yucateco. Gobierno del estado de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Roca-Jove, M.C. y V.R. Vallejo-Calzada. 2000. Predicting radiocaesium root uptake based on potassium uptake parameters. A mechanistic approach. *Plant Soil* 222: 35-49.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1982. Los suelos de la Península de Yucatán. Subdirección de Planeación. Dirección General de Estudios. Subdirección de Agrología. México, D.F.
- Shang, C. y H. Tiessen. 2003. Soil organic C sequestration and stabilization in karstic soils of Yucatan. *Biochemistry* 62: 177-196.
- Soil Survey Staff. 1994. Claves para la Taxonomía de Suelos. Trad. al español por C.A. Ortiz-Solorio y Ma. del C. Gutiérrez-Castoreña. Publicación Especial 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Sparks, D.L. y P.M. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium. pp. 202-265. *In: Mundson, R.D. (ed.). Potassium in agriculture. American Society of Agronomy-Crop Science Society of America-Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Statgraphic. 1999. Statgraphic Plus. Version 4.1. Statistics software for Microsoft Excel. Madison, WI.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. pp. 159-164. *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.*
- Tinker, P.B. y P.H. Nye. 2000. Solute movement in the rhizosphere. Oxford University Press. New York.
- Van Rees, K.C.J., N.B. Comerford y P.S.C. Rao. 1990a. Defining soil buffer power: implications for ion diffusion and nutrient uptake modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1505-1507.
- Van Rees, K.C.J., N.B. Comerford y W.W. McFee. 1990b. Modeling potassium uptake by slash pine seedlings from low-potassium-supplying soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1413-1421.
- Wang, J.J., D.L. Harrel y P.F. Bell. 2004. Potassium buffering characteristics of three soils low in exchangeable potassium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 654-661.

- Weisbach, C., H. Tiessen y J. Jimenez-Osornio. 2002. Soil fertility during shifting cultivation in the tropical karst soil of Yucatan. *Agronomie* 22: 253-263.
- Wild, A. 1989. Potasio, sodio, calcio, magnesio, azufre y silicio. pp. 783-818. *In*: Wild, A. (ed.). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Wilson, E.M. 1980. Physical geography of the Yucatan peninsula. pp. 5-40. *In*: Moseley, E.H. y E.D. Terry (eds.). Yucatan a world apart. University of Alabama. Tuscaloosa, AL.

LÍMITES PERMISIBLES DE ACUMULACIÓN DE CADMIO, NÍQUEL Y PLOMO EN SUELOS DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO

Permissible Limits of Cadmium, Nickel, and Lead Accumulation in Soil in the Valley of Mezquital, Hidalgo, Mexico

Antonio Vázquez-Alarcón¹†, Lenom J. Cajuste², Rogelio Carrillo-González², Benjamín González-Zamudio³, Edna Álvarez-Sánchez¹ y Javier Z. Castellanos-Ramos³

RESUMEN

En México, se carece de información relativa a la calidad de suelos en términos del contenido de metales pesados. Los datos disponibles corresponden a información generada en otros países, extrapolada a los suelos nacionales. Con el presente estudio se trata de realizar una aproximación a los valores de referencia de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos. La metodología consistió en resolver un modelo que relaciona el límite permisible de acumulación con variables como dosis de ingestión diaria de metales, tipo de alimentos que se consumen, transferencia de metales desde el suelo hacia cultivos, y alimentos producidos en áreas no contaminadas y contaminadas con metales pesados. El intervalo de límite permisible de acumulación de cadmio en el suelo sin antecedentes de contaminación fue de 25.1 a 66.5 kg ha⁻¹; en contraste, en suelos contaminados, el intervalo propuesto como límite permisible fue de 7.5 a 14.6 kg ha⁻¹, el cual es restrictivo y comparable con el propuesto en Europa para regular el depósito de cadmio en el suelo. La concentración máxima permisible para plomo fue de 3.7 a 21.3 kg ha⁻¹, intervalo que incluye a suelos contaminados con Pb. Los datos para plomo indican que el modelo produce valores restrictivos en comparación con los de normas que regulan a este metal en el suelo. La concentración máxima permisible para el Ni en suelos con antecedentes de contaminación fue de 307 a 1324 kg ha⁻¹.

Palabras clave: normatividad, metales pesados, agua residual, calidad de suelo.

SUMMARY

In Mexico there is a lack of information about the content of heavy metals in soils. Available data proceed from information generated in other countries and extrapolated to conditions of Mexican soil. The aim of this research was to generate the first approach of permissible limits for cadmium, nickel, and lead accumulation in soil. The methodology consisted in solving a model that relates permissible limits to variables such as dose of daily metal intake, type of consumed food, metal transference from soil to crops, and plant species grown in non-polluted areas and those polluted with heavy metal. Permissible limits for Cd accumulation in non-polluted soil ranged from 25.1 to 66.5 kg ha⁻¹; in contrast, in polluted soils the permissible limits varied from 7.5 to 14.6 kg ha⁻¹, which is restrictive and comparable to those proposed for legislation in Europe. The proposed maximum concentration of lead ranged from 3.7 to 21.3 kg ha⁻¹, a range that included soils polluted with Pb. The data for Pb indicate that the model produces restrictive values compared with the norms that regulate this metal in soil, whereas the permissible maximum concentration for Ni in polluted soils varied from 307 to 1324 kg ha⁻¹.

Index words: legislation, heavy metals, wastewater, soil quality.

INTRODUCCIÓN

Una de las alternativas al problema que representa el confinamiento de grandes cantidades de agua residual ha sido su empleo directo en la agricultura, como ocurre en el valle del Mezquital, estado de Hidalgo, donde desde hace más de 100 años el agua que proviene de la zona metropolitana de la Ciudad de México se ha utilizado con fines agrícolas. En la

¹ Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, 56230 Chapingo, estado de México.

† Autor responsable (avazquez@correo.chapingo.mx)

² Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, estado de México.

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 38010 Celaya, Guanajuato, México.

Recibido: Noviembre de 2002. Aceptado: Junio de 2005.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 23: 447-455.

actualidad, la superficie cultivada es de 90 mil hectáreas, en las que se producen cultivos y forrajes, como: maíz (*Zea mays*), alfalfa (*Medicago sativa*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum aestivum*).

Entre las sustancias que se incorporan al suelo via el agua residual, se encuentran los metales pesados, los cuales pueden participar en diversos procesos como incorporación al ciclo del agua, principalmente en la fase relacionada con el suelo y el agua subterránea; también pueden acumularse en el suelo con diversos grados de disponibilidad o en el tejido vegetal, debido a su absorción por las plantas. En el suelo, su actividad depende de transformaciones físicas y químicas como solubilización, precipitación, adsorción y los cambios en su estado de oxidación, procesos que determinan la estabilidad de los metales en el suelo.

El uso de residuos y aguas residuales en la agricultura, al igual que otras prácticas con implicaciones ambientales, no se ha analizado detalladamente en la legislación ambiental mexicana. De manera que, cuando se trata de diagnosticar el grado de acumulación de los elementos traza en los suelos de México, se usan los índices establecidos para otros países como criterios de comparación. Más aun, si se quisiera recomendar o regular el uso racional de residuos contaminantes y mantener un mínimo riesgo de exposición de los humanos a contaminantes presentes en productos agrícolas, el primer problema que se enfrenta es la ausencia de límites permisibles de concentración en suelos y tejidos vegetales.

El riesgo de exposición a contaminantes se ha medido con base en el efecto tóxico y la exposición. Para los elementos potencialmente tóxicos (EPT), las evaluaciones se han basado en su efecto fitotóxico y la reducción de crecimiento en plantas (Beckett y Davis, 1977; MacNicol y Beckett, 1985). En este punto de vista se diferencia la concentración normal de la concentración umbral tóxico, en función de la reducción del crecimiento de las plantas; sin embargo, la información que proporciona este valor es ambigua porque otros factores pueden influir en la respuesta de la planta, incluyendo su naturaleza o la mezcla de varios contaminantes.

Se ha observado que, al correlacionar la cantidad de elementos tóxicos en plantas con la concentración del suelo, la reactividad del elemento tóxico con el suelo afecta fuertemente a esa correlación (MacNicol y Beckett, 1985). Además, se ha encontrado que

la adición al suelo de materiales que contienen EPT en concentraciones menores que los límites permisibles ha reducido la biomasa microbiológica (Sauerbeck, 1987), por lo que la susceptibilidad de las especies de microorganismos y de animales superiores puede ser mucho mayor que la de las plantas. Aunado a lo anterior, las dificultades para distinguir si son efectos directos o indirectos complican la interpretación del daño a los organismos en general. Cuando el pH del suelo es mayor que 5.0 es poco probable que se presente fitotoxicidad con dosis elevadas de metales (Chang *et al.*, 1992), por lo que el riesgo de exposición a esos elementos no puede medirse sólo con base en los efectos sobre las plantas. Por estas razones, la tasa de transferencia de los elementos a las plantas y a los animales se ha estimado de varias formas. En los últimos años, se han propuesto algunas metodologías que consideran las rutas de entrada a los humanos (Ryan y Chaney, 1994), con el fin de incluir la tasa de transferencia de vegetales a consumidores.

Los modelos de transferencia de elementos a las plantas y animales pueden ser tan simples como el de la Ecuación 1:

$$C_a = f_a \sum J_g C_g \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde: C_a = concentración del elemento en un producto animal, f_a = factor de transferencia de la dieta al producto animal, J_g = consumo diario de alimento, C_g = concentración del elemento en la comida.

Los modelos más complejos (Ecuación 2) son los de compartimentos que describen la transferencia de los elementos a compartimentos o tipos de vegetales que constituyen los distintos alimentos; estos modelos pueden ser complejos y complicados por la cantidad de datos que requieren, pero proporcionan una mejor medida de la exposición a que se someten los individuos a estos contaminantes.

$$\frac{\partial}{\partial t} = \sum_{i=1}^n \mu_{ij} q_j(t) + I_i(t) \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde: $q_i(t)$ = contenido en el compartimento i al tiempo t , $I_i(t)$ = tasa de ingestión en el compartimento i al tiempo t , μ_{ij} (con $i \neq j$) = tasa constante de transferencia del compartimento i al j , y n = número de compartimentos.

La carencia de valores aceptables de concentración de Pb, Cd y Ni en suelos que indiquen

minimo riesgo para la salud de humanos y de los organismos, es el motivo del presente estudio, para ello se propuso obtener valores permisibles de contaminación de metales, como Pb, Cd y Ni, en el suelo, para regular e impedir su constante acumulación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Contenido de Metales en Suelo y Cultivos

La obtención de muestras de suelos y plantas se realizó en el área que cubre el Distrito de Riego 03, Tula, Hidalgo, México, en cada una de las cuatro series de suelos (SRH, 1976); se ubicaron ocho sitios con tiempo variable de uso del agua residual, el cual fue desde cinco hasta 86 años de haberse incorporado al riego. Dentro de cada sitio, se eligieron de uno a tres puntos de muestreo, en función de los cultivos dominantes: maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y calabaza (*Cucurbita pepo*), por lo que se colectaron 17 muestras en los ocho sitios seleccionados. Para el suelo se hizo un muestreo sistemático en rejilla, en el cual se eligieron de 10 a 15 muestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm. Se colectaron de cinco a ocho plantas en cada lugar donde se tomó una muestra simple de suelo.

Para el análisis de suelo, se cuantificó el contenido de metales adsorbidos y fijados por medio de una digestión con HNO₃ 4 N (Bradford *et al.*, 1975). El tejido vegetal se digestó en húmedo con ácido nítrico y perclórico [Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (MAFF, 1986)]. En todos los casos, la cuantificación de Cd, Ni y Pb se efectuó por medio de espectrofotometría de absorción atómica.

Cálculo del Límite Aceptable de Acumulación de Metales en Suelo

A través de la obtención de información pertinente, se resolvió la Ecuación 3, reportada por Ryan y Chaney (1994), que relaciona la tasa de contaminante que puede aplicarse sin causar mayor riesgo a la salud (RP).

$$RP = \frac{\left[\frac{(RfD \times BW)}{RE} - Tbi \right] \times 10^3}{\sum (UC_i \times DC_i \times FC_i)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

El procedimiento para asignar o estimar el valor a cada variable que contiene el modelo se describe a continuación.

Dosis de referencia (Reference dose "RfD"). Este concepto indica el consumo diario de la sustancia tóxica durante toda la vida del individuo y que no causa algún efecto. Para obtener su valor se consultó a la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de los Estados Unidos (ATSDR); la referencia para Cd fue ATSDR (1999) y para el Ni fue ATSDR (2003). El valor de RfD para plomo se obtuvo en la información reportada por la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA, 1997).

Efectividad relativa de la dosis (Relative effectiveness of dose "RE"). Esta variable expresa las diferencias en toxicidad de la sustancia, la biodisponibilidad asociada al medio de exposición y estado nutricional del individuo. Con fines conservativos, como lo mencionaron Ryan y Chaney (1994), su valor se tomó como unitario, debido a la dificultad que representa obtener ese dato en forma experimental.

Antecedentes de asimilación (Total background intake rate of contaminant "Tbi"). Esta variable corresponde a la cantidad de contaminante a la que está expuesto un individuo durante toda su vida, el valor de Tbi para cadmio se obtuvo en Newhook *et al.* (1994) y para Ni en Hughes (1994). El valor de Tbi para plomo se estimó con los datos de consumo diario de alimento por persona, reportados por Meek *et al.* (1994), así como con el contenido promedio de plomo de cada grupo de alimentos incluidos en MAFF (1994; 1997).

Peso del cuerpo humano (Human body weight "BW"). El valor de esta variable se consideró como el promedio de peso de un adulto en México, el cual corresponde a 65 kg.

Tasa de asimilación (Uptake response slope "UC"). Es la transferencia del metal presente en el suelo y que se incorpora al tejido vegetal. Su valor se obtuvo mediante el análisis de muestras de suelos y cultivos colectados en la región del valle del Mezquital. Paralelamente, se procedió a estimar otro conjunto de valores de UC con la información reportada en Kabata y Pendias (1984).

Fracción de alimento producido (Fraction of food produced "FC"). Es la variable que corresponde a la cantidad de alimento producido en un suelo contaminado con metales. Para estimar su magnitud,

se utilizaron los valores reportados por Ryan y Chaney (1994).

Consumo diario de alimentos por la población (Daily dietary consumption of food "DC"). Esta variable se refiere a la cantidad de grupos de alimentos que consume la población. Se registraron los valores del año de 1981, reportados en Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD, 1985). La información de hábitos alimenticios de canadienses está reportada en Meek *et al.* (1994). El valor de DC en México se obtuvo a través de dos referencias: el Sector Alimentario en México (INEGI, 1995) y de la Encuesta Nacional de Alimentación y Nutrición en el Medio Rural 1996 (Ávila *et al.*, 1997).

Tasa permisible acumulable de metales en suelo (Reference application rate of contaminant "RP"). Con el conjunto de variables descritas, se calculó la cantidad permisible acumulable de metales en suelo. Se generó un grupo de RP con el valor de UC calculado a partir de la información de Kabata y Pendias (1984), y otro grupo de RP se calculó con los valores de UC estimado con datos de la región donde se obtuvieron muestras de suelo y tejido vegetal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, se muestran los valores de las variables: dosis de referencia RfD, antecedentes de asimilación TBi, efectividad relativa de la dosis (RE) y peso del cuerpo (BW). La Organización Mundial para la Salud ha propuesto límites de exposición a EPT con base en la concentración en tejidos directamente afectados. Se han definido términos como "ingestión semanal provisional tolerable", que para Cd es de 400 a 500 µg, suponiendo que la concentración crítica en la corteza renal es de 200 µg g⁻¹. Un factor importante que debe considerarse es el peso promedio de los adultos de la población expuesta. En países como México debería incluirse la población de mayor riesgo, que son los niños, por la proporción que constituyen. En el Cuadro 2, se incluyen los valores de consumo de alimentos (DC). Esta variable se recopiló de cuatro fuentes de información, que correspondieron a la dieta de norteamericanos, canadienses y mexicanos.

El Cuadro 3 contiene la información del valor de tasa de transferencia (UC), calculada con datos de análisis de suelos y cultivos de la región de estudio.

Cuadro 1. Valores de las variables de la ecuación de Ryan y Chaney (1994).

Variable	Cadmio	Níquel	Plomo
Dosis de referencia (RfD mg kg ⁻¹ d ⁻¹)	0.001 [†]	0.05 [‡]	0.006 [§]
Antecedentes de asimilación (TBi, mg d ⁻¹)	0.0028 [¶]	0.1 [#]	0.023
Efectividad de la dosis (RE)	1	1	1
Peso de cuerpo (BW, kg)	65	65	65

Fuentes: [†]ATSDR (1999); [‡]ATSDR (2003); [§]FDA (1997); [¶]Newhook *et al.* (1994); [#]Hughes *et al.* (1994); ^{||}Calculado con datos de Meek *et al.* (1994) y MAFF (1994; 1997).

Cuadro 2. Consumo de alimentos (DC) por país y tipo de encuesta.

Alimento	EEUU [†]	Canadá [‡]	INEGI [§]	Encuesta nacional [¶]	
				Hidalgo	Nacional
				g día ⁻¹	
Trigo	143.84	232	145	32.1	41.8
Maíz	22.47	12.02	537	240	246.6
Arroz	13.70	14.57	13.6	23.2	27.7
Papas	62.74	145.35	19.5	33.4	19.5
Hortalizas	181.60	92.63	17.4	22	17.4
Frutas	129.80	160	101	29.6	32
Frijol	16.71	19	43.8	52	54

Fuentes: [†]OECD (1985); [‡]Meek *et al.* (1994); [§]INEGI (1995); [¶]Ávila *et al.* (1997).

Cuadro 3. Tasa de transferencia (UC) con información de la región en estudio.

Especie	Concentración en tejido			Tasa de transferencia (UC)		
	Cd	Ni	Pb	Cd	Ni	Pb
	mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹ / kg ha ⁻¹		
Trigo	0.34	5.81	1.3	0.0288	0.0828	0.1102
Maiz	0.55	4.91	3.6	0.0466	0.0699	0.3051
Frijol	0.48	10.8	3.3	0.0407	0.1538	0.2797
Calabaza	0.84	2.4	1.45	0.0712	0.0342	0.1229

Los valores de Cd, Ni y Pb se obtuvieron del suelo con HNO₃ 4 N y su magnitud fue 5.9, 35.1 y 5.9 mg kg⁻¹, respectivamente, (promedio de la región). Los datos de Cd y Pb en tejido foliar correspondieron a los más bajos registrados en el análisis, mientras que para Ni correspondió al promedio registrado en el tejido foliar.

Cuadro 4. Contenido de metales en vegetales reportados por Kabata y Pendias (1984) y valor de tasa de transferencia (UC).

Especie	Cadmio		Níquel		Plomo	
	Tejido	UC [†]	Tejido	UC [†]	Tejido	UC [†]
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹ /kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹ /kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹ /kg ha ⁻¹
Maiz	0.007	0.0046	0.18	0.0187	0.550	0.0360
Frijol	0.020	0.0130	0.10	0.010	1.750	0.1100
Papa	0.001	0.0007	0.30	0.030	1.750	0.1160
Frutas	0.008	0.0053	0.04	0.0041	2.000	0.1330
Trigo	0.006	0.0039	0.17	0.0168	0.410	0.0270
Arroz	0.010	0.0070	1.00	0.1000	0.190	0.0126
Hortalizas	0.030	0.0197	0.07	0.0068	1.958	0.1300

[†] Valor mínimo de concentración en tejido; la concentración de Cd, Ni y Pb en suelo fue 1.52, 10 y 15 kg ha⁻¹, respectivamente.

[‡] Se usó el valor medio del intervalo de concentración en tejido vegetal. Para el valor de UC de hortalizas se promediaron los valores de zanahoria, col, lechuga, cebolla, calabaza y jitomate.

El Cuadro 4 incluye la información de UC generada con datos que reportaron Kabata y Pendias (1984). En este caso, UC corresponde a condiciones en las cuales no se presenta alguna contaminación del suelo por Cd, Ni y Pb.

Tasa Permisible de Acumulación de Metales en el Suelo (RP)

En el Cuadro 5, se presentan los valores de RP por tipo de dieta y valor de UC utilizado en su cálculo. Si se compara por medio de un cociente, el valor de RP del cadmio cuantificado con datos de consumo de alimentos de canadienses (39.6 kg ha⁻¹), con el valor de RP generado con información del INEGI (1995) (32.9 kg ha⁻¹), se obtiene un factor de 1.203. Esta relación manifiesta que no existe amplia diferencia entre los valores de RP descritos; es decir, en general, los hábitos de consumo entre canadienses y mexicanos, con esta comparación, no tienen influencia sobre la tasa permisible acumulable obtenida en cada caso. Sin embargo, si se comparan los valores de consumo de alimento (DC), obtenidos en fuentes nacionales (Cuadro 2), puede inferirse que los datos de consumo de alimentos reportados por el INEGI (1995) para trigo, maíz y arroz, no tienen similitud

con la Encuesta Nacional de Alimentación de 1996, dado que difieren en 3.46, 2.17 y 0.49 veces, respecto al promedio nacional para cada alimento señalado. A pesar de este hecho, aparentemente los valores tienen un menor efecto sobre la cantidad permisible de acumulación de metales. Los datos de RP son menores cuando se utilizan valores de DC a partir de las cifras publicadas por el INEGI (1995) que cuando se usan los de la Encuesta Nacional de Alimentación 1996. Esa diferencia es atribuible a que el INEGI (1995) reportó un valor dos veces más alto de consumo de maíz, que en la Encuesta Nacional de Alimentación 1996. A excepción de las discrepancias señaladas, las variaciones en el valor numérico de DC entre la dieta de canadienses, norteamericanos y mexicanos tienen un efecto mínimo sobre la magnitud de RP.

Con el valor de RP para plomo, se encontró una situación similar a la del cadmio, tanto para el grupo de UC, reportado por Kabata y Pendias (1984), como con los datos de UC calculados con el análisis de muestras que provienen de la región.

Cuando el RP se calculó con datos de transferencia de Cd, Ni y Pb desde el suelo hacia las especies vegetales (UC) generados con información de la región en estudio, se observa que la magnitud de

Cuadro 5. Tasa permisible acumulable de metales en suelos con datos de UC obtenidos en Kabata y Pendias (1984) y evaluados con muestras de la región.

Consumo de alimentos	Tasa permisible acumulable (RP)					
	Cadmio		Níquel		Plomo	
	Kabata	Región	Kabata	Región	Kabata	Región
	kg ha ⁻¹					
Estados Unidos	25.1	7.5	1576	700	13.7	21.3
Canadá	39.6	14.6	1250	1324	14.2	41.0
INEGI (1995)	32.9	4.0	480	144	17.0	3.7
Hidalgo [†]	64.5	8.3	974	312	35.0	8.1
Promedio Nacional	66.5	8.3	1002	307	37.0	8.0

[†] Consumo de maíz, trigo, frijol y verduras, en el estado de Hidalgo (Ávila *et al.*, 1997).

RP es baja, ello implica que se permitiría menor acumulación de metales en el suelo. Esto es más evidente cuando se hace uso de información nacional relacionada con el consumo de alimentos (Cuadro 5).

El grupo de valores de RP, calculados con la información de Kabata y Pendias (1984), proviene de una situación en la cual no existe aplicación y acumulación de metales tóxicos. Esto incide en un decremento de la magnitud del factor de transferencia UC, dado que esta variable indica directamente el grado de exposición de humanos a los metales, debido a que ésta estima la presencia de metales en tejido vegetal, y la ingestión del producto agrícola es una ruta de exposición a los metales. La UC tiene una relación inversa con RP, a medida que crece la magnitud de UC, disminuye la cantidad de metal que se permite acumular en el suelo. En el Cuadro 5, se observa que el valor de RP fue menor para cada metal estudiado, cuando se calculó con información

obtenida en la región de estudio que cuando se utilizó la reportada por Kabata y Pendias (1984). Esto refuerza el hecho de que en sitios más afectados por la presencia de metales, se limita más la posibilidad de acumulación de metales.

Un aspecto importante a destacar es que los valores de UC para cadmio, níquel y plomo, utilizados en este análisis, son comparables con los que se obtienen con la información reportada por diversos autores nacionales (Cuadro 6). Estos datos se obtuvieron con muestras de especies vegetales desarrolladas en suelos con antecedentes de contaminación.

Otra variable del modelo que influye apreciablemente en el valor de RP fue la fracción de alimento consumido (FC) que proviene del sitio contaminado. Ryan y Chaney (1994) establecieron que esa variable tiene un valor de 0.0043 para trigo y cereales, dichos productos son de amplio consumo en

Cuadro 6. Cálculo del valor de UC para Cd, con datos de investigadores nacionales.

Especie	Cadmio		UC	Referencia
	Tejido	Suelo [†]		
	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹ /kg ha ⁻¹	
Alfalfa	0.40	2.7	0.074	Cajuste <i>et al.</i> (1991)
Avena	0.40	2.7	0.074	"
Avena	0.50	6.0	0.420	Carrillo <i>et al.</i> (1992)
Avena testigo	0.02	6.0	0.002	"
Alfalfa	1.80	6.0	0.150	"
Maíz grano	1.44	1.6	0.464	Siebe (1994)
Maíz testigo	0.01	1.6	0.003	"
Alfalfa	0.05	1.6	0.016	"
Maíz	2.00	3.0	0.330	Carrillo y Cajuste (1995)
Alfalfa	1.00	3.0	0.166	"
Alfalfa	0.02	1.6	0.007	Siebe (1995)
Maíz hoja	0.55	2.1	0.131	Presente estudio
Maíz grano	0.53	2.1	0.121	"
Trigo hoja	0.34	2.1	0.081	"
Trigo grano	0.87	2.1	0.207	"

[†] Extracción con HNO₃ y se utilizó el valor máximo de Cd que reporta cada autor.

Estados Unidos, Canadá, Portugal y España (OECD 1985), cuyo consumo anual por persona es de 52.48 a 206.2 kg, en el caso del trigo. En contraste, para el maíz este valor es de 0.59, pero el intervalo de consumo directo de este producto en aquellos países es de 1 a 34.9 kg persona⁻¹ año⁻¹. Es decir, el valor máximo de consumo de maíz en aquellos países, en particular Portugal, es 2.5 veces inferior respecto al consumo de este producto en el estado de Hidalgo, México. Esto, sin duda, influye fuertemente en un valor más limitativo de RP cuando se emplean los datos de alimentación en la dieta mexicana.

La consideración de los componentes de la dieta es importante, ya que éstos pueden ser claves en la definición de grupos humanos con mayor riesgo, pues si se toma en consideración un promedio de ingestión de alimentos contaminados puede subestimarse el riesgo en personas que viven en Hidalgo, cuyo consumo alimenticio proviene de los productos locales, como ocurre con las personas de menor ingreso económico.

El efecto del FC, combinado con el tipo de dieta, fue importante cuando se calculó el RP del níquel, puesto que se registraron variaciones en el límite permisible de acumulación de níquel de 144 a 1324 kg ha⁻¹ (Cuadro 5).

Los valores de RP obtenidos en el presente estudio pueden compararse con valores permisibles o aceptables de acumulación de metales en el suelo; por ejemplo, Smith (1996) incluyó varias normas originadas en países de la Comunidad Europea.

En el Cuadro 7, se observa que, para el caso del cadmio, el valor de RP establecido en Inglaterra es de 6 kg ha⁻¹, semejante a los valores de RP obtenidos en el presente estudio, en particular a los generados con datos de la Encuesta Nacional de Alimentación y de UC, obtenido en la región en estudio (8.3 kg ha⁻¹).

De igual forma, si se compara el valor de RP de Cd, incluido en la Norma de la Comunidad Europea (2 a 6 kg ha⁻¹), se observa que la cantidad máxima acumulable de cadmio generada con información de

la región, es mayor que el valor de la norma europea que regula la acumulación de cadmio en suelos. Además, ambos valores de RP son muy restrictivos y permiten una baja acumulación de cadmio en el suelo.

En el caso del níquel, al comparar su valor, incluido en la Norma de la Comunidad Europea (60 a 150 kg ha⁻¹), con el RP obtenido experimentalmente (307 kg ha⁻¹), éste es 2.04 veces superior, respecto al máximo (150 kg ha⁻¹) de la norma europea. El valor de RP para Ni que se obtuvo en el presente estudio implica una alta restricción para permitir que se acumule este elemento en el suelo. Esta restricción se asocia con la magnitud de la variable RfD (0.006 mg kg⁻¹ d⁻¹), que conlleva a generar valores bajos de RP.

Para el plomo, los datos de RP obtenidos con información del estado de Hidalgo difieren con los de la norma europea, la cual tiene un intervalo de límite permisible acumulable de 100 a 600 kg ha⁻¹. En el presente estudio, el valor de RP fue de 8.1 kg ha⁻¹. Este valor difiere en 12.3 veces, en comparación con el límite inferior de la Norma de la Comunidad Europea.

Al comparar los resultados de RP para Cd (Cuadro 5) con los de la Regla 503 (USEPA, 1993) incluidos en el Cuadro 7, puede apreciarse que existe una diferencia entre el resultado de RP obtenido en el presente estudio (8.3 kg ha⁻¹) con el de la Regla 503 (39 kg ha⁻¹). Ello refleja el efecto de los datos obtenidos en la región que, como se sabe, tiene antecedentes de acumulación de metales como el cadmio (Cajuste *et al.*, 1991; Siebe, 1994; Carrillo y Cajuste, 1995).

Si se hace la misma comparación para el Cd, pero ahora con datos de concentración de metales en suelos y cultivos reportados en Kabata y Pendias (1984), se observa que disminuye la discrepancia entre el valor de RP de la Regla 503 (39 kg ha⁻¹) y el obtenido en el presente estudio (64.5 kg ha⁻¹), lo que manifiesta que la variable de cantidad permisible acumulable de cadmio en suelos de la región se estimó en forma

Cuadro 7. Intervalo y valores límite de acumulación de elementos potencialmente tóxicos en suelos de diferentes países (Smith, 1996).

Elemento	CE [†]	Francia	Alemania	Holanda	España	Inglaterra	Aplicación acumulable [‡]
							kg ha ⁻¹
Cadmio	2-6	4	2-3	1.6	2-6	6	39
Níquel	60-150	100	100	70	60-224	100-200	420
Plomo	100-600	200	200	170	100-600	600	300

[†]CE = Comunidad Europea; [‡]USEPA (1993).

apropiada con la información de Kabata y Pendias (1984).

El Cuadro 5 muestra el valor de RP para el níquel generado con datos de consumo de alimentos en el estado de Hidalgo, con un valor de 312 kg ha⁻¹, el cual es 1.34 veces menor que el incluido en la regulación de Estados Unidos. En este caso, es posible que se haya considerado la situación de que este metal satisface los criterios de esencialidad para las plantas (Wild, 1993). Aspecto que permite que sea más amplio el valor permisible de acumulación de Ni reportado en la Regla 503. Sin embargo, las necesidades de Ni por las plantas son bajas y cuando la cantidad de Ni se incrementa, tiene efectos tóxicos en las plantas.

El RP para el Pb fue de 8.1 kg ha⁻¹, el cual, comparado con el de la Regla 503 (300 kg ha⁻¹), resultó 37.03 veces inferior, lo que permite inferir que el modelo de Ryan y Chaney (1994), tal como se usó, no permitió obtener el valor permisible de acumulación de Pb en suelos de la región, incluso, la diferencia persistió al cambiar el tipo de dieta (DC) y cuando se usaron los datos obtenidos en el análisis de muestras de suelos y especies vegetales.

CONCLUSIONES

- Los límites máximos permisibles de acumulación en suelos de Cd, Ni y Pb, que se obtuvieron con datos de la tasa de asimilación (UC) generados con datos de la región en estudio y de consumo de alimentos a partir de la Encuesta Nacional de Alimentación, fueron 8.3, 312 y 8.1 kg ha⁻¹, respectivamente.
- El límite máximo permisible de concentración de cadmio, obtenido por medio del modelo de Ryan y Chaney (1994) para suelos de la región del valle del Mezquital, estado de Hidalgo, es comparable con el valor establecido por la Comunidad Europea
- Existe similitud entre el valor de RP para cadmio generado en el estudio cuando se calcula con la información de Kabata y Pendias (1984) con la cantidad permisible acumulable del metal que se reporta en la Regla 503 de los Estados Unidos.
- El valor de RP para Ni, comparado con el de la Regla 503 de los Estados Unidos, es similar al encontrado en el presente estudio.
- El valor de RP para Pb fue de 8.1 kg ha⁻¹; inferior al mencionado en la Regla 503, el cual es 300 kg ha⁻¹.
- El procedimiento propuesto por Ryan y Chaney (1994), para establecer la tasa máxima de acumulación de metales tóxicos en el suelo, es

un método que se ajusta a otras fuentes de contaminación con metales, como es el caso del agua residual para riego agrícola, en particular para la región del valle del Mezquital, Hidalgo.

LITERATURA CITADA

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 1999. Public health statement for cadmium. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/phs5.html> (junio 9, 2005)
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2003. ToxFAQs for nickel. <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts15.html#bookmark02> (junio 9, 2005)
- Ávila, C.A., T.L. Shamah y A.V. Chávez. 1997. Encuesta nacional de alimentación y nutrición en el medio rural 1996. Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. México, D.F.
- Beckett, P.H.T. y R.D. Davis. 1977. Upper critical levels of toxic elements in plants. *New Phytol.* 79: 95-106.
- Bradford, G.R., A.L. Page, J.L. Lund y W. Olmstead. 1975. Trace element concentrations of sewage treatment plant effluents and sludges: their interaction with soils and uptake by plants. *J. Environ. Qual.* 4: 123-127.
- Cajuste, L.J., R. Carrillo-González, E. Cota-González y R.J. Laird. 1991. The distribution of metals from wastewater in the Mexican valley of Mezquital. *Water, Air, Soil Pollut.* 57-58: 763-771.
- Carrillo-González, R. y L.J. Cajuste. 1995. Behavior of trace metals in soils of Hidalgo, Mexico. *J. Environ. Sci. Health A30*: 143-155.
- Carrillo-González, R., L.J. Cajuste y L. Hernández-H. 1992. Acumulación de metales pesados en un suelo regado con aguas residuales. *Terra* 10: 166-173.
- Chang, A.C., T.C. Granato y A.L. Page. 1992. A methodology for establishing phytotoxicity criteria for chromium, copper, nickel, and zinc in agricultural land application of municipal sewage sludges. *J. Environ. Qual.* 21: 521-536.
- FDA (US Food and Drugs Administration). 1997. Lead threat lessens, but mugs pose problem. <http://vm.cfsan.fda.gov/~dms/lead.html> (junio 9, 2005)
- Hughes, K., M.E. Meek, P.K.L. Chang, J. Shedden, S. Bartlett y L.J. Seed. 1994. Nickel and its compounds: evaluation of risks to health from environmental exposure in Canada. Part C: environmental carcinogenesis and ecotoxicology reviews. *J. Environ. Sci. Health.* 12(2): 417-433.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1995. El sector alimentario en México. Aguascalientes, México.
- Kabata, P.A. y H. Pendias. 1984. Trace elements in soils and plants. CRC Press. Boca Raton, FL.
- MacNicol, R.D. y P.H.T. Beckett. 1985. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant Soil* 85: 107-129.
- MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food). 1986. The analysis of agricultural materials. Third edition. Her Majesty's Stationery Office. London, UK.
- MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food). 1994. A survey of cadmium, arsenic, mercury, and lead

- concentrations in individuals foods. Food Information Sheet 33. Department of Health. London, UK.
- MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food). 1997. A survey of lead and cadmium in foods. Food Information Sheet 113. Department of Health. London, UK.
- Meek, M.E., R. Newhook, R.G. Liteplo y V.C. Armstrong. 1994. Approach to assessment of risk to human health for priority substances under the Canadian Environmental Protection Act. Part C: environmental carcinogenesis and ecotoxicology reviews. *J. Environ. Sci. Health C12(2)*: 105-134.
- Newhook, R., G. Long, M.E. Meek, R.G. Liteplo, P. Chan, J. Argo y W. Dormer. 1994. Cadmium and its compounds: evaluation of risks to health from environmental exposure. Part C: environmental carcinogenesis and ecotoxicology reviews. *J. Environ. Sci. Health C12(2)*: 195-217.
- OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development). 1985. Food consumption statistics 1973-1982. Paris, France.
- Ryan, A.J. y R.L. Chaney. 1994. Development of limits for land application of municipal sewage sludge: risk assessment. pp. 534-553. Volume 3a. Commission II. XV Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Acapulco, México.
- Sauerbeck, D. 1987. Effects of agricultural practices on the physical, chemical and biological properties of soils. Part II. Use of sewage sludge and agricultural wastes. pp. 181-210. *In*: Barth, H. y P. L'Hermite. Scientific basis for soil protection in the European Community. Elsevier. London, UK.
- Siebe, Ch. 1994. Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el Distrito de Riego 03, Tula, Hidalgo, México. *Rev. Int. Contaminación Ambiental* 10: 15-21.
- Siebe, Ch. 1995. Heavy metal availability to plants in soils irrigated with wastewater from Mexico City. *J. Water Sci. Tech.* 32(12): 29-34.
- Smith, S.R. 1996. Agricultural recycling of sewage sludge and the environment. CAB-International. Wallingford, UK.
- SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos). 1976. Estudio agrológico complementario del Distrito de Riego 03 de Tula, Hgo. Serie Estudios, Publicación 10. México, D.F.
- USEPA (United States Environment Protection Agency). 1993. Part 503 Standards for the use or disposal of sewage sludge. *Federal Register* 58: 9387-9404.
- Wild, A. 1993. Soils and the environment: an introduction. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

FOSFATASA ÁCIDA, NITRATO REDUCTASA, GLUTAMINA SINTETASA Y EFICIENCIA DE USO DE FÓSFORO Y NITRÓGENO EN CEREALES

Acid Phosphatase, Nitrate Reductase, Glutamine Synthetase, and Phosphorus and Nitrogen Use Efficiency in Cereals

G. Cruz-Flores¹, R.D. Flores², G. Alcántar-González³ y A. Trinidad-Santos³

RESUMEN

Con el objetivo de conocer la influencia de la actividad de enzimas en raíz de cereales con la eficiencia de uso de N y P se determinaron a 30 y 45 días posteriores a la germinación, en trigo (*Triticum aestivum* L), triticale (*X Triticosecale* Wittmack) y maíz (*Zea mays* L.) las actividades fosfatasa ácida (FA), nitrato reductasa (NR) y glutamina sintetasa (GS) evaluadas en plantas cultivadas en hidroponía en cuatro tratamientos de suministro de N y P en condiciones de invernadero. Se utilizaron dos genotipos de cada especie, uno más (+E) y otro menos eficiente (-E) en uso de N y P. La NR disminuyó a 45 días en referencia a la observada a 30 días. El suministro de N indujo incrementos cercanos a 50% en la NR en trigo y maíz, mientras que las adiciones de P redujeron ligeramente la NR a 30 días, pero a 45 días, el suministro de P la aumentó. La mayor actividad NR se presentó en los genotipos con alta eficiencia nutrimental en las tres especies: fue mayor en genotipos +E respecto a los -E. La actividad GS de genotipos -E fue menor que la presentada por los de alta eficiencia nutrimental (+E). Aunque la GS interviene en la asimilación de amonio, se encontró que para trigo y triticale el suministro de P, y no el de N, presentó mayor influencia sobre el aumento de la actividad GS, a diferencia del maíz, especie en la que el suministro de N sí indujo mayor actividad GS. Con el suministro de P se observaron reducciones superiores a 100% en actividad FA, en genotipos +E, mientras que en los -E, no se modificó significativamente, pues, en ellos, no se presentaron

variaciones de FA ante carencia de nitrógeno independientemente del suministro fósforo. Se concluyó que, determinar la actividad de estas enzimas puede ser buen indicador de eficiencia nutrimental para seleccionar genotipos.

Palabras clave: actividad enzimática, eficiencia nutrimental, genotipos más eficientes (+E) y menos eficientes (-E).

SUMMARY

In order to find the relationship of the activity of root enzymes present in cereals with the efficiency of the use of N and P, at 30 and 45 days after germination, acid phosphatase (AP), nitrate reductase (NR), and glutamine synthetase (GS) activities were determined in wheat (*Triticum aestivum* L), triticale (*X Triticosecale* Wittmack), and corn (*Zea mays* L.) in plants cultivated in hydroponics with four treatments of N and P supply under greenhouse conditions. Two genotypes of each species were used, one more efficient (+E) and the other less efficient in N and P uptake. NR diminished after 45 days in reference to the observed at 30 days. Nitrogen supply induced an increment of about 50% in NR in wheat and corn, whereas the addition of P slightly reduced the NR at 30 days but at 45 days the addition of P increased it. Greater NR activity was observed in the genotypes with high nutrimental efficiency in the three species: it was greater in +E than in -E genotypes. GS activity of the -E genotypes was less than that showed by those of high nutrimental efficiency (+E). Although GS takes part in ammonium assimilation, it was found that for wheat and triticale, P supply, and not that of N, showed greater influence on the increase of GS activity, unlike corn in which N supply did induce greater GS activity. With the addition of P, reductions superior to 100% in AP activity were induced in +E genotypes while in -E, it was not modified significantly, since in them AP variations did not appear under nitrogen deficiency independently of phosphorus supply. The determination of the activity

¹ Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal, FES Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Batalla 5 de mayo No. 66, Col. Ejército de Oriente, 09230 México, D.F.

² Autor responsable (edaynuve@correo.unam.mx)

³ Departamento de Suelos, Instituto de Geología, UNAM.

³ Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México.

of these enzymes may be a good indicator of nutrimental efficiency to select genotypes.

Index words: enzymatic activity, nutrient efficiency, more efficient (+E) and less efficient (-E) genotypes.

INTRODUCCIÓN

Con la intención de reducir la aplicación de fertilizantes inorgánicos en la producción agrícola, se han realizado investigaciones y estudios relacionados con el incremento en eficiencia mineral (EM), la cual se define como la capacidad para producir mayor cantidad de biomasa seca por unidad de suministro de nutrimentos en plantas cultivadas. Lo anterior se ha realizado mediante la exploración de gran cantidad de genotipos, en los cuales se compara la producción de biomasa después de un suministro nutrimental mínimo (Baligar *et al.*, 1990). La investigación relacionada con los mecanismos fisiológicos, bioquímicos y morfológicos de genotipos adaptados a baja disponibilidad de nutrimentos en el suelo, permite conocer e incrementar la EM. Acciones posteriores de selección y crianza de genotipos pueden incrementar esta capacidad (Marschner, 1995).

Para cereales como trigo y triticale desarrollados en suelos ácidos, el incremento en actividad de la enzima fosfatasa ácida (EC 3.1.3.2) de la raíz se ha asociado con una mayor eficiencia en absorción y uso de P (EUP). Se ha reportado que la diferencia de actividad FA está influenciada por la madurez fisiológica de la planta, ya que ésta disminuye con la edad y también es menor con el aumento en suministro, tanto de P orgánico, como inorgánico. Por ello, cuando las plantas se someten a deficiencia de P, la actividad FA radical, como mecanismo de respuesta al estrés nutrimental, es más alta si las plantas crecen en suelos con alto contenido de materia orgánica (Portilla-Cruz *et al.*, 1998).

Se sabe que la habilidad de las raíces para aumentar la actividad de la FA difiere entre especies de plantas e inclusive entre individuos dentro especie y en el volumen del suelo, la actividad de las fosfatasas es más alta en el rizoplasma por influencia de la actividad radical y de una microbiota más activa en la rizósfera (Marschner, 1995).

Baligar *et al.* (1990) reportaron que, respecto a la actividad de enzimas involucradas en el metabolismo de asimilación de nitrógeno, la actividad de la nitrato reductasa (NR) se relaciona con la eficiencia de

utilización de nitrógeno (EUN), también influyen en ésta, la absorción de NO_3^- ó NH_4^+ y la habilidad de la planta para movilizar y translocar al N a los sitios de demanda. La actividad de la NR (EC 1.6.6.1-3), como la primera enzima que interviene en asimilar al N- NO_3^- , es fundamental para la vida de las plantas. Aslam *et al.* (1997) y Sagi *et al.* (1998) encontraron que, en cereales, la actividad de la enzima NR es indicador indirecto de la utilización de N debido a que también reconocieron que la correlación positiva entre la actividad de la NR y la EUN sólo se presenta con adecuados valores de NO_3^- disponibles (Sivasankar *et al.*, 1997). En raíces de plantas de maíz, la síntesis de la NR responde a la presencia de NO_3^- por ser una enzima autoinducible (Oaks, 1994). En la mayoría de plantas herbáceas de zonas templadas, la reducción del N- NO_3^- ocurre tanto en raíz, como en la parte aérea; sin embargo, en suelos ácidos en los que en general hay bajas concentraciones de NO_3^- , la reducción del NO_3^- se realiza preferentemente en la raíz (Agrell *et al.*, 1997). La reducción ocurre en el citosol y el HNO_2 resultante se transporta al interior de los cloroplastos, donde es reducido a NH_3 por la nitrito reductasa. Cuando hay suministro de N- NH_4^+ , y con la participación de α -oxoglutarato, el N es asimilado directamente en los cloroplastos para formar glutamato mediante la actividad de la enzima glutamina sintetasa (GS) que se ha localizado tanto en raíces y nódulos, como en tallos, hojas y frutos. La actividad de la GS (EC 6.3.1.2) realiza la asimilación de NH_4^+ con uso de ATP como cosustrato y participa con otra enzima, la glutamato sintasa (GOGAT) en la regulación del ciclo glutamina-glutamato, precursor de todos los compuestos nitrogenados en las plantas (Zhang *et al.*, 1998).

La actividad GS está involucrada directamente con la biosíntesis de ureidos y asparagina y otras reacciones del metabolismo normal de la célula y puede tener estrecha relación con la síntesis de la misma NR por lo que las diferencias en actividad de (GS) pueden relacionarse directa o indirectamente con la eficiencia en asimilación de NO_3^- por las raíces (Oaks y Hirel, 1985).

El objetivo de este trabajo fue evaluar las actividades NR, GS y FA de la raíz y determinar si tienen relación con la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) y fósforo (EUF) en genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.), triticale (*X Triticosecale* Wittmack) y maíz (*Zea mays* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

Con base en la evaluación de eficiencia de uso de N y P realizada en genotipos de trigo, triticale y maíz en el trabajo reportado por Cruz-Flores *et al.* (2002), se seleccionaron para la presente investigación al trigo San Cayetano, triticale Lamb-2 y maíz V-23 como genotipos más eficientes (+E) y al trigo Berros, triticale Secano y maíz Negro como menos eficientes (-E) en uso de N y P. Las semillas se sembraron en almácigos con agrolita y riego con agua destilada cada tercer día. Una vez obtenidas las plántulas de las especies estudiadas, se trasplantaron cuatro de ellas en macetas sin sustrato abastecidas permanentemente con aire filtrado proveniente de un compresor. En cada maceta con capacidad de 2.5 L se aplicó, durante siete días posteriores al trasplante, una solución nutritiva completa utilizada por Cruz-Flores *et al.* (2002). Después de los siete días de suministro nutrimental completo, se aplicaron los tratamientos indicados en el Cuadro 1. Tanto el N como el P se estudiaron a dos dosis en los seis genotipos (uno +E y otro -E de cada especie) con lo que resultó un factorial completo $2 \times 2 \times 6$. Se establecieron tres repeticiones del esquema básico de tratamientos que generaron 72 unidades experimentales distribuidas en un diseño de bloques completos al azar. La determinación de las actividades de las enzimas NR, GS y FA se realizó a 30 y 45 días posteriores a la germinación. En cada tiempo, se eligió al azar una planta de cada unidad experimental para obtener su raíz, la cual se enjuagó y se colocó en papel aluminio dentro de una mezcla frigorífica y refrigeración hasta el momento de la determinación de la actividad de las enzimas.

Para determinar la actividad NR, se usó el método descrito en Jaworski (1971), la actividad GS con el método descrito por O'Neal y Joy (1973) y la actividad FA con el método p-nitrofenil-fosfato

Cuadro 1. Tratamiento y concentración de N y de P en soluciones nutritivas[†].

Tratamiento	NH ₄ NO ₃	Ca(NO ₃) ₂	NaH ₂ PO ₄
	----- meq L ⁻¹ -----		
-NP (testigo)	0.0	0.0	0.0
P	0.0	0.0	1.2
N	4.0	10.0	0.0
+NP	4.0	10.0	1.2

[†] El complemento de todas las soluciones nutritivas para cada tratamiento se conformó con K₂SO₄, MgSO₄·7H₂O (5 y 3 meq L⁻¹, respectivamente), H₃BO₃, MnCl₂, ZnSO₄, CuSO₄ y H₂MoO₄ (2.86, 1.81, 0.22, 0.15 y 0.08 mg L⁻¹, respectivamente) y Fe-EDTA, (2.6 mg L⁻¹).

(Alcántar-González y Sandoval-Villa, 1999). Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y prueba de separación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad Nitrato Reductasa (NR)

Independientemente del suministro de N, P o de ambos nutrimentos, se encontró que, en la comparación entre tiempos de evaluación, al pasar de 30 a 45 días posteriores a la germinación, la actividad de la NR de las raíces de trigo y maíz se incrementó, mientras que en las raíces de triticale la actividad de esta enzima se mantuvo aproximadamente constante, lo que también ocurrió en todos los genotipos de las tres especies cuando no se suministró N ni P en el tratamiento -NP. Estos resultados indican que, en raíces de trigo, triticale y maíz, la actividad de la enzima NR aumenta con la edad sólo si hay un suministro de N y P (Figura 1). Moinuddin *et al.* (1996) reportaron que, en hojas de triticale, trigo y centeno, hubo disminución de la actividad NR en sucesivos estados de crecimiento (encañado, espigado y grano lechoso). Estos resultados en aparente contradicción respecto al aumento o a la disminución de la actividad de la enzima NR, en relación con el tiempo de desarrollo, pueden explicarse con base en el fundamento de que la actividad de la NR foliar depende de un coenzima como la NADH (nicotinamida adenina di nucleótido reducida) y, por su parte, la actividad NR de las raíces es dependiente del NADPH (nicotinamida adenina di nucleótido fosfato reducida), además de que los valores de velocidad media de reacción enzimática o K_m de las enzimas NR de células presentes en tejidos foliares es diferente al que presentan las células de raíz (Oaks e Hirel, 1985), así que las diferencias, tanto en valor de K_m , como en las coenzimas que son utilizadas, entre las NR foliares y las NR radicales, propician entre ellas un comportamiento diferente, respecto al aumento de edad.

Al comparar el efecto de suministro, tanto de N, como de P, sobre la actividad de la enzima NR, se encontró que la adición de fósforo (1.2 meq L⁻¹ de H₂PO₄) no propició alguna variación importante en actividad de la NR y, en cambio, se apreció una reducción no significativa ($P \leq 0.05$) en la actividad de la NR al pasar de 30 a 45 días posteriores a

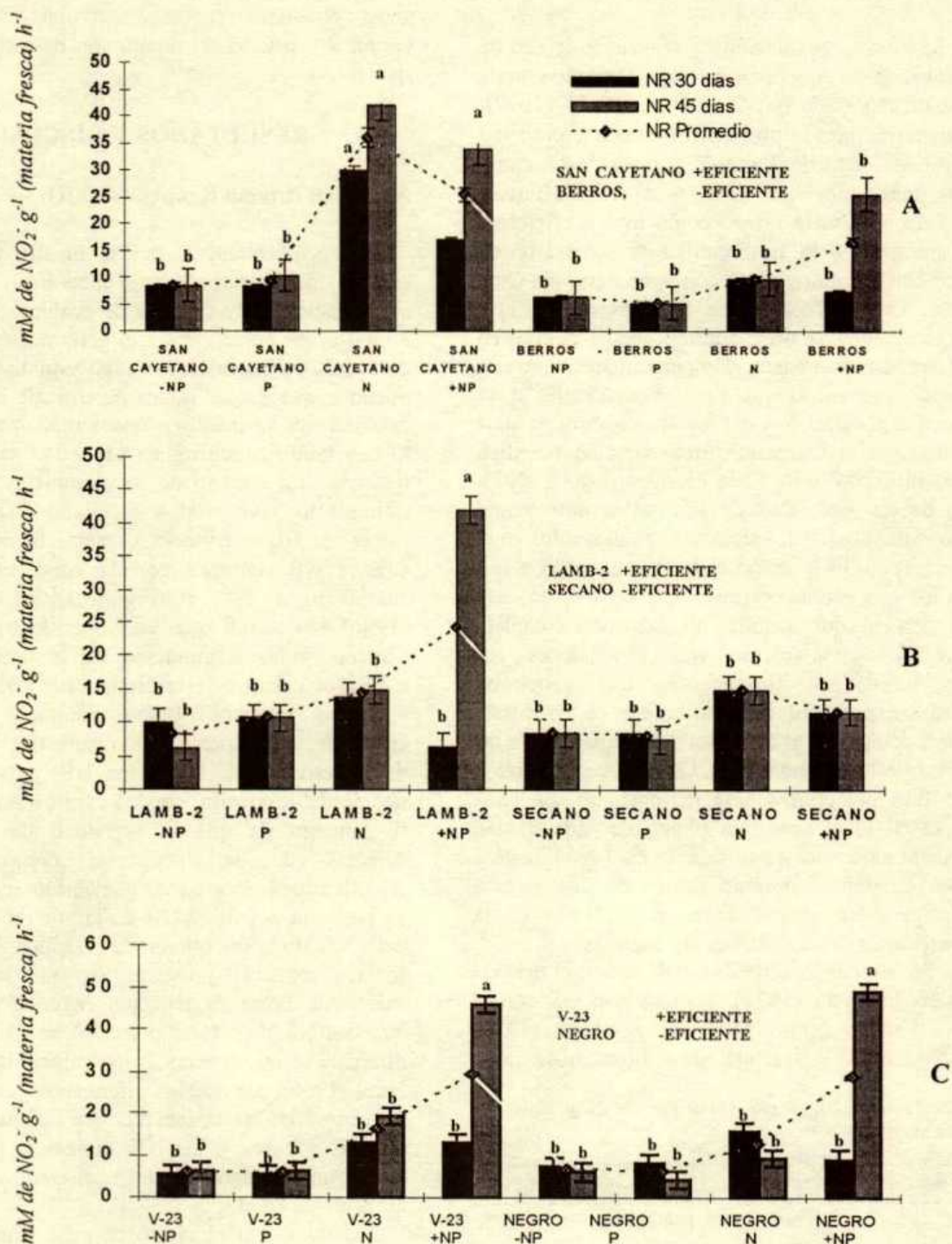


Figura 1. Actividad nitrato reductasa (NR) de raíz, de trigo (A), triticale (B) y maíz (C) más y menos eficiente (+E y -E respectivamente).

En cada edad, cada dato representa un promedio de tres repeticiones. El intervalo marcado sobre la línea de los promedios representa el error estándar. $[F(3,48)=549.47 (P \leq 0.05)]$.

la germinación. Respecto al suministro de N, los resultados muestran que el suministro de N (10 y 4 meq L⁻¹ de NO₃⁻ y NH₄⁺) incrementó la actividad de la enzima NR en las tres especies estudiadas (Figura 1). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Oaks y Long (1992) quienes encontraron que un suministro de NO₃⁻, en raíces de plantas de maíz, influye sobre la síntesis y actividad de la enzima NR y que si los nitratos eran removidos del medio nutritivo, la actividad de la NR se inhibía. Caba *et al.* (1994) también reportaron resultados semejantes en una investigación con *Vicia faba* y encontraron que el principal factor para la expresión de la actividad de la NR radical fue el suministro de NO₃⁻.

En aquellos tratamientos a los que suministraron ambos nutrientes (10 y 4 meq L⁻¹ de NO₃⁻ y NH₄⁺, respectivamente, más 1.2 meq L⁻¹ de H₂PO₄⁻) se encontraron, respecto a sus tratamientos testigo, pequeñas variaciones en la actividad de la enzima NR en la evaluación de los 30 días posteriores a la germinación; sin embargo, al tiempo de 45 días, la actividad NR presentó diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), con aumento de actividad de la enzima entre cuatro y ocho veces mayor respecto al valor inicial en el tratamiento testigo. Resultados semejantes a éstos, se observaron en *Ricinus communis* (Jeschke *et al.*, 1997) en los cuales se encontró que la deficiencia de P originó inhibición en la reducción de iones NO₃⁻ en la raíz, aunque no se observó ninguna disminución en la reducción de

nitratos en la parte aérea. En ese sentido, también Moinuddin *et al.* (1996) encontraron que el P en dosis adecuadas aumentó la actividad NR. Mistrik y Ullrich (1996) reportaron que en estados juveniles de las plantas, durante el proceso de absorción, se manifiesta una competencia iónica inicial entre NO₃⁻ y H₂PO₄⁻ lo que puede ser la causa que influyó en la reducción de la actividad NR observada a 30 días, pero a 45 días, una vez que se ha absorbido el N necesario, la presencia de P aumentó la actividad de la NR de manera importante. La suficiencia de P, debida al suministro en los tratamientos con N y P, permite suponer alta presencia de NADPH, con un efecto benéfico del suministro de fósforo para el incremento en la NR.

La comparación de la actividad de la enzima NR de la raíz entre especies y entre genotipos permitió relacionar la actividad de esta enzima con la diferente eficiencia nutrimental. Así se encontró, respecto al tratamiento testigo (-NP, 0.0 meq L⁻¹) a 30 días después de la germinación, que en trigo y triticale la actividad de la NR es mayor en los genotipos +E (San Cayetano y Lamb-2, respectivamente) en comparación con los genotipos -E (Berros y Secano, respectivamente) con aumento de 25% en la actividad de la NR de la raíz del genotipo de trigo más eficiente e incremento de hasta 350% para el triticale más eficiente (Figura 2). En el caso del maíz ya que se encontró que los valores de actividad de la NR son semejantes en los genotipos de maíz +E y -E, mientras que la mayor eficiencia nutrimental (+E)

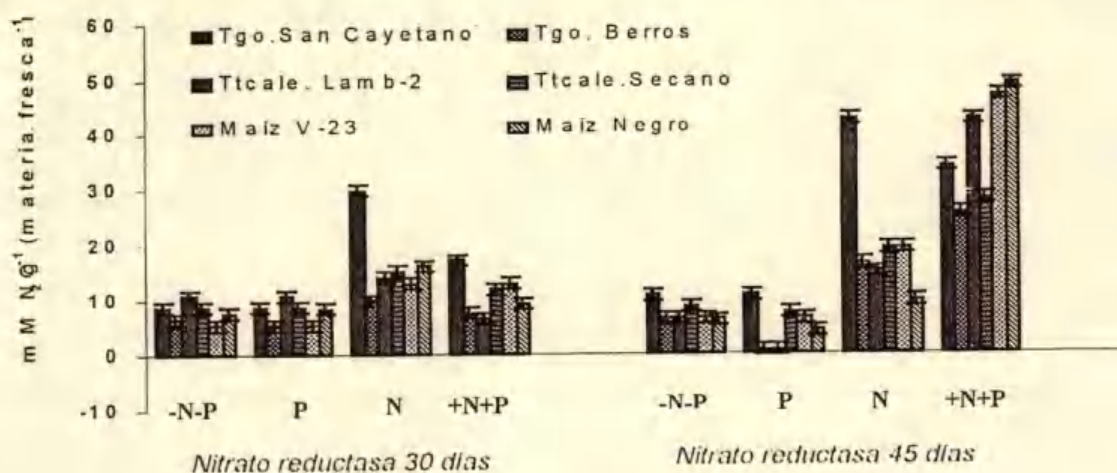


Figura 2. Actividad nitrato reductasa como respuesta al suministro de N y P en genotipos trigo, triticale y maíz. [F = 549.47 (P = 0.0001)].

del trigo San Cayetano y triticale Lamb-2 (ambos con metabolismo C_3) si está asociada con una mayor actividad de la NR radical, puesto que en los genotipos menos eficientes -E (trigo Berros y triticale Secano), la actividad de esta enzima fue menor. En el caso del maíz (especie con metabolismo C_4), la actividad NR del maíz Negro clasificado como -E fue ligeramente mayor respecto al maíz V-23 clasificado como (+E) la mayor actividad de la enzima NR, no se relaciona con una mayor eficiencia nutrimental.

A pesar de lo descrito para el maíz y en consideración a la biomasa fresca de raíz producida en todos los tratamientos, tanto en genotipos más eficientes como menos eficientes de las tres especies, se generó una variable que incluye precisamente la biomasa total de raíz y la actividad de la enzima NR expresada como $mM NO_2^- g^{-1}$ (materia fresca de raíz) h^{-1} y así, con base en la cantidad de biomasa de raíz producida, se determinó una capacidad total de reducción de NO_3^- en las tres especies. Del análisis del efecto de especie, genotipo y suministro de N y P sobre la capacidad total de reducción de NO_3^- , estimada como un producto derivado de la actividad NR y de la biomasa fresca de raíz con lo que se encontró que la capacidad total de reducción de NO_3^- a 30 y 45 días después de la germinación, presentó diferencia significativa entre especie (maíz > triticale > trigo). En el análisis entre genotipos +E y -E, la NR fue más alta en los genotipos eficientes (+E), respecto a los menos eficientes (-E) con excepción del maíz y, finalmente, para el suministro de N y P, la capacidad total de reducción de NO_3^- , presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) (Figura 2).

Actividad Glutamina Sintetasa (GS)

En referencia a los tiempos de evaluación, se encontró que, para la mayoría de los tratamientos, la actividad de la enzima GS fue mayor a 45 días posteriores a la germinación en comparación con la encontrada a 30 días en trigo y triticale (plantas C_3), sin embargo, en el caso del maíz (plantas C_4), principalmente en el genotipo más eficiente, se encontró que la actividad de la enzima GS se redujo al tiempo de 45 días con respecto al de 30 días, es decir, un comportamiento inverso al descrito para el trigo y triticale (Figura 3). Tirado *et al.* (1990), en un estudio con soya (*Glycine max.*, planta C_4) encontraron que la mayor actividad GS se tuvo en hojas de plantas maduras y, por otro lado, Zhang *et al.* (1998) encontraron en *Oryza sativa* resultados semejantes a

los que presentó el maíz +E (V-23), es decir, una reducción de actividad GS al segundo tiempo de observación lo cual no se observó en trigo y triticale. En un estudio de Becker *et al.* (2000), en tejido foliar de maíz (*Zea mays*), se encontró que existen diferentes isoformas de la enzima GS en células fotosintéticas del mesófilo y diferencias entre la enzima GS de plantas C_3 con la GS encontrada en las plantas C_4 lo cual es una de las posibles causas de la diferencia en las tendencias de actividad de la enzima GS entre maíz, trigo y triticale, respecto a los tiempos de evaluación.

Aunque la GS es una enzima que interviene directamente en la asimilación de amonio, se encontró, respecto a los efectos de N y P sobre la actividad de esta enzima, que el suministro de P, en trigo y triticale, influye con mayor intensidad que la adición misma de N sobre incrementos en la actividad de esta enzima. La respuesta indicada se observó mejor en trigo respecto a triticale, especie en la cual la actividad GS fue muy homogénea en todos los tratamientos, lo que quizá pueda deberse a su mayor plasticidad genética por ser un híbrido intergenérico (entre centeno y trigo). En el maíz, por otro lado, fue el suministro de N el que estimuló una mayor actividad de la enzima GS radical. Estos resultados se pueden relacionar positivamente con lo reportado por Halsted y Lynch (1996) quienes encontraron que el crecimiento de especies C_3 fue más sensitivo al suministro de P que las especies C_4 aunque tengan similar eficiencia fotosintética y de uso de P. Zhang *et al.* (1998) encontraron que el efecto del N sobre la actividad GS de raíz responde más lentamente (hasta el tercer día) a la aplicación de N-urea que la GS foliar en arroz, en el cual hubo respuesta un día después del suministro de este elemento. La mayor respuesta de la actividad GS de raíz al suministro de P en trigo y triticale (especies C_3) puede atribuirse a que el ATP, para el cual el P es indispensable, participa como cosustrato de la GS radical y a que el efecto de N en la GS radical es más retardado que el que se ha presentado en la GS foliar. En las raíces de maíz, la actividad de la GS fue hasta 100% mayor en el genotipo +E (V-23) respecto al -E (Negro), pero a diferencia de lo observado en las plantas C_3 (trigo y triticale), la condición de suministro de N sí aumentó hasta más de $3.5 \mu M \gamma$ -glutamil hidroxamato g^{-1} (materia fresca) h^{-1} , su actividad GS en el maíz +E, lo cual representó más de 100% del valor encontrado en la condición de carencia de N. Con los resultados encontrados, puede plantearse la hipótesis de que

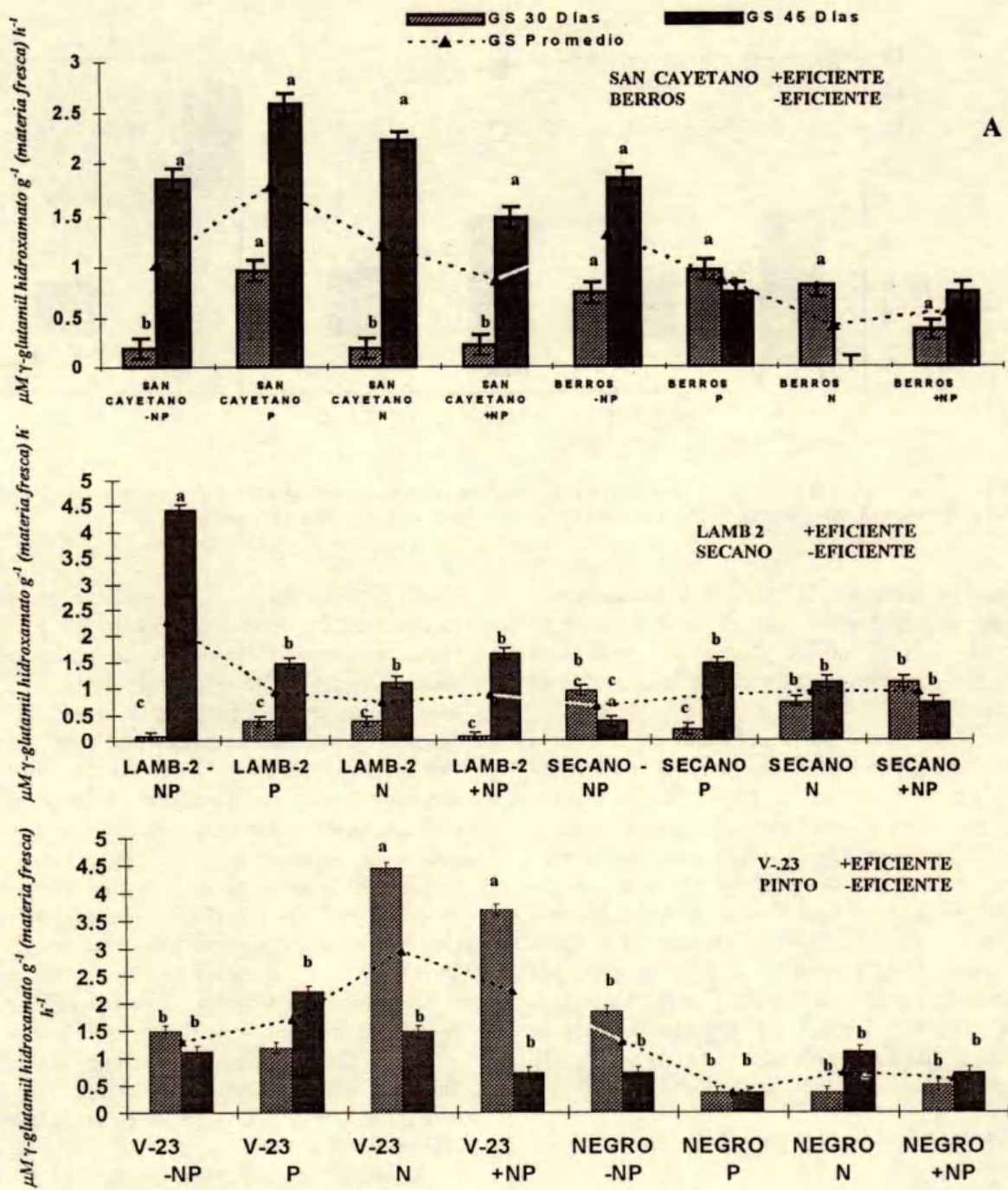


Figura 3. Actividad glutamina sintetasa (GS) de trigo (A), triticale (B) y maíz (C) menos y más eficientes (-E y +E, respectivamente). En cada edad, cada dato representa un promedio de tres repeticiones. El intervalo marcado sobre la barra representa el error estándar [F = 549.47 (P ≤ 0.05)].

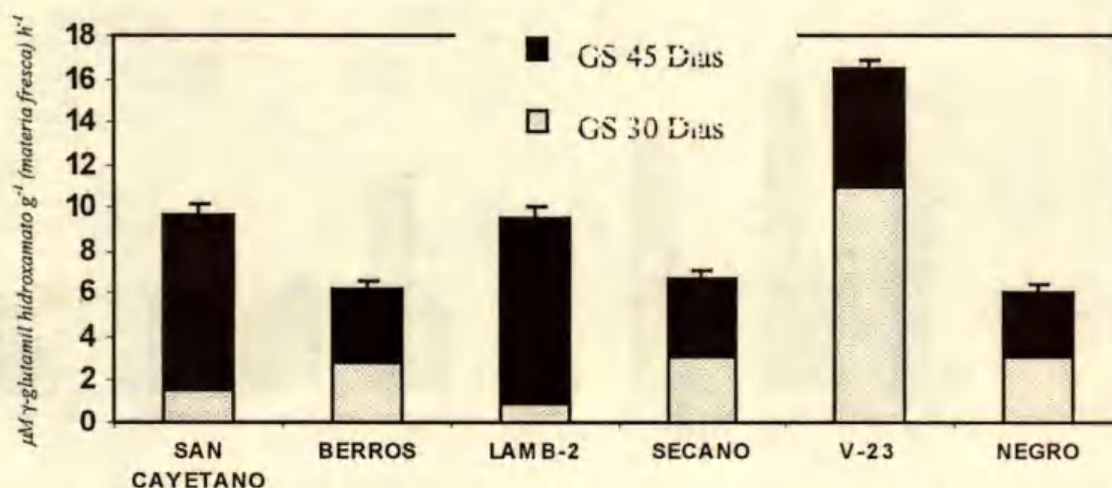


Figura 4. Actividad glutamina sintetasa GS total de genotipos de trigo (San Cayetano y Berros), triticale (Lamb-2 y Secano) y maíz (V-23 y Negro). El intervalo marcado sobre la barra representa el error estándar.

la actividad de la enzima GS radical de plantas C_3 es estimulada principalmente por el suministro de P respecto al de N y, en las plantas C_4 , es el N el elemento que contribuye más a elevar la actividad de la GS radical.

En la comparación de la actividad de la enzima GS radical relacionada con la eficiencia nutrimental mostrada por los genotipos de trigo, triticale y maíz, en las tres especies estudiadas se encontró que la actividad de la enzima GS si se asoció con una mayor eficiencia en uso de N y P puesto que, en los genotipos +E [trigo San Cayetano, triticale Lamb-2 (ambos C_3) y maíz V-23 (C_4)], la actividad de la enzima fue mayor y se observó que en los genotipos -E (trigo Berros, triticale Secano y maíz Negro), la actividad GS fue, en todos los tratamientos, más de 100% menor que los genotipos +E. (Figuras 3A, 3B, 3C y Figura 4).

Actividad Fosfatasa Ácida (FA)

Como la actividad de las enzimas NR y GS, la actividad de la enzima fosfatasa ácida (FA) se evaluó a 30 y 45 días posteriores a la germinación, se encontró que la actividad de la FA radical de trigo, triticale y maíz disminuyó al periodo de 45 días respecto al de 30 días, y se redujo entre 25 y 100% con pocas excepciones en las tres especies (Figura 5).

En la comparación de los efectos de adición de N y P y de las características de eficiencia nutrimental

sobre la actividad FA radical se encontró, ante carencia de N, que el suministro de P indujo una reducción de más de 100% en su actividad FA, principalmente en genotipos +E de las tres especies, mientras que en los genotipos -E en estas condiciones de suministro, la actividad FA no se modificó significativamente. Independientemente del suministro de P, en genotipos -E no se presentaron variaciones de la actividad FA ante carencia de N, lo que hace suponer que, en ellos, hubo una baja respuesta a la presencia de N y ello influyó en la baja producción de biomasa que presentaron respecto a los +E. En cambio, con presencia de N, pero sin adición de P, tanto en los genotipos +E, como en los -E, la actividad FA de las raíces fue 100% mayor que cuando hay suministro de P.

En el Cuadro 2, se muestra que la producción de biomasa en peso seco, tanto de raíz, como de parte aérea, fue más de 100% mayor en los genotipos +E en referencia a los -E.

La mayor eficiencia en uso de P de los genotipos +E (San Cayetano, Lamb-2 y V-23) puede explicarse con base en que, en éstos, la adición de P hace innecesaria la síntesis y actividad de la FA, con reducción del costo metabólico que constituye un ahorro energético, no realizado por los genotipos -E que sólo desarrollan el mecanismo de reducción de actividad FA si hay suministro de N.

Al cultivar en Andisoles en condiciones de invernadero trigo, triticale y maíz con dosis de

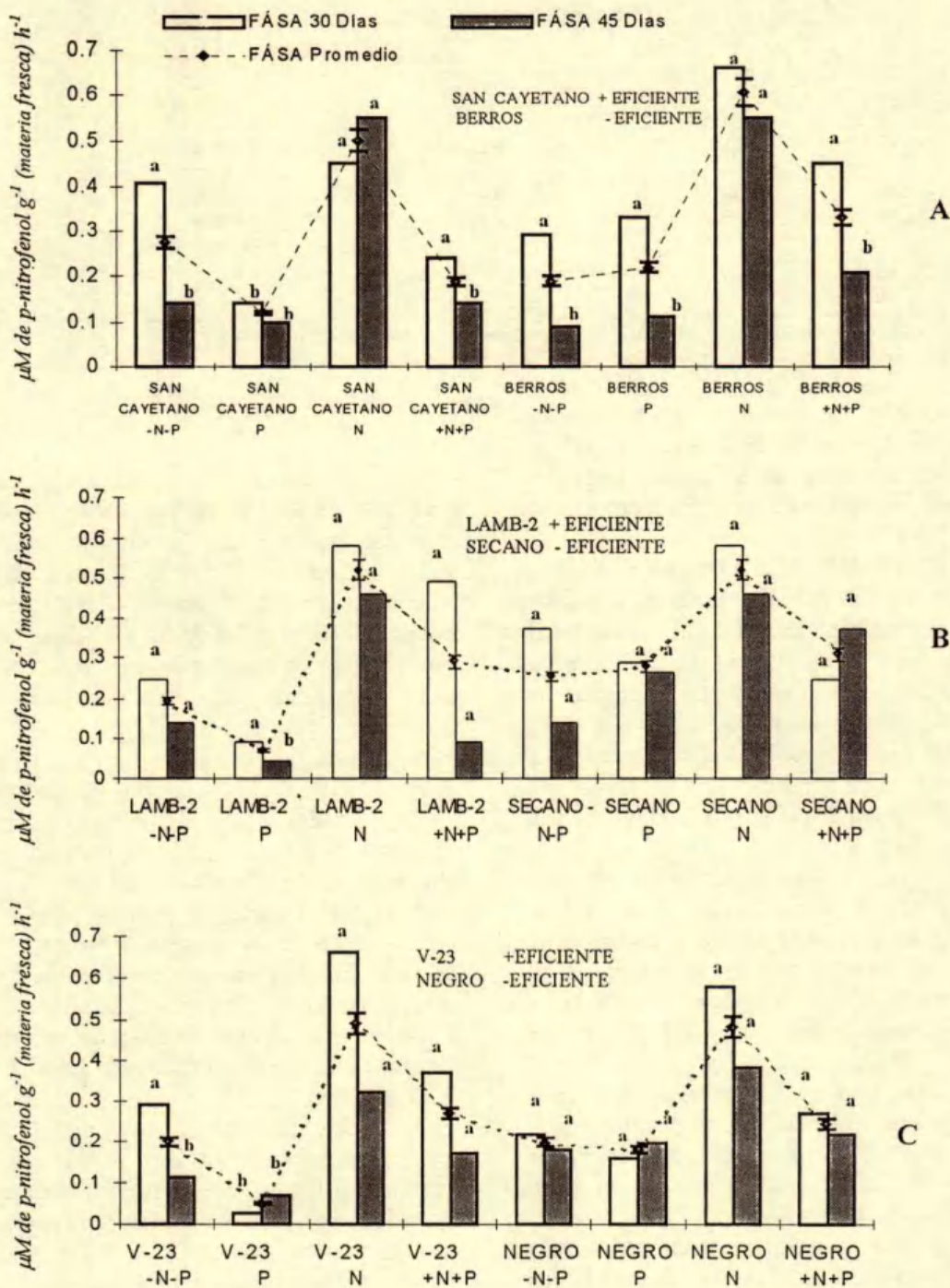


Figura 5. Actividad fosfatasa ácida (FA) de raíz de trigo (A), triticale (B) y maíz (C) más y menos eficientes (-E y +E, respectivamente). En cada edad, cada dato representa un promedio de tres repeticiones. El intervalo marcado sobre la línea de los promedios representa el error estándar [F = 549.47 (P ≤ 0.05)].

Cuadro 2. Distribución de biomasa e índice de eficiencia en genotipos de trigo, triticale y maíz menos y más eficientes en uso de fósforo y nitrógeno (-E y +E, respectivamente).

		Peso seco		Índice de eficiencia ¹	
		Parte aérea	Raíz	RUEP	RUEN
		----- mg planta ⁻¹ -----			
Trigo					
Berros	-E	140 b ¹	35.0 b	0.006 b	0.035 b
San. Cayetano	+E	570 a	82.0 a	0.036 a	0.166 a
Triticale					
Secano	-E	284 b	38.0 b	0.020 b	0.08 b
Lamb-2	+E	435 a	69.0 a	0.037 a	0.17 a
Maíz					
Negro	-E	420 b	175 b	0.026 ns	0.050 a
V-23	+E	855 a	350 a	0.021 ns	0.098 a

¹ RUEP = contenido de P en parte aérea (mg)/(raíz/parte aérea); RUEN = contenido de N en parte aérea (mg)/(raíz/parte aérea).

¹ Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$).

N-P (0-0, 0-200, 400-0 y 400-200 mg kg⁻¹), se ha encontrado que sin suministro de P (0-0 mg kg⁻¹ y 400-0 mg kg⁻¹), la actividad de la enzima fosfatasa radical es menor respecto a los tratamientos con suministro de P.

Besford (1979) señaló que las adiciones de fósforo inhiben la actividad FA y que, por lo tanto, la mayor actividad de esta enzima puede ser usada como señal bioquímica indicadora de deficiencia de P en plantas de tomate. Estudios posteriores con otras plantas de cultivo han ratificado esta aseveración. Portilla *et al.* (1998) encontraron que la actividad FA puede ser utilizada para seleccionar genotipos de triticale y trigo con capacidad de adaptación a suelos ácidos con alta capacidad de fijación de P.

En la Figura 6, se compara la actividad FA entre genotipos +E y -E de cada especie. Los valores presentados en el gráfico, producto de la actividad de la enzima FA y la biomasa de raíz, muestran que el trigo San Cayetano, triticale Lamb-2 y maíz V-23 (genotipos +E) tuvieron mayor actividad FA que el trigo Berros, triticale Secano y maíz Negro (genotipos -E). Con esto se tienen elementos para afirmar que la mayor eficiencia de uso de nitrógeno y fósforo (EUN y EUF, respectivamente) si puede relacionarse con la actividad de la enzima fosfatasa ácida y con la biomasa de la raíz.

El comportamiento descrito se manifestó en las tres especies en las cuales la actividad FA de los genotipos +E es casi el doble en trigo y maíz, mientras que, en el triticale, la actividad FA es apenas un tercio mayor en el genotipo +E respecto al genotipo -E. En resultados que concuerdan con los aquí obtenidos, se ha encontrado que para los trigos una mayor actividad FA si corresponde a una mayor eficiencia en uso de P.

CONCLUSIONES

- Los resultados de la investigación mostraron que la eficiencia de uso de N y P estuvo asociada con la actividad radical de la nitrato reductasa (NR), glutamina sintetasa (GS) y fosfatasa ácida (FA).
- En trigo y maíz, la actividad NR radical aumentó más de 100% al pasar de 30 a 45 días posteriores a la germinación, en tanto que, en las raíces de triticale, dicha actividad se mantuvo aproximadamente constante.
- Se encontró que la adición de nitratos incrementó la actividad NR; en los genotipos +E fue mayor que en los clasificados como -E dentro de especie, así la actividad de esta enzima influyó en un aumento de la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN).
- En trigo y triticale, el suministro de P tuvo mayor influencia que el N sobre el aumento en la actividad de la enzima GS radical, a diferencia del maíz en el cual el N fue el elemento que estimuló una mayor actividad GS. La actividad GS de raíz de las plantas C₃ estudiadas fue más estimulada por el P y en el maíz (C₄) por el N.
- En trigo y triticale, la actividad GS aumentó a 45 días en comparación con 30 días posteriores a la germinación, pero en el maíz eficiente (V-23), la actividad GS tuvo un comportamiento contrario al descrito para las plantas C₃.
- Los genotipos clasificados como más eficientes (+E) tuvieron mayor actividad GS que los menos eficientes (-E), por lo que esta enzima si contribuyó al aumento de la EUN.
- La actividad fosfatasa ácida radical, si tuvo repercusión sobre la eficiencia en el uso de fósforo; fue mayor en los tratamientos sin suministro de P

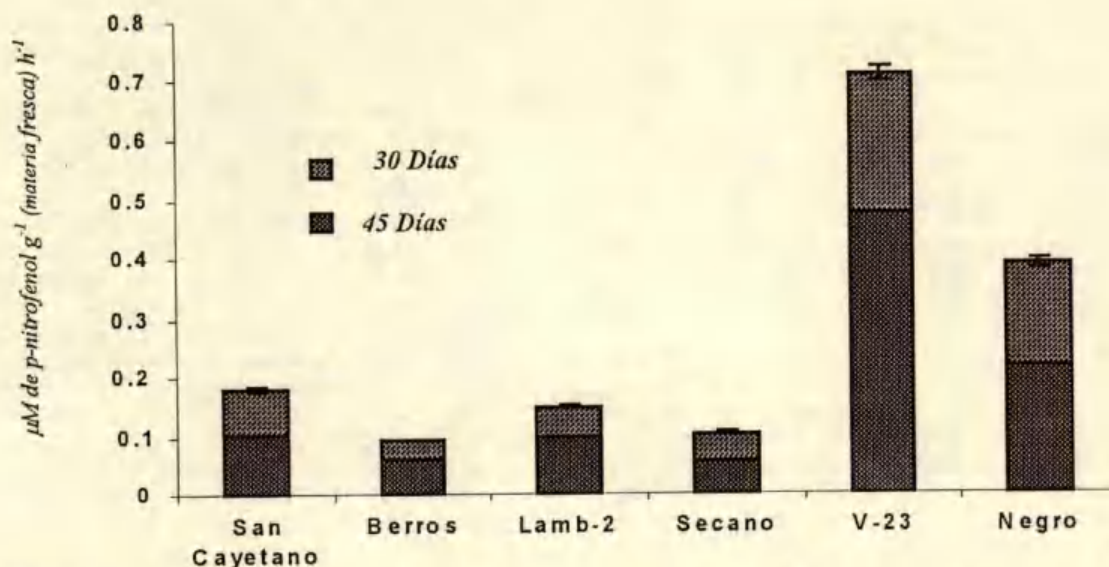


Figura 6. Actividad fosfatasa radical total en genotipos de trigo, triticale y maíz menos eficientes (Berros, Secano y Negro) y más eficientes (San Cayetano, Lamb-2 y V-23) en uso de nitrógeno y fósforo. El intervalo marcado sobre la línea de los promedios representa el error estándar.

y a una mayor actividad fosfatasa de genotipos dentro de especie se incrementó el uso de P para aumentar la producción de biomasa.

- El trigo San Cayetano, triticale Lamb-2 y maíz V-23 (genotipos +E) tuvieron mayor actividad FA que el trigo Berros, triticale Secano y maíz Negro (genotipos -E) por lo que la mayor eficiencia de uso de N y P (EUN y EUF, respectivamente) se asoció con la actividad de la enzima fosfatasa ácida.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Prometeo Sánchez-García y a la M.en C. Leticia Fernández-Pavía por las facilidades otorgadas para la realización de las determinaciones de nitrato reductasa en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados, a la Biól. Issa Portilla-Cruz por el apoyo en el trabajo de laboratorio para las determinaciones de las fosfatasas y de la glutamina sintetasa y, finalmente, a la Lic. en Comercio Internacional Beatriz E. Cruz-Flores por la traducción al inglés del resumen.

LITERATURA CITADA

- Agrell, D., C.M. Larsson, M. Larsson, C.T. MacKown y T.W. Ruffy. 1997. Initial kinetics of ^{15}N -nitrate labeling of root and shoot N fractions of barley cultured at different relative addition rates of nitrate-N. *Plant Physiol. Biochem.* 35: 923-931.
- 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.
- Aslam, M., K. Nielson, R.L. Travis y D.W. Rains. 1997. Nitrate uptake, efflux, and in vivo reduction by pima and acala cotton cultivars. *Crop Sci.* 37: 1795-1801.
- Baligar, V.C., R.R. Duncan y N.K. Fageria. 1990. Soil-plant interaction on use efficiency in plants: an overview. pp. 352-374. *In*: Baligar, V.C. y R.R. Duncan (eds.). *Crops as enhancers of nutrient use*. Academic Press. San Diego, CA.
- Becker, W.T., E. Carrayol y B. Hirel. 2000. Glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase isoforms in maize leaves: localization, relative proportion and their role in ammonium assimilation or nitrogen transport. *Planta* 211: 800-806.
- Besford, R.T. 1979. Quantitative aspects of leaf acid phosphatase activity and the phosphorus status of tomato plants. *Ann. Bot.* 44: 153-161.
- Caba, M.J., C. Lluch y F. Ligeró. 1994. Genotypic variability of nitrogen metabolism enzymes in nodulated roots of *Vicia faba*. *Soil Biol. Biochem.* 26: 785-789.
- Cruz-Flores, G., D. Flores-Román, G. Alcántar-González, A. Trinidad-Santos y R. Vivanco-Escobar. 2002. Eficiencia de uso de nitrógeno y fósforo en genotipos de trigo, triticale y maíz. *Terra* 20: 411-422.
- Halsted, M. y J. Lynch. 1996. Phosphorus responses of C-3 and C-4 species. *J. Exp. Bot.* 47: 497-505.
- Jaworsky, E.G. 1971. Nitrate reductase assay in intact plants tissues. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 43: 1274-1279.
- Jeschke, W., E. Kirkby, A. Peuke, J. Pate y W. Hartung. 1997. Effects of P deficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor beans (*Ricinus communis* L.). *J. Exp. Bot.* 48: 75-91.

- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London, England.
- Mistrik, I. y C.I. Ullrich. 1996. Mechanism of anion uptake in plant roots. Quantitative evaluation of H^+/NO_3^- and $H^+/H_2PO_4^-$ stoichiometries. *Plant Physiol. Biochem.* 34: 629-636.
- Moinuddin, S., S.A. Ansari y M.M.R.K. Afridi. 1996. Leaf NRA and its relationship with grain and protein yield of triticale as affected by progressive application of nitrogen and phosphorus fertilizer levels. *J. Plant Nutr.* 19: 785-794.
- Oaks, A. 1994. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. Review-Synthese. *Can. J. Bot.* 72: 739-750.
- Oaks, A. y B. Hirel. 1985. Nitrogen metabolism in roots. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 36: 345-365.
- Oaks, A. y D.M. Long. 1992. NO_3^- assimilation in root systems: with special reference to *Zea mays* (cv. W64A x W182E). pp. 91-102. In: Mengel, K. y D.J. Pilbeam (eds.). Nitrogen metabolism of plants. Clarendon Press. Oxford, UK.
- O'Neal, D. y K.W. Joy 1973. Glutamine synthetase of pea leaves. I. Purification, stabilization and pH optima. *Arch. Biochem. Biophysics* 159: 113-122.
- Portilla-Cruz, I., E. Molina-Gayosso, G. Cruz-Flores, I. Ortiz-Monasterio y G.G.B. Manske. 1998. Colonización micorrizica arbuscular, actividad fosfatásica y longitud radical como respuesta a estrés de fósforo en trigo y triticale cultivados en un Andisol. *Terra* 16: 55-61.
- Sagi, M., A. Dovrat, T. Kipnis y H. Lips. 1998. Nitrate reductase, phosphoenolpyruvate carboxylase, and glutamine synthetase in annual ryegrass as affected by salinity and nitrogen. *J. Plant Nutr.* 21: 707-723.
- Sivasankar, S., S. Rothstein y A. Oaks. 1997. Regulation of the accumulation and reduction of nitrate by nitrogen and carbon metabolites in maize seedlings. *Plant Physiol.* 114: 583-589.
- Tirado, J.L., G. Conéjéro y P. Robin. 1990. Comparaison des activités glutamina synthétase et glutamate déshydrogénase dans la feuille de *Glycine max*. Distribution dans la plante et effet de l'ammonium et du nitrate. *Plant Physiol. Biochem.* 28: 239-250.
- Zhang, Ch., P. Shoabing y J. Bennett. 1998. Glutamine synthetase of roots and leaves in response to nitrogen application at different growth stages in field-grown rice. *J. Plant Nutr.* 21: 625-633.

NITRATOS EN SOLUCIONES NUTRITIVAS EN EL EXTRACTO CELULAR DE PECÍOLO DE CHILE

Nitrates in Solutions and in Petiole Sap of Pepper

Basilio Brizuela-Amador Pérez^{1†}, Gabriel Alcántar-González¹, Prometeo Sánchez-García¹,
Leonardo Tijerina-Chávez¹, Javier Z. Castellanos-Ramos² y Ranferi Maldonado-Torres³

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue establecer la relación funcional entre las concentraciones de nitratos en soluciones nutritivas y las concentraciones de N-NO₃⁻ en el extracto celular de pecíolo de cinco tipos de chile en invernadero, en cuatro etapas fenológicas. En el estudio, los factores y niveles fueron: concentraciones de NO₃⁻ (6, 9, 12, 15 me L⁻¹), en una relación 10.2 NO₃⁻:1.8 NH₄⁺ y cuatro tipos de chile (híbridos: jalapeño "Grande", jalapeño "Tula", pimiento "Camelot", pimiento "Aladin", y poblano cv. San Luis). Se establecieron 25 tratamientos distribuidos en un diseño experimental de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas, con cuatro repeticiones. Se colectaron cinco muestras por unidad experimental, considerando la cuarta hoja recientemente madura partiendo del ápice, en las etapas fenológicas: vegetativa-botón, flor abierta, cuajado de fruto y llenado de fruto. La respuesta en la concentración de nitratos en el extracto celular de pecíolo (ECP) es representada mediante un modelo logarítmico, en función del tipo de solución y su ontogenia, independientemente del tipo de chile. Las soluciones nutritivas con 9 y 12 me L⁻¹ N-NO₃⁻ fueron las que favorecieron la mayor concentración de nitratos en el extracto celular de pecíolo, en las etapas fenológicas comprendidas. En promedio, las mayores concentraciones (mg L⁻¹ N-NO₃⁻ ECP) para las etapas fenológicas fueron: 876 vegetativa-botón; 861 en flor abierta; 1020 en cuajado de fruto; y 1144 en llenado de fruto. Las mayores concentraciones de nitratos en

el ECP, en la etapa de llenado de fruto se presentaron en orden ascendente: poblanos, jalapeños y pimientos.

Palabras clave: Capsicum annum, hidroponia, fenología.

SUMMARY

The objective of this study was to establish the functional relationship between nitrate concentrations in nutritive solutions and concentrations of N-NO₃⁻ in the cellular extract of petiole (ECP) of five types of chili in greenhouse conditions, in four phenological stages. The study included a design of treatments in which the factors and levels were concentrations of NO₃⁻ (6, 9, 12, and 15 me L⁻¹), in a ratio of 10.2 NO₃⁻:1.8 NH₄⁺, and four types of chili (hybrids: jalapeño "Grande", jalapeño "Tula", Camelot green pepper, Aladin green pepper, and poblano cv. San Luis). Twenty-five treatments were distributed in an experimental design of completely randomized blocks with divided plots, with four replications. Five samples were collected per experimental unit, considering the fourth recently mature leaf starting from the apex, in the phenological stages: vegetative-button, flowering, fruit setting, and fruit filling. The concentration of N-NO₃⁻ in the cellular extract of petiole (ECP) varied logarithmically, based on the type of solution and its ontogeny, independently of the type of chili. The nutrient solutions with 9 and 12 me L⁻¹ N-NO₃⁻ were those that favored the highest nitrate concentration in the cellular extract of petiole in the included phenological stages. In average, the highest concentrations (in mg L⁻¹ N-NO₃⁻ ECP) for the phenological stages were 876 vegetative-bud; 861 in flowering; 1020 in fruit set, and 1144 in fruit filling. The highest nitrate concentrations in the ECP in the stage of fruit filling appeared in ascending order: poblanos, jalapeños, and green peppers.

Index words: Capsicum annum, hydroponics, phenology.

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

[†] Autor responsable (basilio@colpos.mx)

² Campo Experimental Celaya, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 38010 Celaya, Guanajuato, México.

³ Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, estado de México.

INTRODUCCIÓN

Los numerosos casos de incumplimiento de las normas establecidas para el agua de uso agrícola y potable (Secretaría de Gobernación, 1989), y el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en las parcelas de producción de los cultivos contribuyen a incrementar el contenido de nitratos en los productos agrícolas de consumo humano, lo que ocasiona severos daños a la salud (Addiscott *et al.*, 1992). Lo anterior fundamenta la necesidad de la determinación de la concentración de nitratos en cultivos agrícolas de importancia alimenticia. En México, el chile es uno de los productos con mayor consumo y tradición.

Con la finalidad de determinar la concentración de nitratos en la solución del suelo, del agua y en los órganos específicos de cultivos agrícolas frescos, a partir de la década de los noventa, algunos medidores portátiles adquirieron gran importancia para realizar pruebas rápidas *in situ* que permitieron evaluar la concentración de algunos iones; entre ellos, nitrato, potasio y sodio. Sin embargo, existen controversias en cuanto a su factibilidad. Castellanos-Ramos *et al.* (2000) reportaron que el análisis de nitratos en el extracto celular de peciolo (ECP) es una herramienta útil para determinar la cantidad de nitrógeno en hortalizas. Kubota *et al.* (1997), en un estudio para examinar la precisión del medidor portátil de nitratos, en la determinación del contenido de $N-NO_3^-$ en el jugo celular del peciolo en brócoli, concluyeron que es una técnica útil para estimar el contenido de nitrógeno; Castro *et al.* (2000) y Rangel *et al.* (2002), en cultivos de tomate de cáscara y sorgo, concluyeron de manera semejante. Castellanos-Ramos *et al.* (2001), en otro estudio usando el ionómetro, señalaron que el chile poblano cv. San Luis requiere de 400 a 500 $mg\ kg^{-1}$ de $N-NO_3^-$ en el extracto celular de peciolo (ECP) de hojas recientemente maduras, durante los primeros 60 días después del trasplante (DDT); 250 a 350 $mg\ kg^{-1}$ de $N-NO_3^-$ entre 60 y 100 DDT; concluyeron que este tipo de chile requiere de menos nitrógeno que cualquier otro tipo de la misma especie. Por su parte, Mackerron *et al.* (1995), en un estudio para determinar la validez del análisis ECP para la optimización de la nutrición nitrogenada en papa, concluyeron que las concentraciones de nitratos en el jugo celular de peciolo muestran variabilidad espacial y temporal. Estos mismos autores mencionaron, además, que existen varios

reportes de mediciones de nitratos en el jugo celular de peciolo de experimentos en los cuales las dosis de fertilizante variaron, no encontrando información en la cual las determinaciones se usen para indicar las dosis suplementarias; por lo que la determinación de nitratos por esta técnica se ha señalado como un método no factible. La literatura en referencia a la concentración de nitratos en el ECP en chiles es escasa y poco precisa y, en su mayoría, está enfocada a chiles pimientos. Los objetivos del presente estudio fueron obtener información para tipos de chile que han sido menos estudiados que el pimiento, y establecer la relación funcional entre concentraciones de nitratos en soluciones nutritivas y concentraciones de $N-NO_3^-$ en el extracto celular de peciolo para cinco tipos de chile, en cuatro etapas fenológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en invernadero de diciembre 2002 a marzo 2003 en Montecillo, Estado de México, con ubicación geográfica $19^{\circ} 30' N$ y $98^{\circ} 53' O$, y a una altitud de 2240 metros.

El estudio comprendió un arreglo de tratamientos cuyos factores y niveles fueron: concentraciones de NO_3^- (6, 9, 12, 15 y $10.2:1.8\ NO_3^-:NH_4^+$ $me\ L^{-1}$) y tipos de chile (cuatro híbridos: jalapeño "Grande", jalapeño "Tula", pimiento "Camelot", pimiento "Aladin" y poblano cv. San Luis). Se establecieron 25 tratamientos distribuidos en un diseño experimental de bloques al azar, con arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones; la parcela grande fue de $1.4 \times 1.2\ m$, en la cual se manejaron las concentraciones de nitratos y en la parcela chica de $1.20 \times 0.25\ m$, los tipos de chile. Las unidades experimentales fueron tubos horizontales de polietileno negro de 1.20 m de largo por 0.20 m de diámetro y volumen de 37.7 L; cada tubo representó la parcela chica con cinco plantas de un mismo tipo de chile. El sustrato utilizado fue tezontle rojo (escoria volcánica basáltica) con granulometría de 0.5 a 0.9 cm. Cada parcela grande contenía cinco parcelas chicas, con una densidad de población de 15 plantas m^{-2} y arreglo topológico a tres bolillo, $0.25 \times 0.25 \times 0.25\ m$, con un total de 100 unidades experimentales; el experimento ocupó un área de $44\ m^2$.

En el Cuadro 1, se muestra la composición de las soluciones nutritivas, tomando como base la solución universal de Steiner (Steiner, 1966), con

Cuadro 1. Composición iónica de las soluciones nutritivas evaluadas.

K ⁺	Cationes				Aniones				Potencial osmótico	Conductividad eléctrica	
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Σ	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Σ			
----- me L ⁻¹ -----					----- me L ⁻¹ -----					MPa [†]	dS m ⁻¹
7.0	9.0	4.0	0.0	20.0	6.0	1.7	12.3	20.0	-0.072	2.0	
7.0	9.0	4.0	0.0	20.0	9.0	1.4	9.6	20.0	-0.072	2.0	
7.0	9.0	4.0	0.0	20.0	12.0	1.0	7.0	20.0 [‡]	-0.072	2.0	
7.0	9.0	4.0	0.0	20.0	15.0	1.0	4.0	20.0	-0.072	2.0	
6.4	8.2	3.6	1.8	20.0	10.2	1.2	8.6	20.0	-0.072	2.0	

[†]MPa = 10 bares. [‡]Solución universal Steiner (1966).

la modificación propia para los tratamientos de nitratos y amonio.

En la preparación de las soluciones se utilizaron fertilizantes comerciales hidrosolubles y agua de pozo profundo. La calidad del agua se consideró en los cálculos para la elaboración de las soluciones y se usaron como fuente de fertilizante: nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de potasio, sulfato de amonio, sulfato de calcio y ácido fosfórico (85% y densidad 1.7 g L⁻¹). Las cantidades de micronutrientes adicionados fueron (en mg L⁻¹): B, 0.86; Cu, 0.01; Fe, 5.0; Mn, 1.6; Mo, 0.001; y Zn, 0.02. Las fuentes de micronutrientes fueron sustancias grado reactivo: ácido bórico, sulfato de manganeso, sulfato de zinc, sulfato de cobre y molibdato de sodio; el hierro se suministró en forma de quelato Fe-EDTA.

Las soluciones nutritivas se aplicaron por el sistema de hidroponía de capilaridad intensiva, el cual consiste en hacer perforaciones de 5 mm de diámetro, cada 10 cm, en la base de los tubos de polietileno que contenían tezontle rojo como sustrato, con un tamaño de partículas entre 0.5 y 0.9 cm. Cada parcela grande representó una pila construida con polietileno negro calibre 400; a cada parcela grande se le aplicaron 4 L de la solución correspondiente; cada 15 días se renovó la solución nutritiva. Se realizaron lavados con agua acidulada a pH 4.5 antes de la aplicación de las soluciones, con el propósito de mantener el pH en 5.5 y la conductividad eléctrica en 2.0 dS m⁻¹. Durante los primeros 45 días después del trasplante (DDT), el uso consuntivo fue de 23.8 mm/tratamiento/semana; de 46 a 100 DDT, el consumo de agua fue de 35.7 mm/tratamiento/semana. La determinación del uso consuntivo se obtuvo por volumen directo consumido cada semana.

Se colocaron tutores en cada hilera para mantener la posición vertical de las plantas. En la obtención del extracto celular se utilizaron los peciolo de la cuarta hoja recientemente desarrollada a partir del ápice.

La muestra fue de cinco hojas por unidad experimental. El muestreo fue entre las 8:00 y las 9:00 h. El extracto celular de peciolo se obtuvo depositando la muestra (peciolo) en una jeringa de 10 cc, posteriormente se maceró hasta obtener de dos a cuatro gotas, las cuales se colocaron en el sensor del ionómetro (Horiba, Spectrum Technologies, Inc.). Los muestreos se realizaron en las etapas fenológicas: vegetativa-botón, flor abierta, cuajada de fruto y llenado de fruto.

Los datos se analizaron como factoriales con el procedimiento de GLM (Versión 6.12, SAS Institute, 1996) y con crite FTP (Versión 1.3, SAS Institute, 1996) para la generación de modelos y gráficas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de N-NO₃⁻ en el ECP versus Concentración de NO₃⁻ en la Solución Nutritiva

Se observó, en general, que la concentración de N-NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo (ECP) varió de manera logarítmica con relación a la concentración de nitratos en la solución y la ontogenia. La máxima concentración de N-NO₃⁻ en ECP fue de 1050 mg L⁻¹ asociada con 12 me L⁻¹ NO₃⁻, de la solución Steiner, mientras que la concentración de 15 me L⁻¹ NO₃⁻ en la solución no tuvo un efecto significativo en la concentración de N-NO₃⁻ en el ECP; la solución Steiner a 50% de nitratos (6.0 me L⁻¹ NO₃⁻) fue 19% menor en la concentración de N-NO₃⁻ ECP; variaciones que presentan una P < 0.06. Estos resultados concuerdan con He *et al.* (1994), quienes observaron diferencias en la concentración de nitratos en plantas de tomate, al variar las cantidades de nitratos en la solución nutritiva. Estas variaciones se detectaron en el ECP en las etapas vegetativa y al inicio de floración.

En la Figura 1, puede observarse la relación funcional de la tasa de crecimiento relativo de Richard

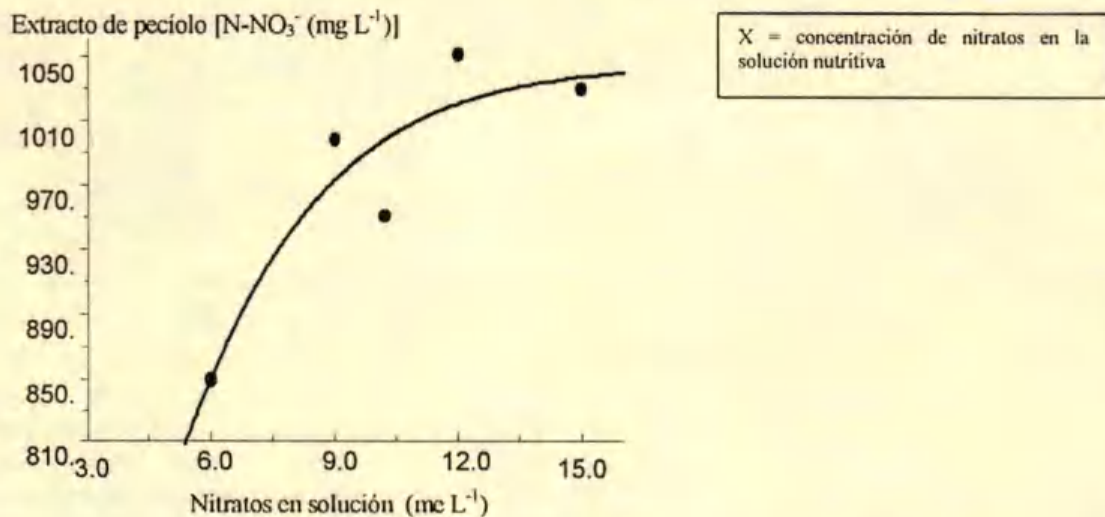


Figura 1. Valores promedio de la concentración de $N-NO_3^-$ en ECP de cinco tipos de chiles en función de los nitratos en soluciones nutritivas.

(Beadle, 1988), que correlaciona la concentración de nitratos en el ECP y la concentración de nitratos en la solución nutritiva. Con este tipo de análisis se pretende comparar el comportamiento de especies o los efectos de tratamientos en condiciones estrictamente definidas. Venus y Causton (1979) aseguraron que, cuando se trabaja con datos colectados durante varios días, se obtiene un ajuste biológicamente más significativo que la ecuación polinomial; por lo que son importantes en estudios de producción de materia seca, relacionados con diferencias de variedad de cultivo o prácticas agronómicas, como nutrición mineral, riego, manejo de invernaderos. Este modelo es similar al descrito por Ritchie *et al.* (1989), quienes señalaron que la concentración de los nutrimentos se relaciona con la acumulación de materia seca.

Función de Richard

$$[N-NO_3^-]_{ECP} = 1045.860 / [1 + \exp(-0.2410 - 0.3589X)]^{(1/0.4223)}$$

$$R^2 = 0.85$$

La función de Richard determina la forma de la relación entre la tasa de crecimiento relativo y la concentración de $[N-NO_3^-]_{ECP}$; la tasa de crecimiento relativo define una función exponencial creciente de la concentración de nitratos en el peciolo, hasta la etapa de llenado del fruto.

Burns *et al.* (1997) señalaron que la relación existente entre la aplicación de nitrógeno, la concentración de nitrógeno en la planta y la tasa de

crecimiento es afectada por factores endógenos y exógenos; este hecho limita la posibilidad de utilizar la concentración de nitrógeno de la planta como base para definir un programa de fertilización. Sin embargo, los resultados de la Figura 1 permiten establecer que el manejo del nitrógeno en la solución nutritiva utilizada en sistemas hidropónicos, así como en el diagnóstico de nitratos en el ECP, posibilitan el uso de los ionómetros como herramienta de diagnóstico-pronóstico de factores exógenos (intensidad luminosa, temperatura, déficit de presión de vapor de agua y potencial osmótico de la solución) en cultivos de invernadero.

Concentración de $N-NO_3^-$ en el ECP versus Tipos de Chiles

Los resultados estadísticos para este caso no mostraron diferencia significativa. Esto demuestra que la concentración de nitratos en el ECP está influenciada por factores exógenos, como la concentración de nitratos en la solución y que es independiente de los genotipos de chiles estudiados. Castellanos-Ramos *et al.* (2001), trabajando con chile poblano cv. San Luis en Vertisoles de Guanajuato, mencionaron que la mayor concentración de $N-NO_3^-$ en el ECP es de 500 mg L^{-1} a 60 DDT (etapa de diferenciación floral) y asociado a concentraciones de 25 a $30 \text{ mg L}^{-1} N-NO_3^-$ ($2.14 \text{ me L}^{-1} NO_3^-$) en la solución del tubo extractor (SSAT), a la profundidad de 0.15 a 0.30 m. Concluyeron que el chile poblano

cv. San Luis requiere de menos nitrógeno que cualquier tipo de la misma especie *annuum*.

Los actuales datos obtenidos con chile poblano presentaron en el periodo de 70 días, después del trasplante, un promedio de $808.0 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ en el ECP. La menor concentración encontrada en el ECP se asoció con la solución de $6.0 \text{ me L}^{-1} \text{ NO}_3^-$, lo que confirma la influencia de la solución nutritiva en la concentración del ECP. Noodén (1983) mencionó que, cuando las plantas no absorben lo suficiente para satisfacer los requerimientos del crecimiento reproductivo, se realiza una movilización desde las partes vegetativas a las reproductivas; añadieron que, durante las etapas reproductivas y las subsecuentes, la tasa de fotosíntesis es alta y los órganos de demanda superan en su metabolismo a los órganos fuentes, observándose una disminución de la actividad de absorción mineral por las raíces.

Al analizar los resultados de la concentración de N-NO_3^- en ECP de los diferentes tipos de chile (promedio de los cuatro muestreos) se encontró que no hubo diferencias significativas (Figura 2).

Concentración de N-NO_3^- en el ECP versus Etapas Fenológicas

La fenología es el estudio de los fenómenos biológicos acomodados a cierto ritmo periódico, como la brotación, la florecencia y el llenado del fruto (Font, 1977); su importancia radica en que pueden establecerse los periodos de mayor crecimiento y demanda de nutrimentos. La Figura 3 indica que la

concentración de N-NO_3^- en el ECP varió significativamente ($P < 0.0001$) durante la fenología del cultivo, mostrando que en las etapas vegetativa y de floración se requieren cantidades mínimas de nitrógeno ($870 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3^- \text{ ECP}$). Posteriormente, se incrementa, de manera exponencial, la absorción de este nutrimento: cuajado del fruto, $1021 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3^- \text{ ECP}$ y llenado del fruto $1144 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3^- \text{ ECP}$. Hartz *et al.* (1993) encontraron que la máxima producción de materia seca y rendimiento de chile pimiento con fertirriego se obtuvo manteniendo la concentración del peciolo de hoja recientemente madura en $1129.0 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$; durante el inicio del desarrollo del fruto (llenado de fruto), pero esta concentración disminuyó posteriormente. De manera distinta a lo señalado por Hartz *et al.* (1993), Hochmuth (1994) y Maynard *et al.* (2002) publicaron por etapas fenológicas los valores de concentración (en mg L^{-1}) de N-NO_3^- en el ECP de chile: botón floral y flores abiertas 1400 a 1600; fruto a medio desarrollo (llenado del fruto) 1200 a 1400; primer cosecha 800 a 1000; segunda cosecha 500 a 800.

Concentración de N-NO_3^- en el ECP versus Solución Nutritiva-Tipos Chile

A diferencia de los resultados anteriormente descritos, la relación de estos dos variables se caracterizó por la ausencia de diferencias estadísticas significativas. La relación de estas variables (Ecuación 1) establece la evidencia de correlación entre la concentración de nitratos de la solución y

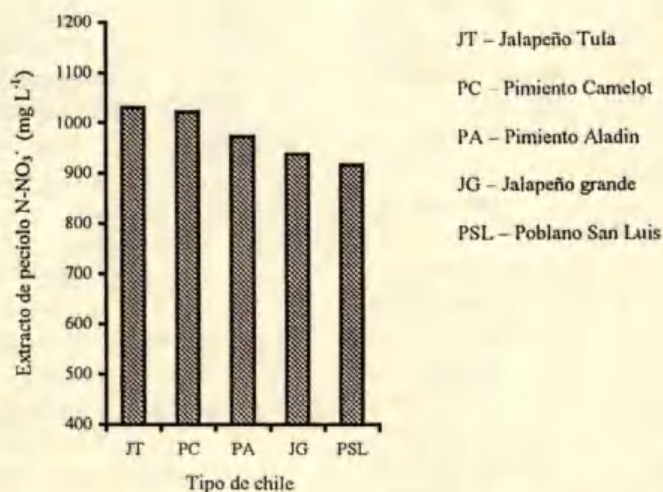


Figura 2. Concentración promedio de nitratos en el ECP por tipo de chile, en las cuatro épocas de muestreo.

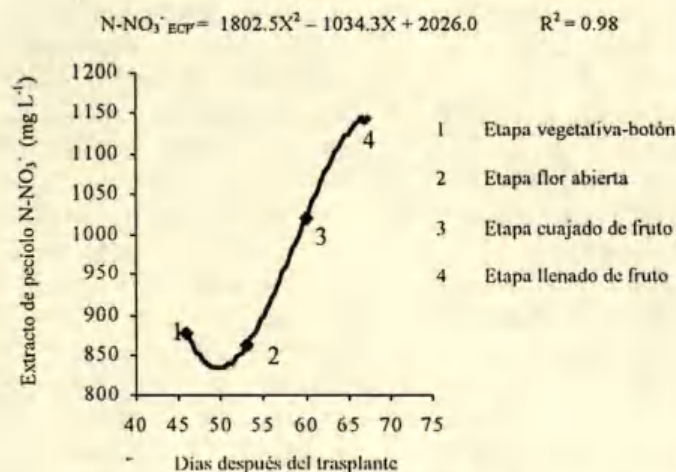


Figura 3. Concentración promedio de nitratos en el ECP por etapas fenológicas.

el contenido de nitratos en el ECP, lo que justifica el uso del ionómetro Horiba como un instrumento que ayuda a valorar el contenido de nitrógeno en los programas de fertilización, sobre todo en aquellas especies cultivadas que presentan el mismo comportamiento con diferentes concentraciones de nitratos. Este hecho es contrario a lo establecido por Mackerron *et al.* (1995) y Burns *et al.* (1997).

$$[N-NO_3^-]_{ECP} = -3.249X^2 + 88.655X + 432.65 \quad R^2 = 85.59 \quad (1)$$

Concentración de N-NO₃⁻ en el ECP versus Solución Nutritiva-Fenología

Con base en lo reportado por Resh (1991) y Gertsson (1995), el paso de una etapa fenológica a otra se caracteriza por cambios en la actividad bioquímica y en la reestructuración del metabolismo primario. Estas fluctuaciones influyen en toda la planta y en la composición química de sus órganos en cada etapa. Steiner (1984) señaló que en la concentración de un ion el problema más importante es la relación que tiene respecto a los otros dos iones de su misma carga eléctrica, ya que una inadecuada relación entre los iones puede disminuir el rendimiento. El balance de una solución consiste no sólo en la cantidad absoluta de cada uno de ellos, sino, además, en la relación cuantitativa que se establece entre los cationes por una parte y los aniones por otra. Dentro de este contexto se realizó el análisis estadístico que relacionara los contrastes

solución-fenología versus nitratos en el ECP y se detectó diferencia significativa con $P < 0.01$, lo que explica que las variaciones de nitratos en el ECP en tiempo y el espacio son función de la concentración de NO₃⁻ y su relación con K⁺ y H₂PO₄⁻ en la solución preestablecida. La Figura 4 muestra el modelo que mejor explica el contenido de N-NO₃⁻ en el ECP de Chile, como guía de manejo de este nutrimento, según el contenido de nitratos en la solución y fenología, en un intervalo de concentración de 6 a 15 me L⁻¹ NO₃⁻ y chiles del mismo genotipo.

La solución con 9 me NO₃⁻ L⁻¹ fue significativamente distinta al resto de las soluciones en la etapa llenado de fruto y fue la que originó la mayor concentración, con un valor de 1315.0 mg L⁻¹ N-NO₃⁻ en el ECP. Esta concentración fue 16.12% mayor que la originada por la solución con 10.2:1.8 me L⁻¹ NO₃⁻:NH₄⁺ (85%:15%). Al respecto, Hageman (1992), después de realizar un análisis del efecto de las formas de nitrógeno sobre el crecimiento de las plantas, concluyó que las sales de nitrato son consideradas como la "caja de caudales" para la producción de plantas.

La absorción de NH₄⁺ requiere de su inmediata asimilación debido a que este ión es tóxico para la planta; su asimilación consume energía, la cual depende de la fotosíntesis; además, el suministro de amonio en días nublados puede reducir el rendimiento (Veen y Kleimendort, 1985). Durante el desarrollo de esta investigación, la intensidad luminosa dentro del invernadero fue de 300 a 500 Watt m⁻², lo que podría

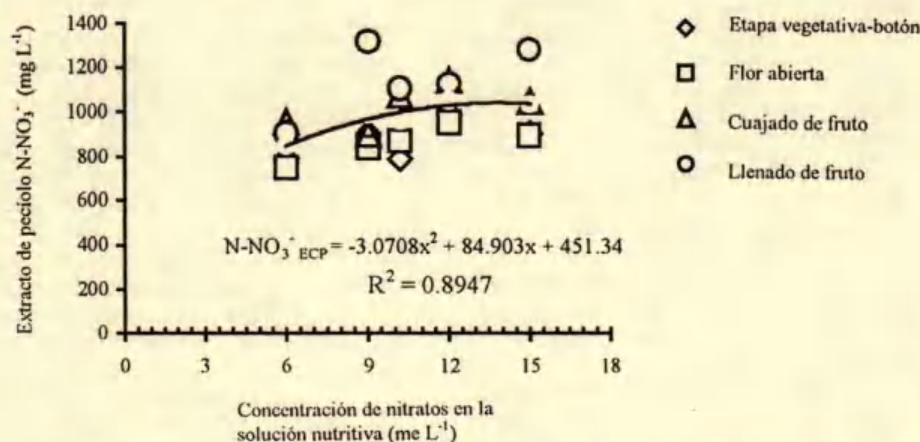


Figura 4. Concentración promedio de nitratos en ECP en función de la concentración de nitratos en la solución nutritiva y fenología.

explicar una posible toxicidad celular, originando problemas de osmorregulación en la vacuola, órgano que almacena 95% de los nitratos absorbidos.

Concentración de $N-NO_3^-$ en el ECP *versus* Tipos de Chile-Fenología

La variación de los nitratos en el ECP es significativamente diferente ($P \leq 0.02$) en cada etapa fenológica en cada tipo de chile. Los chiles pimientos, jalapeños y poblanos presentaron, en ese orden, las mayores concentraciones de $N-NO_3^-$ en el ECP en la etapa fenológica de llenado de fruto; el pimiento Camelot acumuló $1345.0 \text{ mg L}^{-1} N-NO_3^-$ ECP en el llenado de fruto, siendo superior y diferente significativamente al resto de las comparaciones

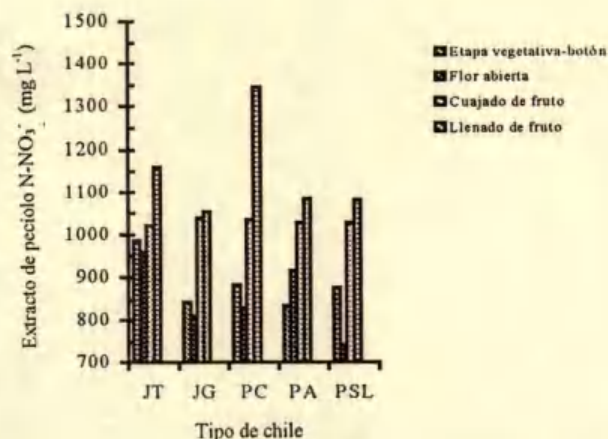


Figura 5. Concentración promedio de nitratos en el ECP por tipo de chile y fenología.

híbrido-fenología; en contraposición, el poblano cv. San Luis, con $741.0 \text{ mg L}^{-1} N-NO_3^-$ ECP en la etapa de flor abierta, fue el que mostró diferencia significativa y un contenido de 44.9% menor de $N-NO_3^-$ que el pimiento Camelot. La Figura 5 muestra la variación en el contenido de $[N-NO_3^-]_{ECP}$ en función de las comparaciones híbrido-fenología.

CONCLUSIONES

- La concentración de $N-NO_3^-$ en el extracto celular de peciolo (ECP) varió en forma logarítmica en función de la solución y su ontogenia, en los chiles jalapeños Tula y Grande, pimientos Camelot y Aladin y poblano cv. San Luis.
- Las soluciones nutritivas con 9 y 12 me $N-NO_3^-$ fueron las que favorecieron la mayor concentración de nitratos en el extracto celular de peciolo, en las etapas fenológicas estudiadas.
- Las concentraciones promedio ($\text{mg L}^{-1} N-NO_3^-$ ECP) en las etapas fenológicas estudiadas fueron: 876 en vegetativa-botón; 861 en flor abierta; 1020 en cuajado de fruto; y 1144 en llenado de fruto.
- Las mayores concentraciones de nitratos en el ECP se tuvieron en la etapa de llenado de fruto y se presentaron en orden ascendente: poblanos < jalapeños < pimientos.

LITERATURA CITADA

- Addiscott, T.M., A.P. Whitmore y D.S. Powlson. 1992. Farming, fertilizers and the nitrate problem. CAB-International. Wallingford, Oxon, UK.

- Beadle, C.L. 1988. Análisis del crecimiento vegetal. pp. 17-21. *In*: Coombs, J., D.O. Hall, S.P. Long y J.M.O. Scurlock (eds.). Técnicas en fotosíntesis y bioproduktividad. Editorial Futura. México, D.F.
- Burns, I.G., R.L. Walker y J. Moorby. 1997. How do nutrients drive growth? *Plant Soil* 196: 321-325.
- Castellanos-Ramos, J.Z., J.X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2^{da} edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Celaya, Guanajuato, México.
- Castellanos-Ramos, J.Z., S. Villalobos, J.L. Ojodeagua y P. Vargas. 2001. Determining fluid fertilizer nitrogen requirements in poblano pepper in Central Mexico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Celaya, Guanajuato, México.
- Castro-Brindis, R., P. Sánchez-García, A. Peña-Lomeli, G. Alcántar-González, G. Baca-Castillo y R.M. López-Romero. 2000. Niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de N-NO₃ en el extracto celular de peciolo de tomate de cáscara. *Terra* 18: 141-145.
- Font, Q.P. 1977. Diccionario de botánica. Labor. Barcelona, España. p. 461, 972 - 973.
- Gertsson, U.E. 1995. Nutrient uptake by tomatoes grown in hydroponics. *Acta Hort.* 401: 351-356.
- Hageman, R.H. 1992. Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. pp. 67-68. *In*: Hauck, R.D., J.D. Beaton, C.A. Goring, R.G. Hoefl, G.W. Randall y D.A. Russel (eds.). Nitrogen in crop production. American Society of Agronomy-Crop Science Society of America-Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Hartz, T.K., M. Le Strange y D.M. May. 1993. Nitrogen requirements of drip-irrigated peppers. *HortScience* 28(11): 1097-1099.
- He, Y., K. Terabayashi y T.H. Namiki. 1994. Fundamental study for diagnosis on nutrient status of tomatoes cultured in hidroponics. Science report Kyoto. Prefectural University Agric. 46: 7-14.
- Hochmuth, G.J. 1994. Plant petiole sap testing for vegetable crops. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Science. University of Florida. Gainesville, FL.
- Kubota, A.T.L.T., T.A. Doerge y R.E. Godin. 1997. A petiole sap nitrate test for broccoli. *J. Plant Nutr.* 20: 669-682.
- Mackerron, D.K.L., M.W. Young y H.V. Davies. 1995. A critical assessment of the value of petiole sap analysis in optimizing the nitrogen nutrition of the potato crop. *Plant Soil* 172: 247-260.
- Maynard, D.N., G.J. Hochmuth, C.S. Vavrina, W.M. Stall, T.A. Kucharek, T.G. Taylor, S.A. Smith y S.E. Webb. 2002. Pepper production in Florida. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agriculture Science. University of Florida. Gainesville, FL.
- Noodén, L.D. 1983. Senescence in the whole plant. Chapter 10. pp. 219-258. *In*: Thiman, K.V. (ed.). Senescence in plants. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Rangel-Lucio, J.A., G. Alcántar-González, J.Z. Castellanos-Ramos, E. García-Moya, C. Trejo-López y H. Vaquera-Huerta. 2002. Comparación de dos pruebas para diagnosticar nitrógeno en sorgo. *Terra* 20: 383-390.
- Resh, H.M. 1991. Hydroponic food production. 4th Edition. Woodbridge Press. Santa Barbara, CA.
- Ritchie, S.W., J.J. Hanway y G.O. Benson. 1989. How a corn plant develops. Special Report 48. Iowa State University. Ames, IA.
- SAS Institute, Inc. 1996. The SAS system for Windows. Release 6.12. Cary, NC.
- Secretaría de Gobernación. 1989. Diario Oficial de la Federación. Mes de diciembre. México, D.F.
- Steiner, A.A. 1966. The influence of chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant Soil* 24: 454-466.
- 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.
- Veen, B.W. y A. Kleimendort. 1985. Nitrate accumulation and osmotic regulation in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam). *J. Exp. Bot.* 36: 211-218.
- Venus, J.C. y D.R. Causton. 1979. Plant growth analysis: the use of the Richards function as an alternative to polynomial exponentials. *Ann. Bot.* 43: 623-632.

ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE MANEJO NUTRIMENTAL Y APLICACIÓN DE NEMATICIDA PARA EL CONTROL DE LA INFECCIÓN POR NEMATODOS EN PAPA

Preliminary Study on Nutrient Management and Nematicide Application for Nematode Infection Control in Potato

Elizabeth Estañol-Botello^{1†}, Ma. de las Nieves Rodríguez-Mendoza¹, Víctor H. Volke-Haller¹, Emma Zavaleta-Mejía², Prometeo Sánchez-García¹ y Cecilia Peña-Valdivia¹

RESUMEN

A pesar de que los suelos de Villarreal, municipio de Terrenate, Tlaxcala presentan alta incidencia de nematodos de la especie *Globodera rostochiensis*, se continúa cultivando papa (*Solanum tuberosum* L.), debido a que sigue constituyendo una actividad económica importante. En el presente estudio, se evaluó el efecto del manejo nutrimental y la aplicación de nematicida en el estado nutrimental, la infección por nematodos y el rendimiento de tubérculos de *S. tuberosum* L. var. Tollocan, cultivado en un suelo con presencia de *G. rostochiensis*. En el experimento se probaron los siguientes factores y niveles: fertilización al suelo (0, 50 y 100% de la dosis NPK óptima recomendada para la zona), nematicida Furadan® (sin y con) y fertilización foliar (sin y con, basada en los requerimientos nutrimentales generados a partir de los índices DOP), combinados en un arreglo de tratamientos factorial 3 x 2 x 2 con tres repeticiones. Los resultados indicaron que el rendimiento de tubérculos se incrementó en 4.1 t ha⁻¹ por nivel de fertilización al suelo y, en 4.8 t ha⁻¹, por la combinación de la fertilización al suelo y foliar (al compararlos con aquellos tratamientos donde sólo se fertilizó el suelo). La aplicación del nematicida originó un incremento en el rendimiento de 3.6 t ha⁻¹. La colonización por nematodos, el número de nematodos por segmento de raíz y el número de quistes disminuyeron significativamente al fertilizar el suelo, no fueron afectados por el nematicida e incrementaron con la fertilización foliar. Además, al combinar los tres factores se presentó una

disminución del número de quistes. También se manifestó una disminución en las variables colonización por nematodos y número de organismos por segmento de raíz al incrementarse la concentración de Mn en follaje, a la vez que para las mismas variables hubo un incremento con la concentración de Zn.

Palabras clave: *Solanum tuberosum* var. Tollocan, índices DOP, fertilización al suelo y foliar.

SUMMARY

Even though soils at Villarreal, Terrenate, Tlaxcala, show a high incidence of nematodes of the species *Globodera rostochiensis*, potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) continue to be grown in the zone since this activity still represents important economic income. In the present study, the effects of nutrient management and nematicide application on nutrient status, nematode infection and tuber yield were evaluated in *S. tuberosum* var. Tollocan, grown in a soil infested with *G. rostochiensis*. The factors and levels tested in the experiment were soil fertilization (0, 50, and 100% of the optimal NPK dose recommended for the region), nematicide Furadan® (with and without), and foliar fertilization (with and without, based on plant requirements determined by using DOP indices), combined in a factorial arrangement 3 x 2 x 2 with three replicates. Results indicated that tuber yield increased 4.1 t ha⁻¹ per level of soil fertilization and 4.8 t ha⁻¹ when soil and foliar fertilization were combined (as compared with treatments with soil fertilization alone). Nematicide application produced a yield increase of 3.6 t ha⁻¹. The nematode colonization, the number of nematodes per root segment, and the number of cysts significantly decreased, were unaffected, or increased with soil fertilization, nematicide application, and foliar fertilization, respectively. Moreover, when

¹Instituto de Recursos Naturales, ²Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Texcoco, Estado de México.

[†] Autor responsable (estanol@colpos.mx)

the three factors were combined, the number of cysts significantly decreased. Nematode colonization and number of nematodes per root segment decreased with increasing foliar Mn and increased with increasing foliar Zn.

Index words: *Solanum tuberosum* cv. *Tollocan*, DOP indexes, soil and foliar fertilization.

INTRODUCCIÓN

Las plantas de *Solanum tuberosum* L. infectadas con una población alta de nematodos de la especie *Globodera rostochiensis* presentan un pobre e ineficiente sistema radical (Turner y Evans, 1998). Esto provoca una disminución en la capacidad de exploración nutrimental, deficiencias de uno o más nutrimentos y, en consecuencia, desbalances nutrimentales del cultivo (Fasan y Haverkort, 1991), reducción del crecimiento de la parte aérea (Trudgill, 1987; Brodie *et al.*, 1993) y disminución de la producción de tubérculos hasta en 70%. En los aspectos nutrimentales, se ha determinado una disminución en la absorción de N, P, K, Mg y un incremento en la absorción de Ca ante la presencia de *G. rostochiensis* (Fatemy y Evans, 1986; Trudgill, 1987). Por otra parte, la infección por nematodos también genera cambios hormonales en la planta que se traducen en el ambiente adecuado para la infección, el establecimiento y la reproducción del patógeno (Fatemy *et al.*, 1985).

El control de nematodos formadores de quistes, como *G. rostochiensis* en el suelo, resulta difícil, debido a que los jebecillos están protegidos dentro del cuerpo de la hembra y porque éstos presentan un periodo de diapausa que les permite permanecer viables hasta por 20 años en ausencia del hospedante (Brodie *et al.*, 1993). Se han implementado diversas estrategias de control, como: rotación de cultivos, cultivares tolerantes, control biológico, control integrado y el uso de nematicidas; sin embargo, únicamente se ha logrado reducir la tasa reproductiva, disminuir la eclosión, la movilidad y retrasar los procesos de cambio de estadios del nematodo (Nelmes, 1970; Hough y Thomason, 1975; Spurr, 1985; Brodie *et al.*, 1993). En la actualidad, existen diversos estudios enfocados a favorecer la tolerancia del cultivo a nematodos, entendida ésta como la capacidad de un cultivo para generar un producto económicamente aceptable a pesar del daño causado por los nematodos (Trudgill *et al.*, 1998). Al respecto,

Grove *et al.* (1999) indicaron que el combinar diversas dosis de fertilización foliar con nematicidas puede ser un método promisorio para aminorar los efectos de la invasión de nematodos formadores de quistes en papa, pero es necesario determinar la concentración nutrimental y el número de aspersiones que permitan favorecer la tolerancia. Por otra parte, es importante proveer los nutrimentos a la planta en el momento en que ésta lo requiera y la forma de aplicación más adecuada para reforzar el uso racional de los fertilizantes y la protección del ambiente.

En México, el nematodo *G. rostochiensis* fue determinado por Sosa-Moss (1986), haciendo mención a los suelos de los estados de Tlaxcala, Puebla y México, como los más infestados.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del manejo nutrimental (al suelo y foliar) y de la aplicación del nematicida Furadan® en el estado nutrimental, la infección por nematodos y el rendimiento de tubérculos de *S. tuberosum* L. var. *Tollocan* en un suelo con presencia de *G. rostochiensis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló durante el ciclo primavera-verano de 2002, en una parcela de un productor cooperante, ubicada en la zona de Villarreal, municipio de Terrenate, estado de Tlaxcala (19° 31' N y 97° 52' O). De acuerdo con Werner *et al.* (1978), los suelos corresponden a un Regosol eútrico originado de sedimentos de cenizas volcánicas de depositación eólica, de textura areno limosa o limo arenosa. El clima de la zona corresponde al C(w), templado subhúmedo con lluvias en verano, con humedad media, con un régimen pluvial medio anual dentro del intervalo de 600 a 1000 mm y una temperatura media anual que fluctúa entre 12 y 16 °C (García, 1973; INEGI, 2004).

El sitio experimental se seleccionó después de un muestreo de siete parcelas de productores de la zona, para conocer la población de nematodos *G. rostochiensis*, y se escogió aquella con mayor población (207 a 300 quistes 100 g⁻¹ suelo). Una vez elegido el sitio, se tomó una muestra compuesta de suelo a 30 cm de profundidad para su análisis químico y se determinaron: N total, con el método kjeldahl; P, mediante el método de Bray; K, Ca, Mg intercambiables, con el uso de una solución extractora de acetato de amonio y un espectrofotómetro de absorción atómica de plasma por inducción acoplada

(ICP-AES), modelo Liberty II Secuencial, marca Varian (Soltanpour *et al.*, 1998).

Los tratamientos se establecieron con los factores y niveles siguientes: fertilización al suelo en niveles de 0, 50 y 100% de la dosis N-P-K (100-200-100), de acuerdo con las recomendaciones dadas por Rubio *et al.* (2000); 2) nematicida, a los niveles sin y con (Furadan® 33%, 1.5 L ha⁻¹); y 3) fertilización foliar, a los niveles sin y con, basada en los requerimientos nutrimentales generados a partir de los índices de desviación del óptimo porcentual (DOP) según Montañés *et al.* (1991). Estos factores y sus niveles se combinaron en un arreglo de tratamientos factorial 3 x 2 x 2, en un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones. Las parcelas experimentales fueron de cinco surcos por 7 m de largo, donde se cosecharon los tres surcos centrales, la distancia entre surcos fue de 0.8 m y la distancia entre plantas fue de 0.4 m, lo que corresponde a una densidad de población de 31 250 plantas ha⁻¹.

El tubérculo semilla se trató, previo a la siembra, con una mezcla de Captán 500, 2.5 kg/100 L, Furadan® 33%, 1.5 L/100 L, ZnO, 130 g/100 L, y Manzate 200, 3.5 kg/L. La fertilización al suelo se aplicó: 50% del N y todo el P y K en la siembra (empleando en ello como fuentes a sulfato de potasio y fosfato diamónico) y el resto de N (como urea) a 70 días después de la siembra (DDS). El nematicida Furadan® se aplicó en el momento de la siembra.

A 81, 102 y 130 DDS, se llevó a cabo un muestreo de dos folíolos maduros y menos desarrollados de cinco plantas de cada repetición, ubicadas en las cuatro esquinas y centro de la parcela útil para obtener una muestra compuesta que se analizó químicamente

para N total, con el método microkjeldahl, y para P, K, Ca, Mg, B, Cu, Zn, Fe y Mn, con el procedimiento de digestión húmeda y su determinación en el ICP-AES (Alcántar y Sandoval, 1999), con fines de determinar los índices DOP. En los dos últimos muestreos se incluyeron también raíz y suelo para extraer y cuantificar nematodos.

Para la interpretación de los análisis foliares y la generación de los índices DOP o de requerimiento, se utilizó la ecuación:

$$DOP = \frac{Cx100}{Cref} - 100$$

donde: C es la concentración del nutrimento en los folíolos, obtenido en el análisis químico; Cref es la media del intervalo de suficiencia para papa, según Mills y Benton (1996).

En el Cuadro 1, se presenta un ejemplo del ordenamiento de los nutrimentos de acuerdo con la magnitud negativa de los índices DOP, que indica, a su vez, la magnitud de la deficiencia. Estas deficiencias se subsanaron con fertilización foliar. Las aplicaciones foliares se realizaron a 95 DDS (basadas en el primer análisis químico de folíolos), 116 y 124 DDS (segundo análisis químico) y 145 DDS (tercer análisis químico). Los elementos deficientes se aplicaron con base en las formulaciones propuestas por Rodríguez *et al.* (1998), para lo cual se seleccionaron sólo aquellos compuestos que contenían los nutrimentos que, de acuerdo con los índices DOP, resultaron deficientes (negativos); así, por ejemplo, en el tercer análisis químico de folíolos, para

Cuadro 1. Ejemplo del ordenamiento de los índices DOP y elemento requeridos por la planta.[†]

Tratamiento [‡] No.	Fertilización			Nutrimento											ORN
	F _S	N _E	F _F	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Zn	Cu		
1	0	0	0	-11.9 [§]	-9.7	-66.6	48.8	-64.6	164.1	-75.8	-52.1	-78.4	-51.5	Zn>Mn>K>Mg>B>Cu>N >P	
2	0	0	1	-6.6	-16.0	-62.4	53.7	-66.9	191.7	-64.6	-35.8	-51.8	7.0	Mg>Mn>K>Zn>B>P>N	
3	0	1	0												
4	0	1	1												
5	1	0	0												
6	1	0	1												
7	1	1	0												
8	1	1	1												
9	2	0	0												
10	2	0	1												
11	2	1	0	-2.0	20.0	-63.2	38.3	-64.7	67.0	-53.1	-27.7	-53.9	46.2	Mg>K>Zn>Mn>B>N	
12	2	1	1	1.7	12.3	-61.3	75.2	-59.3	168.7	-32.8	-26.9	-44.2	13.9	K>Mg>Zn>Mn>B	

[†] Se empleó la ecuación propuesta por Montañés *et al.* (1991). [‡] F_S = fertilización al suelo 0 = 0%, 1 = 50% y 2 = 100% (N-P₂O₅-K₂O kg ha⁻¹); N_E = nematicida, F_F = fertilización foliar, 0 = sin y 1 = con, de acuerdo con el requerimiento. [§] = índice de desbalance nutrimental DOP.

el Tratamiento 2 (Cuadro 1), se incluyeron en la fertilización foliar: urea, 2 g L⁻¹; NH₄NO₃, 1 g L⁻¹; KNO₃, 2 g L⁻¹; KH₂PO₄, 2 g L⁻¹; H₃BO₃, 0.5 g L⁻¹; MnSO₄·4H₂O, 0.5 g L⁻¹; ZnSO₄·7H₂O, 0.5 g L⁻¹; y MgSO₄·7H₂O 1 g L⁻¹; y para el Tratamiento 12 (Cuadro 1): urea, 2 g L⁻¹; KNO₃, 2 g L⁻¹; H₃BO₃, 0.5 g L⁻¹; MnSO₄·4H₂O, 0.5 g L⁻¹; ZnSO₄·7H₂O, 0.5 g L⁻¹; K₂SO₄, 0.5 g L⁻¹, y MgSO₄·7H₂O 1 g L⁻¹; se usó como agente tensoactivo jabón neutro de pasta a una concentración de 0.05% y, como adherente, miel de abeja a una concentración de 0.1%.

En raíz, se determinaron el número de nematodos y el porcentaje de colonización, como indicadores de la infección por nematodos; para lograr esto, se consideró una muestra compuesta de raíz, obtenida a partir de tres plantas ubicadas en esquinas y centro de la parcela, para cada repetición. Las raíces se enjuagaron, se fijaron, se fragmentaron, se tiñeron y se montaron 100 segmentos de raíz de 1 cm de largo sobre portaobjetos. La colonización por nematodos se determinó después de observar los 100 segmentos y la presencia de nematodos, independientemente del número de éstos en el segmento de raíz, se le dio el valor de 1, y el total de estos segmentos constituyó el porcentaje de raíces colonizadas. También se determinó el número de nematodos dentro del segmento de raíz. En la evaluación de estas variables se usó un microscopio óptico (10-40 X) (Estañol *et al.*, 1999).

En la determinación del número de quistes de *G. rostochiensis*, se llevó a cabo la extracción de éstos a partir de 100 g de una muestra compuesta de suelo de rizosfera de las tres plantas colectadas. Para la determinación de las variables colonización por nematodos y número de nematodos, la extracción de quistes se efectuó con el aparato de Fenwick, separando los quistes y la materia orgánica por flotación y luego este material se colectó en papel filtro y se secó en el laboratorio a temperatura ambiente. La separación de los quistes se realizó por rodamiento y el conteo de éstos se hizo con un microscopio estereoscópico. La identificación del género *G. rostochiensis* se realizó mediante la preparación de conos vulvares y su observación con un microscopio óptico 100 X (Hirschmann, 1982).

A 157 DDS (ocho días antes de la cosecha), se muestrearon folíolos de manera similar a los muestreos anteriores, para llevar a cabo el análisis químico de macro y micronutrientes. A 165 DDS se realizó la cosecha, incluyendo todos los tubérculos producidos.

El rendimiento de tubérculos, la colonización por nematodos, el número de nematodos por segmento de raíz y número de quistes por 100 g de suelo se analizaron mediante análisis de regresión, para definir la relación funcional entre las variables, los tratamientos experimentales y las concentraciones nutrimentales de la planta. Para el análisis de regresión se siguió la metodología propuesta por María y Volke (1999).

En los modelos de regresión, los niveles de los factores se expresaron con valores para: fertilización al suelo, 0, 1 y 2 (0, 50 y 100% de la recomendación, respectivamente); nematicida, 0 (sin) y 1 (con); y fertilización foliar, 0 (sin) y 1 (con).

Para el caso de la información derivada de los tratamientos, en los modelos de regresión se incluyeron las repeticiones como variables auxiliares, con la finalidad de no incrementar la suma de cuadrados del error y, con ello, disminuir el ajuste del modelo; sin embargo, debido a que estas variables no modifican el modelo para las variables experimentales, en los modelos no se presentan las variables auxiliares de repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de la siembra de papa (*Solanum tuberosum* L.), se presentó un periodo de sequía por espacio de dos meses, lo que prolongó el ciclo del cultivo por 65 días, puesto que la variedad Toluca tiene un ciclo de 100 días en condiciones climáticas de Toluca, estado de México (Villarreal, 1980).

Rendimiento de Tubérculos y Estado Nutrimental de Papa

Los resultados obtenidos para rendimiento de tubérculos como función de los tratamientos de fertilización al suelo y foliar, y la aplicación de nematicida se analizaron de acuerdo con el modelo de regresión:

$$RT = 21.18 + 4.08 F_S + 3.62 N_E + 7.43 F_S F_F - 2.52 F_S^2 F_F \\ (\text{CME} = 23.41, \text{CV} = 16.2\%, \text{Pr.F} = 0.01 \text{ y } R^2 = 0.61)$$

donde: RT es el rendimiento de tubérculos (t ha⁻¹), F_S es la fertilización al suelo (0 = 0%, 1 = 50% y 2 = 100% de la recomendación), N_E es la aplicación de nematicida (0 = sin, 1 = con); y F_F es la fertilización foliar (0 = sin, 1 = con). CME = cuadrado

medio del error; CV = coeficiente de variación; Pr.F = nivel de significancia y R^2 = coeficiente de determinación múltiple.

Por otra parte, aquellos modelos de regresión que resultaron significativos, para las concentraciones nutrimentales en la planta como función de los tratamientos, fueron:

$$N = 4.50 + 0.20 F_S + 0.51 F_F$$

(CME = 0.03, CV = 3.7%, Pr.F = 0.01 y $R^2 = 0.56$)

$$P = 0.32 - 0.09 F_S + 0.04 N_E + 0.06 F_S^2 + 0.19 F_S F_F - 0.09 F_S^2 F_F$$

(CME = 0.002, CV = 13.3%, Pr.F = 0.03 y $R^2 = 0.52$)

$$B = 19.80 + 9.86 F_F + 5.90 N_E - 7.24 N_E F_F$$

(CME = 31.30, CV = 21.6%, Pr.F = 0.03 y $R^2 = 0.35$)

$$Zn = 19.27 + 20.60 F_F + 6.21 N_E$$

(CME = 68.10, CV = 25.3%, Pr.F = 0.01 y $R^2 = 0.68$)

$$Mn = 61.67 + 22.18 F_S + 10.7 F_S^2 F_F$$

(CME = 331.30, CV = 19.6%, Pr.F = 0.01 y $R^2 = 0.76$)

donde: N = nitrógeno (%), P = fósforo (%), B = boro (mg kg^{-1}), Mn = manganeso (mg kg^{-1}) y Zn = zinc (mg kg^{-1}) en follaje.

Los modelos de regresión para las concentraciones nutrimentales presentan valores de R^2 de 0.35 a 0.76, que si bien para el caso de B resulta bajo, son todos significativos.

Con base en los modelos de regresión para el rendimiento de tubérculos y de las concentraciones

nutrimentales en la planta, y sus términos significativos, se procedió a calcular los valores predichos para estas variables por tratamiento de fertilización al suelo y foliar, y aplicación de nematicida, mismos que se presentan en el Cuadro 2, en el cual, además, se incluyen los valores medios para aquellos nutrimentos (K, Ca, Mg, Cu y Fe) que no fueron modificados por los tratamientos.

La fertilización al suelo y foliar, y la aplicación del nematicida incrementaron el rendimiento de tubérculos. Así, el incremento de rendimiento de tubérculos debido a la fertilización al suelo fue del orden de 4.1 t ha^{-1} por nivel (en comparación con el tratamiento sin fertilización), y a la fertilización al suelo y foliar en conjunto de 4.8 y 4.9 t ha^{-1} para los Niveles 1 y 2 de fertilización al suelo, respectivamente (al compararlos con aquellos tratamientos con fertilización al suelo pero sin fertilización foliar); a la vez que la aplicación de nematicida incrementó el rendimiento de tubérculos en 3.6 t ha^{-1} (al compararlo con el tratamiento sin nematicida).

Trudgill (1987), al tratar una variedad de *S. tuberosum* L. susceptible al nematodo *G. rostochiensis* en un suelo con una población alta (123 huevecillos g^{-1} suelo) de nematodos, con una dosis de fertilización baja (el autor no especificó con claridad cuál fue la dosis), y nematicida aldicarb, observó un incremento significativo de $0.28 \text{ kg planta}^{-1}$ en rendimiento de tubérculos (8.8 t ha^{-1} para una densidad de $31\ 250$ plantas ha^{-1}). El nematicida empleado pertenece a la misma familia

Cuadro 2. Relación entre el rendimiento de tubérculos estimado y las concentraciones nutrimentales en la planta, y los tratamientos de fertilización al suelo, fertilización foliar y aplicación de nematicida.

Tratamiento ¹			Rendimiento t ha ⁻¹	Nutrimento									
F _S	N _E	F _F		N	P	K	Ca	Mg	B ¹	Cu	Zn	Fe	Mn
			mg kg ⁻¹										
0	0	0	22.36	45	32	29	13	4	19.8	14	20	243	61
0	0	1	22.36	47	32	29	13	4	29.7	14	41	243	61
0	1	0	25.98	45	36	29	13	4	25.7	14	26	243	61
0	1	1	25.98	47	36	29	13	4	28.3	14	47	243	61
1	0	0	26.44	47	28	29	13	4	19.8	14	20	243	84
1	0	1	31.35	47	32	29	13	4	25.7	14	26	243	84
1	1	0	30.06	49	38	29	13	4	29.7	14	41	243	94
1	1	1	34.96	49	42	29	13	4	28.3	14	47	243	94
2	0	0	30.52	49	35	29	13	4	19.8	14	20	243	106
2	0	1	35.30	49	39	29	13	4	25.7	14	26	243	106
2	1	0	34.13	51	38	29	13	4	29.7	14	41	243	149
2	1	1	38.91	51	42	29	13	4	28.3	14	47	243	149

¹ F_S = fertilización al suelo 0 = 0%, 1 = 50% y 2 = 100% (N-P₂O₅-K₂O kg ha⁻¹); N_E = nematicida, F_F = fertilización foliar, 0 = sin y 1 = con, esta última de acuerdo con el requerimiento nutrimental. ¹ Efecto negativo sobre 15 mg kg⁻¹.

que el usado en el presente estudio (carbamato) (Spurr, 1985), y puede observarse que ambos incrementaron el rendimiento; sin embargo, en el presente estudio, tanto la fertilización al suelo a 50 y 100% en combinación con la fertilización foliar, como la aplicación del nematocida solo, produjeron un incremento de 9.0, 13 y 3.6 t ha⁻¹, respectivamente, y la fertilización al suelo incrementó el rendimiento en 4.1 y 8.2 t ha⁻¹, en los niveles 50 y 100%, respectivamente (todos ellos comparados con el tratamiento sin fertilización al suelo y foliar y sin nematocida).

Se relacionó el rendimiento de tubérculos con las concentraciones nutrimentales en la planta y se obtuvo el modelo de regresión:

$$RT = -583.9 + 247.27 N - 267.9 N^2 + 0.48 Cu + 3.10 Mn^{0.5} - 0.02 (B-15)^2 + 0.73 Zn - 0.009 Zn^2$$

(CME= 13.65, CV= 12.1%, Pr.F= 0.01 y R²= 0.82)

donde: Cu es la concentración de cobre (mg kg⁻¹).

A partir de este modelo de regresión, y sin términos significativos, en el Cuadro 3 se presenta la concentración nutrimental en follaje relacionada con el rendimiento, en términos de: el valor óptimo para los nutrimentos con efectos positivos (N, Zn, Cu y Mn), el valor mínimo para los nutrimentos con efectos negativos (B) y el valor medio para los nutrimentos que no influyeron en el rendimiento (K, Ca, Mg y Fe). En el caso de la concentración de P, a pesar de no influir en el rendimiento, su concentración en la planta fue afectada por los tratamientos de fertilización al suelo y foliar, y la aplicación del nematocida, por lo cual los valores predichos con el modelo de regresión se incluyen en el Cuadro 2.

En los Cuadros 2 y 3, se observa que los tratamientos de fertilización al suelo y foliar incrementaron la concentración de N en la planta y ésta, a su vez, incrementó el rendimiento de tubérculos. Los valores de N variaron de 45 mg g⁻¹ (para el tratamiento sin fertilización al suelo ni foliar), a 51 mg g⁻¹ (para el tratamiento con fertilización al suelo y foliar máximas); la concentración óptima de N en la planta resultó del orden de 4.6%; estos valores se encuentran dentro del intervalo de suficiencia [40 a 60 mg g⁻¹ (Mills y Benton, 1996)]. El N forma parte de biomoléculas, como ácidos nucleicos y proteínas, también forma parte del anillo pirrólico de la clorofila. Una alteración en la concentración de N puede generar cambios en el balance fitohormonal entre la parte vegetativa y los tubérculos (Marschner, 1995).

Cuadro 3. Concentraciones nutrimentales en la planta y su efecto sobre el rendimiento de tubérculos.

Nutrimento	Concentración en la planta	Efecto
N	Óptimo de 46 mg g ⁻¹	Positivo
P	3.6 mg g ⁻¹	Ninguno
K	28.5 mg g ⁻¹	Ninguno
Ca	12.8 mg g ⁻¹	Ninguno
Mg	3.7 mg g ⁻¹	Ninguno
Zn	Óptimo de 42 mg kg ⁻¹	Positivo
Cu	Óptimo > 25 mg kg ⁻¹	Positivo
B	15 mg kg ⁻¹ 0.000 t ha ⁻¹	Negativo
	20 mg kg ⁻¹ -0.415 t ha ⁻¹	
	25 mg kg ⁻¹ -1.660 t ha ⁻¹	
Fe	243 mg kg ⁻¹	Ninguno
Mn	Óptimo > 149 mg kg ⁻¹	Positivo

El rendimiento de tubérculos no fue influenciado por la concentración de P en follaje, pero la concentración de P en planta fue influenciada por la fertilización al suelo y foliar, y por la aplicación del nematocida. El efecto positivo de la aplicación del nematocida sobre la concentración de P podría deberse a que éste favoreció el desarrollo radical de la planta y, con ello, la absorción de P del suelo, toda vez que se trataba de un suelo rico en P [144 mg kg⁻¹ de P Bray (Junta de Extremadura, 1992)]; también la concentración de P en la planta se encontró dentro del rango de suficiencia [2 a 5 mg g⁻¹ (Mills y Benton, 1996)]. La concentración de K en planta no fue afectada por el fertilizante aplicado al suelo ni foliarmente, a la vez que el rendimiento tampoco fue afectado por la concentración de K en la planta e, incluso, su concentración fue inferior al límite de suficiencia [40 a 115 mg g⁻¹ (Mills y Benton, 1996)], lo que coincide con un índice DOP negativo. Esto indica que el K aplicado al suelo y al follaje no logró incrementar la concentración en la planta, por lo que ello se podría atribuir a deficiencias del sistema radical causadas por los nematodos del suelo, puesto que el suelo presentó un alto contenido de K [1317 mg kg⁻¹ (Junta de Extremadura, 1992)].

Al considerar las concentraciones de Ca y Mg en el follaje, éstas no afectaron el rendimiento, a la vez que sus concentraciones no fueron afectadas por los tratamientos de fertilización al suelo y foliar, y nematocida; se señala que la concentración de Ca fue superior al intervalo de suficiencia (6 a 10 mg g⁻¹) y la de Mg menor que el límite inferior del intervalo de suficiencia (5 a 15 mg g⁻¹) (Mills y Benton, 1996).

La concentración de Zn en la planta estuvo asociada con un incremento en el rendimiento, con un valor máximo de 42 mg kg⁻¹, y su concentración fue

incrementada por la fertilización foliar y el nematicida. Este nutrimento fue uno de los más deficientes de acuerdo con los índices DOP, con concentraciones en planta muy próximos al nivel mínimo del intervalo de suficiencia (20 a 250 mg kg⁻¹). La concentración de Cu en la planta aumentó el rendimiento de tubérculos al presentar una concentración mayor que 25 mg kg⁻¹, valor máximo observado, y mayor que el observado en el intervalo de suficiencia (7 a 20 mg kg⁻¹); sin embargo, la concentración de este nutrimento no fue afectada por los tratamientos. La concentración del B en la planta presentó un efecto negativo sobre el rendimiento, a valores mayores que 15 mg kg⁻¹ (Mills y Benton, 1996); además, ésta fue incrementada por la fertilización foliar y la aplicación del nematicida. Debido a que el contenido de E es menor que el nivel inferior del intervalo de suficiencia, se presentó una reducción en ambos procesos y se observó un efecto negativo en el rendimiento. También se consideró la concentración de Fe en la planta y no se observó alguna relación con el rendimiento; además que ésta no fue afectada por los tratamientos, y la concentración de Fe en follaje tuvo un valor mayor que el intervalo de suficiencia [50 a 150 mg kg⁻¹ (Mills y Benton, 1996)], lo que se manifestó en índices DOP positivos. Por otro lado, la concentración de Mn en la planta incrementó el rendimiento, a la vez que su concentración fue incrementada por la fertilización al suelo y foliar, o ésta estuvo dentro del intervalo de suficiencia [30 a 450 mg kg⁻¹ (Mills y Benton, 1996)].

Colonización por Nematodos, Número de Nematodos por Segmento de Raíz y Número de Nematodos Hembra Enquistadas y su Relación con la Concentración Nutrimental

La colonización por nematodos (CN), el número de nematodos por segmento de raíz (NS), empleados como indicadores de la infección por nematodos, y el número de quistes por 100 g de suelo (NQ) como función de los tratamientos establecidos, se analizaron mediante análisis de regresión y se obtuvieron los modelos:

$$CN = 75.37 - 29.14 F_S + 6.01 F_S^2 + 10.90 F_S F_F$$

(CME = 157.75, CV = 20.4%, Pr.F = 0.01 y R² = 0.55)

$$NS = 3.25 - 2.37 F_S + 0.74 F_S^2 + 0.45 F_F$$

(CME = 0.991, CV = 46.3%, Pr. F = 0.01 y R² = 0.53)

$$NQ = 451.56 - 44.25 F_S - 189.75 F_F + 480.92 F_S F_F - 166.0 F_S^2 F_F + 175.67 F_F N_E - 681.67 F_S N_E F_F + 261.67 F_S^2 N_E F_F$$

(CME = 5414.8, CV = 18.4%, Pr.F = 0.01 y R² = 0.60)

donde: CN es el porcentaje de colonización por nematodos en raíz, NS es el número de nematodos presentes en un segmento de raíz de 1 cm de longitud, NQ es el número de quistes por 100 g de suelo.

Con base en los modelos de regresión y sus términos significativos, en el Cuadro 4 se presentan los valores estimados de CN, NS y NQ para los tratamientos de fertilización al suelo y foliar y aplicación de nematicida.

La variable CN presentó una disminución importante del orden de 23 y 34% con la fertilización al suelo en sus Niveles 1 y 2 en relación con el tratamiento sin fertilización, respectivamente, y una disminución del orden de 12% al combinar la fertilización al suelo con la fertilización foliar en ambos niveles. De forma similar, la variable NS se disminuyó en 55 y 58% para cada nivel de fertilización al suelo, y fue incrementada por la fertilización foliar en 13%, en comparación con el tratamiento sin fertilización al suelo y foliar, y sin aplicación de nematicida.

En el presente trabajo, se determinaron dos especies de nematodos en la raíz de papa: *G. rostochiensis* y *Pratylenchus* sp; sin embargo, no fue posible separar ambos nematodos.

Cuadro 4. Colonización por nematodos, nematodos por segmento de raíz y número de quistes por 100 g de suelo en función de la fertilización al suelo y foliar, y aplicación de nematicida.

Tratamiento [†]			Colonización por nematodos	Nematodos por segmento de raíz	Nematodos quiste por 100 g de suelo
F _S	N _E	F _F			
			%		
0	0	0	75	3.1	454
0	0	1	75	3.5	264
0	1	0	75	3.1	454
0	1	1	75	3.5	440
1	0	0	52	1.4	410
1	0	1	63	1.9	535
1	1	0	52	1.4	410
1	1	1	63	1.9	290
2	0	0	41	1.3	365
2	0	1	63	1.7	473
2	1	0	41	1.3	365
2	1	1	63	1.7	332

[†] F_S = fertilización al suelo 0 = 0%, 1 = 50% y 2 = 100% (N-P₂O₅-K₂O kg ha⁻¹); N_E = nematicida, F_F = fertilización foliar, 0 = sin y 1 = con (ésta última de acuerdo con el requerimiento).

Se consideraron tanto nematodos juveniles, como adultos y se confirmó la presencia de *Pratylenchus* sp. (huevecillos, juveniles y adultos dentro de la raíz); además, se identificaron nematodos de este género en extracciones de suelo, obtenidos con la técnica de centrifugación y tamizado (Meredith, 1973).

El comportamiento de nematodos en el interior y exterior radical fue diferente, debido, posiblemente, a que los nematodos encontrados presentan diferente hábito alimenticio. Así, *Pratylenchus* sp. es un endoparásito migratorio y *Globodera rostochiensis* es un endoparásito sedentario. Además, el primer nematodo se determinó básicamente en raíz y, el segundo, en suelo.

Dentro de los niveles de fertilización al suelo, al fertilizar de forma foliar el cultivo, se incrementó la colonización de nematodos. Esto indica que la fertilización foliar favoreció el establecimiento del nematodo en la raíz de papa. Al analizar el Cuadro 2, la fertilización foliar en combinación con ambos niveles de fertilización al suelo incrementó el rendimiento de tubérculos, lo que permitiría deducir que la fertilización foliar favoreció la tolerancia al patógeno porque aunque éste está en mayor cantidad en la raíz, el rendimiento manifestó un incremento.

En cuanto al número de quistes, se presentó una disminución significativa al fertilizar el suelo y fertilizar foliarmente el cultivo, en forma separada; además, hubo un incremento en esta variable al combinar ambos tipos de fertilización y ante la fertilización foliar en combinación con el nematicida. Al combinar los tres factores se manifestó una disminución en el número de quistes. El nematicida no afectó la colonización por nematodos ni el número de nematodos en la raíz, a pesar de que, al combinarse con la fertilización al suelo en ambos niveles, se presentaron los menores porcentajes de colonización y número de nematodos por segmento de raíz.

También, las variables colonización por nematodos, nematodos por segmento de raíz y número de quistes presentaron una respuesta variable con la concentración nutrimental, de acuerdo con los modelos de regresión:

$$CN = 194.9 - 30.90 \log (Mn) + 0.31 Zn \\ (CME = 51.8, CV = 11.0\%, Pr.F = 0.01 \text{ y } R^2 = 0.69)$$

$$NS = 9.00 - 1.68 \log (Mn) + 0.0004 Zn^2 \\ (CME = 0.47, CV = 34.8\%, Pr.F = 0.02 \text{ y } R^2 = 0.42)$$

$$NQ = 472.10 + 180.6 K^2 - 3.160 Zn \\ (CME = 3902, CV = 15.4\%, Pr.F = 0.01 \text{ y } R^2 = 0.46)$$

donde: K es la concentración de potasio ($mg\ g^{-1}$) en follaje.

Se observó una relación inversa entre las variables colonización por nematodos y nematodos por segmento de raíz y la concentración de Mn, a la vez que, para las mismas variables, la relación fue directa con la concentración de Zn. El número de quistes en el suelo presentó un incremento dependiente de la concentración de K en follaje y una disminución dependiente del Zn.

CONCLUSIONES

- El efecto del manejo nutrimental mediante la fertilización al suelo y foliar, y de la aplicación del nematicida en el estado nutrimental, infección por nematodos y el rendimiento de tubérculos es variable. La concentración de manganeso es mayor al fertilizar el suelo y de forma foliar, y ésta genera un aumento en el rendimiento a pesar de presentar una colonización por nematodos de 63%. Se manifiesta una disminución en la variable colonización y en el número de nematodos por segmento de raíz al incrementar la concentración de manganeso en follaje.

- La colonización por nematodos y el número de nematodos por segmento de raíz disminuyen significativamente con la fertilización al suelo; por el contrario, la fertilización foliar genera un incremento de estas variables. No hay efecto de tratamientos en la variable número de quistes, a pesar de observarse una disminución de 5, 3 y 13% con la fertilización al suelo, foliar y nematicida, respectivamente. La concentración de K en foliolos fue muy baja, menor que el límite inferior del intervalo de suficiencia, a pesar de la aplicación foliar de este elemento, y de encontrarse en alta concentración en el suelo.

AGRADECIMIENTOS

Al M.C. Juventino Cuevas Ojeda del Laboratorio de Nematología del Departamento de Parasitología, perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, estado de México por el apoyo brindado.

LITERATURA CITADA

- Alcántar-González, G. y M. Sandoval-Villa. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, estado de México.
- Brodie, B.B., K. Evans e I. Franco. 1993. Nematode parasites of potatoes. pp. 87-100. In: Evans, K., D.L. Trudgill y

- J.M. Webster (eds.). Plant parasitic nematodes in temperate agriculture. CAB-International-Rothamsted Experimental Station. Harpenden, Herts, UK.
- Estañol-Botello, E., R. Ferrera-Cerrato, C. Sosa-Moss, J.A. Santizo-Rincón y R. Quintero-Lizaola. 1999. Interacción del nematodo *Meloidogyne chitwoodi* con tres especies del hongo *Glomus* sp. en la producción y distribución de materia seca de plantas jóvenes de maíz. *Terra* 17: 17-25.
- Fasan, T. y A.J. Haverkort. 1991. The influence of cyst nematodes and drought on potato growth. 1. Effects on plant growth under semi-controlled conditions. *Neth. Plant Path.* 97: 151-161.
- Fatemy, F. y K. Evans. 1986. Growth, water uptake and calcium content of potato cultivars in relation to tolerance of cyst nematodes. *Revue de Nematologica* 9: 171-179.
- Fatemy, F., P.K.E. Trinder, J.N. Wingfield y K. Evans. 1985. Effects of *Globodera rostochiensis*, water stress and exogenous abscisic acid on stomatal function and water use of Cara and Pentland Dell potato plants. *Revue de Nematologica* 8: 249-255.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Grove, I.G., P.P.J. Haydock, K. Evans y D.J. Lewis. 1999. Supplementary foliar N, P and K, applied individually or in combination, and the tolerance of potatoes to infection by the potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Ann. App. Biol.* 134: 193-204.
- Hirschmann, H. 1982. Taxonomy of the cyst and root-knot nematodes, pp. 54-70. In: Riggs, R.D. (ed.). *Nematology in the Southern Region of the United States*. Southern Cooperative Series Bulletin 276. Fayetteville, AR.
- Hough, A. e L.J. Thomason. 1975. Effects of aldicarb on the behavior of *Heterodera schachtii* and *Meloidogyne javanica*. *J. Nematol.* 7: 221-229.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espamol/estados/tlax/ clim.cfm> (consultada: febrero 2004).
- Junta de Extremadura. Conserjería de Agricultura y Comercio. 1992. Interpretación de análisis de suelo, foliar y agua de riego. Consejo de abonado. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Maria-Ramirez, A. y V. Volke-Haller. 1999. Estratificación del potencial productivo del maíz en la región oriente del estado de Tlaxcala. *Terra* 17: 131-138.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. New York.
- Meredith, J. 1973. Algunos métodos de campo y laboratorio para trabajar con nematodos. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- Mills, H.A. y J.J. Benton Jr. 1996. *Plant Analysis Handbook II. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Micro Macro Publishing. Athens, GA.
- Montañés, L., L. Heras y M. Sanz. 1991. Desviación del óptimo porcentual (DOP): nuevo índice para la interpretación del análisis vegetal. *Anales Aula Dei*. 20: 93-107.
- Nelmes, A.J. 1971. Behavioral responses of *Heterodera rostochiensis* larvae to aldicarb and its sulfoxide and sulfone. *J. Nematol.* 2: 223-227.
- Rodríguez-Mendoza, M.N., G. Alcántar-González, A. Aguilar-Santelises, J.D. Etchevers-Barra y J.A. Santizo-Rincón. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra* 16: 135-141.
- Rubio-Covarrubias, O.A., J.A. Rangel-González, R. Flores-López, J. Magallanes-González, G.C. Díaz-Hernández, E.T. Zavala-Quintana, A. Rivera-Peña, M.A. Cadena-Hinojosa, R. Rocha-Rodríguez, C. Ortiz-Trejo, H. López-Delgado, M. Díaz-Vulasis y A. Paredes-Tenorio. 2000. Manual para la producción de papa en las sierras y valles altos del centro de México. Libro Técnico 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Zinacantanpec, estado de México.
- Soltanpour, P.N., G.W. Johnson, S.M. Worman, J.B. Jones y R.O. Miller. 1998. Advances in ICP emission and ICP mass spectrometry. *Adv. Agron.* 64: 27.
- Sosa-Moss, C. 1986. Cyst nematodes in Mexico, Central and South America. pp. 397-398. In: Lambertí, L. y C.E. Taylor (eds.). *Cyst nematodes*. Plenum Press. New York.
- Spurr Jr., H.W. 1985. Mode of action of nematicides. pp. 269-376. In: Sasser, J.N. y C.C. Carter (eds.). *An advanced treatise on Meloidogyne*. Volume I: biology and control. Department of Plant Pathology-United States Agency for International Development. Raleigh, NC.
- Trudgill, D.L. 1987. Effects of rates of nematicides and of fertilizer on the growth and yield of cultivars of potato which differ in their tolerance of damage by potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *G. pallida*). *Plant Soil* 104: 235-243.
- Trudgill, D.L., K. Evans y M.S. Phillips. 1998. Potato cyst nematodes: damage mechanisms and tolerance in the potato. pp. 245-280. In: Marks, E.R.J. y B.B. Brodie (eds.). *Potato cyst nematodes: biology, distribution and control*. CAB-International. Wallingford, UK.
- Turner, J.S. y K. Evans. 1998. The origin global distribution and biology of potato cyst nematodes (*G. pallida* Stone). pp. 7-26. In: Marks, E.R.J. y B.B. Brodie (eds.). *Potato cyst nematodes: biology, distribution and control*. CAB-International. Wallingford, UK.
- Werner, G., H. Aeppli, G. Miehlich y E. Schonhals. 1978. Los suelos de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores (comentario a un mapa de suelos) con 4 mapas. Suplemento comunicaciones. Proyecto Puebla-Tlaxcala. E. Schonhals (ed.). Fundación Alemana para la Investigación Científica. Puebla, México.

INFLUENCIA DEL NITRÓGENO SOBRE LA INFECCIÓN DE TIZÓN TARDÍO EN EL CULTIVO DE PAPA EN TOLUCA, MÉXICO

Effect of Nitrogen on Late Blight Infection in Potato Crop in the Toluca Valley, Mexico

Oswaldo A. Rubio-Covarrubias^{1‡}, Niklaus J. Grünwald¹ y Mateo A. Cadena-Hinojosa¹

RESUMEN

La fertilización nitrogenada y la incidencia del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) son dos factores decisivos en la producción de papa en México. Su interrelación se determinó en un estudio de dos años (1998 y 1999) en condiciones de campo en el valle de Toluca, considerado el centro de origen del patógeno. La variedad de papa Alpha, la cual es susceptible al tizón tardío, se fertilizó con dosis de nitrógeno que variaron de 0 a 320 kg ha⁻¹ y la infección foliar por tizón tardío se evaluó cada semana durante todo el ciclo vegetativo de la planta. En 1998 y 1999, se obtuvo una infección foliar máxima de 20% y 90%, respectivamente, y se observó un efecto significativo del nitrógeno sobre la severidad de la infección. Los resultados indican que las deficiencias de nitrógeno favorecieron la infección cuando ésta se inició en las primeras etapas de desarrollo de la planta. En cambio, altas dosis de nitrógeno propiciaron el desarrollo de la enfermedad cuando la infección se inició durante la etapa de máximo desarrollo vegetativo de la planta, lo cual se asoció con el mayor crecimiento vegetativo estimulado por altas dosis de nitrógeno y, en consecuencia, con la creación de un microclima más adecuado para el desarrollo del patógeno dentro del follaje.

Palabras clave: *Phytophthora infestans*, *Solanum tuberosum* L.

SUMMARY

A field study was carried out during two years (1998 and 1999) in the Toluca Valley, the presumed center of origin of *Phytophthora infestans*, to determine the effect of a range of nitrogen fertilization

(0-320 kg ha⁻¹) on potato late blight infection. The susceptible potato variety Alpha was used in this study. Late blight infection was monitored weekly and the highest final disease severities were 20% in 1998 and 90% in 1999. In both years there was a significant effect of nitrogen on the disease severity. Nitrogen deficiency increases late blight infection on the first development stages of the plants, while nitrogen excess may favor the pathogen during the maximum vegetative growth stage. The high nitrogen levels may have promoted plant growth and, consequently, created more favorable micro-climatic conditions inside the plant canopy for the pathogen development.

Index words: *Phytophthora infestans*, *Solanum tuberosum* L.

INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de papa se caracteriza por requerir de una gran cantidad de productos agroquímicos, como insecticidas, fungicidas y fertilizantes. Entre estos últimos, el nitrógeno es el elemento que se utiliza en mayores cantidades por su significativo efecto en el rendimiento y desarrollo del cultivo de papa. Los agricultores aplican, en general, dosis mayores que las requeridas por el cultivo, debido a la marcada respuesta en el desarrollo vegetativo y por considerar que es preferible tener un exceso que una deficiencia. Además del efecto negativo sobre el rendimiento y la calidad de los tubérculos (Bélanger *et al.*, 2002), los excesos de nitrógeno pueden tener efectos adversos sobre la incidencia de enfermedades (Marschner, 1995). Entre las enfermedades que atacan al cultivo de papa en México, el tizón tardío, causado por el oomiceto *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, se encuentra entre las principales enfermedades de importancia nacional (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2000).

Existen trabajos de investigación que indican que dosis crecientes de nitrógeno pueden favorecer la infección de tizón tardío en la papa (Awan y Struchtemeyer, 1957; Carnegie y Colhoun, 1983; Juárez *et al.*, 2001); también se ha reportado el efecto

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Conjunto SEDAGRO s/n, 52140 Metepec, estado de México.

[‡] Autor responsable (oswaldorubio@terra.com.mx)

Recibido: Enero de 2004. Aceptado: Junio de 2005.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 23: 487-493.

contrario (Perumal y Sahota, 1986) o se ha observado mayor incidencia de tizón tardío en lotes con deficiencias de nitrógeno (Varis *et al.*, 1996). Estos resultados contradictorios posiblemente se deben a las condiciones en las que se han efectuado los experimentos, sobre todo considerando las dosis y fuentes de nitrógeno, las condiciones de invernadero, laboratorio y campo, las variedades y la forma y época de inoculación. La variabilidad de estos resultados sugiere la necesidad de realizar estudios en las condiciones naturales en las que crece el cultivo de papa en una determinada región.

El efecto del nitrógeno sobre la incidencia de enfermedades en las plantas está relacionado a su función fisiológica (Marschner, 1995) y, específicamente en el caso del cultivo de papa, el N influye en el grado de crecimiento de las plantas y, en consecuencia, en las condiciones micro climáticas dentro del follaje, las cuales, a su vez, pueden favorecer el desarrollo de *P. infestans* (Juárez *et al.*, 2001).

Tomando en consideración lo expuesto anteriormente, se planeó este trabajo con el objetivo de definir la influencia de la fertilización nitrogenada sobre la incidencia del tizón tardío de la papa. Se consideró conveniente realizar el estudio en condiciones de campo, donde pueda ocurrir una infección natural de tizón tardío en el cultivo de papa. Estas condiciones propicias se dan en el valle de Toluca, en el estado de México, el cual se encuentra dentro de la región considerada como el centro de origen de *P. infestans* por la biodiversidad de razas presentes en este lugar (Goodwin *et al.*, 1992; Fry *et al.*, 1993; Grünwald *et al.*, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante 1998 y 1999, se establecieron dos experimentos en lotes en Metepec, estado de México (19° 14' 54" N, 99° 34' 32" O). El suelo en ambos lotes experimentales es un suelo profundo de origen aluvial, tiene una textura de franco arenoso (arena, 69.6%; limo, 18%; y arcilla, 12.4%), pH de 6.3 y se considera pobre en nitrógeno. En el lote experimental de 1998, el contenido de materia orgánica en los primeros 30 cm del suelo fue de 0.81% y el contenido de nitrógeno inorgánico (nitrato+amonio) fue de 6.07 mg kg⁻¹. El lote de 1999 tuvo un contenido de materia orgánica y de nitrógeno inorgánico de 0.89% y de 5.35 mg kg⁻¹, respectivamente. Este tipo de suelo es preferido por los productores de papa de la región,

principalmente por su textura ligera. La variedad de papa utilizada fue Alpha, la cual es susceptible al tizón tardío, sin embargo, es la variedad de papa sembrada en mayor extensión en México. Las dosis de nitrógeno aplicadas en 1998 fueron 0, 80, 160, 240 y 320 kg ha⁻¹ y, en el experimento de 1999, fueron 0, 90, 180 y 270 kg ha⁻¹. La fuente de nitrógeno en ambos experimentos fue nitrato de amonio. Además de las dosis variables de nitrógeno, todas las unidades experimentales recibieron en el momento de la siembra 150 kg ha⁻¹ de K₂O en forma de cloruro de potasio y 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ como superfosfato triple. Cada unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5 m de longitud, con una separación entre surcos de 92 cm y entre plantas de 30 cm. En los dos experimentos, se tuvo un diseño experimental de bloques al azar con seis y cinco repeticiones en 1998 y 1999, respectivamente.

Las fechas de siembra de los experimentos fueron el 25 de junio de 1998 y el 21 de junio de 1999. Los dos experimentos se establecieron en condiciones de temporal, el cual en general es suficiente en el valle de Toluca donde se tiene una precipitación anual media de 800 mm. En el sitio experimental, en 1998, se tuvo una precipitación durante todo el año de 842 mm y, en 1999, de 554 mm.

En cada unidad experimental, se evaluó, en forma semanal, el grado de infección por tizón tardío, estimando visualmente el porcentaje del follaje que presentaba lesiones. Con estos datos, se calculó el área bajo la curva de infección (ABCI) como se ha indicado previamente (Shaner y Finney, 1977). El ABCI es una medida relativa que representa el área total que se encuentra debajo de la curva de infección durante todo el ciclo vegetativo del cultivo (expresada en unidades de días-% área foliar infectada) y se calcula con la fórmula:

$$ABCI = \sum_{i=1}^n [(X_{i+1} + X_i)/2] [T_{i+1} - T_i]$$

donde: X_i = % del área foliar infectada en la i-ésima observación, T = tiempo en días después de que la primera lesión apareció en el campo, y n = número total de observaciones.

En cada experimento, los datos de ABCI se sometieron a un análisis de varianza utilizando SAS, Versión 8.1 (SAS Institute, 1999) y, con las medias del ABCI de cada tratamiento de fertilización, se construyeron curvas en las cuales se relacionó el grado de infección por tizón tardío y las diferentes dosis de nitrógeno.

Con el objetivo de proteger al cultivo contra el ataque del psilido de la papa (*Paratrioza cockerelli*), pulgones y chicharritas, durante todo el desarrollo del cultivo se aplicaron cada semana insecticidas de diferentes grupos (organofosforados, clorados, carbamatos y piretroides), en forma rotativa. También hubo necesidad de usar fungicidas cuando las plantas iniciaban su desarrollo vegetativo y la presión de infección por tizón tardío era alta; de esta manera, se evitó que las plantas murieran desde pequeñas sin permitir observar la relación entre la fertilización nitrogenada y el desarrollo de la enfermedad. Los fungicidas se aplicaron de forma variable cada una o dos semanas, dependiendo de las condiciones climáticas, de tal manera, que el tizón tardío no aniquilara a las plantas y que les permitiera completar su ciclo vegetativo. Los fungicidas empleados fueron principalmente protectivos (mancozeb y clorotalonil) y sólo en dos ocasiones por ciclo se aplicaron fungicidas curativos (metalaxil y propamocarb). Una vez concluido el ciclo vegetativo del cultivo, a 90 días después de la siembra, se aplicó un desecante (paraquat) al follaje y, 20 días después, se cosecharon los tubérculos, los cuales se clasificaron por tamaño. El rendimiento del tamaño comercial de los tubérculos es el reportado en este estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de los tubérculos se presenta en la Figura 1, en la cual se observa que el rendimiento en 1999 fue mucho más bajo que en 1998. Esta diferencia se atribuye principalmente a la mayor severidad de infección de tizón tardío en 1999 que en 1998 (Figuras 1 y 2). Además de la enfermedad, la menor precipitación en 1999 (Figura 3) pudo haber influido en la obtención de menor rendimiento en ese año; sin embargo, durante el ciclo vegetativo del cultivo no se observó ningún período en el que las plantas sufrieran por falta de agua, por lo que se asume que el factor principal que determinó la diferencia en rendimiento entre los dos años fue el grado de infección por tizón tardío. El coeficiente de correlación (Pearson) entre el rendimiento y el ABCI, juntando los dos años, fue de 0.77 ($P = 0.0001$), lo cual comprueba estadísticamente la gran influencia del tizón tardío sobre el rendimiento. Al utilizar las ecuaciones de regresión entre rendimiento y dosis de nitrógeno, se calculó una dosis óptima de 222 kg ha⁻¹ en 1998 y de 137 kg ha⁻¹ en 1999. Obviamente, la dosis óptima de nitrógeno fue más baja en 1999 que

en 1998, debido a la mayor infección por tizón tardío y menor rendimiento en 1999. El amplio grado de infección por tizón tardío obtenido en los dos años permite analizar la influencia del nitrógeno sobre la severidad de la enfermedad.

En la Figura 2, se presenta el progreso de la curva de infección a través del desarrollo vegetativo del cultivo en 1998 y 1999. En esta figura, puede notarse que, en el año 1998, la infección tuvo un rápido desarrollo después de 35 días de emergencia. En comparación, en el año 1999 (Figura 2), la expansión máxima de la enfermedad ocurrió 50 días después de la emergencia de las plantas. El inicio más temprano de la enfermedad en 1998 que en 1999 se debió a la mayor cantidad de lluvia ocurrida en 1998 durante los primeros días después de la emergencia de las plantas (Figura 3). La precipitación es el componente climático que más influye en el desarrollo de *P. infestans* en el valle de Toluca (Grünwald *et al.*, 2002b). La temperatura fue relativamente homogénea durante el período de desarrollo de las plantas y la diferencia entre los dos años fue menor que 1 °C (Figura 3), lo cual indica que la precipitación fue el factor climático más decisivo en el desarrollo de la enfermedad. Es importante hacer notar que el follaje

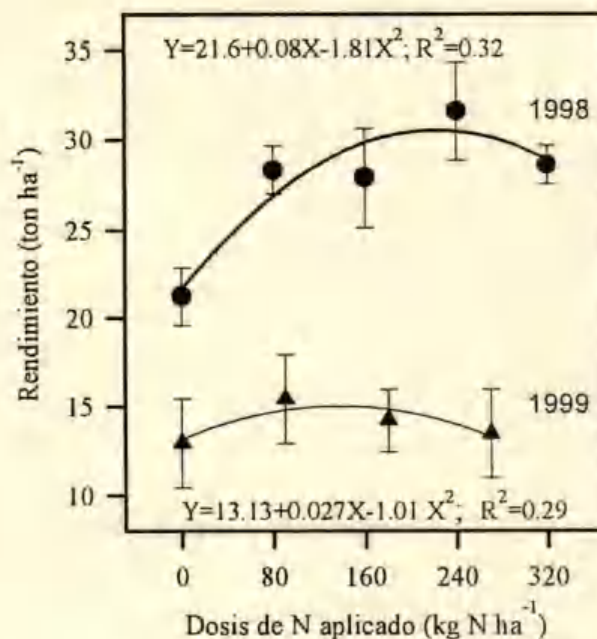


Figura 1. Rendimiento en función del nitrógeno aplicado en dos experimentos en 1998 y 1999. Las barras verticales representan los errores estándar de las medias. Se incluyen las ecuaciones cuadráticas de regresión entre el rendimiento (Y) y el nitrógeno (X).

de las plantas cubrió los surcos después de 30 días de emergencia y esto pudo crear condiciones micro climáticas propicias, dentro del follaje, para el desarrollo de la enfermedad.

Debido a que la infección, en 1998, se inició en una etapa muy temprana del desarrollo de las plantas,

se tuvieron que aplicar fungicidas inmediatamente después de la emergencia de las plantas y sólo se dejó un periodo sin fungicidas entre 35 y 55 días después de la emergencia para evitar que las plantas murieran sin mostrar la relación entre la fertilización nitrogenada y el desarrollo de la enfermedad. Esto no

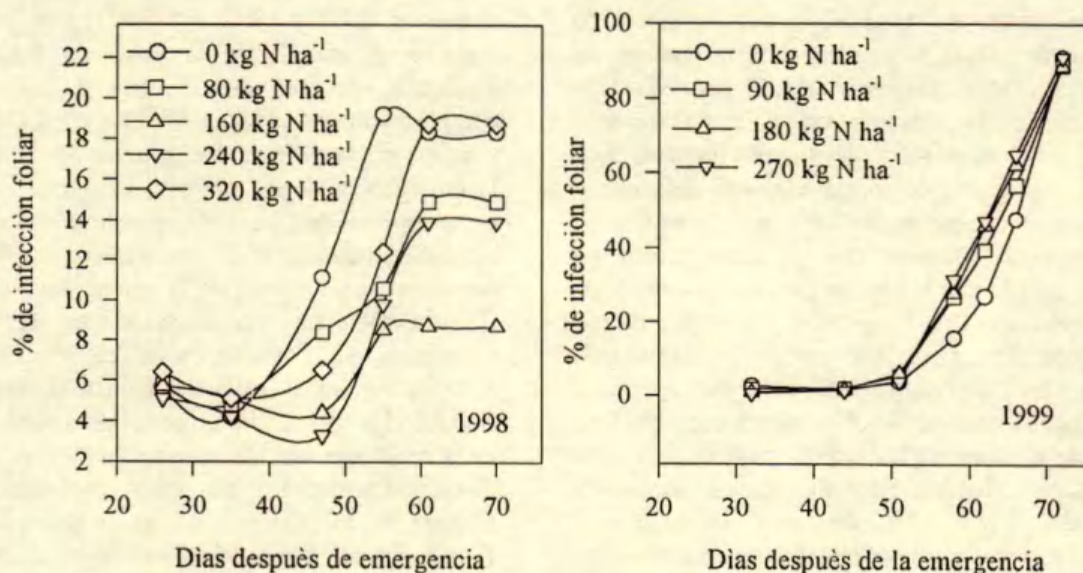


Figura 2. Progreso de la infección foliar por tizón tardío durante el ciclo vegetativo de la planta en los experimentos de 1998 y 1999.

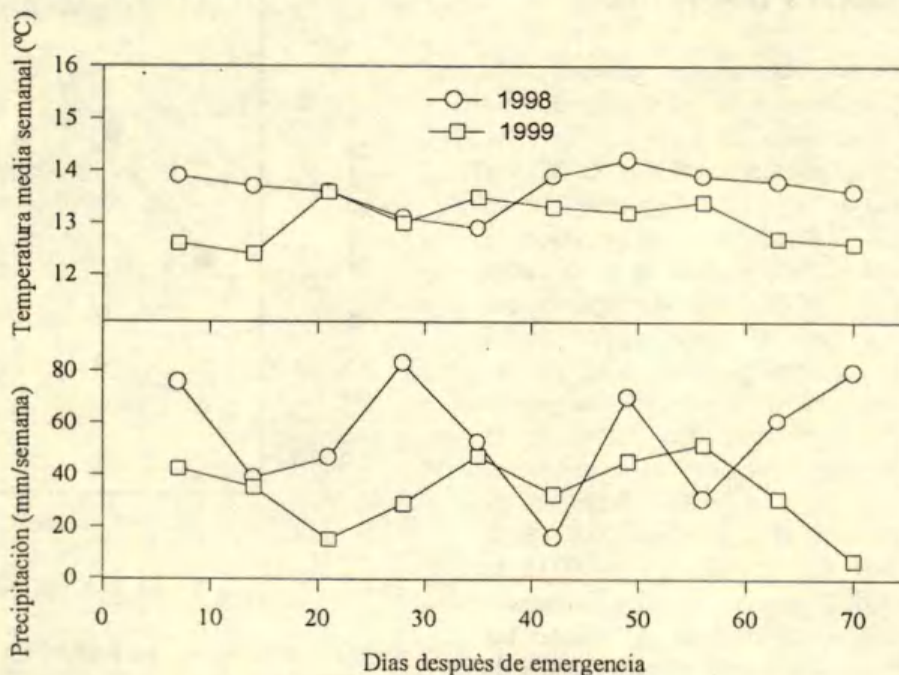


Figura 3. Variación de la precipitación y de la temperatura durante el ciclo vegetativo del cultivo de papa en 1998 y 1999.

se hizo en 1999 cuando la enfermedad se inició más tarde y se permitió que las plantas terminaran su ciclo vegetativo con un alto grado de infección. La aplicación de fungicidas tuvo gran influencia sobre la severidad de la enfermedad en las plantas; sin embargo, la variación del grado de infección en los dos años permitió definir la relación nitrógeno-tizón tardío.

La relación entre el nitrógeno y la severidad de la infección es analizada en la Figura 4, en la cual el área bajo la curva de infección durante todo el ciclo vegetativo de la planta está expresado en un solo valor (ABCI) para cada dosis de nitrógeno. En esta figura, puede apreciarse que, en 1998, hubo un efecto significativo del nitrógeno al disminuir la infección con las primeras dosis de nitrógeno y aumentarla con las dosis más altas. En 1999, se presentó una tendencia general de incrementar los grados de infección con el aumento de las dosis de nitrógeno. Estos resultados aparentemente no son consistentes y las diferencias entre los dos años pueden explicarse al tomar en consideración el período del desarrollo vegetativo de la planta durante el cual se inició la infección. El análisis combinado de las Figuras 2, 3 y 4 indica que si la infección se inicia en los primeros estadios de desarrollo de la planta, las deficiencias de nitrógeno favorecen a la enfermedad; pero, si la infección se inicia durante el periodo de máximo desarrollo foliar, las dosis excesivas de nitrógeno inducen un follaje exuberante y, en consecuencia, se crean las condiciones propicias para el desarrollo de la enfermedad.

Lo expuesto anteriormente queda más claro en el análisis detallado del año 1998 (Figura 5), en el cual se presentó el efecto positivo y negativo del nitrógeno sobre el desarrollo del tizón tardío. En la Figura 4 es notorio que a 35 días después de la emergencia de las plantas aún no había un efecto significativo del nitrógeno, a 47 días hubo una disminución de la infección foliar hasta 240 kg ha⁻¹ de N y un aumento con 320 kg ha⁻¹ de N; a 61 días, se observó un aumento de la infección foliar a dosis mayores que 160 kg ha⁻¹ de N. Por lo tanto, el análisis de los resultados en su conjunto sugiere que moderadas dosis de nitrógeno contribuyen a fortalecer a la planta y le ayudan a resistir el ataque de *P. infestans* en los primeros estadios de su desarrollo; sin embargo, altas dosis de nitrógeno pueden propiciar el desarrollo de la enfermedad, en especial cuando el ataque más severo ocurre en las etapas posteriores al cubrimiento de los surcos por el follaje.

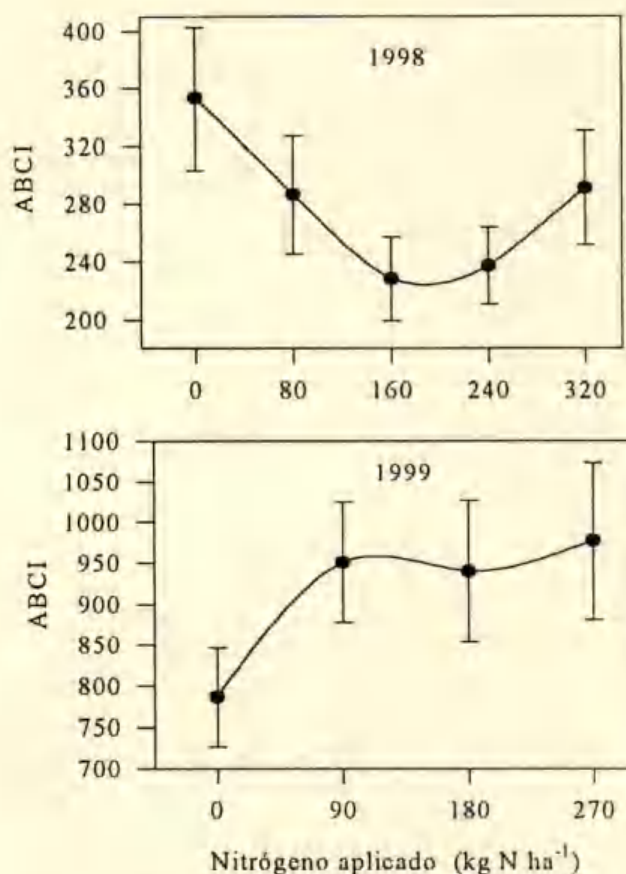


Figura 4. Relación entre el área bajo la curva de infección (ABCI) y las dosis de nitrógeno aplicado al suelo en dos experimentos durante dos años (1998 y 1999). Las barras verticales representan los errores estándar de las medias.

En los experimentos conducidos durante los dos años de este estudio, se presentaron efectos positivos y negativos del nitrógeno sobre el desarrollo del tizón tardío en el cultivo de papa. Relaciones positivas han sido observadas por Awan y Struchtemeyer (1957), Carnegie y Colhoun (1983) y Juárez *et al.* (2001), y negativas por Perumal y Sahota (1986) y Varis *et al.* (1996). La variabilidad en los resultados sugiere que la relación entre el nitrógeno y la incidencia del tizón tardío puede ser afectada por diversas condiciones experimentales. En el presente estudio, el estado de desarrollo del cultivo en el que ocurrieron las condiciones climáticas propicias para la expansión de la enfermedad fue decisivo en la relación nitrógeno-tizón tardío. El mayor riesgo de infección debido al desarrollo vegetativo propiciado por el nitrógeno ha sido observado por Juárez *et al.* (2001) en condiciones de campo. En el presente trabajo se observó que tanto las deficiencias como los excesos de nitrógeno pueden

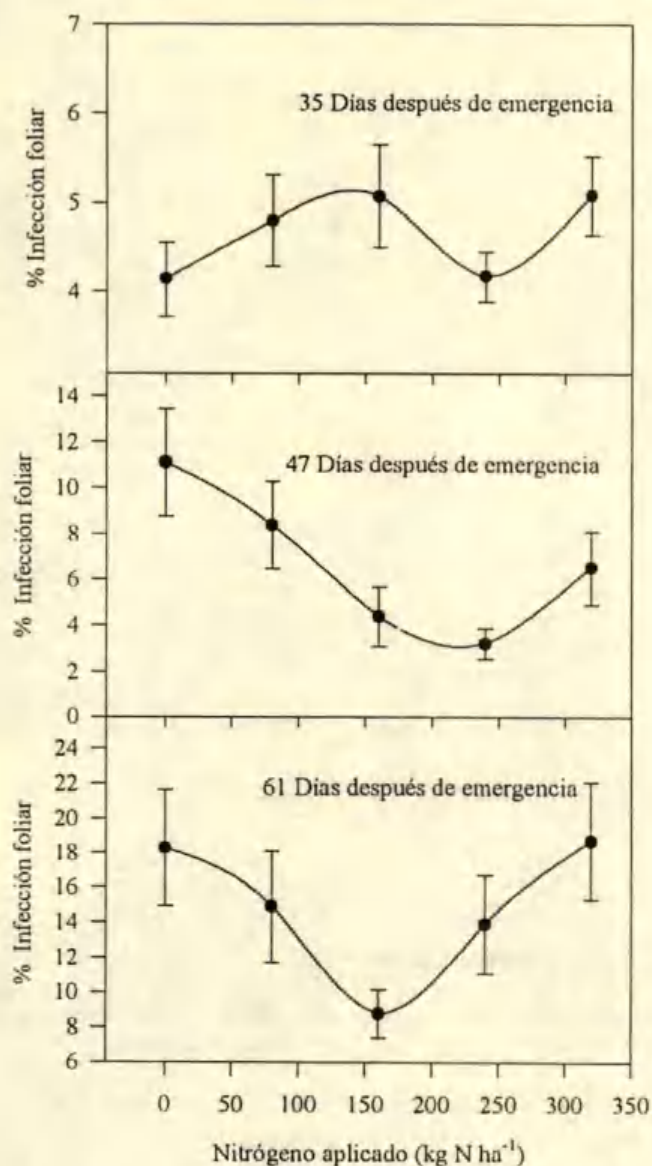


Figura 5. Infección foliar por tizón tardío durante tres fechas después de la emergencia de las plantas en 1998. Las barras verticales representan los errores experimentales de las medias.

favorecer el desarrollo del tizón tardío en el cultivo de papa, por lo que una fertilización balanceada con moderadas cantidades de nitrógeno es lo más adecuado para disminuir los riesgos de la enfermedad, lo cual ha sido enfatizado por varios autores al referirse a las enfermedades en general (Rotem y Aviva, 1982; Marschner, 1995).

La mayor incidencia del tizón tardío en condiciones de exceso de nitrógeno observado en este estudio puede estar relacionado con el cambio en la susceptibilidad de las plantas, ya que los excesos de

nitrógeno disminuyen la concentración de lignina, la cual es una sustancia utilizada por las plantas como defensa física contra el ataque de plagas y enfermedades (Marschner, 1995). Además, se ha observado que las aplicaciones excesivas de nitrógeno pueden disminuir la concentración y la toxicidad de fenoles utilizados por las plantas contra la invasión de patógenos (Kiralý, 1964).

El estado nutricional de la planta puede tener un efecto directo sobre el desarrollo de los patógenos que se alimentan directamente de ella. *P. infestans* es un oomiceto que puede utilizar amonio, nitratos o aminoácidos como fuentes de nitrógeno para su desarrollo (Elliott, 1989). De manera similar que en las plantas, la presencia de nitratos y ausencia de amonio en el alimento del patógeno incrementa la actividad de la enzima nitrato reductasa encargada de la reducción del nitrato a amonio (Pieterse *et al.*, 1995). Por esta facultad de *P. infestans*, es de esperarse que la fuente de nitrógeno utilizada en el estudio (nitrato de amonio) no haya tenido influencia sobre su desarrollo. Sin embargo, el grado nutricional de las plantas, influenciado por las diferentes dosis de fertilización nitrogenada, si puede tener un efecto directo sobre el patógeno. De acuerdo con el trabajo de Elliott (1989), baja concentración de nitrógeno en el medio de cultivo es favorable para la reproducción del oomiceto por medio de oosporas y concentraciones crecientes estimulan la formación del micelio. Esto sugiere que bajas y altas concentraciones de nitrógeno en la planta pueden estimular la reproducción de *P. infestans* como ocurrió en 1998.

Los resultados obtenidos tienen especial importancia para los productores de papa, ya que, en general, hacen aplicaciones excesivas de nitrógeno que sobrepasan 180 kg ha⁻¹ recomendados para el cultivo de papa en el valle de Toluca (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2000), sin conocimiento de las consecuencias sobre la incidencia del tizón tardío. Los resultados demuestran que una fertilización moderada, evitando las deficiencias y los excesos, contribuye a disminuir la incidencia del tizón tardío. Esta estrategia no debe considerarse como única para controlar la enfermedad, pero sí debe formar parte de una serie de medidas que en su conjunto contribuyan, de manera más eficiente, a controlar el problema. Dentro de estas medidas, el uso de variedades de papa resistentes al tizón tardío debe ser la base (Grünwald *et al.*, 2002b).

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demostraron que tanto las deficiencias, como los excesos de nitrógeno pueden favorecer la incidencia del tizón tardío en el cultivo de papa, por lo que las cantidades recomendadas de este nutrimento para el valle de Toluca (180 kg ha⁻¹) satisfacen las necesidades del cultivo y disminuyen el grado de infección de tizón tardío. Las deficiencias de nitrógeno pueden estimular la reproducción por oosporas del oomiceto y los excesos pueden estimular el desarrollo vegetativo de la planta y la formación de un microclima favorable para el desarrollo del patógeno dentro del follaje de la planta.

LITERATURA CITADA

- Awan, A.B. y R.A. Struchtemeyer. 1957. The effect of fertilization on the susceptibility of potatoes to late blight. *Am. Potato J.* 34: 315-319.
- Bélangier, G., J.R. Walsh, J.E. Richards, P.H. Milburn y N. Ziadi. 2002. Nitrogen fertilization and irrigation affects tuber characteristics of two potato cultivars. *Am. J. Potato Res.* 79: 269-279.
- Carnegie, S.F. y J. Colhoun. 1983. Effects of plant nutrition on susceptibility of potato leaves to *Phytophthora infestans*. *Phytopathologische Zeitschrift* 108: 242-250.
- Elliott, C.G. 1989. Some aspects of nitrogen nutrition and reproduction in *Phytophthora*. *Mycol. Res.* 92: 34-44.
- Fry, W.E., S.B. Goodwin, A.T. Dyer, J.M. Matuszak, A. Drenth, P.W. Tooley, L.S. Sujkowski, Y.J. Koh, B.A. Cohen, L.J. Spielman, K.L. Deahl, D.A. Inglis y K.P. Sandlan. 1993. Historical and recent migrations of *Phytophthora infestans*: chronology, pathways, and implications. *Plant Dis.* 77: 653-661.
- Goodwin, S.B., L.J. Spielman, J.M. Matuszak, S.N. Bergeron y W.E. Fry. 1992. Clonal diversity and genetic differentiation of *Phytophthora infestans* populations in northern and central Mexico. *Phytopathology* 82: 955-961.
- Grünwald, N.J., W.G. Flier, A.K. Sturbaum, E. Garay-Serrano, T.B.M. van den Bosch, C.D. Smart, J.M. Matuszak, H. Lozoya-Saldaña, L.J. Turkensteen y W.E. Fry. 2001. Population structure of *Phytophthora infestans* in the Toluca Valley region of central Mexico. *Phytopathology* 91: 882-890.
- Grünwald, N.J., M. Cadena-Hinojosa, O.A. Rubio-Covarrubias, A. Rivera-Peña, J.S. Niederhauser y W.E. Fry. 2002a. Potato cultivars from the Mexican national program: sources and durability of resistance against late blight. *Phytopathology* 92: 688-693.
- Grünwald, N.J., G. Romero-Montes, H. Lozoya-Saldaña, O.A. Rubio-Covarrubias y W.E. Fry. 2002b. Potato late blight management in the Toluca Valley: field validation of SimCast modified for cultivars with high field resistance. *Plant Dis.* 86: 1163-1167.
- Juárez, H.S., J.R. Amaro, M.D. Rivera, A. Párraga y R.J. Hijmans. 2001. The effect of nitrogen fertilization on potato late blight in the field. Scientist and farmer: partners in research for the 21st Century. Program Report 1999-2000. International Potato Center (Centro Internacional de la Papa). Lima, Perú.
- Kiraly, Z. 1964. Effect of nitrogen fertilization on phenol metabolism and stem rust susceptibility in wheat. *Phytopathologische Zeitschrift* 51: 252-261.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. London, UK.
- Perunal, N.K. y T.S. Sahota. 1986. Investigations on growth and tuberization of potato at different planting dates and nitrogen levels. *Int. J. Trop. Agric.* 4: 63-72.
- Pieterse, C.M.J., J van 't Klooster, G.C.M. van den Berg-Velthuis y F. Govers. 1995. *NiaA*, the structural nitrate reductase gene of *Phytophthora infestans*: isolation, characterization and expression analysis in *Aspergillus nidulans*. *Curr. Genet.* 27: 359-366.
- Rotem, J. y S. Aviva. 1982. Fertilization and age-conditioned predisposition of potatoes to sporulation of and infection by *Phytophthora infestans*. *J. Plant Dis. Protection* 90: 83-88.
- Rubio-Covarrubias, O.A., J.A. Rangel-González, R. Flores-López, J.V. Magallanes-González, C. Díaz-Hernández, T.E. Zavala-Quintana, A. Rivera-Peña, M.A. Cadena-Hinojosa, R. Rocha-Rodríguez, C. Ortiz-Trejo, H. López-Delgado, M. Díaz-Valassis y A. Paredes-Tenorio. 2000. Manual para la producción de papa en las sierras y valles altos del centro de México. Libro Técnico 1. Campo Experimental Valle de Toluca, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Zacantepec, estado de México.
- SAS Institute, Inc. 1999. Statistical Analysis System for Windows. Release 8.1. Cary, NC.
- Shaner, G. y R.E. Finney. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology* 67: 1051-1056.
- Varis, E., L. Pietila y K. Koikkalainen. 1996. Comparison of conventional, integrated and organic potato production in field experiments in Finland. *Acta Agric. Scandinavica* 46: 41-48.

FERTILIZACIÓN FOLIAR CON UREA EN LA PARTICIÓN DE NITRÓGENO EN ESPINACA

Foliar Fertilization with Urea on the Partitioning of Nitrogen in Spinach

Libia Iris Trejo-Téllez^{1,2†}, Fernando C. Gómez-Merino^{3,4},
Ma. de las Nieves Rodríguez-Mendoza² y Gabriel Alcántar-González²

RESUMEN

Se estudió el efecto de la fertilización foliar con urea en combinación con fertilización a las raíces, sobre el contenido de proteínas solubles, aminoácidos libres, clorofila y la enzima Rubisco (EC 4.1.1.39) en plantas de espinaca. Se probaron nueve tratamientos que resultaron de la combinación de fertilización vía radical mediante la solución nutritiva de Steiner a 0, 50 y 100%, y de la fertilización foliar con urea a 0, 1 y 2%. Los tratamientos con aplicación foliar de urea a 2% incrementaron en más de 50% el contenido de proteínas solubles totales en hoja, con respecto al control. La fertilización foliar con urea a 1 y 2% incrementó la concentración de clorofila a en los tratamientos con nulo y bajo abasto nutrimental vía radical. No se observó efecto de los tratamientos evaluados sobre la relación clorofila a/clorofila b. El contenido de aminoácidos libres en hojas se incrementó al menos en 40% en los tratamientos con fertilización de urea al follaje a 2% respecto al control, mientras que, en raíces, se observó efecto positivo de la fertilización foliar en los tratamientos sin fertilización vía radical. La fertilización foliar de urea incrementó la concentración de la enzima Rubisco en la hoja, cuando se aplicó el fertilizante al follaje y a la raíz. La concentración total de proteínas solubles, clorofila a, aminoácidos libres y de la enzima Rubisco indica un importante incremento en el contenido de nitrógeno en la hoja como resultado de la aplicación foliar de urea.

Palabras clave: proteína, clorofila, aminoácidos libres, ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa/oxigenasa.

SUMMARY

The effect of foliar fertilization with urea in combination with root fertilization on the content of total soluble proteins, free amino acids, chlorophyll and the enzyme Rubisco (EC 4.1.1.39) in spinach was evaluated. We tested nine treatments, which resulted from the combination of root fertilization with 0, 50, and 100% of Steiner's nutrient solution and urea foliar fertilization at 0, 1, and 2%. Foliar fertilization of urea at 2% increased soluble protein content in leaves more than 50%, in comparison with control plants. Foliar fertilization at 1 and 2% increased chlorophyll a concentration in those treatments using no or low nutrient supply via roots. Treatments did not affect chlorophyll a/chlorophyll b ratio. Free amino acid content in leaves was at least 40% higher in plants receiving 2% urea as foliar fertilizer, in comparison with control plants, while, in roots, a positive effect of foliar fertilization on the same parameter was observed, when no fertilizer was applied to substrate. Urea foliar fertilization increased Rubisco content in leaves when both kinds of fertilization were combined. Contents of total soluble protein, chlorophyll a, free amino acid and Rubisco enzyme indicate an important increase of nitrogen content in leaves as a result of foliar fertilization with urea.

Index words: protein, chlorophyll, free amino acids, ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las plantas depende, en gran medida, de un adecuado suministro de nitrógeno para la formación de aminoácidos, proteínas y otros constituyentes celulares. Asimismo, el contenido de nitrógeno se relaciona estrechamente con la capacidad fotosintética, ya que el nitrógeno que constituye la clorofila, proteínas del tilacoide y enzimas

¹ FU-Berlin. Koenigin-Luise Str. 12-16a. 14195 Berlin, Alemania.

² Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, estado de México.

[†] Autor responsable (llibia@colpos.mx)

³ Universidad de Potsdam. Karl-Liebknecht-Str. 24-25. Casa 20. 14476 Golm, Alemania.

⁴ Campus Córdoba, Colegio de Postgraduados. 94500 Córdoba, Veracruz, México.

(principalmente Rubisco) representa alrededor de 75% del nitrógeno orgánico en la hoja (Bolton y Brown, 1980; Evans, 1983).

La mayoría de las plantas pueden utilizar diversas formas de nitrógeno, incluyendo amoníaco volátil (NH_3), óxidos de nitrógeno (NO_x), nitrógeno mineral (NO_3^- y NH_4^+) y nitrógeno orgánico (péptidos, aminoácidos y otros) (Von Wirén *et al.*, 1997). Las plantas también absorben urea, la cual contiene 46% de nitrógeno en forma ureica, y está en especial indicada para su aplicación foliar.

Debido a los altos requerimientos de nitrógeno por las plantas, la fertilización nitrogenada representa el principal insumo en la agricultura mundial. Se estima que cada año se aplican cerca de 90 millones de toneladas de nitrógeno para la producción agrícola en el mundo, mientras que el total de fertilizantes aplicados asciende a 150 millones de toneladas. Para el ambiente, existen consecuencias negativas por el excesivo uso de fertilizantes nitrogenados debido a que los cultivos agrícolas sólo retienen dos tercios del nitrógeno aplicado y el nitrógeno no asimilado puede subsecuentemente lixiviarse y contaminar los mantos acuíferos (Frink *et al.*, 1999) o perderse en forma gaseosa por volatilización y denitrificación.

La urea es el fertilizante nitrogenado más usado y puede también ser abastecido a las plantas a través del follaje debido a su baja fitotoxicidad, alta solubilidad y no polaridad (Wittwer *et al.*, 1963; Yamada *et al.*, 1965; Knoche *et al.*, 1994; Bondada *et al.*, 2001), lo cual facilita el óptimo manejo del nitrógeno, al minimizar las pérdidas del mismo en el ambiente (Giroux, 1984; Millard y Robinson, 1990; Haverkort y MacKerron, 2000). En adición, la mayoría de las células vegetales absorben con rapidez la urea aplicada vía foliar (Nicoulaud y Bloom, 1996), la cual se hidroliza en el citosol para su posterior transformación en aminoácidos transportables desde las hojas a otras partes de las plantas. El nitrógeno de la urea es así asimilado, evitando pérdidas de energía al elaborar otros productos intermedios, lo que favorece la fotosíntesis. La enzima Ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa/oxigenasa (Rubisco, EC 4.1.1.39) es clave en la fijación fotosintética del CO_2 en el ciclo de Calvin-Benson. La tasa fotosintética y la acumulación de biomasa depende, en gran medida, de la cantidad y actividad de la Rubisco (Lorimer, 1981). Aunado a su función enzimática clave, la enzima Rubisco, al ser tan abundante en la hoja (cerca de 65% del total de la proteína foliar), se le considera como un importante almacén de nitrógeno (Ellis, 1979).

Existen evidencias de que fracciones de esta enzima no se encuentran disponibles para la carboxilación y juegan un papel central en el almacenamiento de proteína (Eichelmann y Laisk, 1999).

La mayoría de las investigaciones se han enfocado al análisis del estatus del nitrógeno en la planta en relación con el desarrollo en respuesta a la aplicación foliar de urea, en especial en frutales (Cheng *et al.*, 1999, 2002; Bondada *et al.*, 2001; Johnson *et al.*, 2001), cereales (Gooding y Davies, 1992) y, en menor escala, en hortalizas (Knoche *et al.*, 1994). En el presente estudio, se emplearon plantas de espinaca con el objetivo de analizar el efecto de la aplicación foliar de urea sobre algunas variables relacionadas, de manera directa, con la absorción y partición del nitrógeno, así como evaluar su impacto en combinación con la fertilización tradicional vía radical.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal y Condiciones del Estudio

Se desarrollaron plántulas de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) var. Monnopa en charolas de plástico de 45 x 25 x 18 cm (largo, ancho y profundidad, respectivamente) y se utilizó como sustrato una mezcla de vermiculita, arena y turba en una relación 1:1:1 (v/v/v). Las plántulas se desarrollaron en condiciones controladas en invernadero con ciclos de luz/oscuridad y de temperatura de 16 h/8 h y 24 °C/19 °C, respectivamente, y con una humedad relativa constante de 60%. La intensidad luminosa fue de 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Tratamientos

Las charolas se regaron con agua corriente hasta la aparición de las primeras hojas (10 días después de la siembra) y a partir de entonces se inició la aplicación de los tratamientos, los cuales resultaron de la combinación de dos variables: a) aplicación foliar de urea: 0, 1 y 2%; y b) la solución empleada en el riego: agua corriente y la solución nutritiva de Steiner a 50 y 100%. De la combinación de los niveles resultaron nueve tratamientos.

Los fertilizantes foliares se asperjaron con 0.1% de Tween 20 como agente tensoactivo. Se realizaron cuatro aplicaciones foliares en intervalos semanales, utilizando un atomizador hasta alcanzar el punto de gotco.

Las plántulas se irrigaron mediante riego por subirrigación una vez al día por la mañana. Tanto las soluciones nutritivas, como el agua libre de nutrimentos empleadas para el riego tuvieron un pH de 5.5. La composición química de la solución completa de Steiner fue (en mol. m^{-3}): 12 NO_3^- , 1 $H_2PO_4^-$, 7 SO_4^{2-} , 7 K^+ , 9 Ca^{2+} y 4 Mg^{2+} (Steiner, 1984). Los micronutrimentos se agregaron en las concentraciones (en $mg L^{-1}$): 1.6 Mn, 0.11 Cu, 0.865 B y 0.023 Zn (Baca, 1983). El hierro se abasteció como Fe-EDTA a una concentración de 5 $mg L^{-1}$ a partir de una solución concentrada preparada según el método descrito por Steiner y Van Winden (1970).

Los muestreos de hoja y raíz se realizaron 24 h después de la última aplicación foliar, es decir, en plantas de aproximadamente 30 días de edad.

Aislamiento y Cuantificación de Proteínas Solubles Totales

Un gramo de material vegetal fresco (hojas o raíces), indicado en lo siguiente como PF (peso fresco) se maceró en mortero con la ayuda de nitrógeno líquido. Se adicionaron posteriormente 2 mL de amortiguador extractor que contenía: 250 mM N-(2-Hidroxietil)piperazina N'-(ácido 3 etanosulfónico)/2-amino-2(hidroximetil)-1,3,-propanediol (HEPES/Tris) pH = 8, 2 mM 1,4 ditiotreitil (DTT), 5 mM ácido n-caprónico, 1 mM benzamidina, 20 mM leupeptina, 1 mM fluoruro de fenil metil sulfonilo (PMSF), 1mM polivinil pirrolidona (PVP-40) y 1 mM ditionito de sodio (Höfner *et al.*, 1989). La mezcla se centrifugó por 10 min a 4 °C y 17,530 g. La fase líquida se colocó en un nuevo tubo y se le adicionó una mezcla de fenol/ β -mercaptoetanol (500:1) en una proporción 1:1. Las muestras se incubaron por 30 min en hielo (0 °C). Posteriormente, las muestras se centrifugaron nuevamente por 5 min (4 °C y 17,530 g), con el objetivo de separar las fases. A la fase fenólica se le adicionó etanol/glicerina (95:5) en una proporción 1:1 (v/v) y 20 μ L de acetato de amonio 7.5 M. La precipitación de la proteína ocurrió durante 12 h a una temperatura de -20 °C. El sedimento se lavó con etanol a 70% y se secó al aire. La proteína se disolvió en una solución reguladora (0.125 M Tris/HCl pH = 6.8; 0.025% de azul de bromofenol; 5% dodecilsulfato sódico (SDS) y 4 M urea). Aliquotas de 5 μ L de la proteína en solución se aplicaron a membranas de nitrocelulosa mediante

el procedimiento dot blot (Kafatos *et al.*, 1979). Las membranas se tiñeron con negro amido (0.1% negro amido; 30% metanol y 10% ácido acético) y se destiñeron para la cuantificación de proteína con una solución 25 mM NaOH en metanol 50% (Zlatanova *et al.*, 1994). La medición se realizó con espectrofotómetro (Farmacia LKB Modelo NovaspecII) a una longitud de onda de 640 nm. Albúmina de suero bovino se empleó como estándar.

Cuantificación de Clorofilas a y b y de Aminoácidos Libres.

Los extractos empleados para la determinación de clorofila y aminoácidos libres se obtuvieron mediante una triple extracción etanólica (Geiger *et al.*, 1998). Se maceraron 20 mg de hoja en mortero con la ayuda de nitrógeno líquido. El material triturado se colocó en tubos de reacción para la realización de las extracciones etanólicas. Cada una de las tres extracciones se realizó durante 20 min incubando las muestras a baño maría a 80 °C; con 500 μ L de etanol 80%, 300 μ L de etanol 80% y 500 μ L de etanol 50%, respectivamente. La separación de fases se realizó por centrifugación (17,530 g, 4 °C, 5 min) y los sobrenadantes de las tres extracciones se juntaron para realizar los análisis.

La determinación de clorofila a y b se realizó por el método de Quick *et al.* (1991) con espectrofotometría (Farmacia LKB Modelo UltrospecII) a longitudes de onda de 645 y 665 nm.

La concentración de aminoácidos libres se determinó en espectrofotómetro (Farmacia LKB Modelo NovaspecII) a 570 nm de longitud de onda por el método de la ninidrina (Moore y Stein, 1948; 1954) y se empleó leucina como estándar.

Determinación Indirecta de la Enzima Rubisco

La determinación cuantitativa indirecta de la enzima Rubisco se realizó por electroforesis en geles de poliacrilamida en presencia de dodecilsulfato de sodio (SDS-PAGE) usando un sistema discontinuo (Laemmli, 1970), con un gel concentrador de 4% y un gel separador de 12.5%. Se empleó un marcador de proteína con un intervalo de 2.5 a 200 kDa (kilo Daltons). Después de la electroforesis, los geles se tiñeron con una solución de azul de Coomassie (45% metanol, 10% ácido acético, 0.2% azul de Coomassie R250) durante 1 h a temperatura ambiente. El desteñido (45% metanol y 5% ácido acético) de

los mismos se realizó durante 3 h a temperatura ambiente (Sambrook y Russell, 2001). En cada muestra se aplicaron 25 μg de proteína soluble total. Las señales se cuantificaron en función de la densidad de las bandas en el gel digitalizado (formato tiff, 500 dpi en la escala de grises) empleando el programa de análisis de imagen Scan Analysis Version 2.1 (Sheriff, 1994).

Análisis Estadístico

Los resultados provienen de tres experimentos independientes. Cada una de las determinaciones se realizó en dos muestras de raíces y hojas por experimento, derivadas de 10 plántulas de cada tratamiento, se tuvieron de esta manera seis repeticiones en cada tratamiento. Las variables numéricas mostradas se expresan como medias aritméticas \pm SD (desviación estándar). Se empleó la prueba t-Student para comparar el control con el resto de los tratamientos. Los resultados se consideraron

significativos (*) cuando $P \leq 0.05$ y altamente significativos (**) cuando $P \leq 0.01$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de Proteínas Solubles Totales

Las concentraciones de proteínas en las hojas se incrementaron en forma proporcional por la fertilización foliar con urea, independientemente de la solución empleada para el riego (Figura 1A).

Cuando se aplicó al follaje urea a 2%, se incrementó la cantidad de proteína en aproximadamente 55, 60 y 84% en los tratamientos 0-2, 50-2 y 100-2, respectivamente, en comparación con el testigo absoluto (0-0). Las altas concentraciones de proteína en las hojas fertilizadas vía foliar respecto a las no fertilizadas representan una evidencia de un abasto suficiente de nitrógeno a la planta (Kutik *et al.*, 1995), el cual es logrado en este caso exclusivamente.

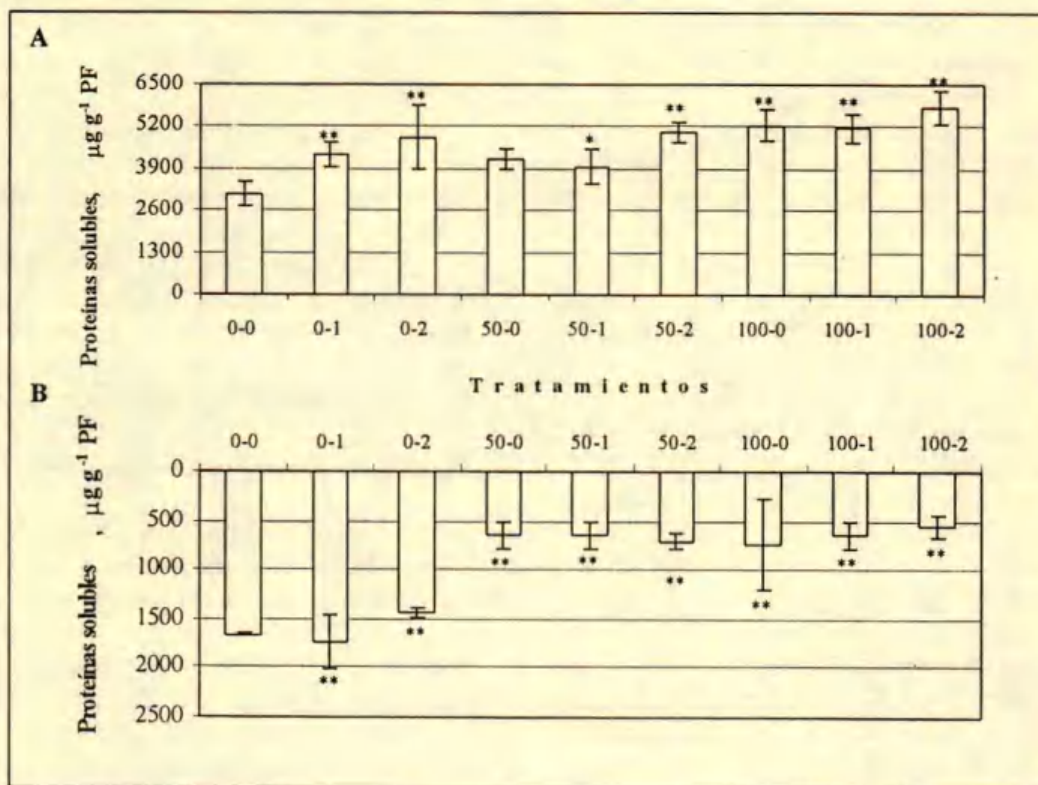


Figura 1. Concentración de proteínas solubles totales en hoja (A) y raíz (B) de espinaca sometida a tratamientos de fertilización foliar y radical. [n = 6, \pm SD, t-Student: * ($P \leq 0.05$) y ** ($P \leq 0.01$)].

En las raíces de los tratamientos que tuvieron abastecimiento nutrimental tanto vía foliar como radical, disminuyó drásticamente la cantidad de proteína (hasta 60% con respecto al testigo absoluto, Figura 1B). La mayor concentración de proteínas en las raíces se determinó en el control, lo cual podría interpretarse como una consecuencia del poco crecimiento debido al estrés nutrimental. En condiciones de estrés por nitrógeno, la tasa de crecimiento de la planta se reduce, lo cual se debe de manera parcial a que existe una baja inversión de compuestos orgánicos (fotosintatos) en hojas y a una mayor inversión de ellos en las raíces (Lambers *et al.*, 1995). No existe información específica de acumulación de proteínas solubles en raíz como resultado de estrés nutrimental, pero sí como resultado de otros tipos de estrés. Ejemplo de ello es que en condiciones de salinidad se induce la síntesis de proteínas en raíces de tomate (Chen y Plant, 1999), mientras que, en *Pinus banksiana* Lamb., el estrés hídrico propicia la acumulación de proteínas solubles y de membrana en raíces (Mayre *et al.*, 1994). En este sentido sería importante en futuros estudios evaluar la dinámica de proteínas en raíces sometidas a estrés nutrimental y la identificación de las mismas.

Contenido de Clorofilas

En el Cuadro 1, se encuentran los valores obtenidos de la medición de clorofilas a y b, así como la relación clorofila a/b.

La fertilización foliar con urea al follaje, tanto a 1%, como a 2%, incrementó la concentración de clorofila en la hoja, en especial cuando no existió

un adecuado abasto nutrimental vía radical; es decir, en los tratamientos con solución Steiner a 50% y sin solución nutritiva. El resultado más relevante se observó en el Tratamiento 0-2, el cual presentó un contenido de clorofila 60% mayor que el del control absoluto (0-0), mientras que el Tratamiento 50-2 superó en 27 y 14% a los Tratamientos 0-0 y 50-0, respectivamente.

Cuando las plantas se irrigaron con la solución de Steiner a 100%, no hubo efecto positivo de la fertilización con urea al follaje, al disminuirse el contenido de clorofila a en los Tratamientos 100-1 y 100-2 en aproximadamente 48% respecto al tratamiento sin fertilización foliar (100-0).

Los resultados de la determinación de clorofila b presentaron una desviación estándar alta, lo cual impide la identificación de diferencias estadísticas entre los tratamientos y el testigo absoluto. No obstante, pueden observarse tendencias similares a las mostradas en el contenido de clorofila a.

La relación clorofila a/b se ha estudiado ampliamente en árboles frutales en los cuales se ha establecido que dicha relación se incrementa cuando el contenido de nitrógeno en las hojas disminuye (Terashima y Hikosaka, 1995; Kitajima y Hogan, 2003). La afirmación anterior es contradictoria a los resultados sobre la relación clorofila a/b aquí obtenidos, en los cuales se observa la menor relación clorofila a/b en el tratamiento sin ningún tipo de fertilización. En cultivos como tabaco, se ha realizado la determinación de la relación clorofila a/b y se encontraron tendencias similares a las determinadas para espinaca. En el presente estudio no se realizó un análisis del contenido de nitrógeno total en la hoja

Cuadro 1. Efecto de los tratamientos en la cantidad de clorofilas a y b, y en la relación de las mismas.

Concentración porcentual solución Steiner	Concentración porcentual solución foliar de urea	Clorofila a	Clorofila b	Relación clorofila a/b
		----- $\mu\text{g mg}^{-1}$ PF -----		
0	0	0.7649 \pm 0.1341	1.4106 \pm 0.2432	0.5421
0	1	1.1324 \pm 0.0601 **	1.4942 \pm 0.9721	0.7579
0	2	1.2227 \pm 0.0796 **	1.5703 \pm 0.9728	0.7786
50	0	0.8528 \pm 0.0762	1.0944 \pm 0.6130	0.7792
50	1	0.8111 \pm 0.0496	1.1230 \pm 0.6231	0.7223
50	2	0.9742 \pm 0.0238 **	1.2669 \pm 0.8130	0.7690
100	0	1.8021 \pm 0.0968 **	2.3278 \pm 1.5234	0.7742
100	1	0.9328 \pm 0.0812 **	1.1852 \pm 0.7126	0.7871
100	2	0.9392 \pm 0.1440	1.2363 \pm 0.6961	0.7597

[n = 6, \pm SD, t-Student: ** (P \leq 0.01)].

como tal, pero se determinaron concentraciones de proteínas solubles, dentro de ellas Rubisco, así como de aminoácidos libres, que representan una estimación indirecta del mismo. Este trabajo contribuye a mostrar que la teoría óptima de partición del nitrógeno en frutales no puede ser extrapolada a cultivos de ciclo corto como espinaca, dado que existen diferencias importantes entre sus metabolismos. En la actualidad, no existe la información suficiente sobre la variación de la relación clorofila a/b y su correlación con el contenido de nitrógeno en especies distintas.

Concentración de Aminoácidos Libres

El contenido de aminoácidos libres correlaciona en una forma positiva con la aplicación de la fertilización foliar de urea, en particular a 2%, tanto en hojas, como en raíces (Figuras 2A y 2B). En las hojas asperjadas con urea a 2% se observaron

incrementos en la concentración de aminoácidos libres de 42, 46 y 105% en los Tratamientos 0-2, 50-2 y 100-2, respectivamente, en relación con el testigo absoluto. La información obtenida indica que la conversión del nitrógeno de la urea en aminoácidos pudiera estar ocurriendo en hojas y, de ahí, éstos son translocados hacia las raíces. A diferencia de los resultados obtenidos en la estimación de la relación clorofila a/clorofila b, los resultados de aminoácidos libres coinciden con los reportados en frutales, como manzano (Dong *et al.*, 2002). Sin embargo, es conveniente indicar que estos valores podrían variar de manera considerable en función de la época del muestreo, debido a que los aminoácidos representan un almacén de nitrógeno a corto plazo para la planta (Millard, 1988), en especial cuando la absorción de nitrógeno se incrementa y es cuando la planta se encuentra en una fase acelerada de crecimiento, como en este caso.

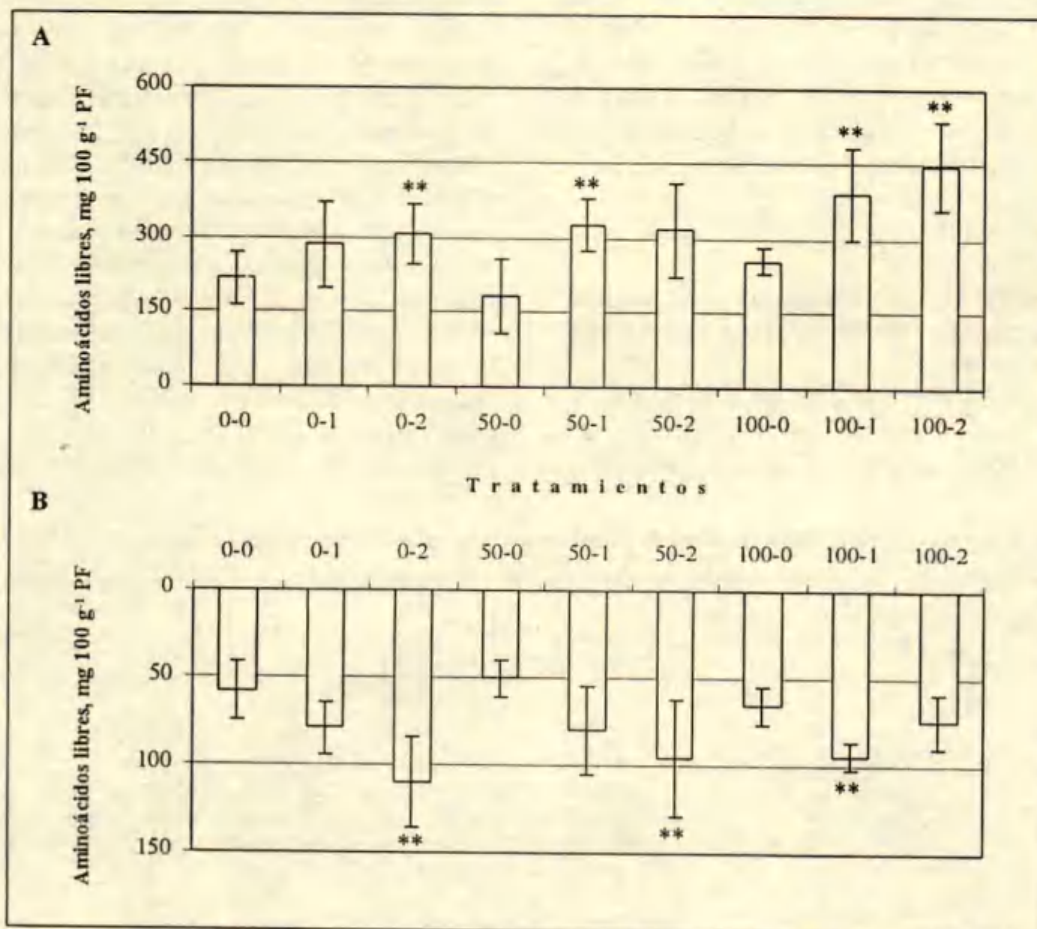


Figura 2. Concentración de aminoácidos libres en hojas (A) y raíz (B) de espinaca sometida a tratamientos de fertilización vía foliar y radical. [n = 6, ± SD, t-Student: ** (P ≤ 0.01)].

El contenido de aminoácidos en las raíces correlaciona de manera general en forma positiva con las concentraciones de proteína encontradas en las hojas en el tratamiento respectivo (Figuras 1A y 2B). En los tratamientos sin fertilización al sustrato, la aplicación foliar de urea favoreció una respuesta positiva más determinante sobre la concentración de aminoácidos libres.

Cuantificación Indirecta de Rubisco

En el gel teñido con azul de Coomassie se identificó una de las subunidades de la enzima Rubisco con masa molecular entre 52 y 55 kDa (Figura 3). La banda de Rubisco representó la mayor fracción de la proteína total aplicada por muestra, independientemente de los tratamientos estudiados.

Los resultados del análisis densitométrico de las bandas de la enzima Rubisco se encuentran en la Figura 4. Con excepción de los tratamientos sin ningún tipo de fertilización vía radical, dicho análisis mostró que la concentración de la misma incrementó de manera proporcional a la concentración de la solución de urea aplicada vía foliar. Dichos incrementos fueron más relevantes en los tratamientos fertilizados vía foliar con una solución a 2% de urea. En los tratamientos regados con la solución de Steiner a 50%, se incrementó la intensidad en banda de Rubisco en 5 y 34.5% respecto a su respectivo control, con fertilización foliar a 1 y 2% de urea,

respectivamente. En los tratamientos regados con la solución de Steiner a 100%, la aplicación foliar de urea incrementó, de manera más determinante, la intensidad de las bandas de la enzima, es decir, en 20 y 41% con fertilización foliar a 1 y 2% con urea, respectivamente, en comparación con el control.

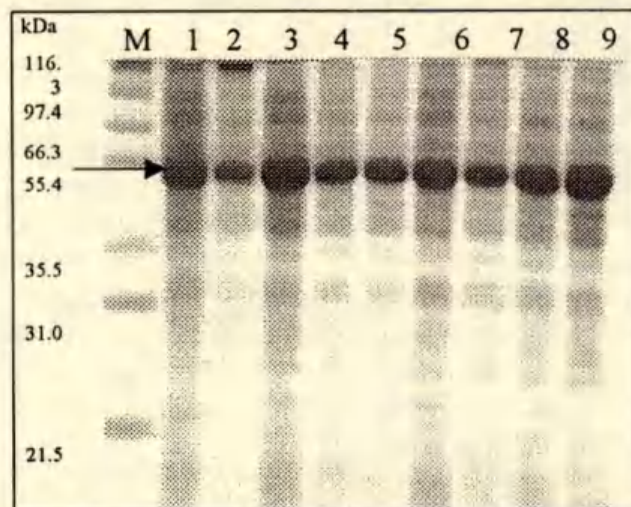


Figura 3. Gel de dodecilsulfato sódico (SDS-PAGE) teñido con azul de Coomassie para la identificación de la enzima Rubisco en hojas de espinaca. Tratamientos (concentración porcentual de la solución de Steiner-concentración porcentual de la solución foliar de urea): 1) 0-0; 2) 0-1; 3) 0-2; 4) 50-0; 5) 50-1; 6) 50-2; 7) 100-0; 8) 100-1; 9) 100-2. M: marcador molecular de proteína.

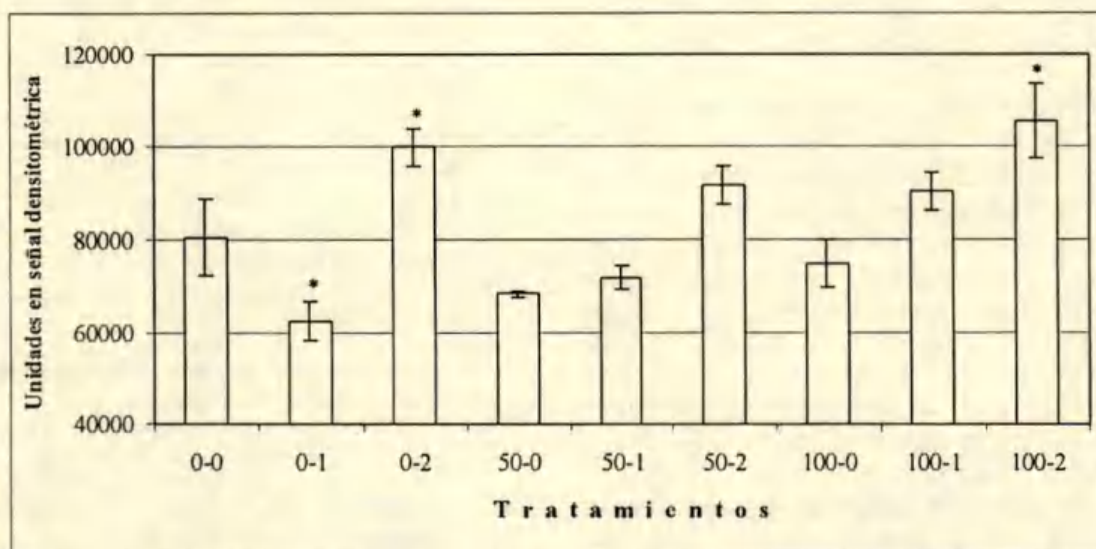


Figura 4. Análisis densitométrico de la enzima Rubisco en hojas de espinaca sometidas a diferentes tratamientos de fertilización vía foliar y radicular. [n = 4, \pm SD, t-Student: * ($P \leq 0.05$)].

Los Tratamientos 50-1 y 100-0 muestran intensidades en las bandas muy semejantes. Esta similitud se observa también entre los Tratamientos 50-2 y 100-1. La fertilización vía radical a 50% en combinación con aplicaciones foliares de urea puede disminuir considerablemente la aplicación de fertilizantes al suelo y, en consecuencia, a una disminución de la contaminación del ambiente, sin que sea afectada la calidad proteica de la planta. Los resultados obtenidos sobre el contenido de Rubisco, pueden relacionarse en forma directamente proporcional con el contenido de nitrógeno en la hoja, debido a que entre ambas variables existe una diferencia mínima (Makino *et al.*, 1992). En adición, la concentración de la enzima Rubisco es un indicador importante del estado de senescencia en el cual se encuentran las hojas y, en consecuencia, de la capacidad fotosintética de las mismas (Jiang *et al.*, 1993).

Asimismo, la cantidad de proteínas solubles mostró una correlación positiva con la concentración de Rubisco en la mayoría de los tratamientos, lo cual se ha observado también en otros cultivos, como soya (Jiang *et al.*, 1993) y tabaco (He *et al.*, 1997).

La determinación indirecta de la enzima Rubisco, el contenido de aminoácidos libres y proteínas totales solubles en conjunto evidencian que el contenido de nitrógeno se incrementó como resultado de la aplicación foliar de urea.

CONCLUSIONES

En este estudio se muestran evidencias de que la fertilización con urea a través de las hojas es un método eficiente de abastecimiento de nitrógeno, en especial en las fases iniciales del crecimiento, lo cual lleva a un impacto positivo en el metabolismo de la planta, debido a que una mayor cantidad de amoníaco está disponible para la asimilación dentro de una gran variedad de compuestos nitrogenados, como aminoácidos y proteínas. La aplicación foliar de urea en combinación con la fertilización al substrato incrementó la concentración de aminoácidos libres, proteínas solubles totales y de la enzima Rubisco en hojas. En adición, una adecuada combinación de fertilización al follaje con fertilización a la raíz permite una reducción en el uso de sales de nitrógeno aplicadas al suelo.

LITERATURA CITADA

- Baca-Castillo, G.A. 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de los riegos, el substrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitonate. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Bolton, J.K. y R. Brown. 1980. Photosynthesis of grass species differing in carbon-dioxide fixation pathways. 5. Response of *Panicum maximum*, *Panicum milioides* and tall fescue (*Festuca ruginosa*) to nitrogen nutrition. *Plant Physiol.* 66: 97-100.
- Bondada, B.R., J.P. Syvertsen y L.G. Albrigo. 2001. Urea nitrogen uptake by citrus leaves. *HortScience* 36: 1061-1065.
- Chen, C.C.S. y A.L. Plant. 1999. Salt-induced protein synthesis in tomato roots: the role of ABA. *J. Exp. Bot.* 50: 667-687.
- Cheng, L., S. Guak, S. Dong y L.H. Fuchigami. 1999. Effects of foliar urea on reserve nitrogen and carbohydrates in young apple trees with different nitrogen background. *HortScience* 34: 492.
- Cheng, L., S. Dong y L.H. Fuchigami. 2002. Urea uptake and nitrogen mobilization by apple leaves in relation to tree nitrogen status in autumn. *J. Hort. Sci. Biotech.* 77: 13-18.
- Dong, S., L. Cheng, C.F. Scagel y L.H. Fuchigami. 2002. Nitrogen absorption, translocation and distribution from urea applied in autumn to leaves of young potted apple (*Malus domestica*) trees. *Tree Physiol.* 22: 1305-1310.
- Eichelmann, H. y A. Laisk. 1999. Ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase content, assimilatory charge, and mesophyll conductance in leaves. *Plant Physiol.* 119: 179-189.
- Ellis, R.J. 1979. The most abundant protein in the world. *Trends Biochem. Sci.* 4: 241-244.
- Evans, J.R. 1983. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.) *Plant Physiol.* 72: 297-302.
- Frink, C.R., P.E. Waggoner y J.H. Ausubel. 1999. Nitrogen fertilizer: retrospect and prospect. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: 1175-1180.
- Geiger, M., P. Walch-Liu, C. Engels, J. Harnecker, E.-D. Schulze, F. Ludewig, U. Sonnewald, W.-R. Scheible y M. Stitt. 1998. Enhanced carbon dioxide leads to a modified diurnal rhythm of nitrate reductase activity in older plants, and a large stimulation of nitrate reductase activity and higher levels of amino acids in young tobacco plants. *Plant Cell Environ.* 21: 253-268.
- Giroux, M. 1984. Effets d'application d'urée au sol et au feuillage sur le rendement, le poids spécifique et la nutrition azotée de la pomme de terre. *Nat. Can.* 111: 157-166.
- Gooding, M.J. y W.P. Davies. 1992. Foliar application of cereals: a review. *Fert. Res.* 32: 209-222.
- Haverkort, A.J. y D.K.L. MacKerron. 2000. Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers. Wageningen, The Netherlands.
- He, Z., S. von Caemmerer, G.S. Hudson, G.D. Price, M.R. Badger y T.J. Andrews. 1997. Ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase activase deficiency delays senescence of ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase but progressively impairs its catalysis during tobacco leaf development. *Plant Physiol.* 115: 1569-1580.
- Höfner, R., L. Vázquez-Moreno, A.A. Abou-Mandour, H.J. Bohnert y J.M. Schmitt. 1989. Two isoforms of

- phosphoenolpyruvate carboxylase in the facultative CAM plant *Mesembryanthemum crystallinum*. *Plant Physiol. Biochem.* 27: 803-810.
- Jiang, C.-Z., S. Rodermel y R.M. Shibles. 1993. Photosynthesis, Rubisco activity and amount, and their regulation by transcription in senescing soybean leaves. *Plant Physiol.* 101: 105-112.
- Johnson, R.S., R. Rosecrance, S. Weinbaum, H. Andris y J. Wang. 2001. Can we approach complete dependence on foliar applied urea nitrogen in an early maturing peach? *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 126: 364-370.
- Kafatos, F.C., C.W. Jones y A. Efstratiadis. 1979. Determination of nucleic acid sequence homologies and relative concentrations by a dot hybridization procedure. *Nucleic Acids Res.* 7: 1541-1552.
- Kitajima, K. y K.P. Hogan. 2003. Increase of chlorophyll a/b ratios during acclimation of tropical woody seedlings to nitrogen limitation and high light. *Plant Cell Environ.* 26: 857-865.
- Knoche, M., P.D. Petracek y M.J. Bukovac. 1994. Urea penetration of isolated tomato fruit cuticles. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 119: 761-764.
- Kutik, J., L. Natr, H.H. Demmes-Derks y D.W. Lawlor. 1995. Chloroplast ultrastructure of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated in normal and elevated CO₂ concentrations with two contrasted nitrogen supplies. *J. Exp. Bot.* 46: 1797-1802.
- Laemmli, U.K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227: 680-685.
- Lambers, H., O.W. Nagel y J.J.-C.M. van Arendonk. 1995. The control of biomass partitioning in plants from "favourable" and "stressful" environments: a role for gibberellins and cytokinins. *Bulg. J. Plant Physiol.* 21: 24-32.
- Lorimer, G.H. 1981. The carboxylation and oxygenation of ribulose-1,5-biphosphate: the primary event in photosynthesis and photorespiration. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 32: 349-383.
- Makino, A., H. Sakashita, J. Hidema, T. Mae, K. Ojima y B. Osmond. 1992. Distinctive responses of ribulose-1,5-biphosphate carboxylase and carbonic anhydrase in wheat leaves to nitrogen nutrition and possible relationships to CO₂-transfer resistance. *Plant Physiol.* 100: 1737-1743.
- Mayne, M.B., M. Subramanian, T.J. Blake, J.R. Coleman y E. Blumwald. 1994. Changes in protein synthesis during drought conditioning in roots of jack pine seedlings (*Pinus banksiana* Lamb.). *Tree Physiol.* 14: 509-519.
- Millard, P. 1988. The accumulation and storage of nitrogen by herbaceous plants. *Plant Cell Environ.* 11: 1-8.
- Millard, P. y D. Robinson. 1990. Effect of the timing and rate of nitrogen-fertilization on the growth and recovery of fertilizer nitrogen within the potato (*Solanum tuberosum* L.). *Crop. Fert. Res.* 21: 133-140.
- Moore, S. y W.H. Stein. 1948. Photometric ninhydrin method for use in chromatography of amino acids. *J. Biol. Chem.* 176: 367-388.
- Moore, S. y W.H. Stein. 1954. A modified ninhydrin reagent for the photometric determination of amino acids and related compounds. *J. Biol. Chem.* 211: 907-913.
- Nicoulaud, B.A.L. y A.J. Bloom. 1996. Absorption and assimilation of foliarly applied urea in tomato. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121: 1117-1121.
- Quick, W.P., U. Schurr, K. Fichtner, E.-D. Schulze, S.R. Romeder, L. Bogorad y M. Stitt. 1991. The impact of decreased Rubisco on photosynthesis, growth, allocation and storage in tobacco plants which have been transformed with antisense rbcS. *Plant J.* 1: 51-58.
- Sambrook, J. y D.W. Russell. 2001. Molecular cloning. A laboratory manual. Third edition. Volume 3. Cold Spring Harbor Laboratory Press. New York.
- Sheriff, A. 1994. Untersuchung der Ubiquitinierung der Phosphoenolpyruvat Carboxylase aus *Mesembryanthemum crystallinum* und von Tabak, der die Pyruvat, Phosphat Dikinase aus *M. crystallinum* exprimiert. Doktorarbeit. FU-Berlin. Berlin, Deutschland.
- 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.*
- Steiner, A. y H. van Winden. 1970. Recipe for ferric salts of ethylenediaminetetraacetic acid. *Plant Physiol.* 46: 862-863.
- Terashima, I. y K. Hikosaka. 1995. Comparative ecophysiology of leaf and canopy photosynthesis. *Plant Cell Environ.* 18: 1111-1128.
- Von Wirén, N., S. Gazzarrini y W.B. Frommer. 1997. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. *Plant Soil* 196: 191-199.
- Wittwer, S.H., M.J. Bukovac y H.B. Tukey. 1963. Advances in foliar feeding of plant nutrients. pp. 429-455. *In: McVickar, M.H., G.L. Bridger y L.B. Nelson (eds.). Fertilizer technology and usage. American Society of Agronomy. Madison, WI.*
- Yamada, Y., W.H. Jyung, S.H. Wittwer y M.J. Bukovac. 1965. Effect of urea on ion penetration through isolated cuticular membranes. *Plant Physiol.* 39: 978-982.
- Zlatanova, J., E. Paneva y J. Yaneva. 1994. A spot test for protein detection and semiquantitative estimation in small samples. *Cytobios* 78: 135-138.

COMPORTAMIENTO HÍDRICO DE HOJAS Y FRUTOS DE NOGAL PECANERO Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD Y GERMINACIÓN DE FRUTOS

Pecan Leaf and Fruit Behavior under Three Irrigation Intervals and its Relationship with Quality and Fruit Germination

Claudio Godoy-Ávila^{1†}, Zulma Xopiyaxtle-Jarquín¹, Isidro Reyes-Juárez¹ y Ciria A. Torres-Estrada¹

RESUMEN

En México, se ha realizado poca investigación para conocer cómo el estrés hídrico afecta la calidad del fruto del nogal pecanero. Tampoco existe mucha información que relacione cuantitativamente la calidad del fruto con su estado hídrico o de la hoja. Durante 1999 y 2000, se realizó un trabajo cuyo objetivo fue estudiar durante el desarrollo de la almendra, las relaciones hídricas de la hoja y del fruto y su relación con la calidad del fruto por efecto de tres intervalos de riego en nogal pecanero cv. Western. Los tratamientos consistieron en aplicar riegos con intervalos de 14 (T₁), 21 (T₂) y 28 (T₃) días. Durante 2000, cada tres días se tomaron muestras de cinco hojas y cinco frutos en que se midió el potencial hídrico, después de lo cual a los frutos se les separó la almendra para obtener su peso seco. Se determinó el potencial hídrico de 10 hojas y 10 frutos a intervalos de 2 h a través del día para conocer su balance hídrico. Durante los dos años de estudio, en el momento de la cosecha se obtuvieron los kilogramos de nuez por árbol y se determinó el porcentaje de nueces germinadas, para luego tomar una muestra de 1 kg de nueces por tratamiento, a la que se le determinó el porcentaje de almendra. Se encontró que el potencial del fruto (Ψ_f) fue un mejor indicador al intervalo de riego que el potencial de la hoja (Ψ_h). Durante el desarrollo de la almendra, la condición hídrica del fruto en T₁ fue más favorable que la de T₂ y T₃, por lo que T₁ superó 38 y 47% en la tasa de acumulación de peso seco de la almendra a T₂ y T₃, respectivamente. La mayor disponibilidad de agua en el suelo, producto de los riegos más frecuentes, aceleró la apertura del

ruezo y disminuyó significativamente el porcentaje de nueces germinadas.

Palabras clave: *Carya illinoensis*, *intervalo de riego*, *peso seco*, *estrés hídrico*.

SUMMARY

In Mexico, little research has been done on how water stress influences pecan nut quality, and there is little information that quantitatively relates nut quality to the water condition of leaf and fruit. In 1999 and 2000, the water condition of pecan tree cv. Western leaf and fruit during kernel development and their relationship to fruit quality were studied under three irrigation intervals. Treatments consisted in watering at 14 (T₁), 21 (T₂), and 28 (T₃) days intervals between irrigations. During 2000, every three days samples of five leaves and five fruits were taken measuring their water potential, after which the kernel was separated from the fruit to obtain its dry weight. Also, water potential of 10 leaves and 10 fruits was determined at intervals of 2 h throughout the day in order to determine their water balance. During the two years of research, the percentage of germinated nuts was measured and then a sample of one kilogram per treatment was taken at harvest, and the percentage of kernel was established. It was found that fruit water potential was a better indicator for irrigation intervals than leaf water potential. During kernel development, the fruit water condition for T₁ was more favorable than the T₂ and T₃, resulting in a rate of accumulation of kernel dry weight 38 and 47% higher for T₁ than for T₂ and T₃, respectively. Higher availability of soil water due to frequent irrigation accelerated shuck opening and significantly decreased the percentage of germinated nuts.

Index words: *Carya illinoensis*, *irrigation interval*, *dry weight*, *water stress*.

¹ Campo Experimental La Laguna. Apartado Postal 247, 27000 Torreón, Coahuila, México.

[†] Autor responsable (godoy.claudio@inifap.gob.mx)

INTRODUCCIÓN

En el nogal pecanero (*Carya illinoensis* K), el manejo del riego es esencial para incrementar la producción y la calidad de la nuez. El estrés hídrico durante el llenado de la almendra provoca su germinación y reduce la acumulación de materia seca (Sparks, 1995a; Godoy-Ávila y Huitrón-Ramírez, 1998).

Los estudios realizados para elaborar calendarios de riego en el nogal son escasos y los resultados obtenidos no han sido satisfactorios, ya que se sustentan en métodos indirectos, como: medición de la humedad y tensión del agua en el suelo; evapotranspiración; patrones de crecimiento del cultivo; y calendarios fijos (Stein *et al.*, 1989; Worthington *et al.*, 1992; Sparks, 1996). Sin embargo, las metodologías basadas en el comportamiento de la planta presentan ventajas, ya que se relacionan directamente con su estado hídrico, e indirectamente con el ambiente atmosférico y del suelo; es decir, el árbol integra su ambiente atmosférico del suelo y refleja las condiciones predominantes en su proceso reproductivo y de crecimiento (Bonany *et al.*, 2000).

En la actualidad, no se cuenta con suficiente información que relacione cuantitativamente la condición hídrica de las hojas y de los frutos del nogal, con su tamaño y calidad a diferentes intervalos de riego. Los escasos estudios realizados (Rieger y Daniell, 1988; Stein *et al.*, 1989) se han limitado a evaluar el estado hídrico de la hoja con el propósito de asegurar un régimen adecuado de riego. Pero como la hoja puede ajustarse osmóticamente a un estrés por agua (Girma y Krieg, 1992; Patakas y Noitsakis, 1997, 1999; Wright *et al.*, 1997) su estado hídrico no refleja verdaderamente la deficiencia a la que está sometida la planta, por lo cual la condición hídrica del fruto puede presentar una mayor sensibilidad y respuesta a las condiciones atmosféricas y de humedad del suelo (Liu *et al.*, 1978; Grimes y Williams, 1990; Godoy-Ávila y Huitrón-Ramírez, 1998; Godoy-Ávila *et al.*, 1998; Bonany *et al.*, 2000).

Por lo anterior, se realizó un estudio con el objetivo de evaluar el comportamiento hídrico de la hoja y del fruto, así como su relación con algunos parámetros de crecimiento y calidad de fruto, con diferentes intervalos de riego en nogal pecanero durante el desarrollo de la almendra.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó durante 1999 y 2000, en Matamoros, Coahuila, México, en un suelo de textura migajón arcillo-arenosa. Esta región se localiza entre 102° 00' y 104° 47' O y 24° 22' y 26° 23' N. Se utilizó una plantación de nogal pecanero cv. Western, de 16 años de edad, en un sistema de plantación de marco real 12 x 12 m.

Desde el inicio de la brotación hasta antes del inicio del llenado de la almendra (de la tercera semana de marzo a la primera semana de agosto) todo el lote experimental se regó de manera uniforme; en cada riego se aplicó una lámina de 15 cm cuando el contenido de agua en el suelo, a una profundidad de 0 a 90 cm, alcanzaba 50% de la humedad disponible, lo cual condujo a encontrar valores de 25% de humedad, base peso seco en este estrato de suelo. Durante este periodo de dos años, se aplicaron cinco riegos por gravedad; uno en marzo 27 y los otros en abril 20, mayo 15, junio 10 y julio 7, correspondientes con los días julianos 87, 111, 136, 162 y 189, respectivamente.

Para conocer el volumen de agua utilizado por los árboles, cada tres días se midió la humedad del suelo, a tres profundidades, múltiplos de 30 cm, utilizando para tal propósito la sonda de neutrones (Hydroprobe, Modelo 503).

Del inicio del llenado de la almendra al inicio en la apertura del pericarpio (ruezn), que abarcó el periodo comprendido entre agosto 1 (día juliano 214) y septiembre 15 (día juliano 259), se estudió el efecto de tres tratamientos que consistieron en aplicar riegos a intervalos de 14 (T_1), 21 (T_2) y 28 (T_3) días. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones, considerándose cada árbol como una unidad experimental. Estos 15 árboles se seleccionaron con un diámetro de tronco de 0.5 a 0.55 m y volumen de copa de 270 a 280 m³.

Durante el segundo año del estudio, 15 días antes del inicio del desarrollo de la almendra y durante el desarrollo de la misma, cada tres días, entre las 13:00 y 14:00 h, se midió el potencial hídrico de cinco hojas y cinco frutos por tratamiento, mediante una bomba de presión (Soil Moisture Equipment Corporation, Modelo 103) (Scholander *et al.*, 1964), después de lo cual a estos cinco frutos se les separó el pericarpio (ruezn), y a la nuez, la cáscara y la almendra, para luego colocarlas en un horno con circulación de aire

forzado a 65 °C por 72 h, para obtener el peso seco. En esta misma muestra, se determinó la dinámica de apertura del ruezno, contando el número de frutos con ruezno abierto que, al relacionarlo con el número total de nueces, permitió determinar el porcentaje de rueznos abiertos.

Los datos de peso seco de la almendra se ajustaron a un modelo logístico y, para establecer las diferencias en las tasas de acumulación de peso seco entre tratamientos, se realizó una prueba de homogeneidad de varianzas (Steel y Torrie, 1980).

También, durante 2000, en la fecha de agosto 20 (cuatro, diez y cuatro días después de la aplicación de un riego para T₁, T₂ y T₃, respectivamente) se determinó la variación del potencial hídrico de 10 hojas y 10 frutos cada dos horas, a través del día, iniciando a las 7:00 h de la mañana y finalizando a las 21:00 h.

A la cosecha, en cada uno de los tratamientos, se determinó el porcentaje de nueces germinadas con la siguiente relación:

$$\text{Nuez germinada (\%)} = \frac{[\text{Nuez germinada (kg)} / \text{Nuez buena (kg)}] (100)}$$

Para estimar el porcentaje de almendra, se tomaron cinco muestras de 1 kg de nueces por tratamiento. Estos datos se procesaron mediante análisis de varianza y las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), a través del paquete computacional Statistical Analysis System (SAS Institute, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relaciones Hídricas de la Hoja y Fruto durante el Desarrollo de la Almendra

En la Figura 1, se muestra el comportamiento del potencial hídrico de la hoja (Ψ_h) para los tres tratamientos en el período comprendido entre julio 17 y septiembre 18, es decir, 15 días antes de que iniciara el desarrollo de la almendra y hasta su maduración. En esta figura, se observa que el Ψ_h presentó inconsistencia en su respuesta o sensibilidad a los intervalos de riego. En T₁, después de aplicado el primer y cuarto riego, el Ψ_h empezó a incrementarse debido a la mayor disponibilidad de agua, para después disminuir como resultado que la hoja

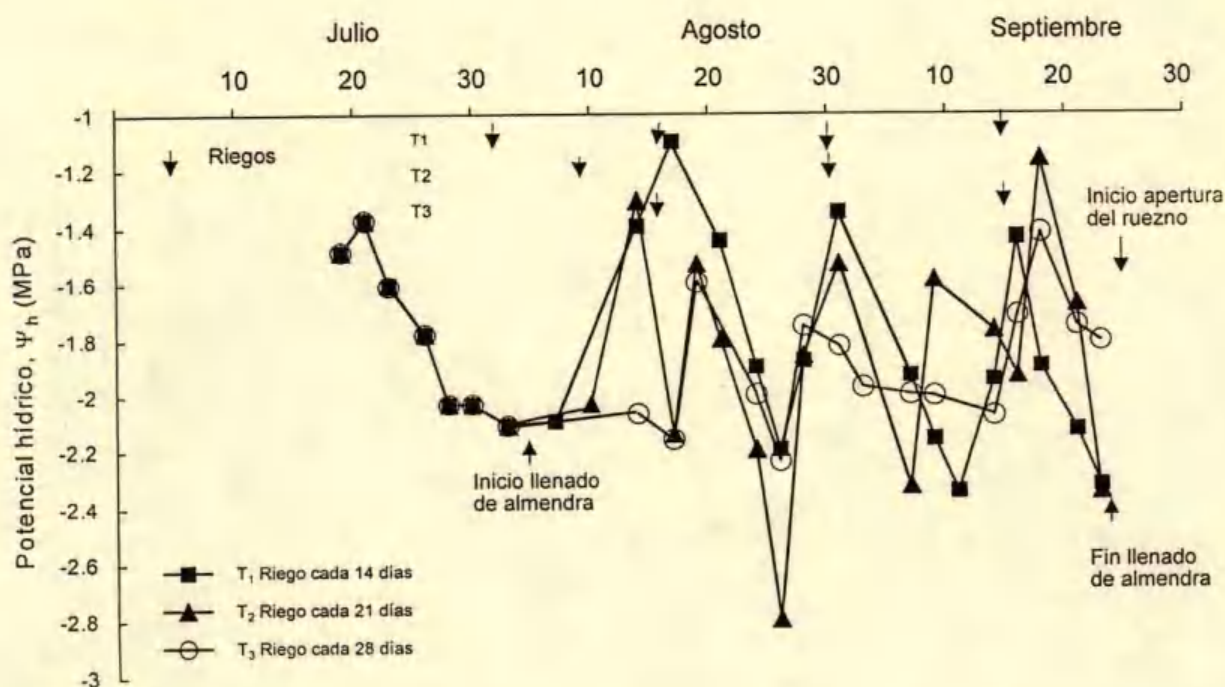


Figura 1. Potencial hídrico de la hoja del nogal en el periodo comprendido antes del inicio en el llenado del fruto hasta su maduración, con tres intervalos de riego. Año 2000.

empezó a entrar en estrés hídrico. Esta misma respuesta se presentó después de aplicado el primer riego en T_2 y en los dos riegos aplicados en T_3 . Sin embargo, en T_1 , durante el segundo y tercer riego, y en T_2 , en el segundo riego, la hoja mostró poca o nula respuesta a la aplicación de estos riegos, ya que el Ψ_h , en lugar de incrementarse, se disminuía.

A partir de agosto 25 (día juliano 238) y hasta septiembre 10 (día juliano 254), los valores del Ψ_h en T_3 se mantuvieron estables, fluctuando de -1.75 a -2.0 MPa. Después del segundo riego, que cubrió los últimos días del llenado de la almendra y el periodo de apertura de ruezno, el Ψ_h disminuyó y su valor varió de -1.4 a -1.7 MPa. Para los otros dos tratamientos (T_1 y T_2), los valores del Ψ_h variaron según la disponibilidad del agua; por ejemplo, en T_1 , la fluctuación fue de -1.1 hasta -1.4 MPa, después de la aplicación de los riegos, hasta valores de -2.2 y -2.4 MPa antes de la aplicación de los riegos. En T_2 , la fluctuación fue de -2.2 y -1.5 MPa antes y después del riego, respectivamente.

Los resultados anteriores muestran, aunque no de una manera muy clara y consistente, que la condición hídrica de la hoja, cuando los riegos fueron más

frecuentes, fue ligeramente más favorable que en los tratamientos con un contenido más bajo de humedad.

En la Figura 2, se muestra la variación del potencial hídrico del fruto (Ψ_f) para los tres intervalos de riego y se observa que el Ψ_f presentó una mejor correspondencia con los tratamientos que la mostrada por el Ψ_h . Es decir, uno a dos días después de la aplicación de un riego en cualquiera de los tres tratamientos, el Ψ_f se incrementó para luego disminuir después de cierto tiempo, debido a que el fruto empezó a entrar en estrés hídrico. Es importante señalar que el fruto comenzó a entrar en estrés de seis a siete días después de la aplicación del riego, lo que indica una alta sensibilidad de éste a la disponibilidad del agua, ya que aun en el tratamiento con el intervalo de riego más corto (T_1) se presentó la misma condición.

Lo anterior confirma lo encontrado por Stein *et al.* (1989), Herrera (1990) y Godoy-Ávila y Huitrón-Ramírez (1998) quienes señalaron que durante el crecimiento del embrión (llenado de la almendra) el agua del suelo debe estar más disponible que en otras etapas fenológicas del nogal, al grado que sería recomendable acortar los intervalos de riego a

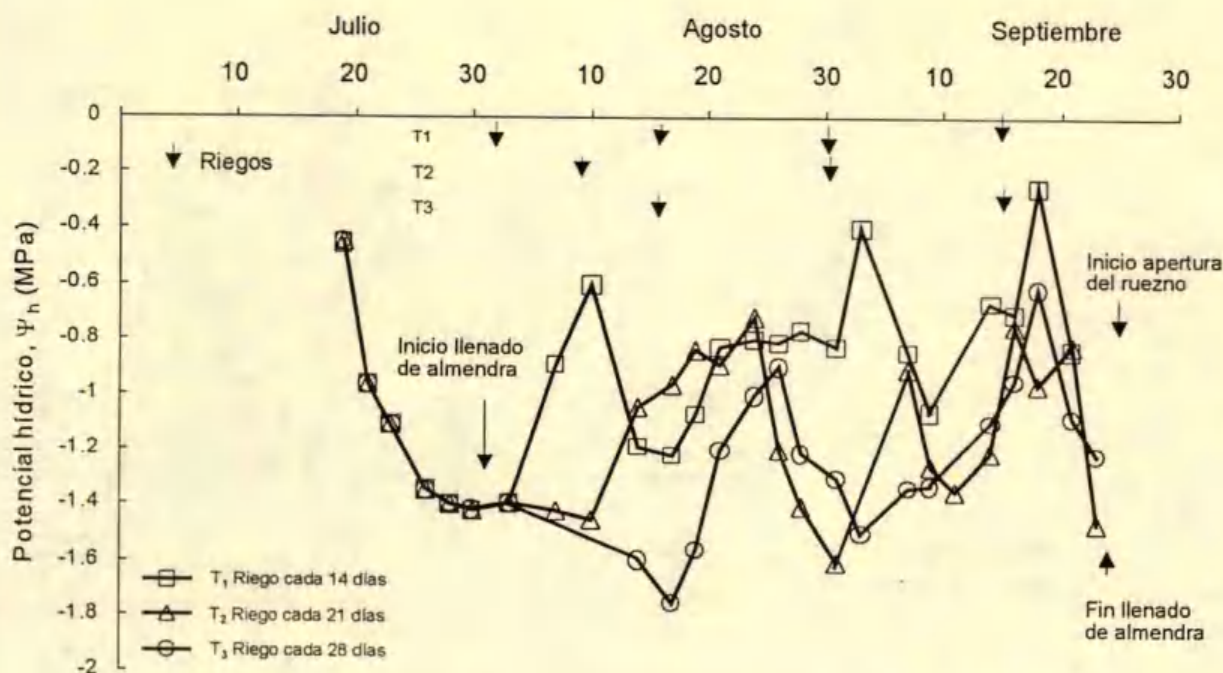


Figura 2. Potencial hídrico del fruto del nogal en el periodo comprendido antes del inicio en el llenado del fruto hasta su maduración, con tres intervalos de riego. Año 2000.

siete días, como lo reflejan los valores de Ψ_f obtenidos en el presente estudio.

En T_2 , los valores de Ψ_f fluctuaron de -1.2 a -1.4 MPa, antes de la aplicación de los riegos, hasta -0.8 a -1.0, MPa varios días después de la aplicación del riego. En T_3 , el Ψ_f alcanzó valores más bajos que en T_2 y T_1 , siendo éstos del orden de -1.75 y -1.60 MPa, antes de la aplicación del riego, y de -0.9 y -0.6 MPa, varios días después. En T_1 , los valores de Ψ_f se mantuvieron estables de la aplicación del riego, y de -0.9 y 0.6 MPa, varios días después del riego. En T_1 , los valores de Ψ_f se mantuvieron estables por casi la totalidad del periodo, con valores promedio de -0.8 MPa, reflejándose en una mayor tasa de incremento en el peso seco de la almendra y en un menor porcentaje de nueces germinadas (Figura 3; Cuadro 1).

Relaciones Hídricas Diurnas de la Hoja y Fruto

En la Figura 3, se muestran los valores del potencial hídrico de la hoja (Ψ_h) y del fruto (Ψ_f) a través de un día, para los tres intervalos de riego. Esta figura muestra que, independientemente de los tratamientos, el Ψ_h tuvo una fluctuación diurna más alta en comparación con el comportamiento del Ψ_f , el cual mostró fluctuaciones diurnas más pequeñas. Inmediatamente después de la salida del sol, los valores del Ψ_h en los tres intervalos fueron de -0.35 MPa y luego disminuyeron rápidamente, siendo la tasa de disminución más alta y similar en T_2 y T_3 , en los cuales la disponibilidad del agua en el suelo fue más limitada por una menor aplicación de riegos. Al mediodía (12:00 a 13:00 h), el Ψ_h en los tres tratamientos alcanzó su valor mínimo, mostrándose ya diferencias entre los tratamientos debido a que, en T_1 y T_2 , los valores fueron significativamente más altos (-1.7 a -2.0 MPa) en comparación con T_3 en el que se alcanzaron valores de -2.5 MPa.

Alrededor de las 13:00 h y debido principalmente a que la demanda evaporativa comienza a disminuir, se inicia la recuperación de Ψ_h en los tres intervalos de riego, hasta alcanzar un valor máximo de -0.25 MPa, que es cercano al valor observado en este mismo tiempo, pero del día anterior.

En relación con el Ψ_f se encontró que el valor máximo alcanzado en los tres tratamientos de riego fue de -0.01 MPa, posteriormente la tasa de disminución fue rápida, mostrando diferencias y una

Cuadro 1. Porcentaje de almendra y nueces germinadas del nogal pecanero con intervalos de riego. 1999 y 2000.

Frecuencia de riegos	Almendra		Nueces germinadas	
	1999	2000	1999	2000
	----- % -----			
Cada 14 días	58.0 a [†]	59.0 a	4.0 a	3.3 a
Cada 21 días	54.3 b	54.9 b	6.0 a	8.0 b
Cada 28 días	52.0 c	52.0 c	19.0 b	23.0 c
C. V. (%)	5.0	3.8	5.3	6.0

[†] Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, $P \leq 0.05$.

alta correlación con los tratamientos de riego, ya que la disminución en el Ψ_h fue más rápida en T_2 y T_3 que en T_1 , provocado esto, según During *et al.* (1987), Lang y During (1991), Zhang y Luo (1993) y Godoy-Ávila y Huitrón-Ramírez (1998), por una menor disponibilidad de agua en el suelo y una mayor pérdida de humedad del fruto hacia las hojas y brotes laterales.

El valor mínimo de Ψ_f en T_2 y T_3 , se registró a las 17:00 h, mientras que, en T_1 , fue a las 15:00 h; es decir, existió una diferencia de dos a cuatro horas, en relación con el valor encontrado para el Ψ_h . Con los intervalos de riego, se provocó un fuerte impacto en el valor mínimo de Ψ_f , ya que cuando se aplicaron cada dos semanas, el valor fue de -1.2 MPa, el cual fue significativo al alcanzado en T_2 y T_3 , en los que se tuvieron valores de -1.5 y -1.8 MPa, respectivamente. Los tratamientos T_2 y T_3 , después de alcanzar el valor mínimo, iniciaron su recuperación en términos del valor de Ψ_f , hasta alcanzar un valor máximo de -0.9 a -0.95 MPa, a las 21:00 h. En T_1 , el valor mínimo de Ψ_f permaneció relativamente estable en las siguientes cuatro horas (15:00 a 19:00 h) para luego iniciar su incremento hasta alcanzar un valor máximo de -0.9 MPa, similar al de T_2 y T_3 .

En la Figura 3, también se muestra que durante la mañana (7:00 a 12:00 h), mediodía (12:00 a 14:00 h) y parte de la tarde (14:00 a 17:00 h), el valor de Ψ_h en los tres tratamientos fue más bajo que el valor de Ψ_f , creando un gradiente de potenciales hídricos que provocó el movimiento del agua a favor de la hoja, por lo que el agua salió del fruto. Ya muy entrada la tarde (después de las 18:00 h) y durante toda la noche, el gradiente de potenciales hídricos cambió, siendo éste a favor del fruto, por lo que se concluye que éste capturó agua. Los estudios anatómicos y experimentos directos de Schultze *et al.* (1985), Steinberg *et al.* (1990) y Zhang y Luo (1993) indican que el flujo de

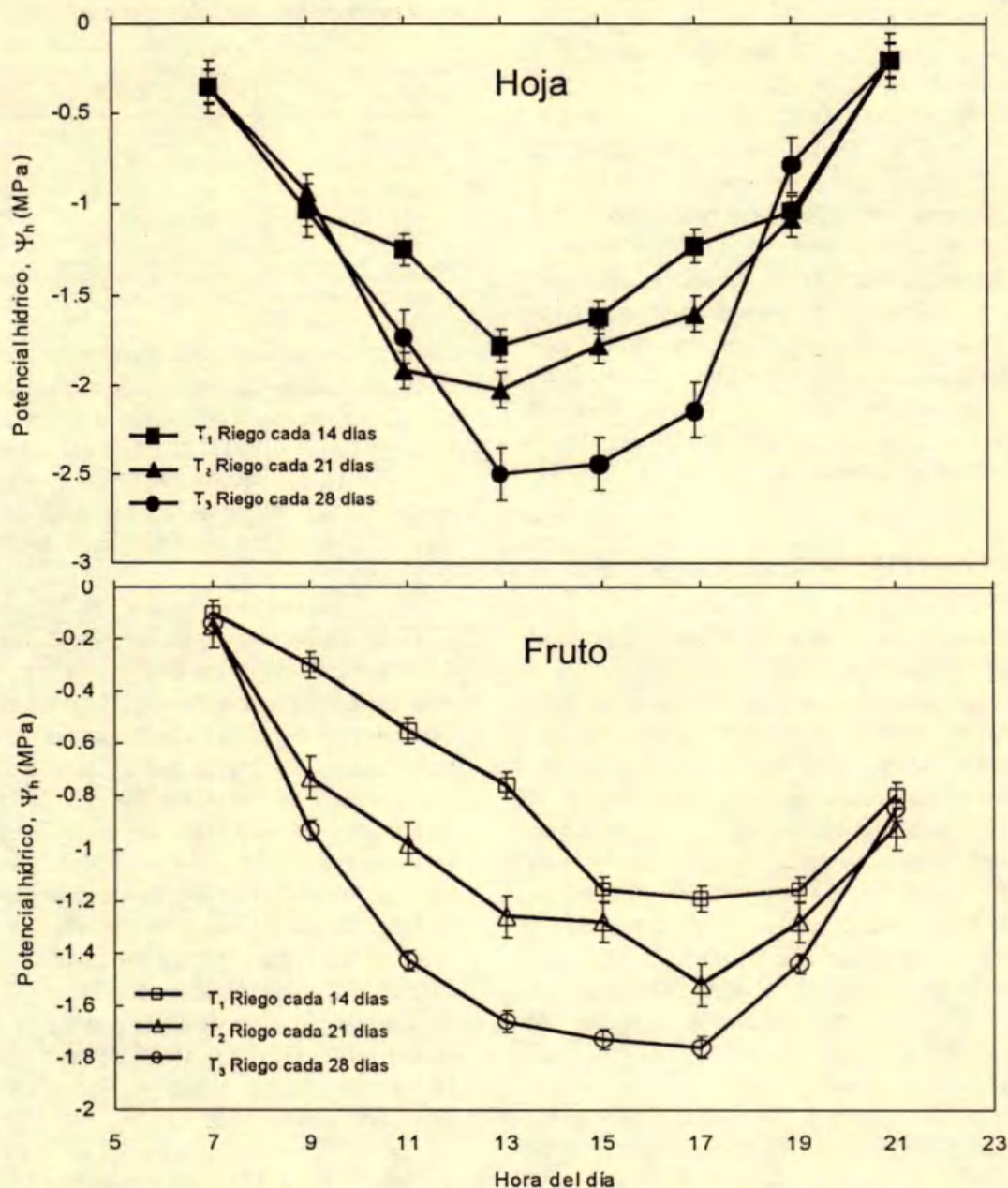


Figura 3. Potencial hídrico en hojas y frutos de nogal a través del día con diferentes intervalos de riego. Año 2000.

agua adentro y fuera del fruto invierte su dirección durante el día, lo que está de acuerdo con la presente investigación.

Zhang y Luo (1993) y Godoy-Ávila y Huitrón-Ramírez (1998) encontraron, y los resultados de este experimento así lo confirman, que cuando al fruto se le aplica un estrés hídrico, como en el caso de los Tratamientos T₂ y T₃, las variaciones diarias en el intercambio de agua entre fruto, hojas, y brotes

laterales, siguen un patrón similar a lo mostrado por los frutos cuando se someten a un suministro de agua adecuado. Sin embargo, la tasa de intercambio se modifica, ya que, en frutos con estrés hídrico, la salida de agua hacia las hojas y brotes laterales es más alta debido a que se realiza por un tiempo más largo. Este proceso ocurre desde la mañana hasta las 17:00 h, según lo muestra la Figura 3, provocando que la tasa de disminución del Ψ_f durante este período sea muy

alta como sucedió en T_2 y T_3 . Por el contrario, en el fruto sin estrés hídrico la salida de agua es baja, ya que sólo la pierde de las 15:00 a las 17:00 h, lo que está de acuerdo con Zhang y Luo (1993), manteniendo una condición hídrica favorable, la cual se refleja en valores de Ψ_f más altos y en bajas tasas de disminución de Ψ_f como sucedió en T_1 . Debido a la menor pérdida de agua en T_1 , el fruto presentó una mayor capacidad de crecimiento, que se reflejó en un mayor tamaño y mejor calidad de la almendra (Cuadro 1).

Agua Consumida y Tasa de Acumulación de Peso Seco de la Almendra

Independientemente del intervalo de riego, el desarrollo de la almendra requirió de 50 días; se inició en agosto 1 y finalizó en septiembre 20.

En el Cuadro 2, se muestran los volúmenes de agua consumida y los valores de la tasa de acumulación de materia seca de la almendra para los intervalos de riego durante los dos años de estudio. En este cuadro, se muestra que dentro de un mismo tratamiento de riego, el agua consumida durante este período fue similar durante los dos ciclos que abarcó el estudio, con la diferencia de que durante el año 2000 fue 3.8, 8.6 y 6.7% mayor que en 1999 para T_1 , T_2 y T_3 , respectivamente. El mayor consumo de agua se registró en T_1 , producto de un mayor número de riegos aplicados.

Se establecieron diferencias ($P \leq 0.05$) en la tasa de acumulación de peso seco de la almendra, provocadas por los intervalos de riego estudiados durante los dos ciclos (Cuadro 2). El tratamiento T_1 fue estadísticamente diferente y superior a T_2 y T_3 , los cuales, a su vez, fueron similares entre sí. Durante los dos años de estudio, la tasa de acumulación para T_1 varió de 0.14 a 0.16 $g\ d^{-1}$, mientras que para T_2 y T_3 fue de 0.08 a 0.10 $g\ d^{-1}$. Lo anterior indica que T_1

superó en 38 y 47% a la tasa de acumulación promedio de T_2 y T_3 , respectivamente. Con relación a lo anterior, Stein *et al.* (1989) establecieron que, durante el desarrollo de la almendra, se requiere de un alto contenido de agua en el suelo para no afectar la acumulación de materia seca del fruto del nogal, lo que está de acuerdo con lo encontrado en el presente trabajo.

Apertura del Ruezno

Durante los dos años de estudio, la apertura del ruezno abarcó un período promedio de 20 días, realizándose la primera observación el 18 de septiembre y la última el 8 de octubre. En la primera fecha de evaluación, T_1 alcanzó 60% de rueznos abiertos, mientras que en T_2 y T_3 , los valores fueron de 25% y 0%, respectivamente. Nueve días después, las nueces de T_1 registraron valores de 100% de apertura, mientras que T_2 y T_3 requirieron de 17 y 22 días más para alcanzar este valor. Estos resultados coinciden con los encontrados por Herrera (1990), Sparks y Yates (1995) y Godoy-Ávila (1996), en el sentido de que, una vez que el fruto ha alcanzado su madurez fisiológica, el factor principal que controla la apertura del ruezno es la disponibilidad de agua en el suelo, sugiriéndose mantener, durante este período, 50% de la humedad aprovechable para acelerar la apertura, como sucedió en T_1 , y así disminuir de manera significativa el número de nueces germinadas.

Calidad y Germinación de la Nuez

La mejor condición hídrica de los frutos registrada en T_1 incrementó el porcentaje de almendra durante los dos ciclos, ya que este tratamiento fue estadísticamente superior a T_2 y T_3 . Por su parte, T_2 fue diferente a T_3 (Cuadro 1). Lo anterior indica que, a medida que se incrementa el número de riegos y se acorta su intervalo de aplicación, se incrementa la calidad de la almendra. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros investigadores (Stein *et al.*, 1989; Herrera, 1990; Sparks, 1995b; Godoy-Ávila, 2000), quienes señalaron que, durante el llenado de la almendra, el contenido de la humedad aprovechable del suelo debe ser superior a 80%, lo cual se logra al aplicar cuatro riegos para la formación de una almendra bien llena. Según se observa en el Cuadro 1, en T_1 , el porcentaje promedio de almendra fue de 58.5, para los dos ciclos, éste es excelente, ya que en forma comercial el mínimo requerido es de 53 a 55%.

Cuadro 2. Agua consumida por árboles de nogal durante el desarrollo de la almendra y tasa de acumulación de peso seco de la almendra con intervalos de riego, 1999 y 2000.

Frecuencia de riegos	Agua consumida		Tasa de acumulación	
	1999	2000	1999	2000
	----- $m^3\ ha^{-1}$ -----		----- $g\ d^{-1}$ -----	
Cada 14 días	5000	5200	0.16 a [†]	0.14 a
Cada 21 días	3200	3500	0.09 b	0.10 b
Cada 28 días	2800	3000	0.08 b	0.08 b

[†] Valores con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples método de Tukey con $P \leq 0.05$.

En T_2 , se obtuvieron valores dentro de este intervalo, no así para T_3 , en el cual los valores fueron menores que el intervalo.

En este Cuadro 1, se muestra que durante los dos ciclos de estudio, el porcentaje de nueces germinadas en T_3 fue estadísticamente diferente y superior a T_2 y T_1 , mientras que T_2 fue superior a T_1 . Lo anterior indica que cuando se aplican dos riegos con intervalos de cuatro semanas se promueve un mayor porcentaje de nueces germinadas que cuando se aplican cuatro riegos a intervalos de dos semanas. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Godoy-Ávila (1996) y demuestran que, cuando la disponibilidad del agua en el suelo es alta, la condición hídrica del fruto es favorable, acelerando la apertura del ruezno, lo que disminuye el número de nueces germinadas como sucedió en T_1 del presente estudio.

CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de la almendra, el potencial hídrico del fruto (Ψ_f) fue un mejor indicador de la disponibilidad de agua en el suelo que el potencial de la hoja (Ψ_h). A juzgar por los valores de fluctuación diaria del Ψ_h y del Ψ_f , existe flujo neto de agua hacia adentro y fuera del fruto, el cual invierte su dirección durante el día. En los árboles regados cada 21 y 28 días, la salida de agua del fruto, a través del día, fue elevada, siendo ésta la razón principal para que la tasa de disminución en los valores de Ψ_f también fuera alta. La consecuencia de lo anterior es una condición hídrica no adecuada que se reflejó en valores más bajos de Ψ_f durante el desarrollo de la almendra. Por el contrario, los frutos sometidos a intervalos de riego de cada 14 días mantuvieron una mejor condición hídrica, lo que generó una mayor capacidad de crecimiento de la almendra, mayor velocidad de acumulación de peso seco y altos porcentajes de almendra. En este estudio, se demostró que la alta disponibilidad de agua en el suelo generada cuando los riegos se aplicaron cada 14 días, aceleró la apertura del ruezno y disminuyó significativamente el porcentaje de nueces germinadas.

LITERATURA CITADA

- Bonany, J., F. Camps, J. Salvia y M. Cohen. 2000. Relationship between trunk diameter fluctuations, stem water potential and fruit growth rate in potted adult apple trees. *Acta Horticulturae* 511: 43-49.
- During, H., A. Lang y F. Oggioni. 1987. Patterns of water flow in Riesling berries in relation to developmental changes in their xylem morphology. *Vitis* 26: 123-131.
- Girma, S.F. y D.R. Krieg. 1992. Osmotic adjustment in sorghum. I. Mechanisms of diurnal osmotic potential changes. *Plant Physiol.* 99: 577-582.
- Godoy-Ávila, C. 1996. Crecimiento y desarrollo del fruto del pecanero (*Carya illinoensis* K.) cv. Western y su relación con unidades calor, evapotranspiración y días. *Información Técnica Económica Agraria*. Zaragoza, España 92: 49-57.
- Godoy-Ávila, C. 2000. Problemas asociados con la disponibilidad del agua. pp. 43-48. *In: Tecnología de Riego en Nogal Pecanero*. Libro Científico 1. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Matamoros, Coahuila, México.
- Godoy-Ávila, C. y M.V. Huitrón-Ramírez. 1998. Relaciones hídricas de hojas y frutos de nogal pecanero durante el crecimiento y desarrollo de la nuez. *Agrociencia* 32: 331-337.
- Godoy-Ávila, C., H. Garza-Salas y M.V. Huitrón-Ramírez. 1998. Crecimiento y acumulación de azúcares en el fruto de la vid (*Vitis vinifera* L.) bajo diferentes condiciones hídricas. *Información Técnica Económica Agraria*. Zaragoza, España 94: 129-137.
- Grimes, D.W. y L.E. Williams. 1990. Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson seedless grapevines. *Crop Sci.* 30: 225-260.
- Herrera, E. 1990. Fruit growth and development of Ideal and Western pecans. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 115: 915-923.
- Lang, A. y H. During. 1991. Partitioning control by water potential gradient: Evidence for compartmentation breakdown in grape berries. *J. Exp. Bot.* 27: 1117-1122.
- Liu, W.T., W. Wenkert y E.R. Lemon. 1978. Soil-plant water relations in a New York vineyard: Resistances to water movement. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 13: 226-230.
- Patakas, A. y B. Noitsakis. 1997. Cell wall elasticity as a mechanism to maintain favorable water relations during leaf ontogeny in grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 48: 352-358.
- Patakas, A. y B. Noitsakis. 1999. Osmotic adjustment and partitioning of turgor responses to drought in grapevines leaves. *Am. J. Enol. Vitic.* 50: 76-80.
- Rieger, M. y J.W. Daniell. 1988. Leaf water relations, soil to leaf resistance and drought stress in pecan seedlings. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 113: 789-793.
- SAS Institute, Inc. 1988. SAS Stat user's guide. Release 6.03. Cary, NC.
- Scholander, P.F., H.T. Hammel y E.D. Badstreet. 1964. Sap pressure in vascular plants. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 52: 119-125.
- Schultze, E.D., J. Cermak, R. Matyssek, M. Penka, R. Zimmermann, F. Vasicek, W. Gries y J. Kucera. 1985. Canopy transpiration and water fluxes in the xylem of the trunk of *Larix* and *Picea* trees. A comparison of xylem flow, porometer and cuvet measurements. *Oecologia* 66: 579-596.
- Sparks, D. 1995a. Water, water, water, especially in September. *Pecan South* 25: 4-5.
- Sparks, D. 1995b. Kernel development in pecan - A function of soil water. *Annu. Rep. Northern Nut Growers Assoc.* 86: 116-118.
- Sparks, D. 1996. A climatic model for pecan production under humid condition. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121: 908-914.

- Sparks, D. e I.E. Yates. 1995. Anatomy of shuck abscission in "desirable" pecan. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 120: 790-797.
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach, 2nd ed. McGraw-Hill. New York.
- Stein, L.A., G.A. McEachern y J.B. Storey. 1989. Summer and fall moisture stress and irrigation scheduling influence pecan growth and production. *HortScience* 24: 607-611.
- Steinberg, S.L., J.M. Marshall y J.W. Worthington. 1990. Comparison of trunk and branch sap flow with canopy transpiration in pecan. *J. Exp. Bot.* 41: 653-659.
- Worthington, J.W., J. Lasswell, L.A. Stein y M.J. Mc Farland. 1992. Now that you have decided to irrigate...How ?...How much ?...When ? *Pecan South* 22: 6-18.
- Wright, P.R., J.M. Morgan y R.S. Jessop. 1997. Turgor maintenance by osmoregulation in *Brassica napus* and *B. Juncea* under field conditions. *Ann. Bot.* 80: 313-319.
- Zhang, D.P. y G.G. Luo. 1993. Studies on water movement into and out grapevine fruits during ripening. *Acta Bot. Sinica* 35: 1-11.

VARIACIÓN ESTACIONAL DEL POTENCIAL HÍDRICO, TASA DE FOTOSÍNTESIS Y CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA EN EL ÁRBOL DEL TULE

Seasonal Variation in Water Potential, Photosynthesis Rate and Stomatal Conductance in the Tule Tree

Gisela V. Campos-Angeles^{1†}, J. Jesús Vargas-Hernández², Carlos Trejo-López²,
Javier López-Upton² y Juan Velázquez-Mendoza²

RESUMEN

El árbol del Tule, un ahuehuete milenario de gran valor histórico y cultural, registrado en el libro de los 'records Guinness' como el árbol de mayores dimensiones, ha sufrido fuertes modificaciones en su ambiente natural debido a un proceso gradual de urbanización. Con el propósito de hacer un diagnóstico fisiológico en las condiciones actuales, durante un año se evaluó periódicamente el potencial hídrico (Ψ_w), la tasa de fotosíntesis neta (F_n) y la conductancia estomática (g_s) en este individuo, utilizando como referencia un árbol joven de la misma especie localizado en el mismo sitio. Los resultados mostraron que el árbol del Tule mantiene condiciones fisiológicas favorables con respecto al árbol joven, pero es muy sensible a los cambios estacionales en la disponibilidad de agua. Existe un período crítico para el árbol del Tule en los meses de noviembre a febrero, asociado a la reducción en el nivel del manto freático del suelo, que se reflejó en una mayor reducción del Ψ_w diurno y en una menor capacidad de recuperación del balance hídrico en la noche. La F_n y g_s también se modificaron estacionalmente en respuesta tanto a las condiciones de humedad del suelo, como al déficit de presión de vapor, pero no mostraron una fuerte relación con el Ψ_w interno de los árboles.

Palabras clave: Ahuehuete, relaciones hídricas, fisiología de árboles, estrés hídrico.

¹ Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca, Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca, México.

[†] Autor responsable (gicampos@prodigy.net.mx)

² Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, estado de México.

Recibido: Septiembre de 2003. Aceptado: Enero de 2005.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 23: 515-522.

SUMMARY

The Tule tree, a millennial *Moctezuma bald cypress* of great historic and cultural value, registered in the Guinness Book of World Records as the largest individual tree, has been subjected to severe changes in its natural environment due to a gradual urbanization process. In order to evaluate its physiological status under current environmental conditions, water potential (Ψ_w), photosynthesis rate (F_n), and stomatal conductance (g_s) were periodically monitored over one year, using a young tree of the same species located nearby as reference. Results showed that the old Tule tree maintains favorable physiological conditions as compared to the young tree, but is very sensitive to seasonal changes in water availability. It was found that a critical period for the Tule tree is from November to February, associated with a lower level of the water table, greater decrease in diurnal Ψ_w , and retarded recovery at night. F_n and g_s also changed seasonally in response both to soil moisture conditions and vapor pressure deficit, but these changes were not strongly related to Ψ_w of the trees.

Index words: *Moctezuma bald cypress*, water relations, tree physiology, water stress.

INTRODUCCIÓN

En la población de Sta. María El Tule en Oaxaca, México, se encuentra un ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten) conocido como el "árbol del Tule". Por su edad y dimensiones, éste es un árbol único en el mundo, considerado monumento natural según inventario de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) (Vargas, 1996). Posee la mayor circunferencia registrada en el mundo (Goetz, 1987) y aparece en el libro de los 'records Guinness' por sus dimensiones (Russell, 1987). Mide aproximadamente 42 m de altura, tiene una circunferencia de 54 m y un diámetro de 14 m.

La especie a la que pertenece está estrechamente ligada a la historia y cultura de México, por lo que fue nombrada árbol nacional; el árbol del Tule fue determinante para esta decisión tomada en 1921. Las tres especies conocidas de ahuehuetes: *T. ascendes* B. y *T. distichum* L. en el sureste de Estados Unidos, y *T. mucronatum* Ten. en México, crecen en áreas pantanosas en los bordes de manantiales y ríos donde existe una corriente permanente de agua (Pezeshki *et al.*, 1995; Martínez, 1999).

La longevidad natural de la especie (> 1000 años) hace que los ahuehuetes estén expuestos a cambios drásticos en las condiciones del hábitat durante su ciclo de vida. Esta situación particular se presenta con el árbol del Tule; referencias verbales de los habitantes del lugar indican que hace más de 100 años en esa zona existía un pantano (tular), el cual se fue desecando como consecuencia de la urbanización del área, provocando cambios graduales en el nivel freático y en otros factores ambientales, como los patrones de temperatura, humedad relativa y condiciones físicas del suelo. Es común que la modificación del ambiente ocasione alteraciones en los procesos fisiológicos de los árboles, ya sea como mecanismo de adaptación a las nuevas condiciones del medio, para ser más eficientes en el uso de los recursos, o para contrarrestar los factores desfavorables que se hayan acentuado (Smith y Griffiths, 1993).

Dado el gran valor histórico y cultural asociado a este individuo, es importante evaluar su comportamiento fisiológico en las condiciones ambientales en que se encuentra. Yoder *et al.* (1994) señalaron que uno de los factores que limitan el crecimiento y la productividad en árboles de edad avanzada es la alteración de las relaciones hídricas debido a una baja eficiencia en la conductividad hidráulica de los troncos. Por otro lado, Goldstein *et al.* (1998) y Meinzer *et al.* (2001) demostraron que el tamaño de los árboles influye sobre la capacidad de almacenamiento de agua en la albura del tronco y que esta agua almacenada hace menos severos los cambios en el estado hídrico durante las horas de mayor demanda evaporativa. La controversia existente en cuanto a los factores que determinan el comportamiento fisiológico de individuos que difieren drásticamente en cuanto a edad y tamaño hace en especial interesante el estudio del árbol del Tule.

Con el propósito de entender los mecanismos fisiológicos y su regulación ante los cambios en las

condiciones ambientales, el objetivo del presente trabajo fue determinar el comportamiento diurno y estacional del potencial de agua e intercambio de gases (conductancia estomática y tasa de fotosíntesis neta) en el árbol del Tule. Además, se utilizó un árbol joven (< 30 años) de la misma especie en el mismo sitio, con la finalidad de hacer comparaciones en relación con la edad del árbol de interés.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Estudio

Los árboles se localizan en el atrio del templo de la comunidad de Sta. María el Tule, en Oaxaca, México (17° 03' N, 96° 38' O, a una altitud de 1560 m). En la parte baja de la cuenca del Río Salado, donde convergen los escurrimientos de los ríos El Veinte y La Palma, en terrenos planos. En esta zona, la temperatura media anual es de 23 °C y la media mensual oscila entre 19 y 27 °C. La precipitación promedio anual es de 650 mm, distribuida principalmente de julio a septiembre.

Variables Evaluadas

Se evaluaron el potencial hídrico (Ψ_w), la tasa de fotosíntesis neta (F_n) y la conductancia estomática (g_s) en los dos árboles, en diferentes épocas del año, a partir de octubre de 2001. En un muestreo previo, se determinó que las variables tenían un patrón diurno similar, aunque desfasado en tiempo en diferentes exposiciones de la copa, por lo que se decidió efectuar las mediciones en la parte media del lado este de la misma. En el árbol del Tule, el muestreo se hizo a una altura promedio de 18 m, utilizando una grúa periférica con canastilla en el brazo hidráulico. En el árbol joven, las muestras se tomaron a una altura promedio de 5 m debido a su menor tamaño, ya que tiene 9 m de altura y 85 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). Heinsoo y Koppel (1998) encontraron que la respuesta de las hojas en árboles varía más en función de la edad y el estado de desarrollo del follaje que en función del perfil vertical de la copa, siempre y cuando esté expuesto de manera similar en ella.

Aunque desde el punto de vista estadístico siempre es deseable incluir el mayor número posible de sujetos experimentales, el propósito del trabajo orientado a un individuo en particular (el árbol del Tule) y la disponibilidad de individuos jóvenes en el mismo sitio, delimitaron que el estudio se concentrara

sólo en estos dos sujetos. Sin embargo, esto no limita la validez de los resultados, pues en cada individuo se tomaron varias muestras en cada fecha y hora de evaluación.

Con el propósito de establecer el patrón estacional, las mediciones se realizaron en periodos aproximados de 30 días a partir de la fecha mencionada anteriormente hasta el mes de septiembre de 2002. Para establecer el patrón diurno, en cada fecha de medición se tomaron muestras cada tres horas a partir de las 6:00 h y hasta las 18:00 h del día. El Ψ_w se evaluó en cinco ramillas terminales, utilizando una bomba de presión tipo Schollander (PMS, Inc. Corvallis, Oregon, E.U.A.). La F_n y g_s se evaluaron en un sistema abierto y portátil de análisis de gases en infrarrojo (IRGA, modelo TPS 1; PP Systems). Se utilizaron 10 ramillas (muestras) de cada árbol. En todos los casos, el muestreo se efectuó en ramillas con follaje completamente expuesto y maduro. Por cuestiones de logística, en cada ocasión las mediciones se hicieron primero en el árbol del Tule y luego en el árbol de referencia. La diferencia en tiempo entre las mediciones no fue mayor que 30 min en ninguna ocasión.

A partir de los datos de temperatura y humedad relativa de la atmósfera, obtenidos con los sensores instalados en el IRGA, se calculó el déficit de presión de vapor de la atmósfera en el momento de hacer las mediciones de F_n en cada árbol. También se evaluó la precipitación pluvial de manera semanal, con un pluviómetro de acumulación colocado en el techo de la iglesia. El nivel del manto freático se midió al mediodía, un día antes de cada fecha de muestreo, en un pozo noria ubicado a 65 m del árbol. Dado que el sitio es plano, con un nivel estático constante y el sistema radical del árbol del tule tiene una distribución lateral extensa, se considera que el nivel freático en el pozo representa las mismas condiciones de disponibilidad de agua en el árbol.

Análisis Estadístico

El Ψ_w , F_n y g_s se analizaron con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1996) mediante el procedimiento de análisis de varianza de medidas repetidas (Gumpertz y Brownie, 1993), con el modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + \alpha_{ij} + F_k + (AF)_{ik} + \beta_{ijk} + H_l + (AH)_{il} + \delta_{ijl} + (FH)_{kl} + (AFH)_{ikl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} = valor observado en la l -ésima hora en la k -ésima fecha en la j -ésima muestra en el i -ésimo árbol; $\mu + A_i + \alpha_{ij}$ representan los efectos entre los sujetos (árboles), con: μ = media de la población; A = efecto del i -ésimo árbol; α_{ij} = error asociado a la j -ésima muestra del i -ésimo árbol; $F_k + (AF)_{ik} + \beta_{ijk} + H_l + (AH)_{il} + \delta_{ijl} + (FH)_{kl} + (AFH)_{ikl} + \varepsilon_{ijkl}$ representan los efectos dentro de sujetos asociados al patrón estacional y diurno, con: F_k = efecto de la k -ésima fecha de medición; $(AF)_{ik}$ = efecto de la interacción del i -ésimo árbol con la k -ésima fecha de medición; β_{ijk} = error asociado a la k -ésima fecha de medición en la j -ésima muestra del i -ésimo árbol; H_l = efecto de la l -ésima hora de medición; $(AH)_{il}$ = efecto de la interacción de la l -ésima hora de medición con el i -ésimo árbol; δ_{ijl} = error asociado a la l -ésima hora en la j -ésima muestra en el i -ésimo árbol; $(FH)_{kl}$ = efecto de la interacción de la l -ésima hora de medición con la k -ésima fecha; $(AFH)_{ikl}$ = efecto de la interacción de la l -ésima hora de medición con la k -ésima fecha en el i -ésimo árbol; y ε_{ijkl} = error de muestreo.

Debido a las condiciones particulares del árbol del Tule, no es posible tomar más sujetos que se encuentren en las mismas condiciones y se consideró que la comparación con individuos localizados en otro sitio no ayudaría al propósito del trabajo, por lo que se decidió usar el modelo estadístico anteriormente explicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencial Hídrico (Ψ_w)

El Ψ_w presentó diferencias estadísticas significativas ($P < 0.01$) entre los dos árboles en el promedio de las diferentes fechas y horas de evaluación. También se encontraron diferencias significativas ($P < 0.01$) en esta variable entre las fechas y horas de muestreo, así como en la interacción de los árboles con los periodos de evaluación (Figura 1).

A pesar de la dinámica estacional del Ψ_w , los dos árboles muestran una curva diurna típica a lo largo del periodo de estudio, con valores máximos en la mañana, que se reducen gradualmente hasta el mediodía (Figura 1) e inician una recuperación en la tarde. Sin embargo, los valores extremos que se alcanzan al mediodía y el grado de recuperación en

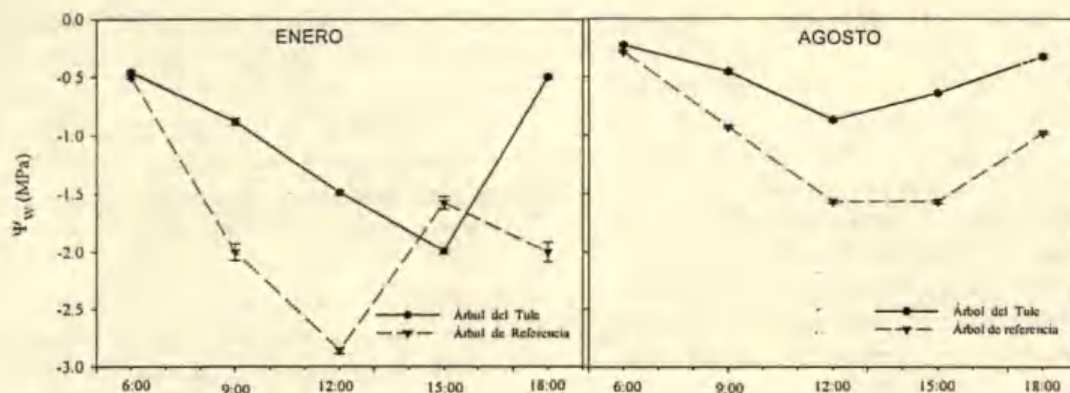


Figura 1. Patrón diario del Ψ_w en diferentes fechas, en el árbol del Tule y un árbol joven. Las observaciones son el promedio de cinco mediciones \pm error estándar.

ambos árboles difiere de una fecha a otra (Figuras 1 y 2). Este comportamiento del Ψ_w es similar al que se ha encontrado en otras especies leñosas, como *Pinus taeda* L., *Liquidambar styraciflua* L. (Perry *et al.*, 1994) o *Fagus sylvatica* L. y *Quercus petraea* L. (Backes y Leuschner, 2000), pero el grado de recuperación observado por la tarde en el árbol del Tule es mucho mayor. Por ejemplo, durante el período de mayo a julio, en ninguno de los árboles, el Ψ_w descendió más allá de -1.5 Mpa en las horas de mayor demanda evaporativa y por la tarde (18:00 h) prácticamente habían recuperado el Ψ_w de la primera medición (-0.5 MPa). En especies leñosas, el periodo de recuperación se presenta fundamentalmente durante la noche (Shultz y Matthews, 1997; Backes y Leuschner, 2000). Además, Goldstein *et al.* (1998) señalaron que los árboles de mayor tamaño cuentan con un reservorio interno de agua en el tronco que les permite cubrir la demanda evaporativa de las primeras horas del día, lo que coincide con lo observado en el árbol del Tule.

El árbol del Tule en general tuvo mayores valores de Ψ_w en las mañanas y descensos menores durante el día, manteniendo valores de Ψ_w más favorables que en el árbol joven, en especial durante el período de mayor estrés hídrico (Figura 2). Las diferencias entre árboles en el comportamiento del Ψ_w pueden estar asociadas a la capacidad de almacenamiento de agua en el tronco del árbol del Tule. Meinzer *et al.* (2001) mencionaron que el tronco de los árboles funciona como un depósito de agua que la cavitación de las traqueidas pone momentáneamente disponible al enfrentar condiciones de mayor estrés hídrico.

Por otro lado, el mayor grado de recuperación observado, con respecto a otras especies leñosas, indica que los árboles de *Taxodium* tienen un sistema eficiente de conducción de agua en el tronco; es decir, la conductividad hidráulica del sistema vascular no es alterada con la edad, posiblemente porque sus raíces tienen acceso a cantidades suficientes de agua en el suelo, lo cual permite revertir rápidamente el efecto negativo de la cavitación.

A pesar de ello, la Figura 2 hace evidente que existen periodos críticos en los cuales hay una mayor reducción del Ψ_w en el día y una menor recuperación durante la tarde. En árboles adultos de *Pseudotsuga menziesii* Mirb (Franco) (Simpson, 2000) y en individuos juveniles de *Pinus sylvestris* L. (Aranda *et al.*, 2001) se ha asociado la variación estacional en los niveles de Ψ_w y el grado de recuperación vespertina con la distribución estacional de la precipitación y los niveles de humedad disponible, factores que influyen en la conductividad hidráulica del tronco. Keeland y Sharitz (1995) también encontraron que los cambios en el régimen hidrológico a lo largo del año impactan de manera negativa, modificando la dinámica de crecimiento en *Taxodium distichum*. Durante la temporada de lluvias en general existe un contenido relativo de agua elevado en la albura que favorece el transporte de agua a grandes distancias. En cambio, durante el período de sequía se reduce el contenido de agua en la albura, y una proporción grande de traqueidas se encuentran cavitadas, lo que dificulta el transporte de agua en el tronco y retrasa la recuperación del Ψ_w en el follaje. Estos autores mencionaron que *Taxodium*

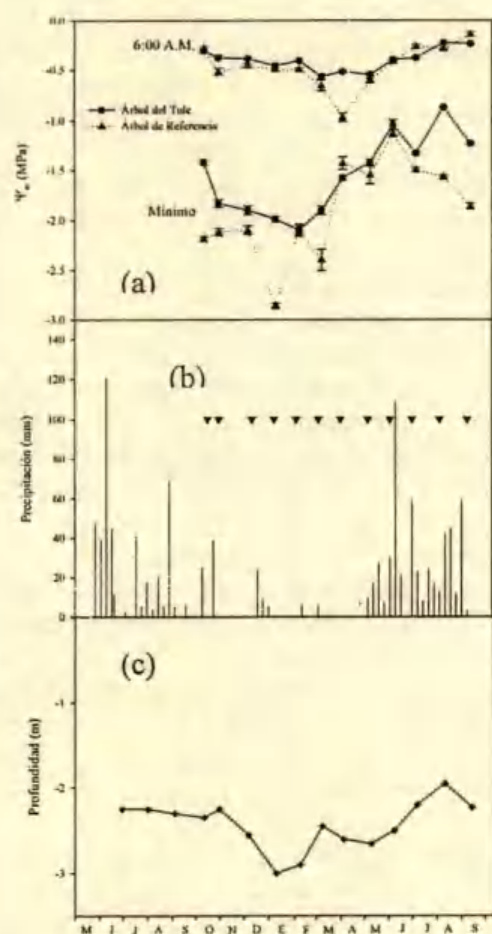


Figura 2. (a) Comportamiento estacional del Ψ_w en el árbol del Tule y en un árbol joven (promedio de cinco muestras \pm error estándar); (b) distribución de la precipitación durante el periodo de estudio (los triángulos representan las fechas de monitoreo); (c) profundidad del manto freático durante el periodo de estudio.

distichum es una especie sensible a las variaciones en el nivel de humedad del suelo y a las modificaciones en el régimen hidrológico del sitio donde crece.

El periodo crítico de Ψ_w en el árbol del Tule estuvo más relacionado con el nivel del manto freático que con la distribución de la precipitación en el sitio (Figura 2). Durante el periodo de finales de octubre a principios de febrero, el manto freático descendió en casi un metro (Figura 2), periodo que coincide con el mayor estrés hídrico y la menor recuperación en los árboles de *Taxodium* (Figura 2). Posteriormente, a partir de febrero, el manto freático empezó a elevarse y esto permitió una mayor recuperación vespertina en el Ψ_w en el follaje de los árboles en los siguientes meses, a pesar de que no hubo una cantidad significativa de precipitación en los meses de abril y

mayo de 2002 (Figura 2). Durante los meses de junio a agosto aumentó la recarga del manto freático como producto de la precipitación y esto repercutió en un menor estrés hídrico diurno en el árbol del Tule. Al respecto, Meinzer *et al.* (1999) indicaron que la disposición horizontal de las raíces en árboles grandes compensa el menor contenido de humedad en las capas superficiales del suelo y que, durante los periodos de sequía, el agua se encuentra libremente disponible en el suelo a profundidades mayores que 1 m, por lo que los árboles de mayor tamaño tienen mayor acceso a ella.

Es posible que el aumento en el nivel del manto freático en los primeros meses del año se deba a eventos de precipitación invernal en la parte alta de la cuenca (en el sitio se registraron lluvias ligeras a finales de diciembre y principios de enero) o con una menor extracción de agua del subsuelo para usos agrícolas durante ese periodo. Sin embargo, dado que el sitio de estudio se encuentra en la parte baja de la cuenca, se requiere de información adicional para distinguir los factores asociados con los cambios estacionales en la profundidad del manto freático en el sitio.

Fotosíntesis Neta (F_n) y Conductancia Estomática (g_s)

La F_n presentó diferencias estadísticas significativas ($P < 0.01$) entre los árboles durante el periodo de evaluación. También se encontraron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre las fechas, horas de medición y en la interacción de estos factores. La g_s mostró resultados similares, excepto que las diferencias entre árboles no fueron significativas, pero sí la interacción con los otros factores de estudio.

La F_n máxima en el árbol del Tule se mantuvo entre 13 y 26 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con valores mayores que en el árbol joven (Figura 3). Estos valores son ligeramente más altos que los encontrados por Pezeshki *et al.* (1995) en plántulas de *Taxodium distichum* creciendo en suelos salinos. Las tasas máximas se presentaron, en general, en la mañana, entre las 9:00 y las 12:00 h. Por la tarde, la F_n se redujo drásticamente debido principalmente a la menor radiación recibida, por la ubicación del follaje muestreado en la copa. El mismo patrón diurno se observó en el comportamiento de g_s , mostrando que los estomas tienen una fuerte tendencia a cerrarse después de las 15:00 h, aun cuando el Ψ_w en

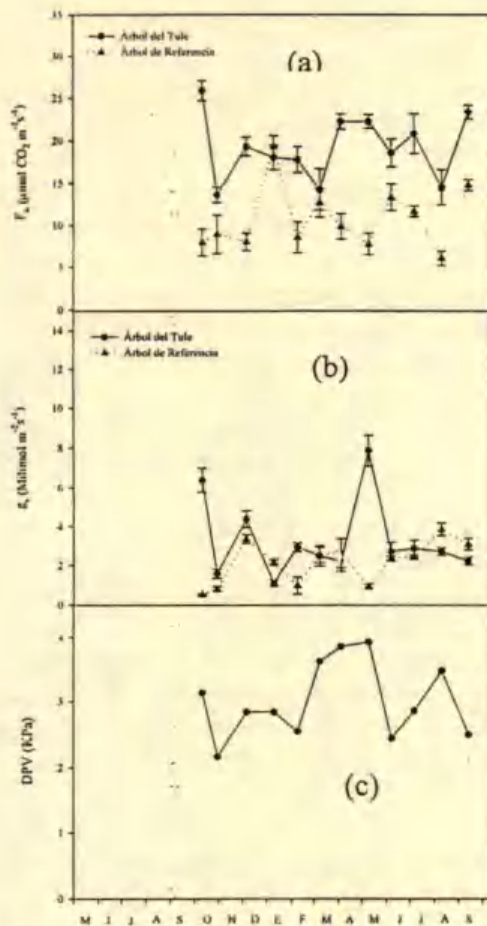


Figura 3. (a) Tasa máxima de fotosíntesis neta (F_n); (b) conductancia estomática (g_s) a la hora de máxima F_n en el árbol del Tule y en un árbol joven; déficit de presión de vapor (DPV) en cada fecha durante el periodo de estudio (promedio de 10 muestras \pm error estándar).

las ramillas iniciaba su recuperación, lo que indica que el intercambio gaseoso respondió más a las condiciones de radiación que al estado hídrico del follaje en las tardes.

A pesar de que las diferencias en g_s no fueron significativas entre los árboles a lo largo del periodo de estudio, el árbol del Tule presentó una F_n promedio ($19 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) mayor que el árbol joven ($10 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). La interacción significativa observada entre los factores de estudio (árboles, fechas y horas de medición) tanto para F_n como para g_s muestran que estas dos variables fisiológicas fueron bastante dinámicas (Figura 3) a lo largo del periodo de estudio y que están más relacionadas con factores ambientales que con el Ψ_w de los árboles.

En *Pinus Taeda*, Perry *et al.* (1994) tampoco encontraron una relación fuerte entre la conductancia estomática y el potencial hídrico interno. Por otro

lado, Hubbard *et al.* (1999) encontraron que en árboles altos y viejos de *Pinus ponderosa* Douglas ex Laws la conductancia estomática y la tasa de fotosíntesis cambian más rápidamente en función del déficit de presión de vapor (DPV) que en los árboles bajos y jóvenes. Estos resultados coinciden con el comportamiento de los árboles de *Taxodium* en el presente estudio.

Además del efecto del DPV, es posible que los cambios en la edad del follaje también hayan influido sobre la dinámica estacional de F_n y g_s . En diferentes especies leñosas se ha demostrado que la sensibilidad del follaje y, por lo tanto, F_n y g_s , se modifican conforme madura y envejece el follaje (Heinsoo y Koppel, 1998). Por otra parte, Meinzer *et al.* (2001) consideraron que el comportamiento estomático en árboles adultos está influenciado por diversos factores, tanto internos, como ambientales. Debido a lo anterior, es relativamente complicado separar el efecto de factores ambientales y ontogénicos en el comportamiento estacional de estos procesos fisiológicos en el árbol del Tule.

Implicaciones de Manejo

A pesar de la múltiple interacción de factores que se manifiesta en la dinámica estacional de F_n y g_s en los árboles de *Taxodium*, los datos del estudio muestran que a lo largo del año existe un periodo crítico de relaciones hídricas en el árbol del Tule, que se refleja parcialmente en los valores máximos de F_n y g_s que se alcanzaron en estas fechas. A su vez, el periodo crítico de Ψ_w estuvo relacionado con el descenso estacional del manto freático del suelo.

Lo anterior implica que, en el futuro, pueden utilizarse los cambios en el nivel del manto freático en el sitio como un indicador indirecto del nivel de estrés hídrico a que el árbol del Tule está sometido. Estos resultados también implican que es importante establecer medidas adecuadas para evitar que el nivel freático descienda a mayor profundidad para evitar exponer al árbol del Tule a periodos más prolongados de estrés hídrico.

Por otro lado, las diferencias en Ψ_w y en F_n , encontradas entre los árboles, muestran que a pesar de las dimensiones (tamaño) y edad del árbol del Tule, éste mantiene una actividad fisiológica favorable respecto al árbol joven localizado en el sitio. Eschenbach y Kapeen (1999) encontraron que árboles adultos de *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth en general presentaron valores menores de Ψ_w en el follaje en

comparación con individuos pequeños de la misma especie. En cambio, Cavender-Bares y Bazzaz (2000), al comparar la respuesta a la sequía de árboles de *Quercus rubra* L. de diferentes edades, encontraron que los individuos más jóvenes alcanzaron valores menores de Ψ_w que los árboles adultos. Meinzer et al. (2001) consideraron que los árboles maduros pueden mantener un balance hídrico más favorable que árboles jóvenes, debido a su mayor capacidad de almacenamiento de agua en el tronco o a una mayor capacidad de extracción de agua en el subsuelo. En este caso, la capacidad de extracción de agua del árbol del Tule con respecto al árbol joven puede atribuirse a las dimensiones y la distribución espacial de su sistema radical, que le proporciona mayor superficie y profundidad de exploración en el suelo, como se ha demostrado en árboles adultos de otras especies forestales (Kozłowski y Pallardy, 1997; Meinzer et al., 2001).

CONCLUSIONES

- El árbol del Tule fue relativamente sensible a los cambios en el nivel del manto freático en el suelo; cambios estacionales de 80 a 90 cm en la profundidad del nivel freático del suelo ocasionaron reducciones temporales en Ψ_w y F_n máxima del follaje, aunque estas variables no mostraron estar fuertemente relacionadas entre sí. Dado que el nivel del manto freático en el sitio es resultado de la recarga hidráulica en la parte alta de la cuenca mas que de la precipitación local en el sitio donde se ubica el árbol, esto implica que la permanencia y salud del árbol del Tule dependen, en gran medida, de la conservación de la cuenca en su conjunto.

- A pesar de la sensibilidad del árbol del Tule a los cambios estacionales en la disponibilidad de agua en el suelo, el árbol mantiene una actividad fisiológica favorable con respecto a un árbol joven de la misma especie establecido en el mismo sitio. Esta información es útil como referencia para evaluar el impacto sobre el árbol de los cambios en el microambiente asociados con la urbanización del sitio o con el posible cambio climático que se pronostica a mediano plazo, así como para definir las medidas de manejo adecuado en la cuenca con el propósito de mantener saludable a este importante espécimen.

LITERATURA CITADA

- Aranda, I., L. Gil y J.A. Pardos. 2001. Effects of thinning in a *Pinus sylvestris* L. stand on foliar water relations of *Fagus sylvatica* L. seedlings planted within the pinewood. *Trees* 15: 358-364.
- Backes, K. y C. Leuschner. 2000. Leaf water relations of competitive *Fagus sylvatica* and *Quercus petraea* trees during 4 years differing in soil drought. *Can. J. For. Res.* 30: 335-346.
- Cavender-Bares, J. y F.A. Bazzaz. 2000. Changes in drought response strategies with ontogeny in *Quercus rubra*: implications for scaling from seedlings to mature trees. *Oecologia* 124: 8-18.
- Eschenbach, C. y L. Kapeen. 1999. Leaf Water relations of black alder [*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.] growing at neighbouring sites with different water regimes. *Trees* 14: 28-38.
- Goetz, P.W. 1987. The new encyclopedia Britannica. 15th ed., Vols. 11, 28. Encyclopedia Britannica, Inc. Chicago.
- Goldstein, G., J.L. Andrade, F.C. Meinzer, N.M. Holbrook, J. Cavelier, P. Jackson y A. Celis. 1998. Stem water storage and diurnal patterns of water use in tropical forest canopy trees. *Plant Cell Environ.* 21: 397-406.
- Gumpertz, M.L. y C. Brownie. 1993. Repeated measures in randomised block and split-plot experiments. *Can. J. For. Res.* 23: 625-639.
- Heinsoo, K. y A. Koppel. 1998. Minimum epidermal conductance of Norway spruce (*Picea abies*) needles: Influence of age and shoot position in the crown. *Ann. Bot. Fennici* 35: 257-262.
- Hubbard, R.M., B.J. Bond y M.G. Ryan. 1999. Evidence that hydraulic conductance limits photosynthesis in old *Pinus ponderosa* trees. *Tree physiol.* 19: 165-172.
- Keeland, B.D. y R.R. Sharitz. 1995. Seasonal growth patterns of *Nyssa sylvatica* var. *biflora*, *Nyssa aquatica*, and *Taxodium distichum* as affected by hydrologic regime. *Can. J. For. Res.* 25: 1084-1096.
- Kozłowski, T.T. y S.G. Pallardy. 1997. Physiology of woody plants. Second Edition. Academic Press. New York.
- Martinez-Bautista, A.E. 1999. El ahuehuate. Biodiversitas. Boletín bimestral Año 5, No. 25: 16. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- Meinzer, F.C., J.L. Andrade, G. Goldstein, N.M. Holbrook, J. Cavelier y S.J. Wright. 1999. Partitioning of soil water among canopy trees in a seasonally dry tropical forest. *Oecologia* 121: 293-301.
- Meinzer, F.C., M.J. Clearwater y G. Goldstein. 2001. Water transport in trees: Current perspectives, new insights and some controversies. *Env. Exp. Bot.* 45: 239-262.
- Perry, M.A., R.J. Mitchell, B.R. Zutter, G.R. Glover y D.H. Gjerstad. 1994. Seasonal variation in competitive effect on water stress and pine responses. *Can. J. For. Res.* 24: 1440-1449.
- Pezeski, S.R., R.D. DeLaune y H.S. Choi. 1995. Gas exchange and growth of bald cypress seedlings from selected US Gulf Coast populations: Responses to elevated salinities. *Can. J. For. Res.* 25: 1409-1415.
- Russell, A. 1987. Guinness Book of World Records. Sterling Publishing Co., Inc. New York.
- SAS Institute, Inc. 1996. SAS/STAT Guide for personal computers. Version 6.0. Cary, NC.

- Shultz, H.R. y M.A. Matthews. 1997. High vapour pressure deficit exacerbates xylem cavitation and photoinhibition in shade-grown *Piper auritum* H.B. & K. during prolonged sunflecks. *Oecologia* 110: 312-319.
- Simpson, D.G. 2000. Water use of interior Douglas-fir. *Can. J. for. Res.* 30: 534-547.
- Smith, J.A.C. y H. Griffiths. 1993. Water deficits. Plant responses from cell to community. *Environmental Plant Biology*. Series. BIOS Scientific Publishers. Lancaster, UK.
- Vargas-Márquez, F. 1996. Compendio de árboles históricos y notables de México. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México, D.F.
- Yoder, B.J., M.G. Ryan, R.H. Waring, A.W. Shoettle y M.R. Kaufmann. 1994. Evidence of reduced photosynthetic rates in old trees. *For. Sci.* 40:513-527.

MICORRIZA ARBUSCULAR, *Bacillus* Y SUSTRATO ENRIQUECIDO CON VERMICOMPOSTA EN EL DESARROLLO DE PLANTAS DE PAPAYO

Arbuscular Mycorrhizae, *Bacillus* and Substrate Enriched with Vermicompost on the Development of Papaya Plants

H. López-Moctezuma¹*, R. Ferrera-Cerrato², J. Farias-Larios³, S. Aguilar-Espinosa³,
Ma. del Rocío F. Bello³ y J.G. López-Aguirre³

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) en el desarrollo de plantas de papayo (*Carica papaya* L.) crecidas en suelo enriquecido con 40% de vermicomposta. Se comprobó que las raíces de las plantas son colonizadas por los HMA en un porcentaje superior a 17 con una marcada influencia sobre su desarrollo, mientras que las bacterias no influyeron en el incremento de la colonización de los HMA. Los HMAs favorecieron el crecimiento de las bacterias en el rizoplaneo, indicando una asociación mutualista entre el complejo *Glomus* Zac-19 y *Bacillus pumilus*. En la primera fase de crecimiento [64 días después del trasplante (DDT)], los HMA y HMA+*Bacillus pumilus* propiciaron el mayor crecimiento, siendo más grande cuando se inocularon con solo HMA. A 115 DDT, las plantas inoculadas con estos dos microorganismos registraron el mayor crecimiento y el mayor número de flores (cinco flores), superando a las de los demás tratamientos. La elevada disponibilidad de nutrientes y la asociación mutualista de HMA y HMA + bacterias favoreció la absorción de algunos nutrientes como el P y Zn, que pudieron influir para que las plantas acortaran su fase juvenil de 160 a 115 DDT. Las cepas de *B. pumilus* y *B. macerans*, inoculadas por separado, tuvieron un efecto similar para promover el crecimiento y la floración del papayo, superando a las plantas testigo, pero *B. pumilus* fue más eficiente que *B. macerans* en

unión con los HMAs. Durante el proceso de floración, el contenido de P fue 50% menor que en las plantas en crecimiento.

Palabras clave: *Carica papaya* L., HMA, colonización, nutrición, rizoplaneo, BPCV, bacteria.

SUMMARY

The effect of inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on the development of papaya (*Carica papaya* L.) plants grown on a soil enriched with 40% vermicompost was assessed. It was proved that the roots of the plants are colonized by the AMF in a percentage above 17 with a marked influence on their development, while the bacteria did not influence the increase of AMF colonization. The AMFs favored the growth of the bacteria in the rhizoplane, indicating a mutualistic association between the *Glomus* Zac-19 complex and *Bacillus pumilus*. In the first growing phase [64 days after transplant (DAT)], the AMF and AMF+*Bacillus pumilus* propitiated the best growth, being even better when they were inoculated with just AMF. After 115 DAT, the plants inoculated with these two microorganisms were the ones that registered the best growth as well as the highest number of flowers (five flowers), surpassing those from the other treatments. The elevated availability of nutrients and the mutualistic association of AMF and AMF + bacteria favored the absorption of some nutrients such as P and Zn, which could have an influence in the plants shortening their juvenile phase from 160 to 115 DAT. The *B. pumilus* and *B. macerans* stumps inoculated separately showed a similar effect promoting the growth and flowering of papaya, surpassing the inoculated plants, but *B. pumilus* was more efficient than *B. macerans* plus the AMFs. During the flowering process, P content was 50% less than in the growing plants.

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana. 91000 Jalapa, Veracruz, México.

* Autor responsable (lopezm2@msn.com)

² Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Estado de México.

³ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Colima. Colima, Col., México.

Index words: *Carica papaya L., AMF, colonization, nutrition, rhizoplane, PGPR, bacteria.*

INTRODUCCIÓN

Los beneficios de la agricultura hacia la humanidad han sido inmensos (Tilman *et al.*, 2002). Sin embargo, en los últimos años, se han registrado una disminución en la productividad del suelo y un importante deterioro ambiental (Reganold *et al.*, 1990), debido, principalmente, a que los avances tecnológicos han sido utilizados por el hombre con fines meramente económicos, explotando el suelo en forma intensiva para obtener beneficios a corto plazo (Schaller, 1993). La implementación de estrategias que disminuyan estos efectos nocivos se hace prioritaria, entre las que sobresale el uso de algunos microorganismos, como las bacterias de vida libre denominadas PGPR (plant growth promoting rhizobacteria) (Kloepper *et al.*, 1989); entre los que destacan los géneros: *Azotobacter*, *Acetobacter*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Pseudomonas* y *Bacillus* (Probanza *et al.*, 1996), así como los hongos micorrizicos arbusculares (HMA) que se perfilan como una de las opciones biotecnológicas con mayor futuro (Nehl *et al.*, 1997).

Los hongos micorrizicos arbusculares (HMA) establecen una asociación mutualista con una amplia variedad de especies tropicales, de la que dependen para su crecimiento, ya que, en condiciones de baja disponibilidad de P, pueden absorberlo en mayor cantidad cuando sus raíces son colonizadas por estos hongos (Janos, 1980). Los HMA también se han involucrado en un mejor crecimiento de numerosas plantas de importancia económica, como los frutales (Jaizme-Vega y Azcón, 1995). La condición esencial para una mayor eficiencia de esta asociación micorrizica es que el sustrato donde crezcan las plantas sea de bajo contenido de P (Smith, 1988). Esto puede ser un problema para la propagación de frutales como el papayo en el cual las deficiencias de P y Zn son un factor limitativo para que las plantas alcancen su máximo desarrollo (Bowen y Rovira, 1991), por lo que se especula que, aun colonizadas, las plantas no muestren un óptimo crecimiento.

Las bacterias, como las PGPRs, influyen sobre las raíces para promover su crecimiento y desarrollar pelos radicales. Además, intervienen para que las plantas mejoren la absorción de N, P y K y, en algunos casos, inhiban el desarrollo de patógenos al quelatar el ion Fe, cuya forma no es disponible para

ellos (Okon y Kapulnik, 1986). Sin embargo, se ha encontrado que hay especificidad entre el genotipo de la planta y la bacteria, para que esta última pueda tener un efecto positivo en el desarrollo vegetal (García de Salmone y Döbereiner, 1996). Primero deben colonizar la rizosfera y esto depende, en gran medida, del tipo de planta, del sustrato y de la especie de bacteria (Asanuma *et al.*, 1979), condiciones que hay que determinar para cada bacteria y planta en particular.

Por otro lado, las compostas son consideradas mejoradores del suelo, ya que pueden proveer materia orgánica y nutrimentos, y modificar las propiedades físicas y químicas. De especial interés es la vermicomposta, que no es más que la excreta de la lombriz cuando ha digerido residuos orgánicos (Albanell *et al.*, 1988). El humus, debido a que pasa únicamente por su tracto digestivo, tiene una microbiota diferente; puede contener vesículas de HMA, bacterias, nutrimentos y una diversidad de hongos (Clive y Fletcher, 1988). Desde el punto de vista de fertilidad, esta composta es considerada de alta calidad y es ideal como mejorador del suelo (Mitchell, 1996), por lo que la vermicomposta es considerada como un material idóneo para la propagación de plantas en vivero (Grapelli *et al.*, 1985).

Considerando que los microorganismos, como las bacterias y HMA, desempeñan una función muy importante en la fertilización biológica y a la vermicomposta como un componente nutricional y mejorador del suelo, éstos pueden ser una trilogía con alta eficiencia para asegurar un óptimo crecimiento de las plantas, que permita reducir el uso de fertilizantes químicos y los problemas de contaminación ambiental. Existe escasa literatura sobre el efecto de la interacción de bacterias-HMA-vermicomposta en plantas frutales de origen tropical; sin embargo, ciertas experiencias en la producción de tomate de cáscara demostraron una buena eficiencia, cuando se realizó la inoculación de *Glomus intraradix* y *Azospirillum brasilense* usando vermicomposta como sustrato (Velasco *et al.*, 2001), lo que permite establecer que estos tres factores pueden ser importantes en frutales como el papayo. Se plantea, por lo tanto, que los hongos micorrizicos arbusculares-bacterias-sustratos, ricos en vermicomposta, tienen un mayor efecto en el crecimiento de las plantas en la primera fase de su desarrollo que las habilita para a una precocidad en floración, que cuando se aplican por separado.

Por esta razón, en el presente estudio se planteó el objetivo de evaluar el efecto de la inoculación de HMA y dos cepas de bacterias del género *Bacillus* en el crecimiento y en la floración de plantas de papayo (*Carica papaya* L.) cv. Maradol Roja, crecidas en sustrato enriquecido con vermicomposta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Biológico y Sustrato

Se utilizó semilla extraída de frutos maduros de *Carica papaya* L., cv. Maradol Roja. La semilla se secó, se esterilizó con hipoclorito de sodio a 10%, posteriormente se lavó con agua destilada y se pusieron a germinar en lienzos de tela desinfectada. Cuando la plántula presentó dos hojas 15 días después de la siembra, se trasplantó una sola a cada maceta de plástico de 500 mL de capacidad. El sustrato fue una mezcla de 40% de vermicomposta de pulpa de café (VC) y 60% de suelo (S) en relación volumen:volumen (V:V) y el testigo relativo fue solo suelo. Ambos sustratos se esterizaron a 30 lb durante 3 h. El suelo fue de textura arcillo arenosa con pH de 8.2, contenido de 4.4 mg kg⁻¹ de P, 1.44 mg kg⁻¹ de NO³⁻ y 1.7% de materia orgánica (MO). El sustrato combinado con vermicomposta y suelo registró 32 mg kg⁻¹ de P, 171 mg kg⁻¹ de NO³⁻, 3.9% de MO y un pH de 6.8.

Las bacterias correspondieron a *Bacillus pumilus* (Bp) y *B. macerans* (Bm), las cuales se obtuvieron de vermicomposta proveniente de residuos vegetales, se multiplicaron en caldo nutritivo (peptona 5 g, más 3 g de extracto de carne diluidos en 1000 mL de agua destilada), se incubaron a 28 °C y se agitaron a 180 rpm hasta que alcanzaron una densidad de 1.8 x 10⁹ células mL⁻¹. De este cultivo se agregaron 123 mL a 300 g de vermicomposta esterilizada que se incubó a 28 °C durante 15 días, hasta alcanzar una población de 2.8 x 10⁹ UFC g⁻¹ de vermicomposta, para constituir así el inoculante que se aplicó a cada planta en dosis de 3 g. El complejo micorrízico usado fue *Glomus* spp. Zac-19, compuesto de tres especies: *G. albidum*, *G. claroides* y *G. diaphanum* (Chamizo et al., 1998). El inóculo consistió de 100 g de inoculante con 500 esporas, segmentos de raíces colonizadas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con 62% de colonización e hifas. A cada planta se le aplicaron 15 g en la mitad del recipiente, en el momento del trasplante.

Sitio Experimental

Este estudio se llevó a cabo en la comunidad de Santa Ana, municipio de Alto Lucero de Gutiérrez Barrios, Veracruz, a una altitud de 10 m, con temperatura media anual de 24 a 26 °C y 1500 mm de precipitación. El trabajo experimental se llevó a cabo en vivero y en campo.

Para evaluar la inoculación de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y bacterias sobre el crecimiento de las plantas de papayo, se formaron los tratamientos señalados en el Cuadro 1. La fase de vivero se llevó a cabo en condiciones de invernadero con cubierta de plástico, la temperatura osciló de 35 a 45 °C. El diseño fue completamente aleatorio con cinco repeticiones y la unidad experimental fue una maceta conteniendo una planta.

En campo, se evaluó el efecto de los tratamientos sobre la floración de las plantas. Para ello, a 64 días después del trasplante (DDT), las plantas con los mismos tratamientos evaluados en condiciones de vivero, se trasplantaron a campo (40 x 40 cm de distancia) donde, con antelación, el suelo se desinfectó con 50 g de Dazomet m⁻². El diseño utilizado fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones y la unidad experimental consistió de tres plantas. En este experimento, las plantas no recibieron ninguna aportación adicional de fertilizantes.

A 64 días DDT, se evaluó el total de bacterias en el rizoplaneo, calculándose el total de bacterias por conteo de placa en agar, en la que se consideraron como unidades formadoras de colonias (UFC) en la dilución de 10⁻⁵ (Clark, 1965; Wollum, 1982) y colonización de raíces por los HMA; con el procedimiento de Phillips y Hayman (1970). Además, se consideraron otras variables, como: área foliar

Cuadro 1. Tratamientos evaluados con plantas crecidas en sustrato con 40% de vermicomposta.

Tratamiento	Simbología	Característica
1	T(V-S)	Vermicomposta (40%), sin inocular
2	HMA [†]	<i>Glomus</i> spp. Zac-19
3	Bp	<i>Bacillus pumilus</i>
4	Bm	<i>Bacillus macerans</i>
5	Bp.Bm	Las dos bacterias.
6	HMA.Bp	HMA + <i>Bacillus pumilus</i>
7	HMA.Bm	HMA + <i>Bacillus macerans</i>
8	HMA.Bp.Bm	HMA + las dos bacterias
9	T(S)	Suelo, sin inocular

[†] HMA = hongos micorrízicos arbusculares.

(con sensor de área foliar LI-COR 3000), peso seco (secado a 70 °C por 72 h), altura de planta y contenido nutrimental en la parte aérea de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu Fe, Mn y Zn (el N se determinó con microkjeldahl según Bremner (1965); los demás por digestión con HNO₃/HClO₄, según Allan (1971).

En condiciones de campo, a 100 y 115 DDT al vivero (36 y 51 DDT a campo, respectivamente) se les determinó la altura y se cuantificó el número de flores por planta, mientras que, a 115 días, se evaluó el contenido nutrimental.

Para los datos de todas las variables, se realizaron un análisis de varianza y la comparación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de las Plantas

El estímulo benéfico de la inoculación de los microorganismos en el crecimiento de las plantas se registró cuando éstas alcanzaron 30 DDT (Figura 1), las plantas con HMA, HMA.Bp.Bm, Bm y la doble inoculación de bacterias (Bp.Bm) influyeron para mayor altura de las plantas. Sin embargo, las plantas con HMA y HMA.Bp.Bm desarrollaron una mayor área foliar. Las plantas con crecimiento intermedio se inocularon con HMA+Bp, HMA+Bm y las inoculadas con Bp fueron de menor crecimiento al igual que las plantas testigo.

A 64 DDT, se registró una marcada influencia de los HMA; las plantas inoculadas registraron 167 y 132% más área foliar (AF) y peso seco (PS) que las plantas sin inocular, superando también a las plantas crecidas con HMA+bacterias con 53 y 43%, a las con solo bacterias con 98 y 74% para las mismas variables, respectivamente (Cuadro 2). El efecto de las bacterias en el desarrollo de las plantas pudo ser enmascarado por la fertilidad del sustrato, ya que las plantas con bacterias solo superaron a las del testigo. El mayor crecimiento de las plantas desarrolladas en vermicomposta puede ser atribuido a la influencia del hongo y a la disponibilidad de nutrimentos, principalmente P y Zn; se ha demostrado que estos elementos son transportados por las hifas del hongo (Schachtman *et al.*, 1998). El P es un nutrimento que interviene en los procesos energéticos de la planta (Kramer y Kozłowski, 1979) y el Zn interviene en la estabilización de la clorofila, en la actividad de al menos 80 enzimas formando parte de su estructura y es un precursor de ácido indolacético (AIA)

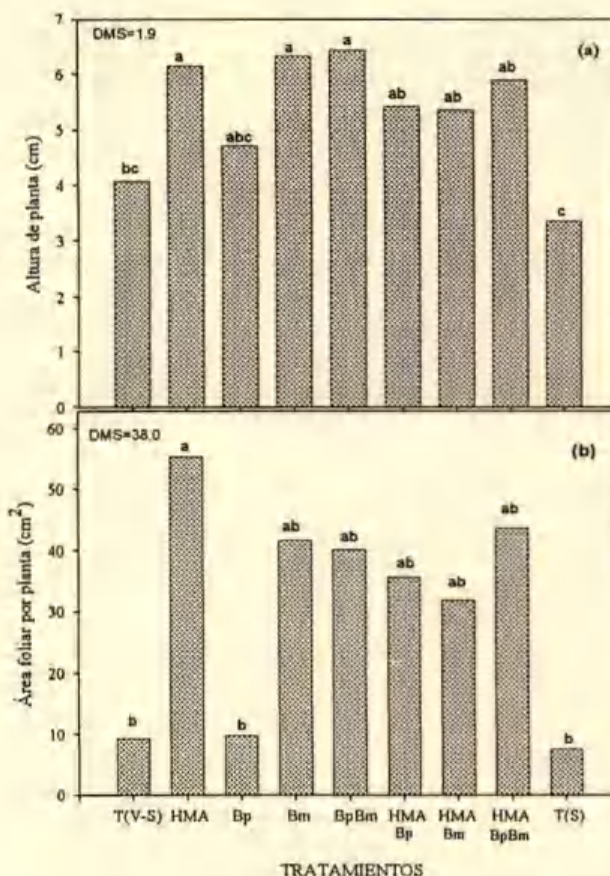


Figura 1. Efecto de los microorganismos en la altura (a) y producción de área foliar (b) de las plantas de papayo a 30 días después del trasplante. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). La simbología corresponde a la del Cuadro 1.

(Salisbury y Ross, 1994). Esta condición pudo favorecer que las plantas salieran a 115 días de su fase juvenil, superando en 45 días a las plantas testigo. La vermicomposta inoculada con HMAs se está contemplando como un sustrato importante en la producción de plantas de ornato (Hidalgo y Harkess, 2002).

Las plantas inoculadas con HMA.Bp desarrollaron más área foliar y peso seco que las inoculadas con HMA.Bm, HMA.Bp.Bm, de sólo bacterias y plantas testigo, siendo sólo superadas por las plantas inoculadas con HMA (Cuadro 2). Con 115 días después del trasplante en vivero, las plantas inoculadas con HMA.Bp y HMA.Bm desarrollaron mayor área foliar que las plantas inoculadas con HMA, con solo bacterias y con HMA.Bp.Bm. Sin embargo, el peso seco alcanzado fue similar al de las plantas inoculadas con solo HMA (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de microorganismos en la producción de área foliar y peso seco en plantas de papayo (*Carica papaya* L.) a 64 y 115 días después del trasplante en vivero, creciendo en un sustrato enriquecido con 40% de vermicomposta.

Tratamiento	Área foliar		Peso seco	
	64 días	115 días	64 días	115 días
	cm ²		g	
T(V-S)	88.8 c [†]	nd	0.63 c	6.2 b
HMA	238.4 a	2380.0 ab	1.46 a	26.8 a
Bp	100.2 c	1840.0 ab	0.78 c	12.9 c
Bm	132.0 bc	1361.0 ab	0.78 c	10.7 cd
Bp.Bm	128.8 bc	1486.0 ab	0.96 bc	10.5 cd
HMA.Bp	193.6 ab	2566.0 a	1.24 ab	24.0 ab
HMA.Bm	128.0 bc	2612.0 a	0.82 c	24.0 ab
HMA.Bp.Bm	145.6 bc	2177.0 ab	0.99 bc	20.0 b
T(S)	2.7 d	nd	0.07 d	nd
Pr > F	0.0001	0.01	0.0001	0.004
Coefficiente de variación	29.5%	31.4%	21.5%	31.8%

[†] En columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). nd = no determinado. La simbología corresponde a la del Cuadro 1.

En los primeros 64 días de crecimiento de las plantas, las bacterias por sí solas tuvieron un efecto positivo para incrementar el peso seco con relación a los testigos. En general, las bacterias pueden afectar a las plantas directa e indirectamente. En forma indirecta, la bacteria libera metabolitos que tienen un efecto en otros factores de la rizosfera que provocan un estímulo para el crecimiento de la planta. Estas sustancias pueden ser ácidos orgánicos, que tienen la capacidad de movilizar nutrientes hacia la planta (Jones, 1998), o aminoácidos que movilizan específicamente el P, Fe y Al (Jones *et al.*, 1994). Los metabolitos que producen las bacterias afectan directamente el crecimiento de las plantas y ocurre en forma independiente de los factores externos, como es la producción de reguladores del crecimiento o la fijación de N. Las citocininas son el principal grupo de reguladores del crecimiento de las plantas; éstas estimulan la división celular, retardan la senescencia y son capaces de dirigir la movilización de materiales dentro de la planta. Las citocininas se sintetizan en los ápices de las raíces y se trasladan hacia la parte aérea. Las bacterias producen grandes cantidades de estos reguladores que controlan el desarrollo de las plantas, siendo, en algunos casos, benéficos (Greene, 1980). La asociación de microorganismos con plantas tiene que verse más allá del simple aspecto nutrimental, porque también interviene en mejorar las condiciones físico-químico y biológicas del suelo (Bethlenfalvay,

1992). La influencia de las bacterias en el crecimiento de las plantas depende de las condiciones del ambiente y de los HMA que participen (Nehl *et al.*, 1997).

Colonización

La colonización de las raíces por los HMA no se incrementó por la presencia de las bacterias (Cuadro 3), pero sí tuvo influencia en el crecimiento inicial de las plantas, como puede observarse en el Cuadro 2. Los valores de colonización de los HMA registrados fueron suficientes para producir un efecto positivo en el crecimiento de las plantas. El elevado contenido de P (32 mg kg⁻¹) pudo haber sido uno de los factores que incidió en la baja colonización radical en las plantas de papayo; sin descartar las propiedades de la vermicomposta, como son la cantidad de ácidos húmicos y las características químicas, el pH y la disponibilidad de nutrientes. Cuando los nutrientes están disponibles, que es el caso de la vermicomposta, es posible que con la baja colonización sea suficiente para incrementar la absorción y el transporte de nutrientes. Esta eficiencia pudo darse por un mayor crecimiento de las hifas del hongo, con base en lo reportado por St. John *et al.* (1983), quienes demostraron que las hifas crecen más en presencia de materia orgánica. Por otro lado, el efecto de la fertilización química ha sido controversial sobre el proceso de colonización MA, ya que algunos autores, como Ishac *et al.* (1986),

Cuadro 3. Colonización de bacterias y hongos micorrizicos arbusculares (HMA) en raíces de plantas de papayo (*Carica papaya* L.) a 64 días después del trasplante.

Tratamiento	Colonización bacteriana	Colonización MA
	UFC (10 ⁵ g de raíz)	%
T(V-S)	33.2 d [†]	0.00
HMA	66.7 cd	17.00 a
Bp	142.5 ab	0.00
Bm	87.5 bcd	0.00
Bp.Bm	74.7 cd	0.00
HMA.Bp	190.0 a	17.25 a
HMA.Bm	92.7 bcd	7.50 b
HMA.Bp.Bm	122.5 bc	8.25 ab
T(S)	201.7 a	0.00
Valor de "F"	13.5	10.97
Pr > F	0.0001	0.0001
Coefficiente de variación	23.7 %	70.6 %

[†] En columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). La simbología corresponde a la del Cuadro 1.

reportaron incrementos significativos en plantas de trigo y, por otro lado, las investigaciones realizadas por Tarkalson *et al.* (1998) establecen una baja colonización en plantas de frijol crecidas en suelos enriquecidos con estiércol y composta.

Las bacterias Bp y Bm, y la doble inoculación de éstas no influyeron para incrementar la colonización micorrizica de las plantas (Cuadro 3). Sin embargo, se ha demostrado que las bacterias pueden tener influencia en la germinación de esporas del hongo (Azcón, 1987), lo que favorece la colonización, como lo indicaron Von Alten *et al.* (1993) con *Bacillus mycoide*, la cual influyó para colonizar las plantas más rápidamente que con solo HMA. El efecto registrado a 30 días de edad de las plantas sugiere estas respuestas, ya que al ocurrir la colonización siempre hay un estímulo en el crecimiento (Abbott y Robson, 1981). Cuando se co-inoculó con *Bacillus macerans* y el HMA, las plantas tuvieron la menor colonización micorrizica que con *Bacillus pumilus*; se especula que haya un efecto muy específico de compatibilidad de la bacteria con la planta que permitió que Bp tuviera el efecto de incrementar la permeabilidad celular de la raíz y favorecer la colonización de los HMA (Sumner, 1990). El otro aspecto involucrado es que Bp haya estimulado la germinación de esporas y el crecimiento de las hifas de los HMA favoreciendo también la infección micorrizica (Azcón, 1987); aplicaciones de estreptomycin redujeron la infección micorrizica sin que disminuyera el contenido de fósforo en la planta, indicando que las bacterias son capaces de afectar la respuesta de la planta a la infección (Schreiner y Koide, 1993).

Las plantas inoculadas con Bp presentaron mayor colonización bacteriana en sus raíces que las inoculadas con Bm y se pudo establecer que la influencia de los HMA modificó la población de bacterias en el rizoplasma (Cuadro 3). En las plantas crecidas en suelo, el número de colonias siempre fue mayor que las desarrolladas en presencia de vermicomposta. En los suelos de baja fertilidad, la asociación de bacterias con los HMA tiene un efecto sinérgico, favoreciendo el mayor crecimiento de las plantas. En estas condiciones, los exudados de las plantas en estrés son diferentes y la planta los utiliza como una estrategia para que en sus raíces cambie el ambiente y pueda absorber con eficiencia los nutrientes (Laheurt y Berthelin, 1988); esta condición también puede favorecer el crecimiento de las bacterias (Garbaye, 1994).

Los HMA estimularon el crecimiento de las bacterias en el rizoplasma, tanto en suelo de baja fertilidad, como en el sustrato enriquecido con la vermicomposta; el mayor incremento fue con HMA+B. *pumilus*. Se ha encontrado que ambos organismos están bien adaptados para coexistir en forma mutualista (Andrade *et al.*, 1997) y que los HMA pueden influir en la persistencia de las bacterias inoculadas (Andrade *et al.*, 1998). En las plantas sin inocular con bacterias, los HMA contribuyeron con un mayor número de bacterias en las raíces.

Contenido de Nutrientes en Follaje

A 64 DDT, el contenido de P en las plantas con mayor crecimiento (inoculadas con HMA+Bp y HMA) fue mayor que en los demás tratamientos (Cuadro 4). Sólo en los tratamientos con HMA.Bp y HMA.Bm, la concentración de Zn fue mayor que en los demás tratamientos (Cuadro 4). A 115 días de edad de las plantas, cuando estaban en la etapa de floración, el contenido de P en el tejido vegetal fue estadísticamente igual. En cambio, el contenido de Zn se mantuvo en cantidades mayores en las plantas inoculadas con HMA, HMA.Bp y en las plantas testigo, aunque en menor cantidad que en las plantas en crecimiento en la fase de vivero (Cuadro 4). No pudo establecerse una relación positiva entre la floración y el contenido nutricional en las plantas de

Cuadro 4. Contenido de fósforo (P) y zinc (Zn) en tejidos de plantas de papaya (*Carica papaya* L.) a 64 y 115 días de edad, contados desde trasplante al vivero.

Tratamientos	64 días		115 días (floración)	
	P	Zn	P	Zn
	%	mg kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹
T(V-S)	0.21 bcde ¹	45.5 ab	0.12 a	17.2 a
HMA	0.27 ab	39.4 ab	0.14 a	18.1 a
Bp	0.14 c	33.2 b	0.14 a	7.3 ab
Bm	0.16 de	37.6 ab	0.12 a	9.1 ab
BpBm	0.19 cde	41.8 ab	0.13 a	11.2 ab
HMA.Bp	0.30 a	50.8 a	0.14 a	16.9 a
HMA.Bm	0.23 bcde	48.8 a	0.11 a	0.9 b
HMA.Bp.Bm	0.25 abc	43.0 ab	0.13 a	4.1 b
Valor de "F"	11.33	3.55	0.76	7.62
Pr > F	0.0001	0.01	0.62	0.0001
Coefficiente de variación	14.4%	14.5%	19.6%	43.9%

¹En columna, medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P ≤ 0.05). La simbología corresponde a la del Cuadro 1.

papayo. Sin embargo, sí hubo diferencia con las plantas en crecimiento; en este caso, se encontró que el P disminuyó aproximadamente 50% en la fase de floración, sobre todo en las plantas inoculadas con HMA, HMA.Bp, HMA.Bm, HMA.Bp.Bm y en las plantas testigo. El Zn se determinó en plantas en floración en cantidades que representan una disminución de 62 y 67% en plantas testigo y en las inoculadas con HMA.Bp, respectivamente; con un valor cercano a 80% en las plantas inoculadas con bacterias y con más de 90% en las plantas inoculadas con HMA.Bm y HMA.Bp.Bm (Cuadros 4 y 5).

Crecimiento y Floración de las Plantas en Condiciones de Campo

A 115 DDT, la mayoría de las plantas inoculadas con microorganismos había llegado a la madurez con valores de peso y área foliar más elevados para las plantas con mayor número de flores, que fueron las inoculadas con HMA, HMABp y HMABm. En las plantas testigo y con la mezcla de BpBm apenas 25% de la población se encontraban en floración. En general, las plantas tratadas con la doble inoculación (HMA y bacterias) produjeron, en promedio, 4.4 flores planta⁻¹ y las plantas inoculadas con solo bacterias 1.9 flores planta⁻¹, mientras que las plantas tratadas con HMA presentaron 5.0 flores planta⁻¹ y las plantas testigo sólo registraron una flor. Las plantas inoculadas con HMA.Bp y HMA tuvieron el mayor número de flores. Las plantas que desarrollaron más de 19 nudos en el tallo y con una altura de 39 cm alcanzaron la madurez más rápidamente (Cuadro 5).

En el sustrato enriquecido con vermicomposta, la eficiencia de *Bacillus pumilus* y *B. macerans* para favorecer el crecimiento de las plantas fue pobre, superando sólo a las plantas testigo. La combinación de ambas bacterias con los HMA no demostró un efecto sinérgico en la primera fase de crecimiento, ya que las plantas inoculadas con solo HMA lograron el mayor crecimiento. A 115 días de edad, las plantas con HMA+Bp alcanzaron un crecimiento similar a las plantas con solo HMA. En este periodo, las plantas con HMA y HMA + *B. pumilus* desarrollaron la mayor cantidad de flores por planta. Es posible que la absorción de P y Zn haya tenido influencia sobre otros factores, como el mejorar los niveles hormonales de la planta. El adelanto en la floración de las plantas puede tener la ventaja de iniciar una más rápida producción con una ganancia en tiempo para escapar a la virosis o

Cuadro 5. Efecto de la inoculación de microorganismos benéficos sobre floración, crecimiento y contenido nutricional en plantas de papayo (*Carica papaya* L.) a 115 días de edad, contados después del trasplante a vivero y crecidas en condiciones de campo y sin fertilización.

Tratamiento	Plantas con flor %	Flores por planta	Altura de planta cm	Nudos en el tallo
Vermicomposta	25	0.7 d ¹	28.5 c	17 c
HMA	92	5.0 a	44.7 a	21 a
Bp	75	2.0 bcd	31.0 bc	18 abc
Bm	58	2.1 bcd	32.4 bc	19 abc
BpBm	25	1.6 cd	32.0 bc	19 abc
HMA+Bp	100	5.0 a	41.8 a	20 ab
HMA+Bm	83	3.9 abc	36.4 abc	19 abc
HMA+BpBm	82	4.2 ab	38.7 ab	20 ab
Valor de "F"		7.67	8.42	5.6
Pr>F		0.0001	0.0001	0.0001
Coefficiente de variación		67.8%	19.0%	8.9%

¹En columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, P ≤ 0.05). La simbología corresponde a la del Cuadro 1.

conseguir una mayor amplitud en el periodo de cosecha.

CONCLUSIONES

- En suelos enriquecidos con vermicomposta, los HMA y HMA+*Bacillus pumilus* tienen una gran influencia en potenciar el crecimiento de las plantas de papayo, principalmente por la colonización temprana que modifica el crecimiento por la absorción de nutrientes, como el P y el Zn. Estos factores fueron suficientes para inducir a que las plantas logran salir de su fase juvenil en un periodo más corto.

- Las bacterias *Bacillus pumilus* y *B. macerans* lograron colonizar las raíces del papayo con beneficios para promover el crecimiento y la floración de las plantas, superando a las plantas sin inocular, pero con un efecto menor que las plantas inoculadas con HMA.

- No hubo efecto de sinergismo entre las bacterias; fueron más eficientes inoculadas por separado que aplicadas juntas.

- Ninguna de las bacterias promovió una mayor micorrización de las plantas.

- Los sustratos enriquecidos con 40% de vermicomposta e inoculados con HMA o HMA+*Bacillus pumilus* presentan perspectivas

tecnológicas en la propagación de las plantas de papayo.

LITERATURA CITADA

- Abbott, L.K. y A.D. Robson. 1981. Infectivity and effectiveness of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi: effect of inoculum type. *Aust. J. Agric. Res.* 32: 631-639.
- Albanell, E., J. Plaixats y T. Cabrero. 1988. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia foetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biol. Fert. Soil.* 6: 266-269.
- Allan, J.E. 1971. The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian Techtron. Walnut Creek, CA.
- Andrade, G., K.L. Mihava, R.G. Linderman y G.J. Bethlenfalvay. 1997. Bacteria from rhizosphere and hyphosphere soil of different arbuscular-mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 192: 71-79.
- Andrade, G., R.G. Linderman y G.J. Bethlenfalvay. 1998. Bacterial associations with the mycorrhizosphere and hyphosphere of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Plant Soil* 202: 79-87.
- Asanuma, S., H. Tanaka y M. Yatazawa. 1979. Rhizoplane microorganisms of rice seedlings as examined by scanning electron microscopy. *Soil Sci. Plant Nutr.* 25: 539-551.
- Azcón, R. 1987. Germination and hyphal growth of *Glomus mosseae* *in vitro*: effects of rhizosphere bacteria and cell-free culture media. *Soil Biol. Biochem.* 19: 417-419.
- Bashan, Y., G. Holguin, y R. Ferrera-Cerrato. 1996. Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos: II. Bacterias asociativas de la rizosfera. *Terra* 14: 195-210.
- Bethlenfalvay, G.J. 1992. Mycorrhizae and crop productivity. pp. 1-27. *In: Bethlenfalvay, G. y R. Linderman (eds.). Mycorrhizae in sustainable agriculture. Special Publication 54. American Society of Agronomy. Madison, WI.*
- Bowen, G.D. y A.D. Rovira. 1991. The rhizosphere, the hidden half of the hidden half. pp. 641-669. *In: Waisel, Y., A. Eshel y U. Kafkafi. (eds.). Plant roots. The hidden half. Marcel Dekker. New York.*
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. pp. 1149-1178. *In: Black, C.A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, WI.*
- Brown, G.G. 1995. How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity? *Plant Soil* 170: 209-231.
- Chamizo, A., R. Ferrera-Cerrato y L. Varela. 1998. Identificación de especies de un consorcio del género *Glomus*. *Revista Mexicana de Micología* 14: 37-40.
- Clark, F.E. 1965. Agar plate method for total microbial count. pp. 1460-1466. *In: Black, C.A. (ed.). Methods of soil analysis. Agronomy 9. Part 2. American Society of Agronomy. Madison, WI.*
- Clive, A.E. y K.E. Fletcher. 1988. Interactions between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown. *Agric., Ecosyst. Environ.* 24: 235-247.
- Garbaye, J. 1994. Helper bacteria: a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. *New Phytol.* 128: 197-210.
- García de Salomone, I.E. y J. Döbereiner. 1996. Maize genotype effects on the response to *Azospirillum* inoculation. *Biol. Fert. Soil* 21: 193-196.
- Grapelli, A., U. Tomati y E. Galli. 1985. Earthworm casting in plant propagation. *HortScience* 20: 874-876.
- Greene, M.E. 1980. Cytokinin production by microorganisms. *Bot. Rev.* 46: 25-74.
- Hidalgo, R.P. y R.L. Harkess. 2002. Earthworm castings as a substrate for poinsettia production. *HortScience* 37: 304-308.
- Ishac, V.Z., M.E. El-Haddad, M.J. Daft, E.M. Ramadan y M.E. El-Demerclash. 1986. Effect of seed inoculation, mycorrhizal infection and organic amendment on wheat growth. *Plant Soil* 90: 373-382.
- Jaizme-Vega, M.C. y R. Azcón. 1995. Responses of some tropical and subtropical cultures to endomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 5: 213-217.
- Janos, P.D. 1980. Vesicular-arbuscular mycorrhizae affect lowland tropical rain forest plant growth. *Ecology* 61: 151-162.
- Jones, D.L. 1998. Organic acids in the rhizosphere: a critical review. *Plant Soil* 205: 25-44.
- Jones, D.L., A.C. Edwards, K. Donachie y P.R. Darrah. 1994. Role of proteinaceous amino acids released in root exudates in nutrient acquisition from the rhizosphere. *Plant Soil* 158: 183-192.
- Klopper, J.W., R. Lifshitz y R.M. Zablotowicz. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends Biotech.* 7: 39-43.
- Kramer, J.P. y T.T. Kozlowski. 1979. *Physiology of woody plants.* Academic Press. Orlando, FL.
- Laheur, F. y J. Berthelin. 1988. Effect of phosphate solubilizing bacteria on maize growth and root exudation over four levels of labile phosphorus. *Plant Soil* 105: 11-17.
- Mitchell, A. 1996. Production of *Eisenia foetida* and vermicomposta from freed-lot cattle manure. *Soil Biol. Biochem.* 29: 763-766.
- Nehl, D.B., S.J. Allen y J.F. Brown. 1997. Deleterious rhizosphere bacteria: an integrating perspective. *App. Soil Ecol.* 5: 1-20.
- Okon, Y. y Y. Kapulnik. 1986. Development and function of *Azospirillum* - inoculated roots. *Plant Soil* 90: 3-16.
- Phillips, J.M. y D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment for infection. *Trans. Br. Mycological Soc.* 55: 158-161.
- Probanza, A., J.A. Lucas, N. Acero y F.J. Gutierrez Mañero. 1996. The influence of native rhizobacteria on European alder [*Alnus glutinosa* (L.) (Gaertn.)] growth. I. Characterization of growth promoting and growth inhibiting strains. *Plant Soil* 182: 59-66.
- Reganold, J.P., R.I. Papendick y J.F. Parr. 1990. Sustainable agriculture. *Sci. Am.* 262(6): 110-120.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. *Fisiología vegetal.* Grupo Editorial Iberoamericana. México, D.F.
- Schachtman, D.P., R.J. Reid y S.M. Ayling. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiol.* 116: 447-453.
- Schaller, N. 1993. The concept of agricultural sustainability. *Agric. Ecosyst. Environ.* 46: 89-97.
- Schreiner, R.P. y R.T. Koide. 1993. Streptomycin reduces plant responses to mycorrhizal infection. *Soil Biol. Biochem.* 25: 1131-1133.
- Smith, G.S. 1988. The role of phosphorus-nutrition in interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi with soilborne nematodes and fungi. *Phytopathology* 78: 371-374.
- St. John, T.V., D.C. Coleman y C.P.P. Reid. 1983. Association of vesicular-arbuscular mycorrhizal hyphae with soil organic particles. *Ecology* 64: 957-959.

- Sumner, M.E. 1990. Crop responses to *Azospirillum* inoculation. *Adv. Soil Sci.* 12: 53-123.
- Szczech, M., W. Rondonanski, M.W. Brzeski, U. Smolinska y J.F. Kotowski. 1993. Suppressive effect of a commercial earthworm compost on some root infecting pathogens of cabbage and tomato. *Biol. Agric. Hort.* 10: 47-52.
- Tarkalson, D.D., V.D. Jolley, C.W. Robbins y R.E. Terry. 1998. Mycorrhizal colonization and nutrient uptake of dry bean in manure and compost manure treated subsoil and untreated topsoil and subsoil. *J. Plant Nutr.* 21: 1867-1878.
- Tilman, D., K.G. Cassman, P.A. Matson, R. Naylor y S. Polasky. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
- Velasco-Velasco, J., R. Ferrera-Cerrato y J.J. Almaraz-Suárez. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra* 19: 241-248.
- Von Alten, H., A. Linderman y F. Schönbeck. 1993. Stimulation of vesicular-arbuscular mycorrhiza by fungicides or rhizosphere bacteria. *Mycorrhiza* 2: 167-173.
- Wollum II, A.G. 1982. Cultural methods for soil microorganisms. pp. 781-802. *In*: Page, A.L. (ed.). *Methods of soil analysis. Agronomy* 9. Part 2. Soil Science Society of America. Madison, WI.

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE HOJARASCA DE MUCUNA SOBRE DENSIDAD Y BIOMASA DE LOMBRICES DE TIERRA

Effect of Mucuna Litter on Density and Biomass of Earthworm

Esperanza Huerta^{1†}, Carlos Fragoso² y Patrick Lavelle³

RESUMEN

El aumentar la capacidad de carga de áreas cultivadas en beneficio de la fauna del suelo resulta ser una meta de suma importancia en los trópicos. En especial, la promoción de lombrices de tierra que como ingenieros del ecosistema han mostrado ser una herramienta viable. La *Mucuna pruriens* var. *utilis* (mucuna), leguminosa utilizada en los campos agrícolas tropicales, se usó en este experimento, en dos cantidades, 1.5 y 4.5 kg m⁻², en forma de hojarasca, como fuente de materia orgánica fresca, con el fin de incrementar la abundancia de las lombrices de tierra *in situ* durante un año. Esta hojarasca se aplicó de tres formas: en la superficie, en el interior, y en la superficie y en el interior en un campo de maíz de 30 x 37 m, generando tres tratamientos con 1.5 kg m⁻², tres tratamientos con 4.5 kg m⁻² y dos testigos: parcelas sin mucuna, un testigo con laboreo y otro testigo sin laboreo; se constituyeron los ocho tratamientos evaluados, mismos que contaron con tres repeticiones, distribuyéndose en bloques al azar en el área experimental. Después de un año de experimentación, en las parcelas donde se adicionó la mucuna se registró la mayor densidad (99.2 ± 44.6 individuos m⁻²) y biomasa (10.6 ± 5.6 g m⁻²) de lombrices en cuadrantes donde la Mucuna se aplicó en la superficie, en cantidad de 4.5 kg m⁻². Se obtuvo también la mayor producción de maíz (70.3 ± 22.6 g individuos m⁻², P < 0.05). El efecto de esta leguminosa no se apreció sobre la especie cosmopolita endógena *Polypheretima elongata*, la cual presentó su mayor biomasa en los cuadrantes sin mucuna

(16.8 ± 10.2 g m⁻², P < 0.05). Se observó el efecto del laboreo sobre esta lombriz, registrándose la menor biomasa en los cuadrantes sin mucuna y con laboreo (3 ± 0.4 g m⁻²).

Palabras clave: laboreo, *Polypheretima elongata*, *Mucuna pruriens* var. *utilis*, *Dichogaster saliens*, *D. bolau*, *D. affinis*.

SUMMARY

Enhancing the carrying capacity of cultivated areas for beneficial soil macrofauna is still an important aim in the tropics. The promotion of earthworms to improve soil fertility is progressively considered a complementary alternative to current practices. *Mucuna pruriens* var. *utilis* was applied in a maize field as fresh litter, at La Mancha, Veracruz, Mexico. Different quantities (1.5 kg m⁻² and 4.5 kg m⁻²) of this litter legume were applied: on the soil surface, integrated into the soil, or half on the surface and half in the soil; there were three treatments with 1.5 kg m⁻² and three treatments with 4.5 kg m⁻², two controls were installed, a control with tillage, and another without tillage. Eight combinations were thus tested with three replicates each, distributed in a random design in a 30 x 37 m field. After one year, in mucuna plots the highest earthworm densities (99.2 ± 44.6 ind m⁻²) and biomasses (10.6 ± 5.6 g m⁻²) were found in those quadrants where Mucuna was applied on the surface with 4.5 kg m⁻². This treatment also showed the highest maize production (70.3 ± 22.6 g ind m⁻², P < 0.05). Nevertheless, the effect of mucuna on the cosmopolitan endogenous species *Polypheretima elongata* was not clear, because the highest *P. elongata* biomasses were found in quadrants without mucuna (16.8 ± 10.2 g m⁻², P < 0.05). Control with tillage showed the lowest earthworm biomasses (3 ± 0.4 g m⁻²).

Index words: tillage, *Polypheretima elongata*, *Mucuna pruriens* var. *utilis*, *Zea mays*, *Dichogaster bolau*, *D. saliens*, *D. affinis*.

¹ Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa. Km 15.5 Carretera Villahermosa-Reforma, Ranchería Guineo 2a Sección, Villahermosa, Tabasco, México.

² Autor responsable (ehuerta@vhs.ecosur.mx)

³ Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, México.

[†] Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux. Institut de Recherche pour le Développement (IRD). 93143 Bondy, Cedex France.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica fresca que es depositada en la superficie del suelo en forma de hojarasca o desechos vegetales es una fuente importante de alimento para los organismos que en él habitan. La tasa o velocidad de descomposición depende de su constitución (Jones *et al.*, 1997). La capacidad de carga de los hábitats de lombrices de tierra se incrementa al aumentar el suministro de alimento (Curry, 1998). El incrementar la capacidad de carga de zonas cultivadas en beneficio de la fauna del suelo es aún una de las metas más importantes en los trópicos (Lavelle y Spain, 2001). El uso de lombrices de tierra para promover las condiciones de fertilidad en los suelos es una actividad prometedora (Lavelle *et al.*, 1998). Una biomasa mínima de lombrices de alrededor de 30 g m^{-2} ha mostrado ser necesaria para impulsar el crecimiento y la germinación de las plantas (Brown *et al.*, 1999). Se han efectuado investigaciones con el fin de promover el crecimiento e incrementar la biomasa de lombrices potencialmente útiles en la agricultura, como lo son las lombrices endógeas: *Milsonia anomala* (Lavelle *et al.*, 1989; Gilot, 1994), *Hyperiodrilus africanus* (Tondoh, 1997) y *Pontoscolex corethrurus* (Pashanasi *et al.*, 1994). En esos estudios, se han combinado diversos desechos orgánicos o materiales vegetales con el suelo. En muchos agroecosistemas esta adición de biomasa está lejos de ser sostenida, principalmente como resultado de los escasos suministros de materia orgánica fresca y debido a las condiciones físicas desfavorables creadas por el laboreo y la discontinuidad en la cobertura vegetal (Lal, 1976).

En el presente estudio, se evaluó el incremento de la abundancia de lombrices de tierra mediante la adición de hojarasca de *Mucuna pruriens* var. *utilis* (mucuna), una leguminosa originaria de Asia, utilizada en el mejoramiento de suelos tropicales del sureste de la república mexicana. Existen ejemplos de su uso principalmente en el sistema de "milpas" en Yucatán (Mendoza *et al.*, 1997), Chiapas, Veracruz y Tabasco. Se ha demostrado que el acolchado con mucuna mejora las propiedades del suelo (Lal, 1999), debido a que promueve la actividad de las lombrices de tierra (Lal, 1999). En microcosmos, en condiciones controladas de temperatura y humedad, se ha demostrado el efecto positivo de la hojarasca sobre *Pontoscolex corethrurus* (lombriz endógena cosmopolita) y *Amyntas corticis* (lombriz epigea) (García y Fragoso, 2003). En condiciones de campo,

se han registrado incrementos de especies, como *Hyperiodrilus africanus*, al oeste de Nigeria, donde ha mostrado mayor actividad bajo la cobertura de hojarasca de esta leguminosa (Lal, 1999). En este estudio, en un campo de maíz que ha servido para el cultivo durante 12 años, donde la especie dominante es la lombriz cosmopolita endógena (Fragoso *et al.*, 1993; 1997) *Polypheretima elongata*, misma que en condiciones de humedad y temperatura controladas ha incrementado su biomasa y su densidad exitosamente mediante la adición de la mucuna. Esta especie de lombriz, debido a que se distribuye normalmente en agroecosistemas, resulta ser una especie susceptible de ser manipulada para promover las condiciones de fertilidad en suelos agrícolas. Se considera que la densidad y la biomasa de esta lombriz aumentarán considerablemente con el suministro de hojarasca de esta leguminosa. Su hojarasca (tallos y hojas) será aplicada en la superficie, en el interior y en la superficie, y en el interior del suelo, con dos cantidades: 1.5 y 4.5 kg m^{-2} . El objetivo principal del presente estudio es observar el efecto de la mucuna sobre la abundancia de lombrices de tierra en condiciones de campo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en un campo de maíz de $30 \text{ m} \times 37 \text{ m}$ en La Mancha, Veracruz, México. Localidad situada a $96^{\circ} 22' 40'' \text{ O}$ y $19^{\circ} 36' \text{ N}$, al nivel del mar, con una precipitación media anual de 1500 mm , y con una temperatura promedio anual de 24.5°C .

El tipo de suelo es un Regosol (FAO-UNESCO, 1988), con 79% de arena, 13% de arcilla y 8% de limo, textura areno limosa. Con el fin de determinar el área experimental, se realizó un muestreo preliminar de lombrices de tierra, decidiendo, entonces, colocar las unidades experimentales en distribución en bloques al azar.

Una vez establecidas las unidades experimentales, se efectuó el muestreo inicial de lombrices de tierra, después se aplicaron hojas y tallos frescos, de *Mucuna pruriens* var. *utilis*. Transcurrido un año de experimentación, se realizó un muestreo final de lombrices de tierra.

Muestreo Inicial de Lombrices

En octubre del 2000, se efectuó el muestreo inicial de lombrices. Se establecieron 24 cuadrantes de

2 x 2 m donde se hicieron cinco monolitos por cuadrante de 25 x 25 x 30 cm siguiendo el método TSBF (Anderson e Ingram, 1989). Una vez que las lombrices se contaron y se identificaron *in situ*, éstas se devolvieron al monolito del cual se extrajeron. Se muestrearon así 120 monolitos. Durante el muestreo, la temperatura promedio del suelo determinada con un termómetro de campo fue de 24 °C, el porcentaje de humedad promedio fue de 15% y el pH de 6.30 (determinado con un potenciómetro portátil); estos parámetros, excepto el porcentaje de humedad, se determinaron *in situ*.

Aplicación de Hojarasca de *Mucuna pruriens* var. *utilis*

Las hojas y los tallos de *Mucuna* fresca se colectaron de plantas adultas de campos de maíz aledaños, se transportaron y se colocaron en los cuadrantes del experimento.

La aplicación de la mucuna se efectuó de tres maneras: colocando mucuna en la superficie del suelo, en el interior del suelo, y mucuna tanto en el interior como en la superficie del suelo.

La cantidad de mucuna aplicada fue de dos maneras: colocando 1.5 kg m⁻² (cantidad determinada con base en la aplicada por los agricultores locales) y 4.5 kg m⁻².

Se establecieron dos testigos, en los cuales no se incluyó mucuna. En uno de ellos se efectuó laboreo manual y, en el otro, no se realizó ninguna práctica.

Se constituyeron así ocho tratamientos (Cuadro 1), con tres repeticiones cada uno. Las unidades experimentales (cuadrantes de 4 m²) se separaron entre sí a 5 m de distancia.

Descripción de Tratamientos. Los cuadrantes en los cuales la mucuna se aplicó en la superficie, se connotaron con la sigla S y, de acuerdo con la cantidad aplicada, éstos fueron S1, si se aplicaba 1.5 kg m⁻² ó S3 si se aplicaban 4.5 kg m⁻². Los cuadrantes que presentaron la mucuna incorporada en el suelo se identificaron con la sigla I, y fueron entonces I1 si eran 1.5 kg m⁻² de mucuna ó I3 si se aplicaban 4.5 kg m⁻². Finalmente, se instalaron también cuadrantes donde la mucuna se suministró tanto en la superficie, como en el interior del suelo, y éstos eran los tratamientos SI, siendo SI1 y SI3, respectivamente. Se instalaron seis cuadrantes control, tres en los cuales no se aplicó mucuna y no se efectuó laboreo (T1), y tres en los cuales tampoco se aplicó mucuna, pero se efectuó laboreo (T2).

Antes de la siembra del maíz, cada mes, los cuadrantes se limpiaron de las hierbas que aparecían; estas hierbas se colectaron, se secaron a 68 °C y se pesaron, con el fin de determinar la producción de hierbas (posible distribución de nutrimentos) en los diferentes tratamientos antes.

Siembra del Cultivo de Maíz

Ésta se efectuó siete meses después de la instalación del experimento, en mayo, cuando los agricultores acostumbran sembrar en esa región, tiempo suficiente para que la hojarasca de mucuna se incorporará al suelo, existieran efectos sobre las lombrices y, por ende, sobre las plantas de maíz.

Muestreo Final

En octubre de 2001, después de un año de experimentación, cinco meses de crecimiento del maíz (duró más, debido a dos meses de escasa lluvia), se efectuó la colecta de las plantas de maíz, mismas que se secaron a 68 °C y se pesaron. Las lombrices se colectaron de acuerdo con el método TSBF (Anderson e Ingram, 1989), efectuándose cinco monolitos de 25 x 25 x 30 cm en cada cuadrante como al inicio del experimento. Todas las lombrices colectadas se colocaron en formol a 4% para su identificación, conteo y pesado en laboratorio. Se tomaron muestras de suelo para la determinación del carbono total, nitrógeno total y densidad aparente. La temperatura promedio del suelo durante el muestreo final fue de 25 °C, el porcentaje de humedad promedio fue de 2.55% y el pH de 6.2. Con el fin de producir la menor perturbación, no se hicieron muestreos intermedios de suelo y de lombrices. Se tomaron muestras de suelo para la determinación del contenido de materia orgánica y nitrógeno total de acuerdo con el método TSBF (Anderson e Ingram, 1993).

Cuadro 1. Descripción de tratamientos.

Tratamiento (simbología)	Cantidad de mucuna kg m ⁻²	Tipo de aplicación
S1	1.5	Superficie
I1	1.5	Incorporada
SI1	1.5	Superficie e Incorporada
S3	4.5	Superficie
I3	4.5	Incorporada
SI3	4.5	Superficie e Incorporada
T1	0	Sin laboreo
T2	0	Con laboreo

Análisis Estadístico

Se desarrolló un análisis de componentes principales, reuniendo como variables los parámetros físicos y químicos del suelo determinados en el muestreo final, las biomásas y densidades finales de las diferentes especies de lombrices encontradas. Asimismo, la producción de maíz, determinada por la biomasa de maíz dividida entre el número de plantas por cuadrante, extrapolado a 1 m^2 , se incluyó como variable. Este análisis multivariado se realizó con el fin de establecer las relaciones entre las variables.

Se efectuaron ANOVAS para datos paramétricos (posthoc Tukey) y no paramétricos (Kruskal-Wallis) con el fin de establecer diferencias significativas entre densidades, biomásas de lombrices de tierra y características del suelo en los tratamientos. Para lo cual se utilizaron los programas ADE-4 (Thioulouse *et al.*, 1997) y Statistica software (StatSoft, 1995).

Comparación entre Densidad Inicial y Final de Lombrices (Número de Individuos m^{-2})

En 2000, la época de lluvias se atrasó y la abundancia de lombrices disminuyó. Entonces, para poder comparar las densidades iniciales y finales, se determinaron densidades relativas para cada año. Es decir, cada valor de densidad relativa fue el valor de dividir la densidad de lombrices de cada cuadrante entre la media de la densidad total del año respectivo. El valor de la densidad de cada cuadrante fue el promedio de los monolitos muestreados extrapolados a un metro cuadrado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comunidad de Lombrices

Después de un año de experimentación, no se estableció un incremento en la densidad de lombrices, debido a la falta de humedad en el suelo. El porcentaje de humedad registrado en el año 2001 fue de 2.55 ± 1.97 (Figura 1), mientras que las densidades de lombrices disminuyeron significativamente en todos los cuadrantes en 65.19%, de 201.1 individuos m^{-2} a 70 individuos m^{-2} en promedio (Figura 2). Las diferencias entre los valores para las densidades relativas de cada año muestran los mayores decrementos en los tratamientos en los cuales se realizó el laboreo (Figura 3).

La densidad de lombrices del género *Dichogaster* aumentó de 80 a 98% al final del experimento (Cuadro 2); sin embargo, el análisis de varianza no mostró diferencia significativa en la densidad final de los tratamientos en los cuales la mucuna se adicionó en la superficie y el testigo sin laboreo (Figura 3).

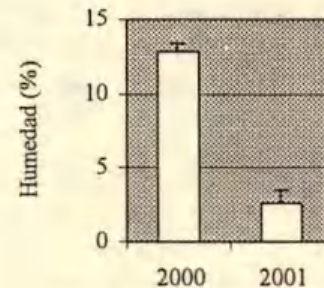


Figura 1. Porcentaje de humedad en el suelo al inicio (2000) y al final del experimento (2001).

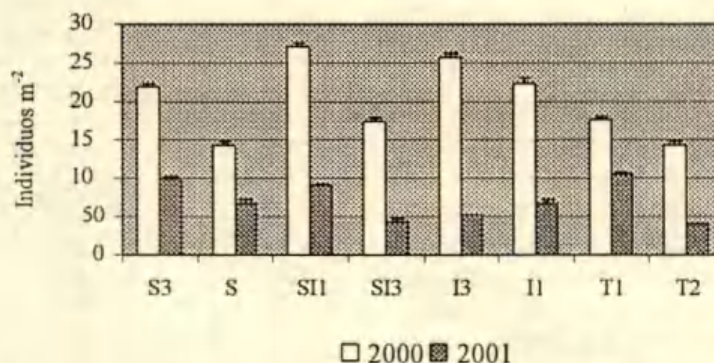
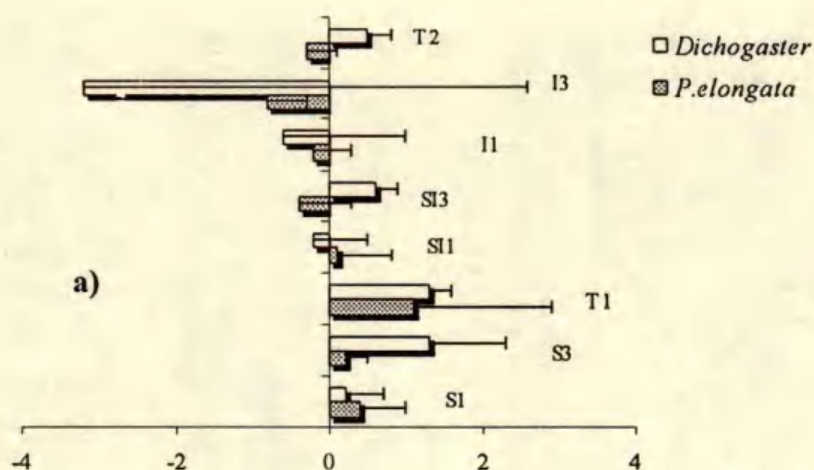


Figura 2. Densidad de lombrices de tierra al inicio (2000) y al final del experimento (2001).



Incremento y decremento en la densidad relativa de lombrices entre 2000 y 2001 (individuos.m⁻²).

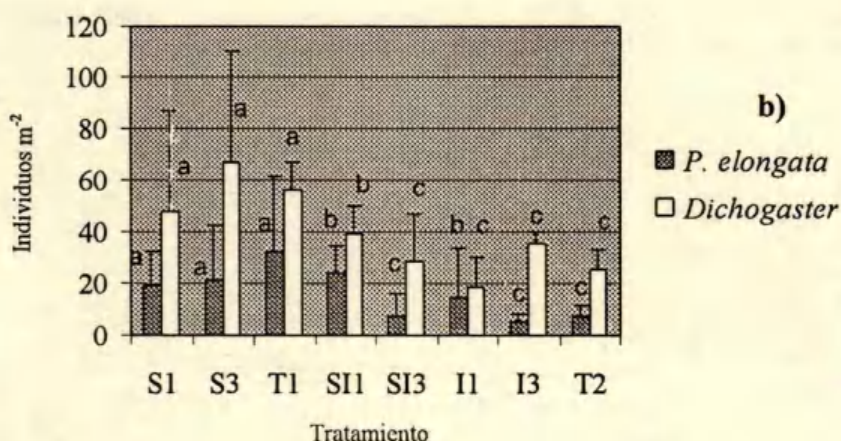


Figura 3. a) Incrementos y decrementos de la densidad de *P. elongata* y *Dichogaster* por tratamiento entre 2000 y 2001; b) Densidad de *P. elongata* y *Dichogaster* por tratamiento al final del experimento.

La especie polihúmica endogea *Polypheretima elongata* presentó diferencia significativa en cuanto a su densidad en los tratamientos, siendo el control (sin mucuna) con laboreo, en el cual se presentó la menor densidad (7.5 ± 4 individuos m⁻², Figura 3) y biomásas (3 ± 0.4 g m⁻²). El control sin laboreo (T1) presentó la mayor biomasa (16.8 ± 10.2 g m⁻², $P < 0.05$) en la cual esta especie constituyó 93% de la población (Figura 4).

En las parcelas donde la mucuna se incorporó, el tratamiento en el cual esta leguminosa se aplicó en la superficie con una cantidad de 4.5 kg m⁻² (S3) presentó la mayor biomasa (10.6 ± 5.6 g m⁻²,

Cuadro 2. Densidad de *Dichogaster* al inicio y al término del experimento, en suelos.

Tratamiento	Individuos m ⁻²	
	2000	2001
S1	9.60 ± 13.58 a†	48.00 ± 39.02 a
S3	3.20 ± 2.61 b	67.20 ± 42.77 a
SI1	10.67 ± 6.03 a	39.47 ± 10.56 b
SI3	1.07 ± 1.51 b	28.80 ± 18.29 c
I1	9.6 ± 13.58 a	18.13 ± 12.07 c
I3	37.33 ± 52.8 a	35.20 ± 4.53 c
T1	1.07 ± 1.51 b	56.53 ± 10.56 a
T2	1.07 ± 1.51 b	25.60 ± 7.84 c.

† Letras indican diferencias entre los tratamientos durante el mismo año.

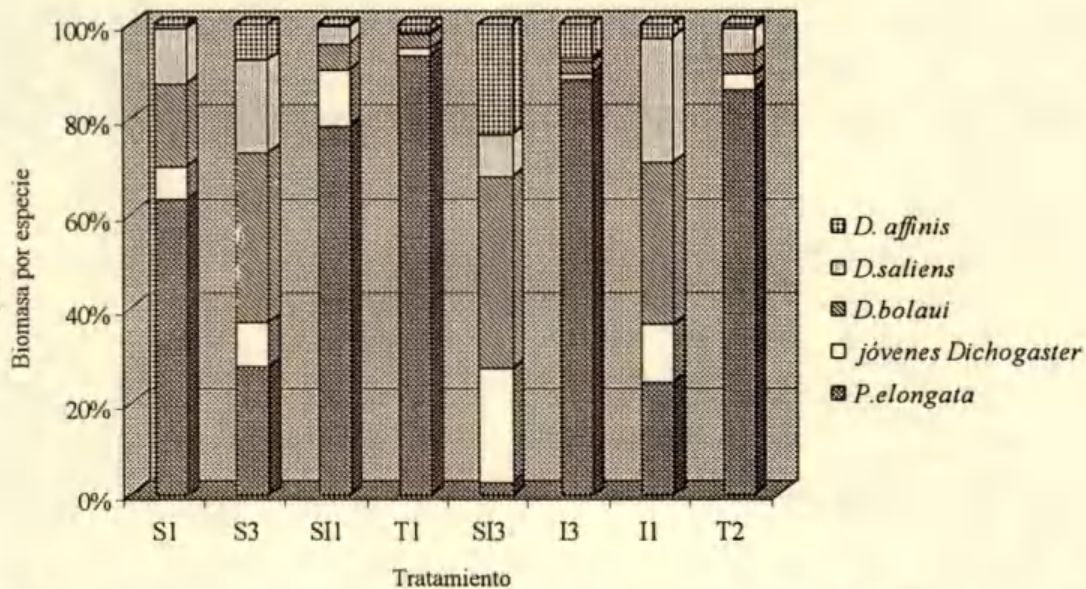


Figura 4. Porcentajes de biomasa de diferentes especies de lombrices de tierra al final del experimento, en cada tratamiento evaluado.

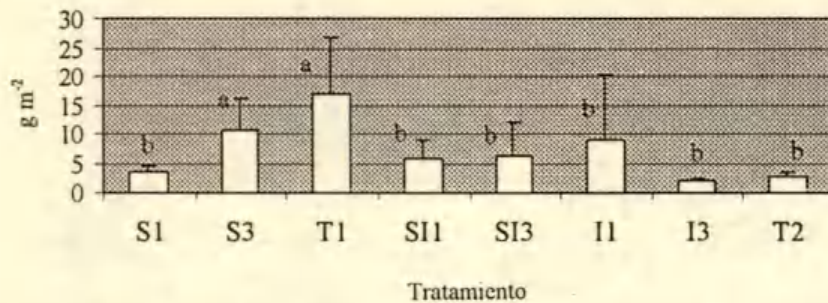


Figura 5. Biomasa de lombrices de tierra al final del experimento. Letras distintas denotan diferencias significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

Figura 5), y la mayor densidad de lombrices (88.3 ± 45.7 individuos m^{-2} , Figura 3), aunque no mostró diferencia con respecto al control sin laboreo. En esta misma condición, los individuos del género *Dichogaster* aumentaron de 3.2 ± 2.6 individuos m^{-2} a 67.2 ± 42.8 individuos m^{-2} (Cuadro 2); presentándose *D. affinis*, *D. bolauí* y *D. saliens* (Figura 4).

Las unidades experimentales donde la mucuna se incorporó en una cantidad de $4.5 \text{ kg } m^{-2}$ presentaron la menor densidad de *P. elongata* (7.47 ± 8.40 individuos m^{-2} en el SI3 y 5.33 ± 3 individuos m^{-2} en el I3, Figura 3), aunque no diferentes al control con laboreo.

Para *P. elongata*, la proporción de adultos y juveniles cambió al inicio y al final del experimento, al final no se encontraron adultos en II e I3, tratamientos en que la mucuna se incorporó en su totalidad (Cuadro 3).

La mayoría de las especies de *Dichogaster* se distribuyeron bien en los tratamientos en los cuales la mucuna se aplicó en la superficie, excepto *Dichogaster bolauí* que se encontró mayormente en los suelos donde la mucuna se incorporó (Figura 4).

Mucuna pruriens var. *utilis* es una leguminosa utilizada para el mejoramiento de suelos agrícolas (Lal, 1999), en especial en los cultivos de maíz (Mbeya *et al.*, 2000) y su establecimiento como

Cuadro 3. Densidad de *Polypheretima elongata* al inicio y al termino del experimento en suelos.

Tratamiento	Individuos m ⁻²		proporción de adultos y juveniles			
	2000	2001	2000		2001	
			Adultos	Juveniles	Adultos	Juveniles
			----- % -----			
S1	157.87 ± 61.96 a [†]	19.20 ± 13.06 a	0.75	99.25	11.11	88.88
S3	216 ± 91.72 c	21.33 ± 3.02 a	1.46	98.54	11.11	88.88
SI1	258.13 ± 48.90 b	23.47 ± 10.88 b	1.18	98.82	8.33	91.66
SI3	170.67 ± 55.45 c	7.47 ± 8.40 c	0.61	99.39	8.33	91.66
I1	226.13 ± 156.16 b	14.93 ± 18.90 b	0.48	99.52	0	100
I3	220.80 ± 125.98 c	5.33 ± 3.02 c	0.42	99.58	0	100
T1	168.53 ± 35.47 a	32 ± 29.68 a	1.81	98.19	19.53	80.43
T2	141.87 ± 56.9 a	7.47 ± 3.99 c	2.24	97.76	16.66	83.33

[†] Letras indican diferencias entre los tratamientos durante el mismo año.

cobertura ha estimulado la actividad de las lombrices (Lal, 1999), pero los factores ambientales influyen sobre el desarrollo de las especies. En este estudio, realizado de octubre 2000 a octubre 2001, la época seca produjo un efecto negativo sobre la población de *P. elongata* que no permitió demostrar los efectos benéficos de la adición de mucuna sobre esta especie en condiciones de campo; ya que, en estudios de laboratorio, esta leguminosa produjo un incremento de 6.7% en la tasa de crecimiento diario.

Es interesante que esta especie endógena polihúmica cosmopolita (Fragoso *et al.*, 1993), resistente a diferentes intervalos de pH, no tolere el laboreo, práctica que es ampliamente usada para el control de hierbas no deseadas, puede también influir sobre los integrantes de las redes alimenticias básicas del suelo (Wardle *et al.*, 1995).

Efectos en el Suelo

No existió diferencia significativa en la densidad aparente entre tratamientos, excepto en I3 donde la mucuna se incorporó en una cantidad de 4.5 kg m⁻²

(1.55 ± 0.09 g cm⁻³, Figura 6), (P < 0.05). Los valores de materia orgánica y nitrógeno total no presentaron diferencia significativa entre tratamientos (Figuras 7 y 8).

Producción de Maíz

La producción de maíz más elevada (70.3 ± 22.6 g m⁻², P < 0.05, Figura 9) se registró en las parcelas donde la mucuna se aplicó en la superficie con 4.5 kg m⁻². Este tratamiento mostró la menor biomasa de otras hierbas (P < 0.05) junto con SI3, donde la mucuna se aplicó en la superficie y se incorporó con una cantidad de 4.5 kg m⁻² (Figura 10).

Relación entre las lombrices, la producción de maíz y los parámetros del suelo

El análisis multivariado de componentes principales, desarrollado para establecer la relación entre la biomasa y la densidad de las especies de lombrices de tierra evaluadas, los parámetros del suelo, la producción de maíz y la presencia de otras

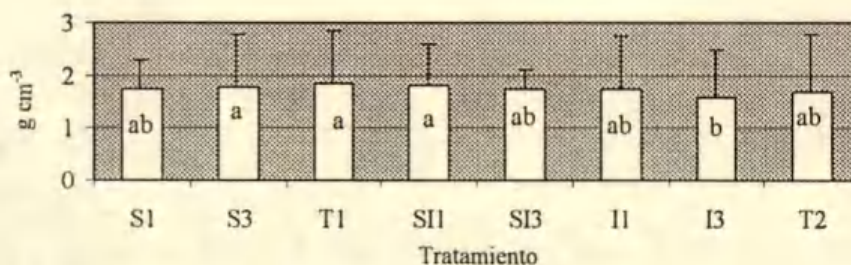


Figura 6. Densidad aparente en los diferentes tratamientos. Letras distintas denotan diferencias significativas.

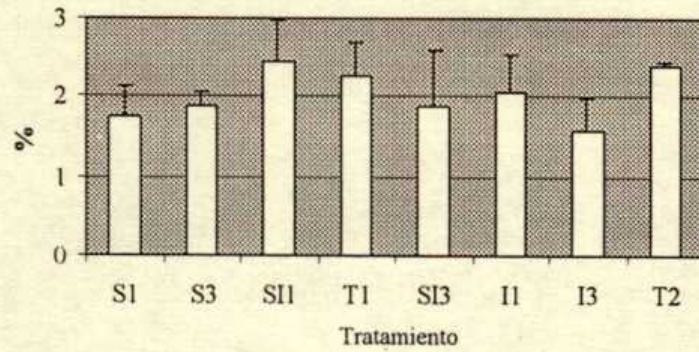


Figura 7. Porcentaje de materia orgánica al final del experimento. Letras distintas denotan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

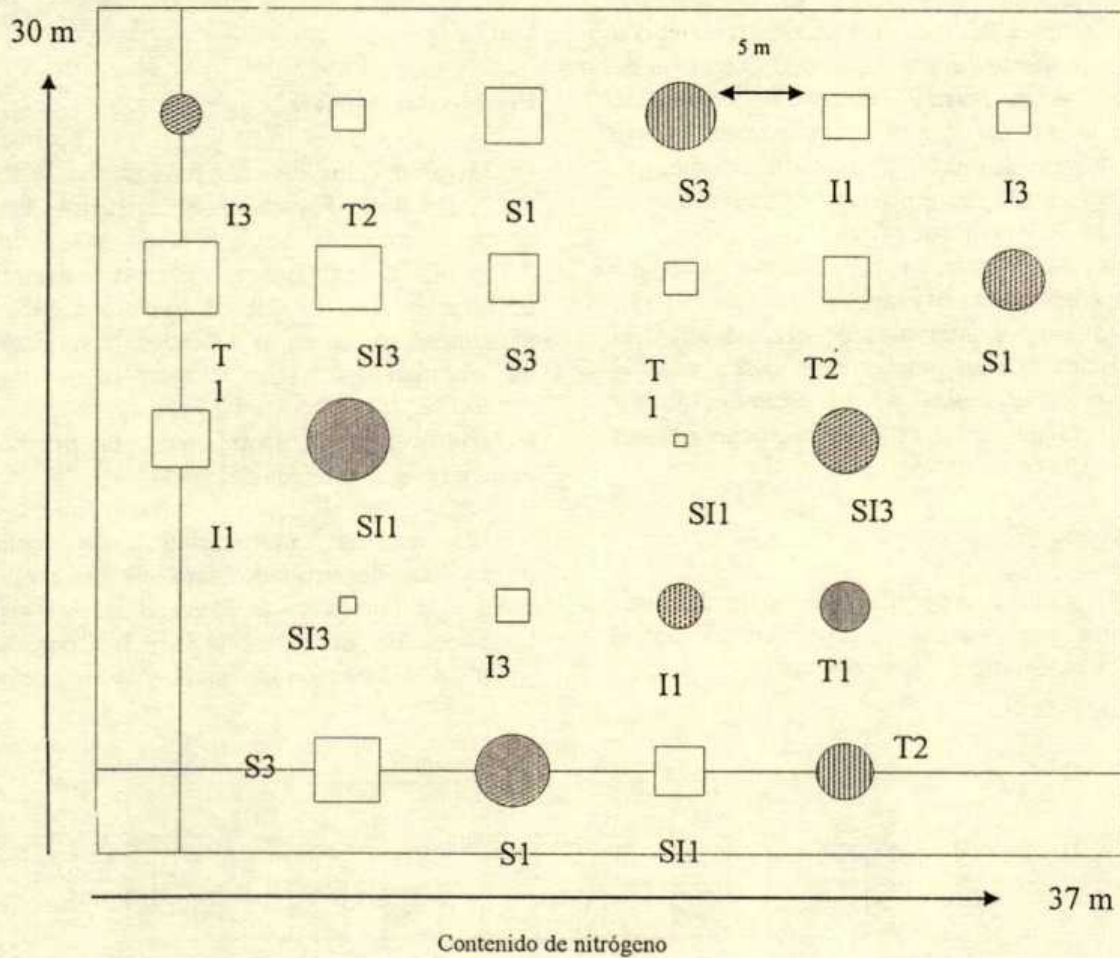


Figura 8. Distribución en el campo experimental del contenido de nitrógeno. Círculos corresponden a valores superiores a la media y los cuadrados a valores por debajo de la media.

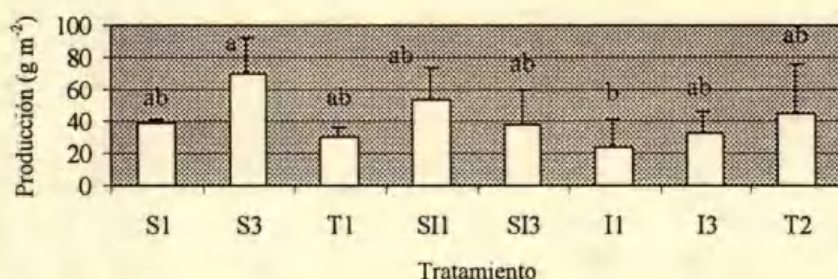


Figura 9. Producción de maíz en los diferentes tratamientos. Letras distintas denotan diferencias significativas ($P < 0.05$).

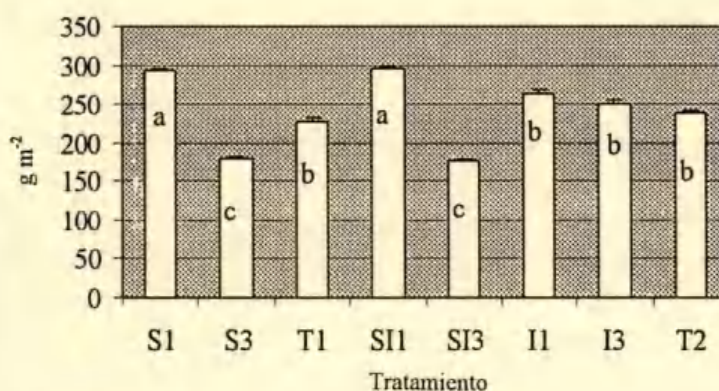


Figura 10. Producción de biomasa de vegetación en los diferentes tratamientos. Letras distintas denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).

hierbas, muestran como en el Eje 1 con 28.49% del total de inercia, sitios con alta biomasa de lombrices, alta biomasa de *P. elongata*, alta biomasa de maíz y alto contenido en materia orgánica se oponen a sitios con alta biomasa de *Dichogaster bolau*. El Eje 2 (17.51% del total de inercia) caracteriza sitios con alta densidad de lombrices epigeas (lombrices del género *Dichogaster* Figura 11).

Se estableció una relación baja entre la biomasa de maíz y el contenido de nitrógeno ($r = 0.48$, $P \leq 0.05$), así como entre la biomasa de maíz y la biomasa de lombrices de tierra ($r = 0.48$, $P \leq 0.05$).

Los efectos de la actividad de las lombrices sobre la producción de maíz se determinaron por la relación significativa aunque baja entre la biomasa de lombrices y la producción de esta gramínea ($r = 0.48$, $P < 0.05$). Una correlación positiva se estableció también en estudios desarrollados en Lamto (Costa de Marfil) con la lombriz endógena *M. anomala* en un cultivo de maíz [$r = 0.81$ $P < 0.01$ (Spain *et al.*, 1992)].

El efecto de la aplicación de mucuna sobre las lombrices no fue evidente en este experimento, ya que no se estableció diferencia significativa entre tratamientos para la biomasa de lombrices cuando la mucuna se aplicó en la superficie y el control sin laboreo; sin embargo, se registró un efecto positivo sobre la producción de maíz, lo cual es consecuencia, por un lado, en las parcelas sin mucuna por la actividad de lombrices endógenas (*P. elongata*) y, por otro lado, en los tratamientos con mucuna, por esta leguminosa y la actividad de lombrices epigeas (*D. affinis* y *D. saliens*).

Con el objetivo de incrementar la fertilidad del suelo, en este experimento se buscaba potenciar la actividad de las lombrices endógenas junto con los efectos de la mucuna en campo, lo cual no se percibió. Sin embargo, esto se ha demostrado en suelos alfisoles degradados del oeste de Nigeria con *Hyperiodrilus africanus* (Lal, 1999), y en campos con plantas de mucuna en Tabasco se han determinado altas densidades de *P. elongata* (Ortiz-Ceballos y Frago, 2004).

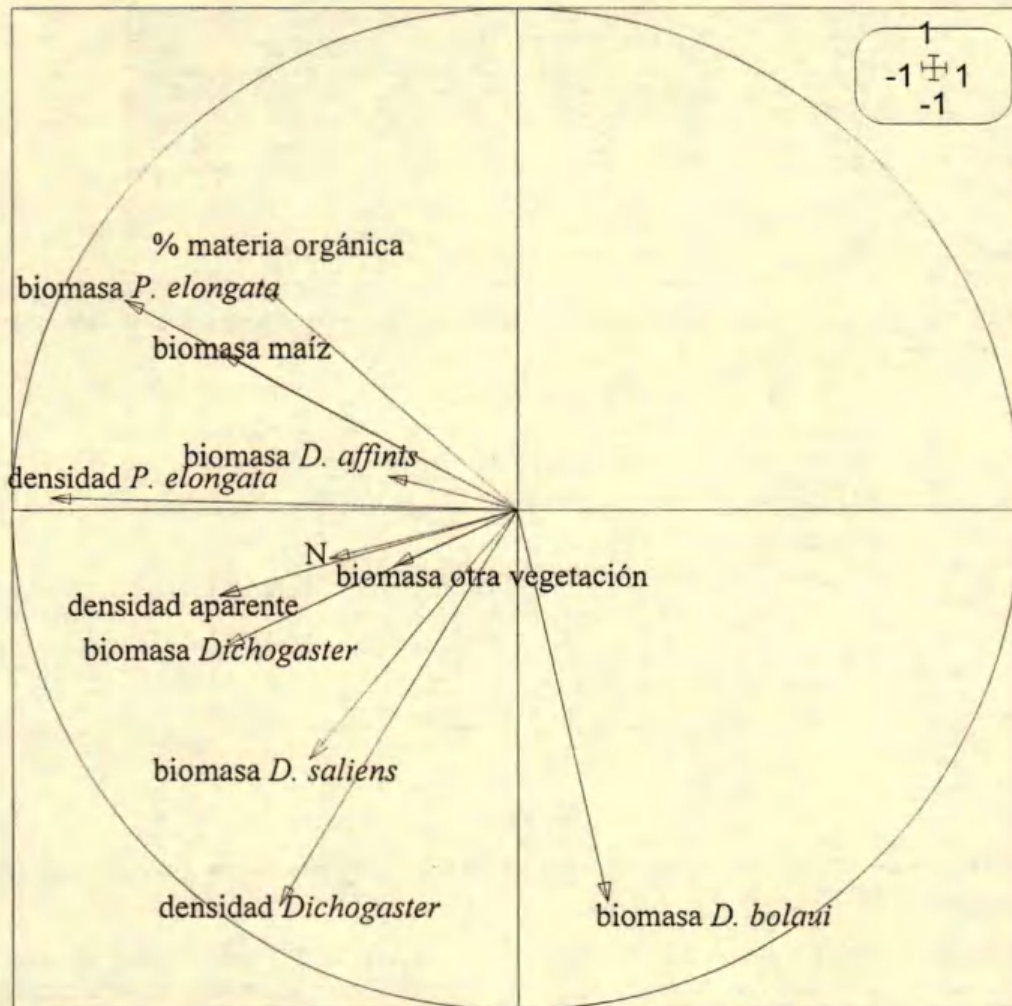


Figura 11. Análisis de componentes principales realizado entre las biomásas y las densidades de lombrices de tierra, contenido de nitrógeno, materia orgánica, biomasa de maíz y biomasa de otra vegetación.

Al parecer, la sincronía entre la eliminación de nutrientes por parte de la mucuna y la demanda de maíz fue mejor cuando ésta se aplicó en la superficie. La incorporación de esta leguminosa al suelo parece no favorecer a la producción de maíz; resultados similares fueron encontrados por Jones *et al.* (1997), utilizando a *Gliricidia*, *Tephrosia* y *Leucaena*.

Aunque la densidad de lombrices epigeas no presentó diferencia significativa entre tratamientos, *D. bolauí* se distribuyó también en parcelas donde la mucuna se incorporó al suelo; esta lombriz es conocida por sus actividades en sistemas en los cuales se agregan residuos vegetales en forma de hojarasca (Gilot, 1994) y en sistemas de composteo de desechos (Sahu y Senapati, 1988; Singh, 1997). De acuerdo con

las condiciones de disposición de la materia orgánica fresca, las lombrices epigeas se encontrarán con mayor frecuencia en ambientes en los cuales la materia orgánica se encuentre disponible en la superficie, mientras que las lombrices endogeas, normalmente serán relacionadas en ambientes en los cuales la materia orgánica se encuentra incorporada al suelo.

Se recomienda hacer estudios en los cuales los aportes de Mucuna sean más frecuentes, no sólo al inicio del experimento, y de igual forma se recomienda que las evaluaciones de las propiedades del suelo se efectúen periódicamente y no sólo al inicio y al final del experimento.

CONCLUSIONES

- La adición de hojarasca de mucuna produce efectos positivos en la producción de maíz cuando es aplicada en la superficie una cantidad de 4.5 kg m⁻².
- El laboreo es una práctica que resultó negativa para *Polypheretima elongata*.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento al personal del Departamento de Biología de Suelos del Instituto de Ecología A.C. de Xalapa, Veracruz, México, por el apoyo en la realización del análisis químico y la ayuda de campo. Principalmente a Isabelle Barois, Yadeneiro de la Cruz, Rosa María Arias, José Antonio Ángeles, José Antonio García, Ángel Ortiz, Manuela Reyes, Soraida Irisson y Yanina Montero.

LITERATURA CITADA

Anderson, J.M. y J.S.I Ingram. 1989. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. TSBF. CAB-International. Wallingford, UK.

Brown, G., B. Pashanasi, C. Villenave, J. Patron, B. Senapati, S. Giri, I. Barois, P. Lavelle, E. Blanchart, R. Blakemore, A. Spain y J. Boyer. 1999. Effects of earthworms on plant production in tropics. pp. 87-147. In: Lavelle, P., L. Brussaard y P. Hendrix. Management of earthworm communities in tropical agroecosystems. CAB-International. Wallingford, UK.

Curry, J.P. 1998. Factors affecting earthworm abundance in soils. pp. 9-64. In: Edwards, C.A. Earthworm ecology. St. Lucie Press. Boca Raton, FL.

FAO-UNESCO. 1988. Map of the world. Revised legend. Rome, Italy.

Fragoso, C., I. Barois, C. González, C. Arteaga y C. Patrón. 1993. Relationship between earthworms and soil organic matter levels in natural and managed ecosystems in the Mexican tropics. pp. 231-239. In: Mulongoy, K. y R. Merckx (eds.). Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture. John Wiley. Chichester, UK.

Fragoso, C., P. Lavelle, E. Blanchart, B. Senapati, J. Jimenez, M. Martinez, T. Decaens y J. Tondoh. 1997. Earthworm communities of tropical agroecosystems: origin, structure and influence of management practices. pp. 27-55. In: Lavelle, P., L. Brussaard y P. Hendrix. Management of earthworm communities in tropical agroecosystems. CAB-International. Wallingford, UK.

García, J. y C. Fragoso. 2003. Influence of different food substrates on growth and reproduction of two tropical earthworm species (*Pontoscolex corethrurus* and *Amyntas corticis*). *Pedobiologia* 47(5-6): 754-763.

Gilot, C. 1994. Effets de l'introduction du ver géophage tropical *Millsonia anomala* Omodeo en systèmes cultivés sur les caractéristiques des sols et la production végétale en moyenne

Côte d'Ivoire. Universidad de Paris VI Pierre y Marie Curie. Paris, France.

Jones, R.B., S.S. Snapp y H.S.K. Phombeya. 1997. Management of leguminous leaf residues to improve nutrient use efficiency in the sub-humid tropics. pp. 239-249. In: Cadish, G. y K.E. Giller. Driven by nature: plant litter quality and decomposition. CAB-International. Wallingford, UK.

Lal, R. 1976. Soil erosion problems on Alfisols in Western Nigeria and their control. Monogr. I. Institute of Tropical Agriculture (IITA). Ibadan, Nigeria.

Lal, R. 1999. Restorative effects of *Mucuna utilis* on soil organic C pool of a severely degraded Alfisol in Western Nigeria. pp. 147-156. In: Lal, R., J. Kimble y B.A. Stewart. Global climate change and tropical ecosystems. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Lavelle, P. y A. Spain. 2001. Soil ecology. Kluwer. Amsterdam, The Netherlands.

Lavelle, P., I. Barois, A. Martin, Z. Zaidi y R. Schaefer. 1989. Management of earthworm populations in agro-ecosystems: a possible way to maintain soil quality? pp. 109-122. In: Clarholm, L.B. y M. Kluwer. Ecology of arable land. Academic Publishers. Amsterdam, The Netherlands.

Lavelle, P., I. Barois, E. Blanchart, G. Brown, L. Brussaard, T. Decaens, C. Fragoso, J.J. Jimenez, K.K. Kajondo, M. Martinez, A. Moreno, B. Pashanasi, B. Senapati y C. Villenave. 1998. Les vers de terre, une ressource dans les agrosystèmes tropicaux. *Nat. Resour.* 34: 1-26.

Mbeya, M., B. Ba Kufimfutu y M. Nkashama. 2000. Effects of burying mucuna (*Mucuna pruriens* (L) DC *variutilis*) and crop residues on maize. The communitor a TSBF Newsletter 5(3): 7-9.

Mendoza, A., T. Kelly y J-J. 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 Sacaba, Yucatán. *Gestión Recursos Naturales* 8: 5-15.

Ortiz-Ceballos, A., I. Fragoso Carlos. 2004. Earthworm populations under tropical maize cultivation; the effect of mulching with velvet bean. *Biol. Fert. Soils* 39: 438-445.

Pashanasi, B., P. Lavelle y J. Alegre. 1994. Efecto de lombrices de tierra (*Pontoscolex corethrurus*) sobre el crecimiento de cultivos anuales y características física y químicas en suelos de Yurimagua. *Folia Amazonica* 6: 1-2, 5-45.

Sahu, S.K. y B.K. Senapati. 1988. Alternative proposals for quantification of reproduction in a tropical earthworm. *Tropical Ecology* 29: 6-14.

Singh, J. 1997. Habitat preferences of selected Indian earthworm species and their efficiency in reduction of organic materials. *Soil Biol. Biochem.* 29: 585-588.

Spain, A.V., P. Lavelle y A. Mariotti. 1992. Stimulation of plant growth by tropical earthworms. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1629-1633.

StatSoft, Inc. 1998. Statistics for Windows. Tulsa, OK.

Thioulouse, J., D. Chessel, S. Dolédec y J-P. Olivier. 1997. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Stat. Computing* 7: 75-83.

Thioulouse, J., D. Chessel, S. Dolédec y J-M. Olivier. 1997. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Stat. Computing* 7: 75-83.

Tondoh, E.J. 1997. Effect of two organic residues on growth and cocoon production of the earthworm *Hyperiodrilus africanus* (Eudrilidae). *Eur. J. Soil Biol.* 33: 13-18.

Wardle, D.A., G.W. Yeates, R.N. Watson y K.S. Nicholson. 1995. The detritus food-web and the diversity of soil fauna as indicators of disturbance regimes in agro-ecosystems. *Plant Soil* 170: 35-43.

CARBONO EN BIOMASA MICROBIANA Y CARBONO SOLUBLE COMO INDICADORES DE CALIDAD DE VERTISOLES CULTIVADOS CON CAÑA AZUCARERA

Microbial Carbon Biomass and Soluble Carbon as Quality Indicators of Vertisols Cultivated with Sugarcane

Liliana Armida-Alcudia¹, David Espinosa-Victoria^{1†}, David J. Palma-López¹, Arturo Galvis-Spinola¹ y Sergio Salgado-García¹

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue identificar propiedades biológicas, químicas y físicas del suelo, como el carbono de la biomasa microbiana (Cbio), el carbono orgánico soluble (COS), el pH, la materia orgánica (MO), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la densidad aparente (Dap), como indicadores de calidad del cambio de uso del suelo de selva a cultivo de caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco. Se muestreó un Vertisol de selva y cuatro Vertisoles cultivados con caña de azúcar durante cinco, 10 y 20 y más de 30 años. Se encontró que ocurren cambios significativos en las propiedades del suelo cuando una selva se transforma en suelo cultivado con caña de azúcar. El Cbio, el COS y la MO disminuyeron conforme aumentó el tiempo dedicado al cultivo. El cambio en las propiedades del suelo de los diferentes sitios se atribuye al manejo agrícola que año con año se lleva a cabo en el suelo, así como a la falta de prácticas agronómicas que contribuyan a conservar la fertilidad del suelo cañero.

Palabras clave: fertilidad, propiedades del suelo, cultivo.

SUMMARY

The purpose of this study was to identify biological, chemical and physical soil properties such as microbial carbon biomass (Cbio), organic soluble carbon (OSC), pH, soil organic matter (SOM), cation exchange capacity (CEC), and bulk density as quality indicators for a forest soil which has been cultivated with sugarcane in La Chontalpa, Tabasco. A Vertisol

from the forest area and four Vertisols from sugarcane fields cultivated for five, 10, 20, and more than 30 years were evaluated. Significant changes of soil properties take place when a forest soil is subjected to sugarcane cultivation. Cbio, OSC, and SOM levels decreased as years of cultivation with sugarcane increased. Changes of soil properties at the evaluated sites were attributed to the yearly soil management practices as well as the lack of cultural practices focused on soil fertility management of sugarcane fields.

Index words: fertility, soil properties, crop.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar representa una actividad de gran importancia económica en el sector agrícola en el estado de Tabasco, México. La Chontalpa cuenta con 54 917 ha de Vertisoles, los cuales se encuentran cultivados con pastos, caña de azúcar, cacao y otros cultivos, y pequeñas porciones aisladas de selvas nativas y acahuales. El manejo intensivo, al cual se ha sometido el suelo cañero, ha provocado cambios en los procesos internos, así como en su estructura, lo cual ha ocasionado la degradación continua de su calidad productiva. Algunos aspectos afectados, son: la acumulación de materia orgánica a través de la incorporación de los residuos de cosecha, práctica que es interrumpida por la quema de éstos y la alteración de la densidad aparente por la entrada de maquinaria agrícola pesada para las labores de cosecha.

La calidad de un suelo se define como la capacidad de éste para funcionar dentro de los límites del ecosistema y uso de la tierra, para sustentar la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y fomentar la salud de las plantas y de los animales (Doran y Parkin, 1994). La identificación de indicadores de la calidad del suelo es una herramienta importante de análisis, que sirve para evaluar procesos

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

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

y obtener índices, con los cuales es posible reconocer problemas en el área productiva, realizar estimaciones reales en la producción de alimentos, medir cambios en la calidad ambiental relacionados con el manejo de la agricultura, y conocer el funcionamiento de procesos importantes como la mineralización del carbono (C) y nitrógeno (N) (Bergstrom *et al.*, 1998). La intensificación y frecuencia de algunas prácticas de manejo hace necesario establecer indicadores químicos, físicos y biológicos que, a través de sus valores, sean capaces de identificar cambios en el suelo y, al mismo tiempo, evalúen el grado de alteración. Por ello, es necesario establecer indicadores que permitan deducir cuándo un suelo es "bueno" o "malo", hablando en términos de calidad productiva para generar rendimientos rentables y conservar su fertilidad.

Por lo tanto, la evaluación del manejo agrícola sobre la calidad del suelo para mantener una determinada productividad depende de los atributos del suelo que se emplearán como índices de calidad edáfica, en función del suelo de interés. El presente estudio tuvo como objetivos: a) determinar los cambios de las propiedades físicas y químicas [pH, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y densidad aparente (Dap)] y de propiedades biológicas [carbono de la masa microbiana (Cbio) y carbono orgánico soluble (COS)] en un Vertisol, cultivado durante cinco, 10, 20 y más de 30 años con caña de azúcar, y b) evaluar si las propiedades biológicas son indicadores de calidad de suelos más sensibles que las propiedades físicas y químicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza dentro de la zona de influencia del Ingenio Santa Rosalía, en el municipio de H. Cárdenas en la región de la Chontalpa, Tabasco, México. El suelo es un Vertisol de la serie Limón, ya que en todo el perfil presenta texturas arcillosas, con colores pardo oscuro sobre pardo amarillento y se ubica en las planicies con pendientes menores que 1% y se origina por depósitos aluviales recientes. En la época seca, el suelo presenta severo agrietamiento. Los Vertisoles de esta región son ricos en nutrientes y tienen un pH que fluctúa de ligeramente ácido a neutro (Palma-López y Cisneros, 2000).

Se ubicaron 12 sitios cultivados con caña de azúcar durante cinco, 10, 20 y más de 30 años (tres sitios por cada tiempo de uso). En cada sitio,

se realizaron cuatro muestreos a una profundidad de 0 a 20 cm para obtener cuatro muestras compuestas. Como testigo, se utilizó un sitio con selva mediana perennifolia perturbada. Los tratamientos probados se presentan en el Cuadro 1.

Las variables evaluadas como indicadores de calidad del suelo fueron: carbono de la biomasa microbiana (Cbio), estimado por el método de fumigación-incubación (Jenkinson, 1976); y carbono orgánico soluble (COS), utilizando NaCO_3 0.5 M. Las propiedades químicas y físicas evaluadas fueron: pH, medido en agua relación 2:1; MO, cuantificada por el método de Walkley y Black; CIC, método de acetato de amonio a pH 7.0; y densidad aparente del suelo, método del cilindro, consideradas como propiedades inherentes a la calidad de suelos. Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza ($P < 0.05$) y prueba de medias (Tukey, 0.05%), utilizando la Versión 6.12 del Statistical Analysis System (SAS Institute, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades Físicas y Químicas del Suelo

Los resultados de los análisis químicos, físicos y microbiológicos de los suelos indican que existen cambios significativos en las propiedades de los Vertisoles, cuando se modifica su uso, de selva a cultivo de caña. El pH del suelo cultivado con caña por más de 30 años fue 5.7 y presentó diferencias estadísticas con los demás tratamientos, y fue menor que el de los suelos cultivados durante cinco, 10 y 20 años (Figura 1). Estos últimos no presentaron diferencias estadísticas con el suelo de selva ($P = 0.05$). La acidificación del suelo puede originarse por el lavado de bases que existe en el suelo por las altas precipitaciones que se presentan en esta región o por la acumulación de los residuos de fertilizantes.

Cuadro 1. Sitios con diferentes tiempos de cultivada caña de azúcar, ubicados en la Chontalpa, Tabasco, México.

Tratamiento	Sitio	Tiempo años
I	Selva (testigo)	0
II	Caña de azúcar	5
III	Caña de azúcar	10
IV	Caña de azúcar	20
V	Caña de azúcar	> 30

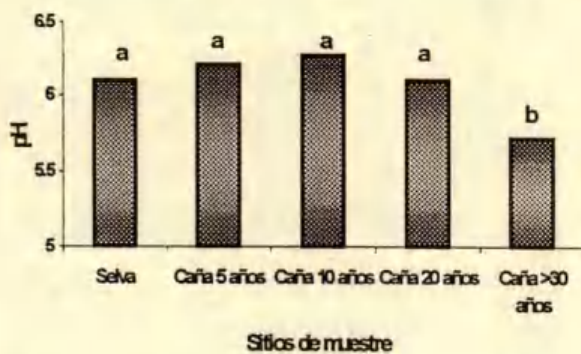


Figura 1. Comportamiento del pH en los Vertisoles con diferentes años de cultivarse caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco, México.

La MO de los cinco suelos estudiados mostró diferencias significativas (Tukey $P = 0.05$). El suelo de selva presentó el valor más alto (3.65%) en comparación con los suelos con caña de cinco, 10, 20 y >30 años. Esta propiedad presenta una tendencia a disminuir su contenido en los diferentes años de cultivada la caña de azúcar. Sinbad (1972) mencionó que después de desmontar una selva, el contenido de MO desciende en los primeros años de 25 a 50%, la cual se hace más lenta y progresiva durante el tiempo del cultivo, hasta alcanzar un valor estable después de 15 años aproximadamente. Por otra parte, Funakawa *et al.* (1997) describieron como las fuentes de MO

pueden disminuirse a una alta velocidad por las prácticas de quema, lo cual coincide con lo reportado por Humbert (1974), en un estudio en caña de azúcar al señalar a este cultivo como uno de los que más reducen el contenido de la MO en el suelo, al eliminar los residuos de la cosecha del campo (Figura 2).

La Figura 2 muestra que el contenido de materia presenta una tendencia a disminuir con respecto al incremento de los años de cultivarse la caña de azúcar, debido al poco aporte de materiales orgánicos al suelo, ya que, como práctica tradicional en este cultivo, los residuos de cosecha se eliminan totalmente del campo; por lo tanto, puede apreciarse un abatimiento significativo de la MO, por las prácticas continuas sostenidas durante muchos años. Lo anterior demuestra que la MO es un índice confiable para evaluar la degradación del suelo y que está estrechamente relacionada con el tiempo de cultivado el suelo con caña de azúcar.

La CIC fue estadísticamente diferente ($P < 0.05$), entre el suelo de selva ($34.86 \text{ cmol}_e \text{ kg}^{-1}$) y los suelos cultivados con caña, donde los valores de CIC obtenidos fueron de 23.9, 26.3 y $30.1 \text{ cmol}_e \text{ kg}^{-1}$ en los Tratamientos 5, 10 y 20 años de cultivo, respectivamente. Aun cuando se observó una reducción drástica en el suelo cultivado durante cinco años, esta reducción no fue consistente en los otros suelos cultivados con caña y no representa problemas significativos en este tipo de suelo, debido

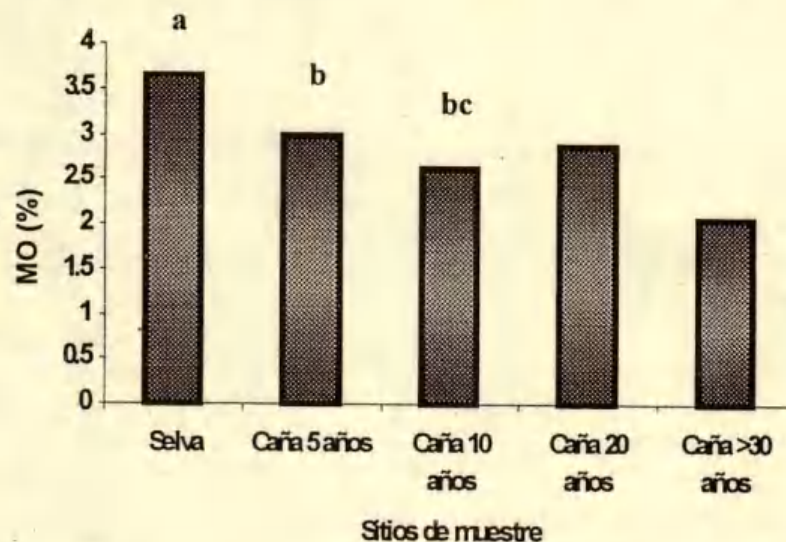


Figura 2. Valores de materia orgánica de un suelo de selva comparado con suelos cultivados continuamente con caña de azúcar en Vertisoles, de la Chontalpa, Tabasco, México.

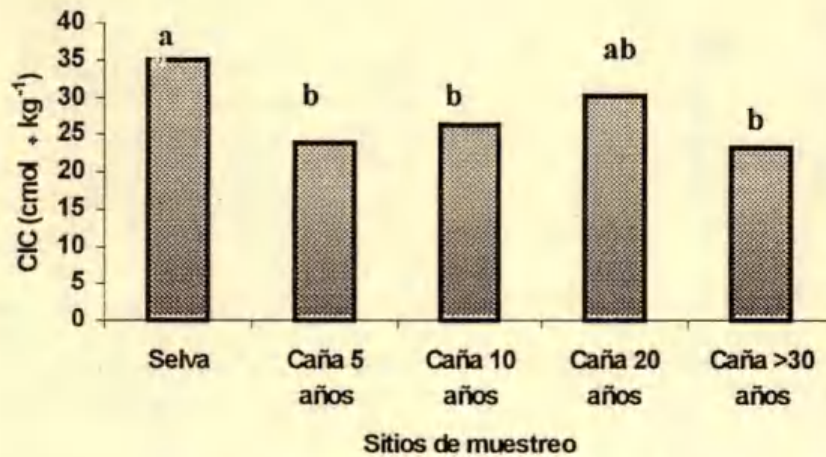


Figura 3. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico en los Vertisoles con diferentes años de cultivarse caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco, México.

a su capacidad amortiguadora. Asimismo, Bramley *et al.* (1996) mencionaron que los valores de la capacidad de intercambio son menores en suelos viejos cultivados con caña de azúcar que en aquellos recién abiertos al cultivo, lo cual se constata al comparar el contenido de la CIC del suelo de selva con el de los sitios cultivados (Figura 3).

La Dap no presentó diferencias estadísticas entre sitios, sin embargo, los suelos de selva mantienen en su superficie densidades aparentes óptimas (1.15 g cm^{-3}), relacionado esto por la estructura que predomina antes de que sean sometidos a la mecanización y cultivo; además, el paso de maquinaria pesada después de la eliminación de selvas, las labores de cultivo y la preparación del suelo, sobre todo en suelos de textura fina, aumentan la Dap del suelo. Harris *et al.* (1996) mencionaron que la calidad del suelo disminuye cuando se incrementa la Dap por lo que en los Vertisoles, cultivados con caña de azúcar, pueden crearse efectos de compactación que reducen la penetración de las raíces. La Dap entre los suelos cultivados y el suelo de selva fue significativa en el tiempo de cultivo, lo cual confirma que es una propiedad de alta variación. Según Arnold *et al.* (1990), la Dap puede registrar cambios en un lapso de 1 a 10 años, debido al manejo empleado en el suelo.

C-Biomasa Microbiana y Carbono Orgánico Soluble como Indicadores de Calidad de Vertisoles

Los índices de calidad que se proponen para suelos cañeros (C-biomasa microbiana y carbono orgánico soluble) también muestran una tendencia similar a la de las propiedades químicas y físicas evaluadas. El carbono orgánico soluble (COS) disminuyó en el suelo, en función del tiempo de cultivo con caña. En el Cuadro 2, se observa que el suelo de selva presenta el valor más alto (0.261 unidades de absorbancia), seguido del suelo cultivado con caña por cinco años, sin diferencia estadística entre ambos. En el suelo de 10 años de cultivo, se observó un decremento drástico, el cual alcanzó su punto más bajo en el suelo cultivado con caña de azúcar durante más de 20 años. Esto puede ser originado por las labores de cultivo que se dan al suelo año con año, lo cual contribuye al deterioro de las reservas orgánicas del suelo. Uribe *et al.* (1999) evaluaron los cambios en algunas características del suelo como resultado del acondicionamiento de terrazas, la aplicación correctiva de fertilizantes y la incorporación de los residuos de maíz y encontraron que las propiedades que presentan propiedades predictivas del rendimiento de maíz fueron la MO, el Ca, Mg y COS.

El carbono de la biomasa microbiana presentó una tendencia similar; la diferencia entre el suelo de selva y los suelos cultivados con caña de azúcar fueron evidentes (Cuadro 2).

Los índices de los diferentes sitios fluctuaron entre 1234 a 428 $\mu\text{g g}^{-1}$, correspondientes a los Sitios 1 y 5; en éste último sitio su contenido disminuyó en 60%.

El carbono de la biomasa microbiana, en muchos casos, es un indicador de la fertilidad del suelo, lo cual indica que ésta es afectada por las prácticas de manejo agrícola, por la capacidad extractiva del cultivo y por la falta de prácticas no degradativas o preventivas que contribuyan al mantenimiento de su calidad productiva.

El índice del C-biomasa fue inferior en los sitios cultivados con caña de azúcar, comparado con el sitio de selva. Jenkinson y Ladd (1981) mencionaron que las situaciones que favorecen la acumulación de la MO en el suelo, incrementan la cantidad de biomasa y la proporción de esta biomasa en la materia orgánica total del suelo. En los suelos cañeros esta acumulación es interrumpida por la quema de los residuos de cosecha, práctica que se realiza desde los inicios de esta actividad agrícola en el estado. En Brasil, Smith y Paul (1990) cuantificaron en Spodosols, cultivados con caña de azúcar, índices de C-biomasa de 460 mg kg^{-1} , considerados como altos; sin embargo, si se comparan los contenidos de Cbio de los Vertisoles, se observa que el incremento de esta variable es mucho mayor, y ello se atribuye a que los Spodosols son más pobres en contenido de materia orgánica y nutrientes. En términos de calidad de suelos, el C o N de la biomasa microbiana son importantes, ya que valores altos pueden interpretarse como benéficos, es decir, calidad del suelo alta, sin embargo, valores bajos pueden indicar calidad pobre (Fauci y Dick, 1994).

C-Biomasa y su Relación con el COS y la MO del Suelo

La MO total es uno de los indicadores más utilizados para asociar la productividad de los agrosistemas con las propiedades del suelo, es decir, evaluar la calidad del suelo (Galvis-Spinola, 2000). El C de la biomasa microbiana se relacionó muy bien con el contenido de materia orgánica ($R^2 = 0.83$). El C de la biomasa microbiana está estrechamente relacionado con indicadores clave, como la materia orgánica, de hecho, la biomasa microbiana es una fracción de la materia orgánica, por lo cual un cambio detectado en ella se refleja claramente en la otra (Figura 4).

Cuadro 2. Índices de carbono orgánico soluble (COS) (unidades de absorbancia medidas a 260 nm) y C-biomasa reportados para cada uno de los sitios de estudio.

Sitio	COS	C-biomasa [†] $\mu\text{g g}^{-1}$
1 (Testigo)	0.262 a [†]	1234 a
2 (5 años)	0.254 a	722 b
3 (10 años)	0.212 b	785 b
4 (15 años)	0.202 b	591 bc
5 (> de 30 años)	0.180 b	428 c

[†] Valores con letras semejantes en columnas son estadísticamente iguales Tukey ($P < 0.05$).

En la presente investigación, la MO al igual que el Cbio y el COS del suelo resultaron ser los indicadores más sensitivos sobre los cambios que se están suscitando en los suelos cañeros, cultivados en diferentes tiempos, y aunque su análisis no describe la calidad y proporción de los compuestos que la integran, da una amplia idea de la calidad del suelo.

Calderón *et al.* (2001) probaron la hipótesis de que la labranza tradicional hace a la materia orgánica disponible y, como resultado, causa cambios en la composición microbiana, así como en la mineralización e inmovilización de nutrientes por los microorganismos del suelo.

La MO a veces no es un índice adecuado para evaluar el impacto de las prácticas agrícolas en suelos arcillosos, sin embargo, como en este caso se evaluaron parcelas con más de cinco años de cultivar caña de azúcar, se lograron ver cambios significativos. Galvis-Spinola (1998) mencionó que deben pasar más de 10 años para detectar cambios en dicha propiedad del suelo; sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, y para los suelos del orden

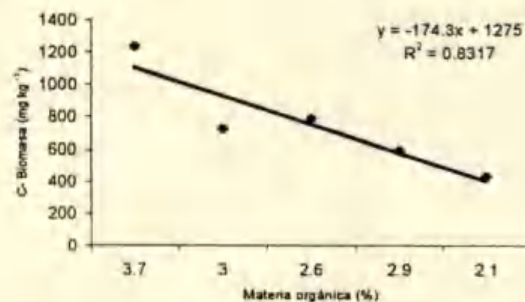


Figura 4. Relación entre la materia orgánica y el C microbiano en cinco Vertisoles con diferentes años de cultivo con caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco, México.

Vertisol, cinco años son suficientes para modificar esta propiedad.

La segunda variable que mejor se asoció con el C-biomasa de la microbiana fue el COS; el modelo de regresión entre estas dos variables resultó con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.77$ al promediar ambas variables. Esto quiere decir que ambas variables poseen una sensibilidad semejante a las condiciones de manejo del agrosistema y de ahí su alta asociación. Tanto la MO, como el COS están altamente asociados con las prácticas de manejo agrícola (quema de residuos de cosecha, barbecho y subsoleo). Por su parte, Sparling (1997) mostró a la biomasa microbiana mucho más sensible a los cambios, que el carbono total, por lo tanto, se ha propuesto que la relación C microbiano/C orgánico del suelo pueda detectar cambios tempranos en la dinámica que la MO. Al respecto, Chan (1997) mencionó que, en general, los valores de COS son bajos en Vertisoles, y con cultivo declina más rápidamente, junto con una deficiencia de N, el cual limita la producción. La disminución de esta propiedad es superior a 40%.

En el presente estudio, se encontró que, tanto la materia orgánica, como el carbono soluble fueron sensibles a los cambios del uso del suelo y al tiempo de cultivo con caña de azúcar.

Indicadores de Calidad de Vertisoles

De acuerdo con los índices presentados, existen diferencias significativas entre los cinco tratamientos. El suelo de selva fue estadísticamente diferente de los sitios cultivados, y aún entre los sitios cultivados con caña existieron diferencias significativas (Tukey, $P < 0.05$). De las cinco variables estudiadas, el pH, la CIC y la Dap no mostraron una tendencia específica en función del tiempo en el que los suelos se han cultivado. Sin embargo, la MO, el COS y el C de la biomasa microbiana, sí indicaron cambios relacionados directamente con el cambio de uso del suelo y con el tiempo de cultivo.

CONCLUSIONES

- Los indicadores carbono de la biomasa microbiana, carbono orgánico soluble y materia orgánica fueron los más sensibles para evaluar la calidad del suelo cañero, ya que detectaron tempranamente el impacto de las prácticas agrícolas, reflejadas en la disminución de sus valores en función del tiempo, al transformarse

un suelo con vegetación natural a un cultivo tan laboreado como la caña de azúcar, en comparación con algunas propiedades físicas y químicas, como el pH, la capacidad de intercambio catiónico y la densidad aparente que no mostraron una tendencia específica de cambios significativos en los suelos sometidos al cultivo de caña.

- Los altos valores de C-biomasa microbiana, reportados para el suelo de selva, indican alta calidad de suelos; por el contrario, los índices reportados para los suelos con más de 30 años de cultivo con caña de azúcar indican pobre calidad del suelo. Por esta razón, es necesario emplear prácticas preventivas como fomentar el uso de los residuos de cosecha, lo cual poco a poco va tomando importancia entre los productores, así como, de los subproductos que se obtienen de esta industria, para mejorar la calidad del suelo cañero.

- Es necesario monitorear la calidad del suelo, cuando se observen cambios en su fertilidad, a través de indicadores sensibles y fáciles de medir y que estén al alcance de todos sus usuarios, para corregir problemas a tiempo.

LITERATURA CITADA

- Arnold, R.W., I. Szabolcs y V.O. Targulian. 1990. Global soil change. International Institute for Applied System Analysis. Laxenburg, Austria.
- Bergstrom, D.W., C.M. Monreal y D.J. King. 1998. Sensitivity of soil enzyme activities to conservation practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1286-1295.
- Bramley, R.G.V., N. Ellis, R.O. Nable y A.L. Garside. 1996. Changes in soil chemical properties under long-term sugar cane monoculture and their possible role in sugar yield decline. *Aust. J. Soil Res.* 34: 967-984.
- Calderón, F.J., L.E. Jackson, K.M. Scow y D.E. Rolson. 2001. Short-term dynamics of nitrogen, microbial activity, and phospholipid fatty acids after tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 118-126.
- Chan, K.Y. 1997. Consequences of changes in particulate organic carbon in Vertisols under pasture and cropping. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1376-1382.
- Doran, J.W. y T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. pp. 3-21. *In: Defining soil quality for a sustainable environment. Special Publication 35. Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Fauci, M.F. y R.P. Dick. 1994. Microbial biomass as an indicator of soil quality: Effect of long-term management and recent soil amendments. pp. 229-234. *In: Defining soil quality for a sustainable environment. Special Publication 15. Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Funakawa, S., S. Tanaka, T. Kaewkhongkha, T. Hattori y K. Yanabayashi. 1997. Ecological study on the dynamics of organic matter and its related properties in shifting cultivation systems of northern Thailand. *Soil Sci. Plant Nutr.* 43: 681-693.

- Galvis-Spinola, A. 1998. Diagnóstico y simulación del suministro de nitrógeno edáfico para cultivo anuales. Tesis Doctoral en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Galvis-Spinola, A. 2000. Propuesta para generar indicadores sobre la productividad de los suelos agrícolas. pp. 351-368. *In*: Quintero-Lizaola R., T. Reyna-Trujillo, L. Corlay-Chee, A. Ibañez-Huerta y N.E. García-Calderón (eds.). La Edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Tomo I. Colegio de Postgraduados, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Harris, H., D.L. Karlen y D.J. Mulla. 1996. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and soil health. pp. 61-82. *In*: Doran, J.W. y A. Jones (eds.). Methods for assessing soil quality. Special Publication 49. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Humbert, R.P. 1974. El cultivo de la caña de azúcar. Ed. Continental. México, D.F.
- Jenkinson, D.C. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. IV. The decomposition of fumigated organisms in soil. *Soil Biol. Biochem.* 8: 203-208.
- Jenkinson, D.C. y J.N. Ladd. 1981. Microbial biomass: measurement and turnover. pp. 415-471. Volume 5. *In*: Paul, E. y J.N. Ladd (eds.). *Soil biochemistry*. Marcel Dekker. New York.
- Palma-López, D.J. y J.D. Cisneros. 2000. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. Volumen 1. 2a ed. Fundación Produce Tabasco-Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México.
- SAS Institute Inc. 1985. Statistical analysis system. Version 6.12. Cary, NC.
- Sinbad, P. 1972. Étude d'évolution des sols sous culture traditionnelle en Itante-Casamance. *L' Agr. Trop.* 27: 574-595.
- Smith, J.L. y E.A. Paul. 1990. The significance of soil microbial biomass stimulations. *Soil Biochem.* 6: 357-396.
- Sparling, G.P. 1997. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. pp. 97-105. *In*: Pankhursts, C.E., B.M. Doube y V.S.R. Gupta. (eds.). *Biological indicators of soil health*. Cab-International. Wallingford, UK.
- Uribe, G.S., V. Volke, J.D. Etchevers, A. Turrent y J.L. Oropeza. 1999. Cambios en características químicas de un entisol en terrazas de muro vivo y su relación con el rendimiento del maíz. *Agrociencia* 33: 243-250.

FERTILIZACIÓN FOLIAR EN PLANTAS DE *Annona cherimola* Mill., INOCULADAS CON HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Foliar Fertilization on *Annona cherimola* Mill. Plants Inoculated with
Arbuscular Mycorrhizal Fungi

M. J. Manjarrez-Martínez¹, A. Alarcón¹ y R. Ferrera-Cerrato^{1,2}

RESUMEN

El presente estudio se estableció en invernadero para evaluar el efecto de la fertilización foliar y la inoculación con hongos micorrizicos arbusculares (HMA) en plántulas de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.). Después de 30 días en almácigo, las plántulas se transplantaron y se inocularon con 10 g de suelo-inóculo del consorcio micorrizico *Glomus* Zac-19. Dos formulaciones foliares comerciales se asperjaron cada 15 días durante 125 días: fertilizante mineral 31-11-11 NPK (Agroleaf[®], Scotts) a dosis de 10 g L⁻¹ agua y fertilizante orgánico Humiforte[®] (a base de aminoácidos) en dosis de 17.5 mL L⁻¹ agua. Los tratamientos consistieron de plantas testigo, plantas inoculadas, plantas fertilizadas con cada fuente fertilizante y plantas con la combinación del consorcio micorrizico y las fuentes fertilizantes. A 90 días, se cuantificaron tasa fotosintética, conductancia estomática, concentración de CO₂ y contenido de clorofila (*a*, *b* y total). Las plantas se cosecharon a 125 días después del trasplante, y se evaluaron el área foliar, peso seco de follaje, volumen radical, contenido de nitrógeno foliar y porcentaje de colonización micorrizica. La tasa fotosintética fue mayor en plantas inoculadas con *Glomus* Zac-19; sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. El mayor contenido de clorofila se presentó en los tratamientos *Glomus* Zac-19 y *Glomus* Zac-19 con fertilizante orgánico. La biomasa y el contenido de nitrógeno foliar de las plantas fueron significativamente incrementados por la inoculación del consorcio micorrizico. Se observó interacción positiva entre el consorcio micorrizico con el fertilizante orgánico. La aplicación de los fertilizantes no redujo la colonización de los HMA en el sistema

radical, la cual fue mayor que 20% en los tratamientos inoculados.

Palabras clave: *Glomus* Zac-19, chirimoya, crecimiento vegetativo

SUMMARY

A study was conducted to determine the effect of foliar fertilization and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) seedlings. Thirty-day-old seedlings were transplanted and inoculated with 10 g of inoculum of the mycorrhizal consortium *Glomus* Zac-19. During 125 days, two solutions of commercial foliar fertilizer formulations were applied every 15 days. One consisted of 10 g of mineral fertilizer 31-11-11 NPK (Agroleaf[®], Scotts) diluted in a liter of water, and the second consisted of 17.5 mL of organic fertilizer Humiforte[®] (based on amino acids) diluted in a liter of water. Treatments consisted of control plants, inoculated plants, plants fertilized with each fertilizer source, and plants with the combination of the mycorrhizal consortium and the fertilizer sources. After 90 days, photosynthetic rate, stomatal conductance, concentration of CO₂, and chlorophyll content (*a*, *b* and total) in leaves were measured. Plants were harvested 125 days after transplanting, and leaf area, leaf dry mass, root volume, leaf nitrogen content, and mycorrhizal colonization were evaluated. The photosynthesis rate was higher in plants inoculated with *Glomus* Zac-19; nevertheless, no differences were observed between treatments. Treatments of *Glomus* Zac-19 and *Glomus* Zac-19 with organic fertilizers presented the highest chlorophyll *a* content. Plant biomass and nitrogen content were significantly increased by mycorrhizal inoculation. Positive interaction was observed between the mycorrhizal consortium with the organic fertilizer. Application of fertilizers did not reduce AMF colonization in the root system, which was higher by 20% in the inoculated treatments.

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

² Autor responsable (ronaldfe@colpos.mx)

Index words: Glomus Zac-19, cherimoya, vegetative growth.

INTRODUCCIÓN

La familia Anonaceae agrupa alrededor de 75 géneros conocidos, de éstos sólo tres producen frutos comestibles: *Rollinia*, *Asimina* y *Annona* (Manica, 1994). El género *Annona* está integrado por más de 100 especies distribuidas en las regiones subtropicales y tropicales del mundo y, desde tiempos remotos, han sido apreciadas por sus frutos. De entre estas especies sobresalen la guanábana (*Annona muricata*), chirimoya (*A. cherimola*), saramuyo (*A. squamosa*), anona común (*A. reticulata*), ilama (*A. diversifolia*) y el híbrido atemoya (*A. cherimola* x *A. squamosa*) (Morton, 1987).

En México, la chirimoya es una especie que ha empezado a repuntar en el mercado de las frutas debido a su exquisito sabor, alto contenido en carbohidratos, calcio y fósforo que la hacen de fácil digestión y sobre todo porque se le puede consumir en forma fresca o procesada (licores, helados y mermeladas). Asimismo, y debido a la demanda de este frutal por países como Japón, Arabia Saudita, Canadá y Estados Unidos, el interés por su cultivo ha incrementado. En México, hasta 1992 se contaba con 80 ha reportadas para este cultivo en el estado de Michoacán (SARH, 1992). En la actualidad, 518 ha se destinan a este frutal cuya producción se estima de 1744 t, las cuales son principalmente producidas en Campeche, Michoacán, San Luis Potosí, Jalisco, Oaxaca, Puebla y estado de México (Nava-Díaz *et al.*, 2000).

Existen varios problemas relacionados con la producción de las anonas en todo el mundo y México no es la excepción. De manera general, la problemática de este cultivo puede agruparse en tres categorías: 1) falta de cultivares sobresalientes para la producción en regiones de México, 2) desconocimiento del manejo agronómico del cultivo (acondicionamiento del terreno definitivo; aplicación de podas, fertilización y plaguicidas) y 3) desconocimiento de los sistemas de propagación de plantas y manejo del vivero.

El viverismo como parte de la actividad frutícola dedicada a la obtención de árboles para una plantación es de gran importancia para asegurar la productividad futura de los mismos, lo que la hace una actividad sumamente trascendente para el fruticultor (Ryugo, 1988). Esta actividad, en la actualidad, atraviesa por

una crisis de desconfianza hacia los productos químicos y biológicos que se ofrecen comercialmente. Desde el punto de vista oficial, es necesario aplicar una certificación varietal y fitosanitaria para que los productores produzcan plantas libres de plagas y enfermedades, vigorosas y de calidad en el vivero (SEP, 1981; Sotomayor y Duicela, 1988).

Para diversas especies frutícolas, la inoculación de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) en la etapa de vivero ha demostrado incrementar la producción de biomasa, acortar el periodo de estancia antes de la injertación y acelerar procesos fisiológicos que redundan en mayor desarrollo (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). Los mecanismos por los que la micorriza beneficia a las plantas son conocidos y ampliamente difundidos (Smith *et al.*, 1994; González-Chávez *et al.*, 1998; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999).

En los sistemas productivos, la respuesta a la inoculación con HMA ha sido inconsistente, debido a su interacción con diversos componentes físicos, químicos y biológicos del suelo. En los sistemas de producción de plantas en vivero, la fertilización tiene como fin, procurar la nutrición equilibrada al cultivo (Hartmann *et al.*, 2002). Sin embargo, la aplicación de fertilizantes es controversial, por un lado se menciona que la aplicación temprana de nutrimentos es innecesaria por las reservas propias de la semilla (Hanger, 1984) y, por otro lado, su uso ha sido condenado por sus efectos negativos en el ambiente.

La respuesta inmediata y a largo plazo de la aplicación de fertilizantes en el vivero, depende de muchos factores, entre los que pueden mencionarse el método y la dosis, la formulación del fertilizante y la genética misma de las plantas (Trinidad y Aguilar, 1999). En relación con estos factores, se han documentado algunas fuentes y dosis de fertilizantes aplicadas al suelo en frutales inoculados con HMA (Jaen *et al.*, 1997). Sin embargo, el efecto de fertilizantes foliares y la formulación de los mismos en plantas inoculadas con HMA se han estudiado poco. Con base en lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos formulaciones de fertilización foliar en el desarrollo de plántulas de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) inoculadas con un consorcio de HMA, en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como material vegetal se utilizaron semillas de chirimoya, colectadas en Coatepec, Harinas, estado de

México, mismas que se sembraron para su germinación, en charolas de plástico, con arena esterilizada con presión de vapor de agua (1.26 kg cm^{-2} , 3 h). Treinta días después de la germinación, las plantas de 15 cm de altura en promedio, se trasplantaron, individualmente a raíz desnuda, a bolsas de polietileno negro de 6 kg de sustrato. El sustrato de crecimiento consistió en la mezcla de arena y suelo de San Salvador Atenco (1:2 v/v), el cual presentó las características: pH de 7.1, 1.3% de materia orgánica, 0.07% de N, 16 mg kg^{-1} de P-Olsen y textura franco-arcillo-arenosa.

El consorcio micorrizico *Glomus* Zac-19, integrado por *Glomus diaphanum*, *G. albidum* y *G. clarum* (Chamizo et al., 1998), se propagó en sorgo como hospedante y arena como sustrato para obtener el inoculante que estuvo compuesto de hifas, segmentos de raíz colonizados en 68% y 560 esporas en 100 g de inóculo [método de tamizado y decantación en húmedo (Gerdemann y Nicolson, 1963)]. En el momento del trasplante, en los tratamientos que así lo contemplaban, se adicionaron 10 g de inoculante de modo que los propágulos micorrizicos estuvieran en contacto directo con la raíz.

Los fertilizantes foliares se emplearon en dos formulaciones: Agroleaf[®] (Scotts) 31-11-11 NPK mineral a dosis de 10 g L^{-1} agua (fertilizante mineral) y Humiforte[®], formulación con base en aminoácidos en dosis de 17.5 mL L^{-1} agua (fertilizante orgánico). Se realizaron aplicaciones al follaje cada 15 días durante los 125 días que duró este experimento. La aplicación de los fertilizantes se realizó entre 7:00 y 8:00 h de la mañana, para evitar problemas de evaporación o daños por quemaduras en las hojas (Taiz y Zeiger, 1998). Los riegos sucesivos se realizaron con agua corriente, cada tercer día. Durante el desarrollo del experimento, se requirió controlar la mosquita blanca (*Bemisia vaporariorum*), para lo cual se realizaron cuatro aplicaciones de Talstar (Bifentrina) a razón de 1.5 mL L^{-1} agua, en todas las plantas.

El experimento correspondió a un factorial 3^2 , el cual consideró tres tipos de fertilización (sin aplicación, fertilizante mineral y fertilizante orgánico) y dos niveles de inoculación (con y sin inoculación). En total, se consideraron seis tratamientos, con ocho repeticiones cada uno, distribuidos en un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos consistieron de plantas testigo, plantas inoculadas con *Glomus* Zac-19, plantas con fertilizante mineral

(Agroleaf[®]), plantas con fertilizante orgánico (Humiforte[®]), plantas con *Glomus* Zac-19 más fertilizante mineral, y plantas con *Glomus* Zac-19 más fertilizante orgánico.

A 90 días después del trasplante, se determinaron la tasa fotosintética ($\mu\text{moles de CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conductancia estomática ($\text{moles cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y concentración interna de CO_2 ($\mu\text{mol mol}^{-1} \text{ air}$) en una hoja madura (3ª a 4ª hoja por debajo del ápice) con un medidor portátil de gases infrarrojo LICOR-6200 (Portable Photosynthesis System). Además, se cuantificó el contenido de clorofila *a*, *b* y total (mg cm^{-2}) (Harborne, 1973).

En el momento de la cosecha, 125 días después del trasplante, se evaluaron área foliar, con un integrador de área foliar LI-COR 3100 (cm^2); peso seco de follaje (g) después de 72 h a 105°C , volumen radical cuantificado con base en el volumen de agua desplazado por la raíz en una probeta graduada (cm^3) y el nitrógeno foliar (por ciento y contenido total en hojas) mediante el método microkjeldahl. Por su parte, la colonización micorrizica se estimó con base en el procedimiento de clareo y tinción con azul tripano (Phillips y Hayman, 1970), cuantificando el porcentaje de colonización del hongo (Biermann y Linderman, 1981) mediante observación al microscopio a objetivo de inmersión (100x). Con base en la medición de la altura de la planta (cm) y el diámetro de tallo (cm), se calculó la tasa relativa de crecimiento acumulado del tallo (TRCAT) de acuerdo con la ecuación propuesta por Hurtado y Sieverding (1986):

Tasa relativa de crecimiento acumulado del tallo =

$$\frac{[3.1416 ((\text{diámetro de tallo, cm})/2)^2 + \text{altura de planta, cm}]}{\text{Edad de la planta (días)}}$$

A los datos obtenidos de cada variable, en ambas fechas de muestreo, se les aplicó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05\%$) así como un análisis de correlación de Pearson, mediante el paquete SAS para computadora (SAS Institute, 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A 90 días después del trasplante, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para la fotosíntesis y la conductancia estomática (Figuras 1a y 1b). Sin embargo, la concentración interna de CO_2

mostró diferencias significativas entre tratamientos (Figura 1c). A pesar de no presentarse diferencias significativas, los valores más bajos de fotosíntesis y conductancia estomática correspondieron a plantas testigo, así como a las plantas con la combinación de *Glomus* Zac-19 con el fertilizante orgánico y con el fertilizante mineral (Figuras 1a y 1b). Los mayores valores para la actividad fotosintética se presentaron en las plantas con la sola inoculación de *Glomus* Zac-19 (Figura 1a). Para el caso de la concentración interna de CO₂, el tratamiento con la combinación del

consorcio micorrizico y fertilizante mineral presentó significativamente el valor más bajo en comparación con el tratamiento testigo (Figura 1c). La reducida tasa fotosintética en las plantas testigo puede ser explicada con base en desbalances nutrimentales (N y P, por ejemplo), los cuales influyen directamente no sólo en la tasa fotosintética, sino también en todo el metabolismo vegetal (Flüge *et al.*, 1980). La estimulación y modificación del intercambio gaseoso en plantas inoculadas con HMA en diversas condiciones ambientales han sido descritas por

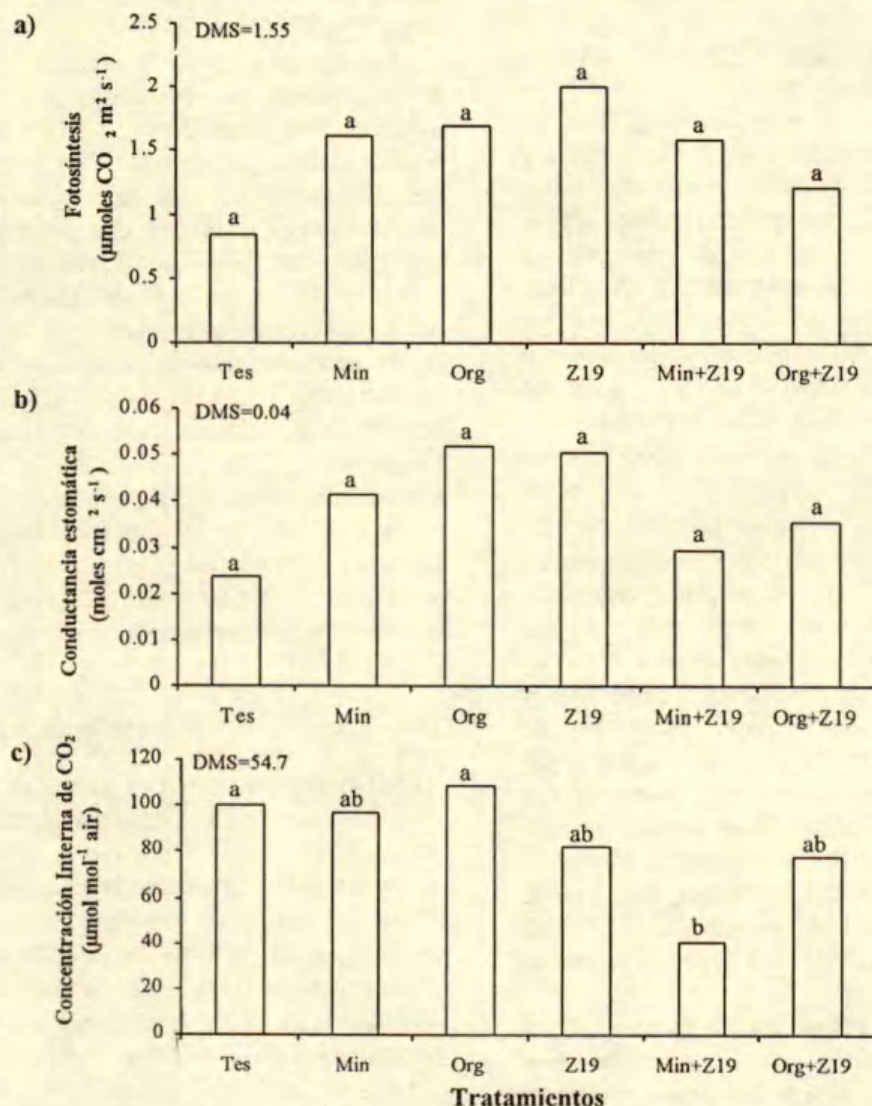


Figura 1. Fotosíntesis, conductancia estomática y concentración interna de CO₂ en *Annona cherimola* Mill. bajo el efecto de dos formulaciones foliares en interacción con *Glomus* Zac-19, a 90 días después del trasplante e inoculación. Tes = testigo, Min = fertilizante mineral (Agroleaf®), Org = fertilizante orgánico (Humiforte®), Z19 = *Glomus* Zac-19. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (Tukey, 5%). DMS = diferencia mínima significativa. n = 8.

Augé (2000); sin embargo, el efecto combinado de la inoculación de HMA con aplicación de fertilizantes, tanto orgánicos, como inorgánicos, sobre el intercambio gaseoso aún no se ha bien entendido. Manjarrez *et al.* (1999) mencionaron que la aplicación de materia orgánica en plantas de chile serrano inoculadas con HMA inhibió significativamente la tasa fotosintética y la conductancia estomática. Sin embargo, se requiere de mayor estudio para el entendimiento de este tipo de respuestas fisiológicas en plantas inoculadas con HMA.

Se reporta que la inoculación de plantas con HMA causa aumentos significativos de la tasa de fijación de CO₂ (Venanzi *et al.*, 1993; Alarcón *et al.*, 1998; Davies *et al.*, 2000). Por otro lado, las aplicaciones foliares de N-P-K conducen a la disminución temporal de la fotosíntesis neta, conductancia estomática y del mesófilo, así como la transpiración, las cuales se recuperan totalmente días después de la aplicación. No obstante, la naturaleza de este estrés y su posterior recuperación no se han definido hasta el momento y no parecen estar asociada con síntomas visibles de daño en las plantas (Boote *et al.*, 1978; Swietlik y Faust, 1984).

Los tratamientos Min, Z19, Min+Z19 y Org+Z19 presentaron mayor contenido de clorofila (*a*, *b* y total) superando estadísticamente a plantas testigo y plantas fertilizadas con el producto orgánico (Figura 2).

El incremento en el contenido de clorofila total en el tratamiento Org+Z19 fue mayor que 45% con respecto al testigo (Figura 2). No se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos con fertilizante mineral, *Glomus* Zac-19 y con *G. Zac-19* con aplicación, tanto del fertilizante mineral, como del fertilizante orgánico (Figura 2). Similar tendencia se observó para el contenido de clorofila *a*, mientras que el contenido de clorofila *b* no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Figura 2). El incremento en el contenido de clorofila total, inducido por la aplicación de fertilizantes, concuerda con lo reportado por otros autores para especies como girasol, trigo y espinaca (Evans, 1983; Evans y Terashima, 1988; Venanzi *et al.*, 1993). Sin embargo, no se cuenta con literatura que relacione la fertilización foliar con el contenido de clorofila en hojas de especies frutales, en simbiosis con HMA.

A 125 días después del trasplante, el área foliar presentó diferencias estadísticas significativas en los tratamientos *Glomus* Zac-19 y *Glomus* Zac-19 con fertilizante orgánico (Cuadro 1). El resto de los tratamientos no mostró diferencias significativas entre sí, aunque numéricamente el testigo produjo mayor área foliar en comparación con plantas fertilizadas con cada fuente fertilizante (Cuadro 1). En cuanto al peso seco del follaje, la aplicación del producto orgánico en plantas inoculadas incrementó la producción de

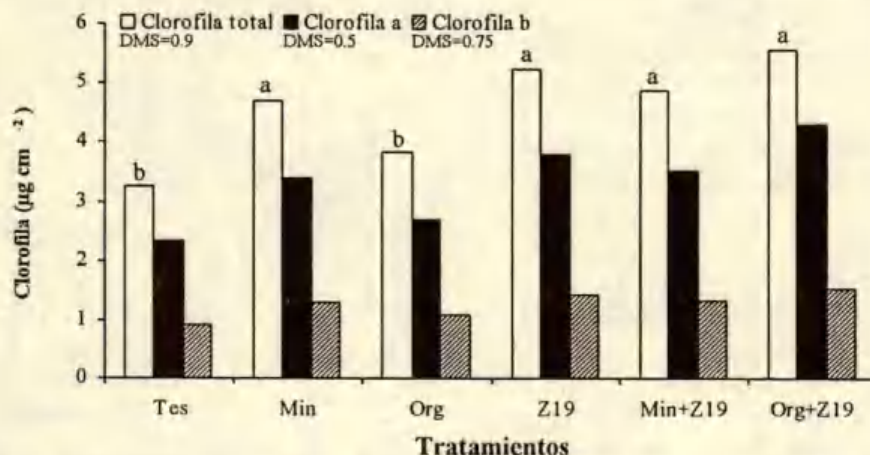


Figura 2. Efecto de dos formulaciones foliares e inoculación de *Glomus* Zac-19 en el contenido de clorofila en *Annona cherimola* Mill. Tes = testigo, Min = fertilizante mineral (Agroleaf®), Org = fertilizante orgánico (Humiforte®), Z19 = *Glomus* Zac-19, a 90 días después del trasplante e inoculación. Letras idénticas sobre las barras correspondientes a clorofila total, *a* y *b*, respectivamente, son estadísticamente iguales (Tukey, 5%). DMS = diferencia mínima significativa. n = 8.

Cuadro 1. Producción de biomasa de *Annona cherimola* Mill. fertilizada con dos fórmulas foliares e inoculadas con el consorcio micorrizico arbuscular *Glomus* Zac-19, a 125 días después del trasplante e inoculación.

Inoculación con hongos micorrizicos arbusculares	Tipo de fertilización foliar aplicada	Área foliar	Peso seco de follaje	Volumen radical
		cm ²	g	cm ³
No inoculadas	Sin	428.6 b [†]	2.55 c	9.18 c
	Fertilizante mineral [‡]	403.1 b	2.53 c	7.75 c
	Fertilizante orgánico [§]	379.5 b	2.56 c	7.50 c
Inoculadas	Sin	680.4 a	4.78 ab	13.25 ab
	Fertilizante mineral	508.1 b	3.58 bc	10.12 bc
	Fertilizante orgánico	762.7 a	5.68 a	14.87 a
	DMS	170.8	1.23	3.72
Significancia:				
Inoculación		0.01	0.01	0.01
Fertilización foliar		0.05	0.01	0.05
Inoculación*Fertilización foliar		0.01	0.01	0.01

[†] Medias con letras idénticas en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, 5%). DMS = diferencia mínima significativa. [‡] Fertilizante mineral (Agroleaf[®]); [§] Fertilizante orgánico (Humiforte[®]). n = 8.

biomasa en 56%, comparado con el testigo (Cuadro 1). El volumen radical de plantas inoculadas con el consorcio *Glomus* Zac-19 y con adición del fertilizante orgánico fue estadísticamente superior al de todos los tratamientos (Cuadro 1). Por su parte, plantas no inoculadas y con aplicación de las fuentes fertilizantes no mostraron diferencias estadísticas significativas entre sí (Cuadro 1).

La TRCAT fue significativamente mayor en los tratamientos *Glomus* Zac-19 y en el *G.* Zac-19 más la aplicación del fertilizante orgánico; este último presentó un incremento de 27% en comparación con el testigo (Figura 3). Los tratamientos testigo y *Glomus* Zac-19 más fertilizante mineral no presentaron diferencias significativas entre sí, pero la respuesta en la TRCAT fue superior a los tratamientos en los cuales sólo se aplicó la fertilización foliar. La mayor producción de biomasa se obtuvo en plantas inoculadas con aplicación del fertilizante foliar orgánico, mientras que la menor biomasa se obtuvo en el tratamiento con la sola aplicación del fertilizante orgánico. Al respecto, existen reportes acerca de la baja eficiencia de las aplicaciones foliares sobre el crecimiento de las plantas, sobre todo cuando se aplica como única fuente de fertilización (Hansen, 1980). Este efecto se observó en las plantas con la sola fertilización foliar, cuyo crecimiento no fue significativo con respecto a plantas testigo. El factor fertilización no produjo incrementos favorables en las variables mencionadas en comparación con los obtenidos por el factor inoculación y en la combinación de ambos factores (Cuadro 1; Figura 3). La fertilización foliar por si sola no fue suficiente para

favorecer el vigor y el crecimiento de las plantas, por lo que su aplicación debe ser complementaria a otras prácticas de fertilización al suelo (Stevanovic y Dzamic, 1998; Vieira *et al.*, 1998; Lovatt, 1999; Trinidad y Aguilar, 1999; Favela *et al.*, 2000).

La aplicación del fertilizante orgánico produjo mayor respuesta significativa en el porcentaje de nitrógeno, en comparación con plantas testigo (Figura 4a). En cuanto a la inoculación con el consorcio micorrizico, la mejor respuesta se observó con la combinación con el fertilizante orgánico en comparación con la sola inoculación del consorcio, sin embargo, ambos tratamientos no presentaron

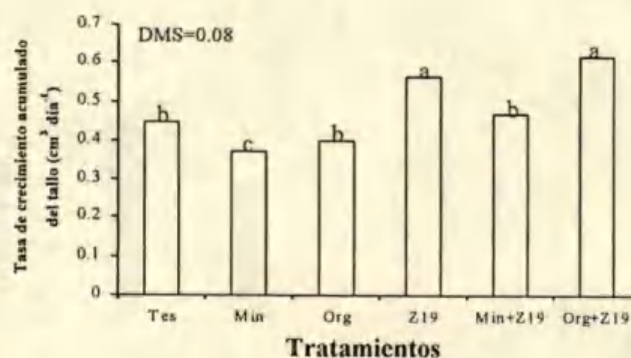


Figura 3. Efecto de dos formulaciones foliares en interacción con *Glomus* Zac-19 sobre la tasa relativa de crecimiento acumulado del tallo de *Annona cherimola* Mill., a 125 días después del trasplante e inoculación. Tes = testigo, Min = fertilizante mineral (Agroleaf[®]); Org = fertilizante orgánico (Humiforte[®]); Z19 = *Glomus* Zac-19. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (Tukey, 5%). DMS = diferencia mínima significativa. n = 8.

diferencias estadísticas significativas (Figura 4a). No obstante, con base en los resultados obtenidos en cuanto al peso seco del follaje (Cuadro 1), las plantas inoculadas con el consorcio micorrizico y en su combinación con el fertilizante orgánico produjeron incrementos significativos en el contenido total de nitrógeno (Figura 4b). Sin embargo, las plantas exclusivamente fertilizadas, con ambas formulaciones fertilizantes, presentaron menor contenido de este nutrimento, al igual que plantas testigo. Se puede inferir que la inoculación con el consorcio micorrizico en las plantas de *Annona cherimola* permitió un mejor aprovechamiento de la fertilización foliar, en particular cuando el fertilizante es de origen orgánico, de tal forma que se favorece el crecimiento vegetativo. Por otra parte, existen reportes que relacionan la actividad del micelio externo de HMA con la absorción y translocación de fuentes orgánicas de nitrógeno del suelo (Hodge *et al.*, 2001), así como la posible contribución del ciclo de la urea en la asimilación de NH_4^+ por la planta hospedante, el cual se describió recientemente durante el metabolismo del micelio de los HMA (Bago *et al.*, 2001).

La contribución de los HMA no sólo se relaciona con el mejoramiento de la nutrición por P, sino también con la mayor capacidad de translocación de N del suelo y su correspondiente asimilación por su hospedante, como se ha señalado en otros experimentos (Alarcón *et al.*, 2000; 2001). En este sentido, el micelio externo de los HMA contribuye en la absorción de nutrimentos contenidos en un sustrato, lo que incrementa la capacidad de aprovechamiento de los nutrimentos por la planta, así como su crecimiento y desarrollo.

Swietlik y Faust (1984) mencionaron que las plantas compensan sus requerimientos nutricionales a través de la disponibilidad de N, así como de otros macronutrimentos, en el suelo. Sin embargo, de acuerdo con la limitada disponibilidad de N en el sustrato utilizado en este experimento (Vázquez y Bautista, 1993), la presencia de los HMA en el sistema radical de las plantas compensó su crecimiento mediante la actividad de estos hongos en la absorción y translocación de nutrimentos (Smith *et al.*, 1994; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). Partiendo de este hecho, el comportamiento del crecimiento de las plantas inoculadas de chirimoya con fertilización foliar coincide con lo reportado sobre el uso de esta práctica como complemento de otras prácticas que mejoren la fertilidad de un suelo (Hansen, 1980; Russo, 1993). Sin embargo, es

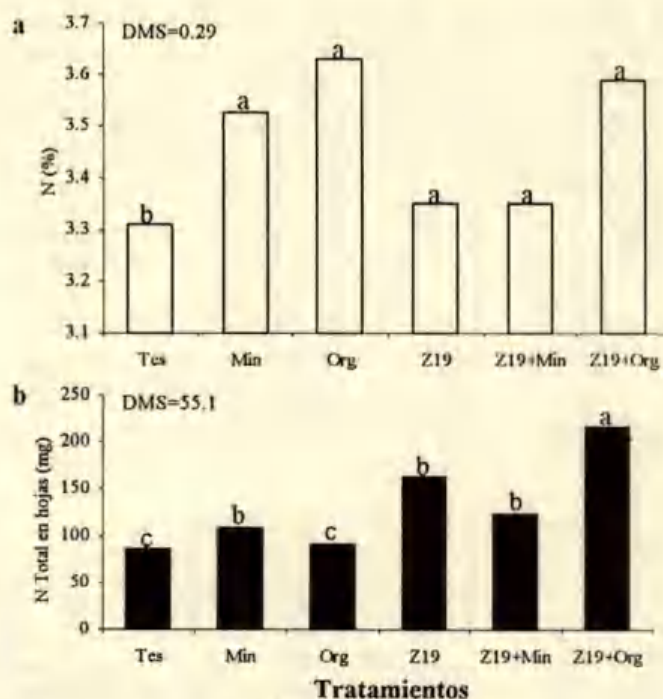


Figura 4. Por ciento (a) y contenido total (b) de nitrógeno foliar de *Annona cherimola* Mill., por efecto de la aplicación de fertilizantes foliares e inoculación de hongos micorrizicos arbusculares, a 125 días después del trasplante e inoculación. Tes = testigo, Min = fertilizante mineral (Agroleaf®); Org = fertilizante orgánico (Humiforte®); Z19 = *Glomus* Zac-19. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (Tukey, 5%). DMS = diferencia mínima significativa. n = 8.

importante considerar la fuente de fertilización por asperjar, ya que, en este caso, las plantas de chirimoya inoculadas tuvieron mayor respuesta a la fertilización con el producto de origen orgánico en comparación con el fertilizante mineral.

La respuesta de las plantas a las aplicaciones foliares de nutrimentos depende de factores relacionados con la cantidad de nutrimento absorbido por la hoja, la movilidad del nutrimento dentro de la planta y la fitotoxicidad de la solución nutritiva al follaje (Kannan, 1980). Con este contexto, las diferencias obtenidas en el crecimiento vegetal entre las dos formulaciones utilizadas pueden explicarse con base en la naturaleza de sus respectivas formulaciones. En este sentido, Widders (1991) mencionó que no se ha encontrado selectividad por los tejidos de las hojas en cuanto a la asimilación de formas orgánicas e inorgánicas de N, por lo que, probablemente, ambos fertilizantes foliares pueden presentar una tasa de absorción similar. En este caso, el aprovechamiento de cada fuente fertilizante por

la planta puede ser diferente; el fertilizante inorgánico (Agroleaf[®]) debe ser absorbido para, posteriormente, asimilar el N en forma de aminoácidos (Ruiz y Romero, 1999). El fertilizante orgánico (Humiforte[®]) es más fácilmente absorbido y transportado (Shim *et al.*, 1973), lo cual supone mayor eficiencia en la utilización del N. No obstante, algunas investigaciones con aplicación de ácidos húmicos y aminoácidos han mostrado diversos efectos en la nutrición de frutales. Como ejemplo, la aplicación de estas fuentes orgánicas ha disminuido el contenido de micronutrientes como el zinc (Pilanah y Kaplan, 2003), mientras que el contenido de hierro ha incrementado significativamente (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2002).

Widders (1991), al utilizar cuatro fuentes de N foliar (triazona -orgánico-, urea, amonio y nitrato) aplicado en jitomate, encontró que la forma nitrogenada aplicada no produjo diferencias en la absorción y translocación del mismo. Sin embargo, la forma orgánica triazona se translocó preferentemente hacia tejidos vegetativos, como tallos y hojas, en lugar de tejidos reproductivos como ocurrió con el nitrato, provocando mayor crecimiento vegetativo. Este efecto de translocación hacia tejidos vegetativos puede explicar la respuesta en crecimiento de las plantas inoculadas con aplicación de fertilizante foliar orgánico. Trinidad y Aguilar (1999) mencionaron que algunos compuestos orgánicos, como los ácidos húmicos y la urea, pueden actuar como activadores de la absorción de nutrientes aplicados en aspersiones foliares. En este caso, la constitución orgánica del fertilizante Humiforte[®] aplicado puede presentar ventajas en la absorción en la hoja y asimilación por las plantas de chirimoya, sobre todo cuando están en simbiosis con HMA. En este sentido, la condición micorrizada de una planta produce modificaciones en la morfología y fisiología de las hojas (Augé, 2000; Cruz *et al.*, 2000; Valencia *et al.*, 2000). Considerando lo anterior, es posible que los HMA puedan también contribuir directamente en la fisiología de la hoja al favorecer la permeabilidad de las células epidérmicas, así como la expresión de transportadores que faciliten la absorción de los nutrientes aplicados al follaje. No obstante, esta hipótesis de la posible inducción de mayor permeabilidad de la epidermis, así como la expresión de transportadores en hojas de plantas en simbiosis con HMA, requiere de mayor estudio para ser comprobada.

Por otra parte, la aplicación foliar de sustancias húmicas ha sido tema controversial en cuanto a su limitada capacidad de ser absorbidas y aprovechadas por las hojas. En este sentido, Marschner (1995) mencionó que el principal problema de la aplicación de fertilizantes foliares se debe a la baja tasa de penetración en hojas con gruesa capa de cutícula, rápido secado de las soluciones fertilizantes, limitada translocación de ciertos nutrientes en las hojas, entre otros factores. En el caso de las sustancias húmicas, su molécula, además de compleja, es muy grande, lo que podría dificultar su aprovechamiento. Sin embargo, este tipo de sustancias se ha intensivamente utilizado como mejoradores de la nutrición vegetal (Rauthan y Schnitzer, 1981; Trinidad y Aguilar, 1999; Sánchez-Sánchez *et al.*, 2002; Pilanah y Kaplan, 2003).

Con relación al porcentaje de colonización micorrizica total, se encontró que el tratamiento con la combinación de *Glomus* Zac-19 con fertilizante orgánico presentó el mayor porcentaje (28.5%). Sin embargo, esta superioridad sólo fue numérica, ya que no se obtuvieron diferencias significativas con los tratamientos con *Glomus* Zac-19 más la aplicación del fertilizante inorgánico (27.6%) y con *Glomus* Zac-19 (20.9%). Por otro lado, el porcentaje de arbuscúlos se comportó de manera similar. Los mayores valores se obtuvieron en los tratamientos inoculados en los cuales se aplicaron los fertilizantes foliares (22.9 y 22.0% mineral y orgánico, respectivamente) y ligeramente menor en el tratamiento con la sola inoculación de *Glomus* Zac-19 (15.7%). Esto indica que la formación de la micorriza en las plantas de *A. cherimola* no fue afectada por la fertilización foliar, por lo que es posible aplicarlos conjuntamente en las plantas propagadas en el vivero.

De acuerdo con el análisis de correlación de Pearson, el valor de correlación entre la colonización total y el porcentaje de arbuscúlos fue de 96%. Por otra parte, la colonización total tuvo 63% de correlación, tanto con el peso seco de follaje, como con el volumen radical ($P \leq 0.001$). Estos valores son indicativos de que la promoción del crecimiento de las plantas fue influida directamente por la colonización de los HMA en el sistema radical. En este sentido, aun cuando se presentó baja colonización en las plantas inoculadas, ésta contribuyó significativamente en la promoción del crecimiento vegetativo y nutrición por nitrógeno, efectos que González-Chávez *et al.* (1998) y Alarcón *et al.* (2001) han discutido.

CONCLUSIONES

La aplicación por sí sola de fertilizantes foliares no produjo efectos significativos en la producción de biomasa, fotosíntesis, contenido de clorofila y contenido de nitrógeno foliar en plantas de *Annona cherimola*. Por su parte, la inoculación del consorcio *Glomus* Zac-19 tuvo un efecto significativo en la fisiología y en el crecimiento de las plantas. El efecto de la aplicación del fertilizante orgánico Humiforte® contribuyó en incrementos significativos del crecimiento y contenido de nitrógeno foliar en las plantas inoculadas con el consorcio micorrízico. El porcentaje de colonización de los hongos dentro de la raíz de chirimoya no fue disminuido por la fertilización foliar con ambas fuentes utilizadas. Los resultados indican que la fertilización con el producto orgánico puede ser empleado de manera conjunta con la inoculación con HMA, en los sistemas de producción de plantas en el vivero.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento otorgado para la realización de la presente investigación a través del proyecto 31947-B "Bioproducción de Frutales Exóticos en Vivero". Los autores agradecen al Dr. Frederick T. Davies (Department of Horticultural Sciences, Texas A&M University) los comentarios y sugerencias para el mejoramiento del escrito.

LITERATURA CITADA

- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra* 17: 171-191.
- Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato, A. Villegas-Monter y J.J. Almaraz. 1998. Efecto de la simbiosis micorrizica en la fotosíntesis de *Citrus volkameriana* Tan & Pasq. pp. 119-125. *In: Zulueta-Rodríguez, R., M.A. Escalona-Aguilar y D. Trejo-Aguilar* (eds.). Avances de la investigación micorrizica en México. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. México.
- Alarcón, A., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 2000. Efecto de hongos micorrizicos 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.
- Alarcón, A., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 2001. Efectividad de *Glomus fasciculatum* y *Glomus etunicatum* en el crecimiento de *Vitis vinifera* L. micropropagadas. *Terra* 19: 29-35.
- Andrés, A.J. y A. Regollar. 1996. El cultivo de la chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) en el estado de Michoacán. Centro Regional Universitario Centro-Occidente. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Augé, R.M. 2000. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3-42.
- Bago, B., P. Pfeffer y Y. Schachar-Hill. 2001. Could the urea cycle be translocating nitrogen in the arbuscular mycorrhizal symbiosis? *New Phytol.* 149: 4-8.
- Biermann, B. y R.G. Linderman. 1981. Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae. A proposed method towards standardization. *New Phytol.* 87: 423-432.
- Boote, K.J., R.N. Gallaher, W.K. Robertson, K. Hinson y L.C. Hammond. 1978. Effect of foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybeans. *Agron. J.* 70: 787-791.
- Chamizo-Checa, A., R. Ferrera-Cerrato y L. Varela. 1998. Identificación de especies de un consorcio del género *Glomus*. *Rev. Mex. Micol.* 14: 37-40.
- Cruz, A.F., T. Ishii y K. Kadoya. 2000. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on tree growth, leaf water potential, and levels of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid and ethylene in the roots of papaya under water-stress conditions. *Mycorrhiza* 10: 121-123.
- Davies Jr., F.T., A.A. Estrada-Luna, T.L. Finnerty, J.N. Egilla y V. Olalde-Portugal. 2000. Applications of mycorrhizal fungi in plant propagation systems. pp. 120-138. *In: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato* (eds.). Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Mundi Prensa. México, D.F.
- Evans, J.R. 1983. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiol.* 72: 297-302.
- Evans, J.R. e I. Terashima. 1988. Photosynthetic characteristics of spinach leaves growth with different nitrogen treatments. *Plant Cell Physiol.* 29: 157-165.
- Favela, C.E., J.I. Cortés F., G. Alcántar G., J.D. Etchevers B., G. Baca C. y J. Rodríguez A. 2000. Aspersiones foliares de zinc en nogal pecanero en suelos alcalinos. *Terra* 18: 239-245.
- Flüge, U.I., M. Freisl y H.W. Heldt. 1980. Balance between metabolite accumulation and transport in relation to photosynthesis by isolated spinach chloroplast. *Plant Physiol.* 65: 574-577.
- Gerdemann, J.W. y T.H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46: 234-244.
- González-Chávez, M.C., R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en frutales. Universidad Autónoma de Tlaxcala-Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Hanger, B.C. 1984. Importance of early nutrition in plants. *Plant Propagators* 34: 124-134.
- Hansen, P. 1980. Yield components and fruit development in "Golden Delicious" apples as affected by the timing of nitrogen supply. *Scientia Hort.* 12: 243-257.
- Hartmann, H.T., D.E. Kester, F.T. Davies Jr. y R.L. Geneve. 2002. *Plant propagation, principles and practices*. 7th ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.
- Hodge, A., C.D. Campbell y A.H. Fitter. 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen from organic material. *Nature* 413: 297-299.
- Hurtado, T. y E. Sieyerding. 1986. Estudio del efecto de hongos formadores de micorriza vesículo-arbuscular (MVA) en cinco especies latifoliadas regionales en la zona geográfica del Valle de Cauca, Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 16: 109-115.

- Jaen, C.D., A.E. Becerril R., M.T. Colinas L. y J.A. Santizo R. 1997. Crecimiento y producción de fresa inoculada con *Glomus mosseae*, asperjada con AG_3 y fertilizada con NPK. *Agrociencia* 31: 165-169.
- Kannan, S. 1980. Mechanism of foliar uptake of plant nutrients: accomplishments and prospects. *J. Plant Nutr.* 2: 717-735.
- Lovatt, C.J. 1999. Management of foliar fertilization. *Terra* 17: 257-264.
- Manica, I. 1994. Fruticultura-cultivo das anonáceas. Atacherimóla-Graviola. EVANGRAF. Porto Alegre, Brasil.
- Manjarrez, M.J., R. Ferrera-Cerrato y M.C. González-Chávez. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra* 17: 9-15.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition: of higher plants. Academic Press, London, UK.
- Morton, J.F. 1987. Annonaceae. pp. 65-90. *In: Fruits for warm climates*. Creative Resources Systems. Winterville, NC.
- Nava-Díaz, C., S. Osada-Kawasoe, G. Rendón-Sánchez y V. Ayala-Escobar. 2000. Organismos asociados a chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.) en Michoacán, México. *Agrociencia* 34: 217-226.
- 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.
- Pilanah, N. y M. Kaplan. 2003. Investigation of effects on nutrient uptake of humic acid applications of different forms to strawberry plant. *J. Plant Nutr.* 26: 835-843.
- Rauthan, B.S. y M. Schnitzer. 1981. Effects of a soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. *Plant Soil* 63: 491-495.
- Ruiz, J.M. y L. Romero. 1999. Cucumber yield and nitrogen metabolism in response to nitrogen supply. *Sci. Hort.* 82: 309-316.
- Russo, V.M. 1993. Effects of fertilizer type and rate, and liming on banana squash yield. *J. Plant Nutr.* 16: 1821-1828.
- Ryugo, K. 1988. Fruit culture: its science and art. John Wiley, New York.
- Sánchez-Sánchez, A., J. Sánchez-Andreu, M. Juárez, J. Jordá y D. Bermúdez. 2002. Humic substances and amino acids improve effectiveness of chelate FeEDDHA in lemon trees. *J. Plant Nutr.* 25: 2433-2442.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1992. Anuario Estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. México, D.F.
- SAS Institute, Inc. 1995. SAS/STAT User's guide. Version 6.03. Cary, NC.
- SEP (Secretaría de Educación Pública). 1981. Guía de planeación y control de las actividades frutícolas. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Shim, K.K., J.S. Titus y W.E. Splittstoesser. 1973. The fate of carbon and nitrogen from urea applied to foliage of senescing apple trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 98: 360-366.
- Smith, S.E., V. Gianinazzi-Pearson, R. Koide y J.W. Cairney. 1994. Nutrient transport in mycorrhizas: structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis. *Plant Soil* 159: 103-113.
- Sotomayor, H.I. y G.L. Duicela. 1988. Manual práctico de semilleros y viveros de café. Instituto Nacional Autónoma de Investigaciones Agropecuarias. Quevedo, Ecuador.
- Stevanovic, D.R. y R.A. Dzamic. 1998. The effect of foliar nutrition on root morphology in pear seedlings. *Acta Hort.* 477: 149-152.
- Sugiyama, N. y M. Hirooka. 1993. Uptake of ammonium-nitrogen by blueberry plants. *J. Plant Nutr.* 16: 1975-1981.
- Swietlik, D. y M. Faust. 1984. Foliar nutrition of fruit crops. *Hort. Rev.* 6: 287-355.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 1998. *Plant physiology*. 2nd ed. Sinauer Publishers. Sunderland, MA.
- Trinidad S., A. y D. Aguilar M. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra* 17: 247-255.
- Valencia, F.S., J. González C., J.T. Frías H., M.E. Salas G., G. Virgen C., V. Olalde-Portugal y F.T. Davies Jr. 2000. Influencia de *Glomus fasciculatum* en el intercambio de gases y calidad de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.). pp. 170-178. *In: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato (eds.) Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. Mundí Prensa. México, D.F.
- Vázquez, A.A. y N. Bautista A. 1993. Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Venanzi, G., M. Lupattelli, N. Poccheschi y G. Frenguelli. 1993. Photosynthetic characteristics of *Helianthus annuus* L. as affected by nitrogenous fertilizers. *Photosynthetica* 28: 29-35.
- Vieira, R.F., E.J.B.N. Cardoso, C. Vieira y S.T.A. Cassini. 1998. Foliar application of molybdenum in common beans. I Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. *J. Plant Nutr.* 21: 169-180.
- Widders, I. E. 1991. Absorption and translocation of foliar applied triazone-N as compared to other nitrogen sources in tomato. *J. Plant Nutr.* 14: 1035-1045.

COMPARACIÓN PRELIMINAR DE DOS MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL EN DURAZNO, EN ZACATECAS, MÉXICO

Preliminary Comparison of Two Methods of Nutritional Diagnosis on Peach in Zacatecas, Mexico

R. Guerrero-Acosta¹, J.J. Avelar-Mejía¹, A. Lara-Herrera^{1,2}, A.F. Rumayor-Rodríguez², J.J. Llamas-Llamas¹ y J. Hernández-Martínez¹

RESUMEN

Este trabajo se realizó en cinco municipios del estado de Zacatecas con el objetivo de evaluar el estado nutricional del durazno con dos métodos de diagnóstico: 1) intervalos de suficiencia y 2) Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS). El muestreo foliar se realizó en 80 huertas de temporal y se seleccionó un árbol por huerta; la mitad de las muestras se obtuvieron de huertas de alto rendimiento ($> 5 \text{ kg árbol}^{-1}$) y la otra mitad, de bajo rendimiento; se colectaron 50 hojas por árbol. De cada huerta también se obtuvo una muestra representativa de suelo. En las muestras de follaje y de suelo se determinaron las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B; además, se determinaron pH, conductividad eléctrica (CE), textura y contenido de materia orgánica (MO) del suelo. El estado nutricional del durazno se determinó comparando los resultados de los análisis foliares con: 1) los intervalos de suficiencia y 2) las diferencias entre las poblaciones de alto y bajo rendimiento de las normas DRIS. No se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.5$) en textura, pH, MO, CE y concentración de nutrientes entre suelos de huertas de alto y bajo rendimiento. El estado nutricional en follaje, determinado con el intervalo de suficiencia, fue diferente al obtenido con el DRIS. En el primer caso, sólo se encontraron deficiencias de Zn, tanto en huertas de alto, como de bajo rendimiento. Se obtuvieron diferencias significativas (t de Student), en Ca, Mg y B; los árboles con alto rendimiento presentaron mayor concentración foliar de Ca y Mg y los de bajo rendimiento de B, en tanto que las normas DRIS indicaron que el Mg, Zn, Ca y N fueron los

nutrientes con mayor variación y, por lo tanto, los más limitativos en la producción de durazno en Zacatecas.

Palabras clave: *Prunus persica* L., sistema integrado de diagnóstico y recomendación.

SUMMARY

This work was carried out in five municipalities of the State of Zacatecas, Mexico, and the objective was to evaluate peach nutritional status with two diagnostic methods: 1) sufficiency ranges and 2) diagnostic and recommendation integrated system (DRIS). Leaf samples were collected from 80 orchards with no irrigation, selecting one tree from each orchard. Half of the samples were collected from high-yield orchards while the other half from low-yield orchards; fifty leaves was the sample size from each orchard. A representative soil sample was also collected. N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, and B contents were determined on leaf and soil samples; and also pH, electrical conductivity (EC), texture, and organic matter (OM) content were determined on soil samples. Peach nutritional status was determined by comparing leaf analysis results with: 1) sufficiency ranges and 2) the DRIS norms differences between high- and low-yield populations. No significant differences ($P = \leq 0.5$) were found regarding texture, pH, OM content, EC, and nutrient concentration between high- and low-yield orchard soils. Ca and Mg showed a lower content in low-yield trees, nevertheless, soil samples showed no critical contents. Foliage nutritional status, determined by sufficiency range, was different from that of DRIS. In the first case, only Zn deficiencies were found both in high- and low-yield orchards. Study results showed significant difference (t Student) in Ca, Mg, and B. High yield trees showed higher foliar Ca and Mg concentration while low-yield trees showed higher B concentration; on the other hand, DRIS norms pointed out that Mg, Zn, Ca, and N were the nutrients with

¹ Unidad Académica de Agronomía, Universidad Autónoma de Zacatecas, Jardín Juárez 147, 98000 Zacatecas, México.

² Autor responsable (alara204@hotmail.com)

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 18, 98500 Zacatecas, México.

greatest variation and, therefore, the most limiting factors of peach production in Zacatecas.

Index words: *Prunus persica* L., diagnostic and recommendation integrated system.

INTRODUCCIÓN

En el mundo, México ocupó, en 1991, el noveno lugar en superficie plantada con durazno (*Prunus persica* L.) (ITESM, 1995); las 42 247 ha con que cuenta el país, producen 175 751 t de fruta con un valor de \$ 891 223 763 pesos. En México, Zacatecas ocupó, en 1994, el primer lugar con 60.5% de la superficie plantada; aporta 23.7% (27 098 t) de la producción y genera alrededor de 124 millones de pesos (ITESM, 1995). De la superficie plantada, 89% se cultivan en temporal y 11% en riego. En el estado participan 25 municipios en la producción de durazno, destacando por orden de importancia: Jerez, Sombrerete, Fresnillo, Valparaíso, Chalchihuites y Calera, que representan 86% de la superficie total del estado (INEGI, 2001). Los rendimientos medios de durazno en la región son de 2.0 y 6.0 t ha⁻¹ en temporal y riego, respectivamente. Estos bajos rendimientos se deben al efecto de varios factores desfavorables, entre los que se cuentan las heladas tardías, la heterogeneidad de las huertas, las sequías, el origen de las plantas, las plagas y enfermedades, el manejo deficiente de las huertas y la fertilización inadecuada.

En Zacatecas sólo se fertilizan 47% de la superficie establecida con durazno. En las plantaciones con riego, se fertilizan 95%, mientras que sólo 40% de las de temporal (INEGI, 2001). Esta condición indica que son pocos los productores de temporal que fertilizan; pero, además, los que lo hacen, en general no toman en cuenta las deficiencias nutrimentales de sus árboles ni la manera de corregirlas; sólo fertilizan en la época de lluvias; aplicando al suelo N, P y K, pero sin tomar en cuenta los demás nutrimentos. Más aún, con frecuencia, los fertilizantes se aplican después de que aparecen los síntomas de deficiencia.

Los esfuerzos por resolver la inadecuada fertilización del durazno en Zacatecas datan de varias décadas; sin embargo, no fue hasta la de 1980 cuando Valdéz *et al.* (1988) desarrollaron unas normas DRIS para durazno en Jerez, Zacatecas, pero sólo utilizaron 24 árboles de una huerta, por lo cual no se consideraron representativos. Por consiguiente, a

la fecha, no se cuenta con información precisa que indique cuáles y en que magnitud son las deficiencias nutrimentales en este cultivo. Con base en la información anterior y la necesidad de contar con diagnósticos nutrimentales para el durazno en Zacatecas, los objetivos del presente trabajo fueron determinar el estado nutrimental del cultivo de durazno en condiciones de temporal con dos métodos de diagnóstico y generar sus normas DRIS. Las hipótesis fueron: 1) en Zacatecas, en condiciones de temporal, el cultivo de durazno presenta desbalances nutrimentales, y 2) en el durazno, la disminución del rendimiento está relacionada con las deficiencias de más de un nutrimento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se realizó en 2003 con fruticultores cooperantes de los municipios de Jerez, Sombrerete, Valparaíso, Fresnillo y Calera, en Zacatecas, México (entre 22° 35' y 23° 40' N, y 102° 46' y 103° 38' O).

El muestreo foliar se realizó en 80 huertas de durazno de temporal; se seleccionó un árbol por huerta, con edades entre 10 y 15 años y diámetro de tronco de 10 a 15 cm. Con base en la superficie plantada, en Jerez se seleccionaron 34 árboles, en Sombrerete 20, en Valparaíso 6, en Fresnillo 10 y en Calera 10. En cada municipio, la mitad de las muestras se obtuvieron en huertas de alto rendimiento (más de 5 kg árbol⁻¹) y la otra mitad en huertos de bajo rendimiento (menos de 5 kg árbol⁻¹). El muestreo se llevó a cabo del 15 de junio al 15 de agosto y se realizó en una sola ocasión, cuando la concentración de nutrimentos en el follaje tiende a nivelarse (Johnson, 1993). De cada árbol se colectaron 50 hojas completas (lámina y peciolo), provenientes de la parte media de brotes de 20 a 40 cm de longitud localizados en los cuatro puntos cardinales de la copa de los árboles muestreados y a una altura promedio de 1.30 m (Toledo y Etchevers, 1988). Además, se tomó una muestra compuesta de suelo en cada huerta, constituida por cuatro muestras simples, tomadas en dirección a los puntos cardinales, en el perímetro que formó la copa del árbol, a una profundidad de 0 a 40 cm, utilizando una barrena tipo espiral.

Las hojas de cada muestra se colocaron en bolsas de plástico etiquetadas y se trasladaron al laboratorio en un recipiente aislante térmico a 3 °C. Una vez en el laboratorio, se lavaron en dos ocasiones con agua potable, enseguida con agua destilada y el exceso de

humedad se eliminó con papel absorbente. Después, se secaron a 60 °C durante 48 h de acuerdo con la metodología de Toledo y Etchevers (1988).

En el follaje se determinó el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B, mientras que, en el suelo, además de los elementos mencionados, se determinaron pH, conductividad eléctrica (CE), textura y contenido de materia orgánica (MO), utilizando las metodologías que indicaron para ello Toledo y Etchevers (1988).

Para conocer el estado nutrimental del durazno, se compararon los valores promedio de elementos determinados en el follaje y en el suelo de los 80 árboles muestreados, con los intervalos de suficiencia ya establecidos por diferentes investigadores (Ballinger *et al.*, 1966; Westwood, 1982; Bennet, 1993; Johnson, 1993) (Cuadro 1). Se realizó un análisis estadístico utilizando la prueba "t" de Student para determinar diferencias en las concentraciones de nutrimentos entre huertas de alto y bajo rendimiento. Para determinar la relación entre la concentración de nutrimentos en el suelo y en el follaje con el rendimiento de durazno, se efectuó un análisis de correlación con el uso del paquete SAS, Versión 6.04 (SAS Institute, 1998).

Las normas DRIS preliminares se generaron con el banco de datos de los resultados de los análisis foliares de las 80 muestras. Cada muestra representó a una huerta y se relacionó con su rendimiento, según la metodología propuesta por Beaufils (1973) y Sumner (1977). Las 80 muestras se separaron en dos grupos, uno de alto y otro de bajo rendimiento. En cada grupo se calcularon la media (\bar{x}), la desviación estándar (DS), la varianza (S^2) y el coeficiente de variación (CV), de cada relación de nutrimentos (N/P, N/K, N/Ca, etc.). Para la generación de las normas DRIS, se utilizaron cocientes y productos; entre los cocientes de las expresiones N/P y P/N, se seleccionó el que tenía la relación de varianza mayor de los grupos de bajo y alto rendimiento. La media y el coeficiente de variación de la población de alto rendimiento se usaron como normas de referencia. El uso de cocientes o productos entre las concentraciones de pares de nutrimentos se hizo con base en la variación de la concentración de los nutrimentos con la edad de las hojas (Medina, 1991). Tomando en cuenta lo anterior, en durazno, el N, P, K, Zn y B disminuyen con la edad; en cambio, el Ca, Mg, Fe y Mn no lo hacen (Westwood, 1982). Si ambas concentraciones de nutrimentos aumentan o disminuyen con la edad de las hojas, se utilizan los cocientes (N/P, Ca/Mg, ...),

pero si divergen, se utilizan los productos (N x P, Ca x Mg) (Sumner, citado por Medina, 1991). Posteriormente, se hicieron pruebas de homogeneidad de varianzas, para discriminar y estimar significancias entre las formas de expresión de ambas poblaciones, utilizando el grado de significancia de $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio Comparativo entre el Estado Nutrimental del Follaje y del Suelo

No se encontró correlación significativa entre la concentración de los nutrimentos en el follaje y el rendimiento de los grupos de baja y alta producción. El contenido nutrimental en el follaje del cultivo de durazno, comparado con la concentración media de los intervalos de suficiencia reportados por otros autores (Cuadro 1), indicó que los nutrimentos analizados se encuentran en una condición normal; el Zn fue el único nutrimento que se encontró deficiente, por lo que se concluye que, de acuerdo con estos valores, el contenido nutrimental del follaje es el apropiado para la producción del cultivo de durazno en huertas de temporal (Cuadro 1).

En el análisis de suelo se encontraron resultados similares en el contenido de nutrimentos entre los suelos de las huertas de alto y bajo rendimiento. La concentración de éstos no indicó excesos o deficiencias. Sin embargo, ninguno de los nutrimentos correspondió a la condición normal; el K, Mn y Fe se encontraron en mayor concentración que la condición mencionada (Cuadro 2). El pH promedio (7.3) se encontró dentro de los valores óptimos para el cultivo; la concentración de MO resultó ser baja (1.1%).

Cuadro 1. Contenido nutrimental promedio del follaje en árboles de durazno comparados con la media de los intervalos de suficiencia reportados por Ballinger *et al.* (1966), Westwood (1982), Jones *et al.* (1991) y Johnson (1993). Zacatecas, 2003.

Nutrimento [†]	Normal	DO [‡]
N	2.63 - 3.34	3.26
P	0.14 - 0.27	0.16
K	1.30 - 2.85	1.43
Ca	1.34 - 2.68	1.47
Mg	0.24 - 0.67	0.37
Fe	99 - 364	170.6
Mn	40 - 220	56.0
Zn	20 - 50	19.0
B	20 - 58	42.31

[†] Macronutrimentos expresados en % y micronutrimentos en mg·kg⁻¹.

[‡] = Datos obtenidos en el presente trabajo.

Cuadro 2. Contenido nutrimental promedio y principales propiedades en suelos de huertas de durazno en Zacatecas comparados con valores estándares reportados por Castellanos *et al.* (2000). Zacatecas, 2003.

Nutri-mento [†]	Deficiente	Excesivo	Normal	DO [‡]
N	< 6.7	66.9-80.2	26.8 - 40.1	24.4
P	< 4	> 61	21 - 30	9.5
K	< 100	> 1000	200 - 300	323
Ca	< 500	> 6000	1500 - 2500	1045
Mg	< 50	> 1200	200 - 400	122
Mn	< 2	> 50	7 - 12	45
Zn	< 0.3	> 8.1	1.3 - 2.5	0.9
Fe	< 3	> 50	9 - 12	18
B	< 0.4	> 3	1.1 - 1.5	0.4
pH	< 4.6	> 8.9	6.5 - 7.3	7.3
MO [†] (%)	< 0.8	NR	1.8 - 2.3	1.1
CE [‡] (dS m ⁻¹)	NR [#]	> 4	< 2	0.45

[†] en mg·kg⁻¹; [‡] MO = materia orgánica; [‡] CE = conductividad eléctrica; [#] = datos obtenidos en el presente trabajo; * = no reportado.

Estimación de la Significancia Estadística del Contenido Nutrimental Foliar y de Suelo

Al respecto, Sánchez (1999) y Castellanos *et al.* (2000) mencionaron que, para una región árida, un contenido de MO $\geq 1\%$ se considera normal. Ninguno de los suelos muestreados presentó problemas de sales (Cuadro 2).

Los resultados del análisis de suelo (Cuadro 2) sugieren la posibilidad de que la baja producción de fruta sea debida a otros factores que no se evaluaron en el presente trabajo, en especial la restricción de humedad que impide el flujo de nutrimentos y éstos no pueden ser absorbidos por la planta.

Al comparar los resultados del análisis foliar entre los grupos de alto y bajo rendimiento, la prueba de "t" (Student) mostró diferencia significativa para Ca, Mg y B. Dicha comparación indicó que los árboles con alto rendimiento presentaron mayor concentración de Ca y Mg, mientras que en los de bajo rendimiento, el contenido de B fue mayor. Las concentraciones del

resto de los nutrimentos analizados no fueron estadísticamente diferentes entre los dos grupos de árboles de durazno (Cuadro 3). Entre los suelos correspondientes a las huertas de alto y bajo rendimiento, no se detectaron diferencias significativas en textura, pH, MO, CE y concentración de nutrimentos.

Generación de Normas DRIS

Con el cálculo de las normas DRIS resultaron las relaciones nutrimentales siguientes (cocientes y productos): a) el Mg se relacionó con N, P, K, Fe, Mn, Zn, Ca y B; b) el Zn con N, P, K, Fe, Mn, Ca y B; c) el Ca con P, K, Fe, Mn y B; d) el N con P, Mn, Ca y B; e) el Fe con N, P, K y B; f) el Mn con P y Fe; g) el P con K y B; h) el K con N y Mn; i) el B con K y Mn. Dichas normas DRIS también indicaron que el Mg, Zn, Ca, N y Fe presentaron los mayores intervalos de variación respecto a otros nutrimentos, por lo cual puede considerarse que fueron los factores nutrimentales más limitativos de la producción de durazno en el estado de Zacatecas (Cuadro 4). Al respecto, Mourão y Azevedo (2003) reportaron gran dificultad para que exista consistencia y correspondencia entre los valores de los intervalos de suficiencia de los nutrimentos con el rendimiento, debido en especial a la variación de los nutrimentos en relación con la edad de la hoja. Por tal razón, consideraron esencial el momento y las características de las hojas de naranjo al tomar la muestra. Sin embargo, con las normas DRIS puede encontrarse alta correlación entre el índice de balance nutrimental y el rendimiento; además, tienen la ventaja de representar la nutrición mineral de manera integral, debido a que se basa en las relaciones del contenido de los nutrimentos en el follaje de las plantas, independientemente de la etapa de desarrollo del cultivo y de la posición de las hojas en el árbol (Walworth y Sumner, 1987; Wertmann *et al.*, 1992).

Cuadro 3. Estimación del nivel de significancia entre el contenido nutrimental en follaje de huertas de durazno (*Prunus persica* L.) de alto (A) y bajo (B) rendimiento en Zacatecas, 2003.

Grupo	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	B
	----- % -----			----- mg kg ⁻¹ -----					
A	3.16	0.15	1.36	1.62	0.41	165.20	57.50	20.60	38.70
B	3.37	0.16	1.50	1.32	0.34	176.20	54.70	17.50	46.00
t [†]	NS	NS	NS	*	*	NS	NS	NS	*

[†] = prueba "t" de Student. * = diferencias significativas (Tukey, P \leq 0.05); NS = no significativo.

Cuadro 4. Valores de referencia o normas DRIS (sistema integrado de diagnóstico y recomendación) para durazno (*Prunus persica* L.) de temporal en Zacatecas, 2003.

Expresión de nutrientes ¹	Norma ²	CV ³	Expresión de nutrientes	Norma	CV
	\bar{x}	%		\bar{x}	%
N/P	22.07	26.17	Zn x Mn	0.39	94.35
N x Mn	0.06	37.97	Zn x Ca	14.80	88.00
N x Ca	2.19	41.47	Zn/B	0.62	97.95
N/B	0.09	35.84	Ca x P	11.89	47.30
P/K	0.12	43.64	Ca x K	1.27	41.76
P/B	0.00	43.15	Ca/Fe	0.01	45.36
K/N	0.44	33.91	Ca x Mn	0.04	47.62
K x Mn	0.02	47.42	Ca x B	0.04	47.62
Fe x N	52.80	43.90	Mg x N	0.13	59.81
Fe x P	1165.06	50.57	Mg x P	2.98	60.95
Fe x K	124.66	39.76	Mg x K	0.32	53.94
Fe x B	4.20	49.25	Mg/Fe	0.00	46.95
Mn x P	401.80	40.27	Mg/Mn	0.00	50.22
Mn/Fe	0.38	45.58	Mg x Zn	0.02	74.01
Zn/N	6.32	67.80	Mg/Ca	0.26	41.43
Zn/P	133.82	70.29	Mg x B	0.01	52.24
Zn/K	16.31	75.05	B/K	29.95	44.77
Zn x Fe	0.14	73.28	B x Mn	0.72	43.31

¹ Macronutrientes expresados en % y micronutrientes en mg·kg⁻¹ con base en peso seco. ² = basadas en la población de alto rendimiento: > 5 kg árbol⁻¹. ³ = coeficiente de variación.

Prueba de Igualdad de Varianzas

De acuerdo con los datos del Cuadro 5, se consideran al Zn, Mg, Ca y N como los nutrientes con mayor intervalo de variación debido a que presentaron valores altamente significativos en la prueba de homogeneidad de varianzas; el Zn con N, P, K, Fe, Mn, Ca y B; el Mg con N, P, K, Fe, Mn, Zn y Ca; el Ca con P y Mn y el N con Ca. En segundo término, resultaron significativas las relaciones del N con P y B; Fe con N y B, así como el N con P. Al respecto, Sumner (1977) y Mourão y Azevedo (2003) señalaron que las proporciones diferentes en el contenido de estos nutrientes pueden influir en la baja producción de frutos. Es posible que el Ca y el Mg limiten la producción, ya que se encontraron en menor concentración en los árboles de bajo rendimiento (Cuadro 3); sin embargo, el contenido de estos nutrientes en el suelo no fue crítico (Cuadro 2); por lo cual, su deficiencia no es concluyente. Lo que sí es un hecho es la variación existente entre los nutrientes en el follaje, aun cuando las causas pueden estar determinadas por factores diversos.

Las relaciones nutrimentales que fueron significativas (Cuadro 5) no tienen concordancia con los resultados obtenidos al comparar el contenido de los nutrientes en el follaje con los intervalos de suficiencia reportados (Cuadro 1). El Zn, Mg, Ca y N, que mostraron la mayor variación en relación con los demás nutrientes, aparentemente no son críticos con el esquema del intervalo de suficiencia nutrimental, ya que se encuentran normales en la mayoría de las muestras, pero, al realizar la prueba de homogeneidad de varianzas, se corrobora la alta significancia que tienen esas relaciones entre los nutrientes. Otra razón por la cual no existe concordancia entre los resultados obtenidos en el análisis foliar (Cuadro 1) y los de las normas DRIS (Cuadro 5), se debe a que, en el primer caso, son cantidades absolutas y, en este último, se utilizaron relaciones entre los contenidos de los nutrientes.

La comparación de la efectividad de los intervalos de suficiencia y niveles críticos con el DRIS ha sido evaluada por varios autores. Hallmark y Beverly (1994) encontraron alta correspondencia de los niveles críticos y de las relaciones entre nutrientes (DRIS), con el rendimiento de soya, pero el diagnóstico con

Cuadro 5. Prueba de homogeneidad de varianzas para las normas DRIS generadas para durazno (*Prunus persica* L.) en el estado de Zacatecas 2003.

Expresión de nutrientes	Varianza	Significancia	Expresión de nutrientes	Varianza	Significancia
N/P	0.489	*	Zn x Mn	5.208	**
N x Mn	0.679	NS	Zn x Ca	3.577	**
N x Ca	4.329	**	Zn/B	5.230	**
N/B	0.440	*	Ca x P	1.977	**
P/K	0.763	NS	Ca x K	1.595	NS
P/B	0.630	NS	Ca/Fe	1.343	NS
K/N	0.569	NS	Ca/Mn	2.709	**
K x Mn	0.936	NS	Ca x B	0.857	NS
Fe x N	0.433	*	Mg x N	5.451	**
Fe x P	0.538	NS	Mg x P	3.670	**
Fe x K	1.203	NS	Mg x K	3.002	**
Fe x B	0.470	*	Mg/Fe	2.895	**
Mn x P	0.566	NS	Mg/Mn	3.013	**
Mn/Fe	1.114	NS	Mg x Zn	5.757	**
Zn/N	6.825	**	Mg/Ca	3.284	**
Zn/P	17.168	**	Mg/B	1.517	NS
Zn/K	4.267	**	B/K	1.088	NS
Zn x Fe	2.57	**	B x Mn	0.311	*

NS = no significativo; * = significativo a $P < 0.05$; ** = altamente significativo a $P < 0.01$.

el DRIS tuvo menos variabilidad. Wortmann *et al.* (1992) encontraron con el DRIS más precisión que con el nivel crítico para predecir la respuesta a la aplicación de fertilizantes del cultivo de frijol; también reportaron que con el DRIS la edad de la planta afectó menos al diagnóstico. Bell *et al.* (1995) recomendaron que para que puedan ser comparables con el DRIS, deben ser generados con la misma base de datos, lo cual puede explicar la falta de correspondencia entre estas dos metodologías en el presente trabajo, debido a que se utilizaron referencias de intervalos de suficiencia generados en otras condiciones. Baldock y Schalte (1996) consideraron que las dos metodologías mencionadas no deben contraponerse sino que son complementarias para hacer diagnósticos nutrimentales. En general, los autores citados reconocen más precisión, estabilidad y correlación entre las relaciones de los nutrientes (DRIS) y el rendimiento de los cultivos que los niveles críticos de los nutrientes; sin embargo, en todos los casos se requiere de un mayor número de observaciones de análisis foliar y rendimiento por árbol, para incrementar la base de datos y generar normas DRIS más confiables.

CONCLUSIONES

- El estado nutrimental del durazno, determinado con el intervalo de suficiencia, fue diferente al obtenido

con el DRIS. En el primer caso, sólo se detectó deficiencia de zinc, mientras que con el DRIS, se encontraron intervalos altos de variación de Mg, Zn, Ca y N con respecto a otros nutrientes.

- Las normas DRIS calculadas para el durazno indican que los nutrientes Mg, Zn, Ca y N y sus relaciones como cocientes o productos: Mg con (N, P, K, Fe, Mn, Zn y Ca), Zn con (N, P, K, Fe Mn, Ca y B), Ca con (P) y N con (Ca), son los más limitativos de la producción de durazno en Zacatecas.

- El cultivo de durazno de temporal en el estado de Zacatecas presentó desbalances nutrimentales, por lo cual no se rechaza la primera hipótesis.

- No se presentó correlación entre las concentraciones de nutrientes y la producción de fruta de durazno, por lo tanto, se rechaza la segunda hipótesis.

LITERATURA CITADA

- Baldock, J.O. y E.E. Schalte. 1996. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. *Agron. J.* 88: 448-456.
- Ballinger, W.E., H.K. Bell y N.F. Childers. 1966. Peach nutrition. pp. 276-390. *In*: Childers, N.F. (ed.). *Nutrition of fruit crops temperate, sub-tropical, tropical.* Somerset Press. Somerville, NJ.
- Beaufils, E.R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *Soil Sci. Bull.* 1. University of Natal. Pietermaritzburg, South Africa.

- Bell, P.F., W.B. Hallmark, W.E. Sabbe y D.G. Dombeck. 1995. Diagnosing nutrient deficiencies in soybean, using M-DRIS and critical nutrients level procedures. *Agron. J.* 87: 859-865.
- Bennet, W.F. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. American Phytopathological Society. St. Paul, MN.
- Castellanos, J.Z., J.X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Celaya, Guanajuato, México.
- Hallmark, W.B. y R.B. Beverly. 1994. Soybean seed yield and nutrient diagnoses as related to plant nutrient balance. *Commun. Soil Plant Anal.* 25: 1239-1253.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2001. Anuario estadístico del estado de Zacatecas. Aguascalientes, México.
- ITESM (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey). 1995. Identificación de oportunidades y diseño de estrategias para el sector agropecuario del estado de Zacatecas: durazno. Centro de Planeación Agropecuaria. Monterrey, Nuevo León, México.
- Johnson, R.S. 1993. Stone fruit: peaches and nectarines. pp. 171-175. *In:* Bennet, W.F. (ed.). Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. American Phytopathological Society. St. Paul, MN.
- Jones, J.B., B. Wolf y H.A. Mills. 1991. Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing. Athens, GA.
- Medina-Medina, M.D.C. 1991. Desarrollo de normas DRIS para nogal pecanero en la Comarca Lagunera. *Terra* 9: 69-78.
- Mourão F., F.A. y J.C. Azevedo. 2003. DRIS norms for Valencia sweet orange on three rootstocks. *Pesq. Agropec. Bras.* 38: 85-93.
- Sánchez, E.E. 1999. Nutrición mineral de frutales de pepita y carozo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Río Negro, Argentina.
- SAS Institute. 1998. SAS/STAT User's Guide: Statistics Release 6.11. Cary, NC.
- Sumner, M.E. 1977. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8: 251-252.
- Toledo-Martínez, R. y J.D. Etchevers-Barra. 1988. Estado nutricional de los cítricos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. *Terra* 6: 140-150.
- Valdéz-Cepeda, R.D., M.H. Pérez-Barraza y J.L. Chan-Castañeda. 1988. Nutrición del duraznero. pp. 161-190. *In:* Chan-Castañeda, J.L. (ed.). El duraznero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, México.
- Walworth, J.L. y M.E. Sumner. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Adv. Soil Sci.* 6: 149-188.
- Westwood, N.M. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Wortmann, C.S., J. Kisakye y O.T. Edje 1992. The diagnosis and recommendation integrated system for dry bean: determination and validation of norms. *J. Plant Nutr.* 15: 2369-2379.

DIAGNÓSTICO CAMPESINO DE LA SITUACIÓN AGRÍCOLA EN HOCABÁ, YUCATÁN

Rural Farm Diagnostic of the Agricultural Situation in Hocabá, Yucatán

Francisco Bautista-Zúñiga^{1†}, Javier García² y Aliza Mizrahi²

RESUMEN

En México, con frecuencia los problemas agropecuarios son identificados desde una perspectiva disciplinaria e interpretativa de una realidad no propia en la que se omite la opinión de los campesinos. En este trabajo, se plantea la realización de un diagnóstico de la situación agrícola en el municipio de Hocabá Yucatán, con base en el conocimiento campesino y técnico para diseñar opciones de solución. En el municipio de Hocabá se realizan, al menos, cuatro tipos de milpa: roza, tumba y quema, caña de primero y segundo años y milpa con cultivos de cobertera. Según 85% de los campesinos entrevistados, la lluvia es la causa más importante que limita la agricultura en el municipio de Hocabá, lo cual se explica por las características de la precipitación pluvial derivadas de la estacionalidad y la frecuencia de la lluvia, así como por la escasa retención de humedad de los suelos. El barbecho es la segunda causa (5%), en tercer lugar, la proliferación de arvenses (3%) y, en cuarto, la fertilidad (3%) y tipo de suelo (1%).

Palabras clave: lluvia, barbecho, arvenses, fertilidad del suelo, heterogeneidad del suelo.

SUMMARY

In Mexico, agricultural problems are often identified from a disciplinary and interpretative perspective in which that of rural farmers is omitted. In this work, the aim was to perform a diagnostic of the agricultural situation in Hocabá, Yucatán, based on the knowledge of rural farmers and technicians, for designing solution options. In the municipality of

Hocabá, farmers carry out, at least, four types of milpas: slash and burn milpa, cane milpa of first and second years, and corn with cover crops. According to 85% of the farmers, rain is the most important factor that limits agriculture in Hocabá, due to the characteristics of rain (one short season and frequency) and by the low water retention capacity of the soil. Fallow was the second cause (5%), the third was weeds (3%), and the fourth cause was soil fertility (3%), and soil type (1%).

Index words: rain, fallow, weeds, soil fertility, soil heterogeneity.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Yucatán coexisten dos culturas, la maya actual y la mestiza, producto de la fusión de española con maya. La agricultura refleja las diferencias culturales: la tradicional maya de milpa con roza, tumba y quema (RTQ), con el manejo del solar y de la vegetación natural; la mestiza con monocultivos, como los cítricos y pastizales; y el henequén, que es una mezcla de ambas culturas. La toma de decisiones sobre el establecimiento de la política agrícola no considera a la diversidad agrícola y, por lo tanto, se generan problemas productivos, ambientales y sociales.

En Yucatán, se cultivan alrededor de 170 000 ha con RTQ constituyendo, a nivel nacional, la mayor extensión cultivada con este sistema (INEGI, 2000). El cultivo de la milpa tradicional maya consiste, de manera general, en seleccionar y abrir la vegetación en la época seca, se cortan las hierbas y arbustos (roza), posteriormente se cortan los árboles (tumba) y se pican las ramas, el material se quema cuando está seco y antes de las primeras lluvias. El suelo se cultiva por dos o tres años, se deja "descansar" a causa de la disminución de la fertilidad del suelo y de la proliferación de arvenses. Los campesinos recomiendan que el periodo de descanso o barbecho sea de 20 años.

En la década de los noventa, los campesinos obtenían escasa producción de maíz, de 1.5 t ha⁻¹ en el primer año y, 0.75 t ha⁻¹, en el segundo (Arias,

¹Departamento de Ecología, ²Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales, FMVZ, Universidad Autónoma de Yucatán, km 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil, Yucatán, México.

[†] Autor responsable (fbautista@tunku.uady.mx)

1995). En la actualidad, se está utilizando vegetación de cuatro años de barbecho, lo cual ocasiona que la producción de maíz, en el primer año, sea menor que 1000 kg ha^{-1} y alrededor de 500 kg ha^{-1} en el segundo año. Si se mantiene esta tendencia, y considerando que el tiempo ideal de barbecho es de 20 años, muy pronto faltarían tierras para producir los alimentos para la población humana de esta región e incluso comenzaría a escasear la leña, como ha ocurrido en otras áreas de México en las que los suelos se han degradado.

Los problemas agropecuarios son identificados desde una perspectiva disciplinaria e interpretativa de una realidad no propia e incluso desde una cultura ajena, es decir, sin tener en cuenta a los actores principales que son los campesinos, lo cual genera diagnósticos incompletos y sesgados. El uso del conocimiento local (COLO) es de suma importancia para lograr diagnósticos completos y detallados.

En América Latina, la gente local (sean indígenas, campesinos o productores), a través de su experiencia, ha acumulado conocimiento sobre las propiedades, el funcionamiento y el manejo de los recursos naturales. El COLO presenta las siguientes características: restringido geográficamente, considera la dinámica temporal, es colectivo, diacrónico y holístico; producto de una larga historia de observación, análisis y manejo de los recursos naturales que es transmitido de forma oral de generación en generación (Martínez-Montoya y Ortiz-Solorio, 1992; Toledo, 2000). El COLO incluye la información sobre paisaje, geformas, vegetación, animales, hongos, minerales, suelos y acuíferos (Sandoval y Martínez, 1995; Cruz-Balcázar *et al.*, 1998; Barrera y Zinck, 2000; Bautista-Zúñiga *et al.*, 2003a,b; 2004).

Los sistemas productivos diseñados con base en el COLO se sustentan principalmente en las interacciones ecológicas, por lo cual, a menudo, son energéticamente eficientes; pero presentan limitaciones económicas al no estar dirigidas al mercado sino al autoconsumo (Barrera y Zinck, 2000).

El objetivo de este trabajo fue la realización de un diagnóstico de la situación agrícola en Hocabá Yucatán, con base en el conocimiento campesino y el técnico para identificar los principales problemas que limitan las actividades agropecuarias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Hocabá se encuentra en el estado de Yucatán a $20^{\circ} 49' \text{ N}$ y $89^{\circ} 15' \text{ O}$ al interior de una planicie estructural de 10 m de altitud (Bautista *et al.*, 2003a). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano con una precipitación media anual de 800 a 1200 mm. La temperatura media anual es de 25° C (Orellana *et al.*, 1999). La asociación de suelos dominante es Rendzina/Litosol con fases líticas y pedregosas (INEGI, 1984). La vegetación es selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia (Flores y Espejel, 1994). El principal uso de suelo es agropecuario, ocupando 67.3% de la superficie (Palacio *et al.*, 2000).

El estudio se realizó en el año 1997. En el diagnóstico se realizaron 55 encuestas con campesinos milperos y con parcelas de henequén con 26 preguntas abiertas y 27 cerradas. Las encuestas tuvieron la finalidad de conocer los aspectos agrícolas, como tipos de milpa, tiempo y tipo de barbecho, así como los efectos del clima y suelo. La información campesina se comparó con estudios realizados en la zona, así como con análisis de agua y suelo.

Para explorar los posibles riesgos del uso agrícola del agua del acuífero, se analizaron los datos no publicados de los pozos de monitoreo de la Comisión Nacional del Agua y los de Pacheco y Cabrera (1995). Las muestras se tomaron durante la época seca. Se calcularon la salinidad efectiva y la salinidad potencial; la relación de absorción de sodio (RAS), el carbonato de sodio residual (CSR), el tipo de catión y anión dominantes, y la mezcla de iones.

Se realizaron recorridos de campo con campesinos de origen maya bilingües para realizar observaciones sobre los suelos, dichas observaciones se compararon con lo reportado por Bautista-Zúñiga *et al.* (2004). Para estimar la calidad de las clases de tierra campesinas, se tomaron muestras de suelo de la superficie de 75 parcelas. Las muestras se tamizaron y se secaron al aire, para posteriormente analizar la mineralización anaerobia potencial de nitrógeno (MAPN), se incubaron por siete días y se midió el amonio al inicio y al final de la incubación. La MAPN se consideró como un indicador del nitrógeno biológicamente activo (Drinkwater *et al.*, 1996).

Se realizaron dos perfiles de suelo en cada una de las formas de terreno que predominan en la planicie: altillos y planadas. Los perfiles se describieron de acuerdo con FAO-ISRIC (1990). Las muestras de suelo se tomaron por horizonte. Los análisis fueron:

color por comparación con las tablas Munsell; separación y medición de la tierra fina y grava; porcentaje de grava por tamizado a 2 mm; textura por el método del densímetro de Bouyoucos; pH por el método potenciométrico relación suelo:agua 1:2.5; carbonato de calcio equivalente por el método de titulación ácida; materia orgánica con dicromato de potasio; capacidad de intercambio de cationes y cationes intercambiables desplazados con acetato de amonio y medidos con espectroscopía de absorción atómica (Okalebo *et al.*, 1993). Los suelos se clasificaron de acuerdo con la base de referencia mundial del recurso suelo [WRB (FAO-SICS-ISRIC, 1998)].

Se hace una discusión sobre la política agrícola llevada al cabo en el municipio de Hocabá con base en los resultados de este estudio y con el uso de suelo reportado por Palacio *et al.* (2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipos de milpa

En el municipio de Hocabá, Yucatán se desarrollan cuatro tipos de milpa: 1) milpa de roza, tumba y quema con vegetación arbustiva y arbórea; 2) milpa caña de primer año, es decir, en un lugar en el que ya hubo milpa de RTQ; 3) milpa de segundo año, proveniente de una milpa caña de primer año;

y 4) milpa intensiva restringida a realizarse en las planadas con suelos profundos del tipo Cambisol o Luvisol, en ellas se utilizan estiércol, labranza manual con azadón y cultivos de cobertera (CC) con leguminosas herbáceas, entre las que destaca *Mucuna deeringianum*, y las leguminosas locales, como *Ib grande (Phaseolus lunatus)*, *Ib chico (P. lunatus)*, *Xcolibuul (P. vulgaris)* y *Espelón (Vigna unguiculata)* (Figura 1). Todos los campesinos tienen milpas de RTQ, algunos tienen milpas caña de primer año, unos cuantos milpa caña de segundo año y sólo 2% tienen milpas intensivas.

En la siembra se colocan juntas las semillas de maíz y las de los cultivos acompañantes, se realiza con palo sembrador y se colocan ocho semillas por golpe (hoyo). La siembra se realiza al inicio de la época de lluvia, en general al final del mes de mayo. La distancia de siembra es de 1 x 1 m, se utiliza una variedad de maíz local denominada *Xmeje nal* para los suelos de *Boxlu'um* y una variedad mejorada para los suelos de *Kancab*.

El control de las arvenses se realiza a 30 días después de la siembra (DDS) y un segundo deshierbe a 60 DDS. Cuando la mazorca ya está formada, se procede a la "doble" para protegerla de la humedad y de las aves. La cosecha del grano se realiza conforme el campesino la necesita.

En las milpas de RTQ, caña de primero y segundo años se cultivan camote, yuca y maíz en las partes



Figura 1. Esquema simplificado de los tipos de milpa en Hocabá, Yucatán. CC = cultivos de cobertera.

bajas del relieve, en las que predomina el *Kancab* (Cambisol/Luvisol). En las partes altas del micro y meso relieve con *Boxlu'um* (Leptosol principalmente), se cultiva maíz con calabaza y frijol.

En las milpas intensivas el cultivo principal es maíz. Los CC se siembran de 15 a 30 DDS del maíz, con esto se impide la siembra de camote, yuca, frijol y calabaza, pero se controlan las arvenses, se abona el suelo, se genera semilla de uso forrajero y/o comestible dependiendo del CC. Se recomienda la evaluación de los supuestos de mejoramiento de la fertilidad y del control de arvenses por cada especie de CC utilizado, ya que la experiencia indica que no funcionan de la misma manera todas las especies de leguminosas.

Terán y Rasmussen (1994) reportaron 25 especies vegetales con 87 variantes que son cultivadas en la milpa maya, de ellas, seis son variedades de maíz con 14 variantes y nueve tiempos de duración del cultivo. Las variantes se cultivan selectivamente en los tipos de milpa, ya sean de RTQ o caña de primero y segundo año. Los tipos de milpa y las especies vegetales cultivadas encontradas en este estudio no son tan abundantes como lo reportaron Terán y Rasmussen (1994); sin embargo, es claro que la situación agrícola es más compleja que un simple cultivo de maíz, frijol y calabaza. Es de suma importancia reportar y conocer la diversidad de tipos de milpa, para generar opciones de mejoramiento acordes para cada caso específico.

Precipitación Pluvial

De los campesinos, 85% mencionaron que el principal problema que afecta la producción agrícola es la dificultad de la predicción de la precipitación y la continuidad de las lluvias. Otras causas son: historia y tiempo de uso del terreno (5%), abundancia de malezas (3%), problemas de fertilidad de suelos (3%), problemas por tipo de suelos (1%) y otros problemas (3%). Según los campesinos, la lluvia se puede adelantar o atrasar, la lluvia cae en lugares muy localizados y cuando llega es copiosa y después aparece la canícula.

El climograma de la zona revela que la precipitación anual promedio es de 998 mm con un coeficiente de variación de 16%, con un intervalo de 726 mm en el año más seco hasta 1334 mm en el año más lluvioso (Orellana *et al.*, 1999). La precipitación media mensual durante la época de lluvia es de 149 ± 70 mm en junio, 155 ± 64 mm en julio,

167 ± 73 mm en agosto, 183 ± 94 mm en septiembre y 99 ± 62 mm en octubre, con un coeficiente de variación de 47, 41, 44, 52 y 62%, respectivamente.

El promedio anual de la precipitación pluvial puede calificarse como adecuado para cuestiones agrícolas e incluso la cantidad promedio durante la época de lluvia (753 mm) es suficiente para no tener problemas agrícolas; sin embargo, los coeficientes de variación de 41 a 62% durante los meses de la época de lluvia son dos indicadores de la dificultad de predicción y de la planeación agrícola. Ante esta situación, la estrategia campesina es la siembra de hasta tres veces en el mismo sitio, así como la siembra de pequeñas superficies en diversos lugares, con un consecuente aumento de trabajo por la pérdida de algunas milpas. También se menciona una mayor intensidad en la canícula y la presencia de vientos del norte (*Xamankán* en maya) que traen agua salada durante las épocas de floración y fructificación, con una consecuente disminución del rendimiento agrícola.

La forma más común de solucionar el problema de la lluvia errática, en otras regiones del estado y con campesinos organizados o productores de mayores recursos económicos, es mediante el establecimiento de sistemas de riego. Sin embargo, según los análisis del agua de pozo de la región, el agua es dura, salina de 1.1 a 1.2 dS m⁻¹, y con un contenido de cloro de 127 a 145 mg L⁻¹ que puede ocasionar problemas de toxicidad a las plantas. El agua no presenta problemas por el carbonato de sodio residual ni por la relación de absorción de sodio, se tipifica como bicarbonatada cálcica.

Para el uso agrícola se recomienda ablandar el agua para que no propicie la precipitación de los fosfatos. El uso de agua tratada para cuestiones agrícolas obliga al uso de volúmenes pequeños en el riego.

Barbecho Campesino

La presencia de árboles de gran tamaño es el indicador principal para la selección del terreno de cultivo para 82% de los campesinos, el tipo de suelo para 32%, ausencia de pasto para 11%, vegetación verde (*Ya'ax ka'áax*) para 5%, buena cosecha en la milpa anterior para 3%, y la cercanía de las parcelas al pueblo para 3%.

Según la experiencia campesina, el tipo de uso del terreno previo a la milpa de RTQ afecta el rendimiento. Los terrenos provenientes de

henequales abandonados (*X'apach* en maya) son menos fértiles en comparación con los que provienen de otra milpa, debido a la intensidad de la explotación (de 20 a 25 años con henequén y de dos a cuatro años con milpa), y a que las raíces de la vegetación espinosa del *Xlapach* (*Pithecellobium albicans*, *Mimosa bahamensis*, *Acacia* spp., *Ceiba aesculifolia*) impiden el buen desarrollo de los cultivos de la milpa. También se dificulta el corte de los árboles (tumba) y el control de arvenses.

Los campesinos identifican que se ha reducido el tiempo de barbecho de 26 a 15 años en promedio y saben que la realización de la milpa en barbechos de cuatro años (*Hubche* en maya) se dificulta por la mayor densidad de la vegetación, lo cual ocasiona una mayor demanda de mano de obra (Cuadro 1). El rendimiento de maíz llega a fluctuar entre 125 y 500 kg ha⁻¹ dependiendo del clima y del manejo de las arvenses. Es por ello que en estas condiciones sólo se cultiva un año. Además, no se obtiene madera, sólo un poco de leña.

En barbechos de 15 años (monte joven *Ta'ankenlem k'aax* en maya), es posible cultivar la milpa dos años. La RTQ no requiere de mucha mano de obra y se obtiene leña y algo de madera. La producción de maíz, cuando la precipitación es favorable, llega a ser de 1050 kg ha⁻¹ en el primer año y de 625 kg ha⁻¹ en el segundo, debido a la proliferación de arvenses y la disminución de la fertilidad del suelo.

En barbechos de más de 20 años (*Nuukush k'aax* en maya), la tumba de la vegetación (corte de árboles) se facilita, debido a que los árboles espinosos no presentan espinas en sus troncos a esas edades. La producción de maíz en la milpa es mayor que 1 t ha⁻¹ y, aun en casos de canícula intensa, el suelo retiene humedad y, por esto, es posible alcanzar una producción de maíz de 500 kg ha⁻¹. Los beneficios forestales son abundantes.

Arvenses

Para los campesinos es claro que las arvenses influyen, de manera negativa, en la rentabilidad de la milpa, así que sólo cultivan dos años, ya que al tercer año la proliferación de arvenses es alta y su control requiere de mucho esfuerzo físico. Argumentan que las arvenses proliferan en los campos de cultivos con diversa intensidad, dependiendo del manejo y de la historia de uso de la parcela.

Cuadro 1. Percepción campesina sobre el cambio en el tiempo de barbecho.

Años de barbecho	Antes	Actualidad
		%
2 a 5	0	5
6 a 10	3	22
11 a 15	8	37
16 a 30	59	32
Mayor que 30	22	2
Desconocimiento	8	2

Las arvenses son un problema mayor en el tercer año en *Nuukush k'aax* y en el segundo año en *Hubche*.

Pool-Novelo y Hernández-Xolocotzi (1987) reportaron el empleo de 12.5 jornales ha⁻¹ en el primer año y 25 jornales ha⁻¹ para el segundo, cuando el deshierbe es total se utilizan 50 en el primer año y 100 jornales en el segundo. Además, el periodo entre la quema y el primer deshierbe se reduce de 3.5 a dos meses entre el primer y segundo año, respectivamente.

En la región, el uso de herbicidas es una práctica común y los herbicidas más utilizados son Paraquat dichloride y 2,4-D. Ambos de uso restringido en otros países. El Glifosato comienza a promoverse.

Caamal et al. (2001) recomendaron el uso de leguminosas como cultivos de cobertera para el control de arvenses, principalmente a *Mucuna deerenganum*. Los resultados de las investigaciones no publicadas y realizadas en el municipio y dentro de la misma zona agroecológica sugieren que es necesario un combate integral de las arvenses, mediante el uso alterno o combinado de cultivos de cobertera y los diversos tipos de herbicidas.

No es posible generar recetas ni paquetes tecnológicos para el manejo de las arvenses, debido a las diversas situaciones que se presentan, como barbecho, época de siembra, cultivos principales, cultivos acompañantes, precipitación pluvial, usos de cultivos de cobertera y uso de mantillos. Se sugiere analizar cada caso en especial de acuerdo con sus circunstancias particulares lo cual ayudará a una mejor toma de decisiones (Meelu, 1994). Por ejemplo, en el primer año de cultivo, el control de arvenses mediante herbicidas puede llegar a ser el más adecuado; para el segundo o tercer ciclo de cultivo, dependiendo del tipo de barbecho proveniente, el uso de cultivos de cobertera es recomendable.

Las arvenses también pueden ser vistas como un recurso, ya que se han reportado 116 especies de herbáceas de uso forrajero (Flores y Bautista, 2005).

Suelos y Heterogeneidad Espacial

La zona de estudio se encuentra al interior de una planicie ondulada, con alternancia de altillos y planadas, con suelos muy diferentes, formando un mosaico en superficies menores que 1 ha (Bautista-Zúñiga *et al.*, 2003b). En esta zona, 100% de los campesinos reconocen, de manera general, dos grupos asociados al mesorelieve: *Boxlu'um* o Leptosol (LP) en altillos y *Kankab* o Cambisol (CM) o Luvisol (LV) en planadas. Los campesinos reconocen otras clases de tierra pero de extensiones no mayores que 400 m² y que se encuentran de manera ocasional.

El LP presenta las siguientes restricciones de manejo: dificultad de enraizamiento, se dificulta la labranza mecanizada, problemas en la nutrición vegetal por el exceso de calcio asimilable y escasa retención de humedad por la baja cantidad de tierra fina.

El LV presenta una profundidad efectiva variable, de buena a muy buena, con problemas de compactación en la parte baja del perfil, sin problemas fuertes de fertilidad química, sin problemas para

el laboreo mecánico y, de manera general, es de buena aptitud agrícola. La principal desventaja radica en la fragmentación en parches que varían de 100 a 900 m² de superficie (Cuadro 2).

Bautista-Zúñiga *et al.* (2004) reportaron cuatro catenas acordes con las formas de terreno (altillo-planada) del microrelieve cárstico, los suelos son: Leptosol-Leptosol, Leptosol-Cambisol, Calcisol-Cambisol y Leptosol-Luvisol. Las catenas se encuentran en superficies menores que 0.5 ha, lo cual confirma las observaciones de los campesinos.

La heterogeneidad del suelo debe ser considerada en la realización de planes de desarrollo, ya que para los campesinos es claro que las plantas responden a las condiciones particulares de cada suelo. Por ejemplo, los campesinos, desde hace siglos, asocian al maíz una mayor diversidad de cultivos en los parches de *Kankab* que en los de *Boxlu'um*, realizando así agricultura de precisión o de sitio específico. Bautista-Zúñiga *et al.* (2003b, 2004) han diseñado una metodología fácil, rápida y económica para la elaboración de mapas parcelarios.

Cuadro 2. Descripción de los suelos localizados en altillo y planada en el karst con microrelieve de Hocabá, Yucatán.

Horizonte	Descripción
Leptosol hiperesquelético	
A	0 a 1 cm de profundidad, color en seco 7.5YR2.5/1, estructura granular muy fina estabilidad media, arena 70.6%, arcilla 15.7% y limo 13.74% y clase textural de migajón arenoso; piedras 30%, grava 50.1%, 12.4% de carbonato de calcio, con pH 8.0, 45.0% de materia orgánica (MO), 66.2 cmol _c kg ⁻¹ de capacidad de intercambio de cationes (CIC), 54.0 cmol _c kg ⁻¹ Ca, 1.8 cmol _c kg ⁻¹ Mg, 0.1 cmol _c kg ⁻¹ Na, 3.3 cmol _c kg ⁻¹ K y 100% de saturación de bases.
Ak/C	1 a 45 cm de profundidad, color en seco de 7.5YR3/1, estructura granular muy fina estabilidad baja, arena 58.8%, arcilla 17.6%, limo 23.5%, clase textural de migajón arenoso, 67.2% de grava, 25% de piedras, 4% de carbonatos, pH 8.0, 36.4% de MO, CIC de 19 cmol _c kg ⁻¹ , 19.2 cmol _c kg ⁻¹ Ca, 5.4 cmol _c kg ⁻¹ Mg, 0.4 cmol _c kg ⁻¹ Na, 3.1 cmol _c kg ⁻¹ K y 100% de saturación de cationes.
Luvisol crómico	
A	0 a 14 cm de profundidad, color en seco 5YR4/4, estructura bloques subangulares finos de estabilidad alta, arena 47.0%, arcilla 20.6% y limo 32.4% y clase textural de migajón; sin piedras, sin grava, sin carbonato de calcio, con pH 7.9, 12.3% de MO, 39.5 cmol _c kg ⁻¹ de CIC, 35.2 cmol _c kg ⁻¹ Ca, 8.3 cmol _c kg ⁻¹ Mg, 0.1 cmol _c kg ⁻¹ Na, 3.7 cmol _c kg ⁻¹ K y 100% de saturación de bases.
Bt1	14 a 34 cm de profundidad, color en seco 5YR4/5, estructura de bloques subangulares muy finos y estabilidad media, arena 39.2%, arcilla 30.4% y limo 30.4%, clase textural de migajón arcilloso, sin piedras, sin grava, sin carbonato de calcio, con pH 6.8, 5.1% de MO, 11.6 cmol _c kg ⁻¹ de CIC, 13.0 cmol _c kg ⁻¹ Ca, 1.4 cmol _c kg ⁻¹ Mg, 0.1 cmol _c kg ⁻¹ Na, 1.3 cmol _c kg ⁻¹ K y 100% de saturación de bases.
Bt2	34 a 50 cm de profundidad, color en seco 5YR4/5, estructura de bloques angulares muy finos de estabilidad media, arena 42.2%, arcilla 32.3%, limo 25.5%, clase textural de migajón arcilloso, sin piedras, sin grava, sin carbonato de calcio, con pH= 6.8, 4.2% de MO, 20.6 cmol _c kg ⁻¹ de CIC, 23.4 cmol _c kg ⁻¹ Ca, 0.7 cmol _c kg ⁻¹ Mg, 0.2 cmol _c kg ⁻¹ Na, 0.6 cmol _c kg ⁻¹ K y saturación de bases de 100%.

Fertilidad del Suelo

Los campesinos expresan que existe un claro "cansancio de la tierra" que puede traducirse como una disminución de la fertilidad, producto del menor tiempo de barbecho que ha disminuido de 26 a 15 años. En la actualidad, 59% de los campesinos están utilizando vegetación de seis a 15 años para la milpa. El argumento que los campesinos manejan se refiere a la producción, antes se utilizaban montes de 15 años y se obtenían 1500 kg ha⁻¹ en el primer año y 850 kg ha⁻¹ en el segundo; en la actualidad, la producción es de 700 y 500 kg ha⁻¹, respectivamente.

En una parcela pueden estar presentes dos o más clases de tierra con diferente calidad medida mediante la MAPN (Figura 2), también llamado nitrógeno activo del suelo. El *Kancab* es la clase de tierra de la parte baja del relieve, con menor cantidad de nitrógeno lábil biológicamente activo, pero también es la clase de tierra con mayor cantidad de tierra fina por su mayor profundidad y su menor pedregosidad en comparación con el *Boxlu'um*.

En el ambiente técnico, se han reportado problemas de fijación de P, disponibilidad de K y con una baja capacidad de retención de humedad debido a las condiciones calcáreas, al desbalance de cationes

intercambiables, y a las características hidrófobas de la materia orgánica, respectivamente. Se ha encontrado que el fósforo disponible en condiciones de campo tiende a disminuir con el tiempo de barbecho, pero la tendencia se invierte en el caso del nitrógeno en forma de nitratos. En el primer año, 29 y 39; en el sexto año, 13 y 52; y en el duodécimo año, 8 y 75 µg P y µg N por tira de resina, respectivamente (Weisbach *et al.*, 2002).

Durante la quema, muchos elementos contenidos en los compuestos orgánicos, entre ellos el fósforo, son liberados al ambiente y son el motivo del aumento de la fertilidad del suelo, pero, a medida que son reabsorbidos por las plantas, sus concentraciones en el suelo disminuyen. Por el contrario, los elementos de ciclo abierto, como el nitrógeno, aumentan con la actividad biológica del suelo producto de la acumulación de materia hojarasca y a su descomposición durante la época de lluvia.

Se han realizado experimentos que demuestran la efectividad de la adición de N, P y K (Mariaca *et al.*, 1995), también se ha probado que el uso de leguminosas como cultivos de cobertera y mantillos aumenta la producción del maíz (Camal *et al.*, 2001) y mejora algunas propiedades del suelo, pero no en todos los casos ni con la misma intensidad

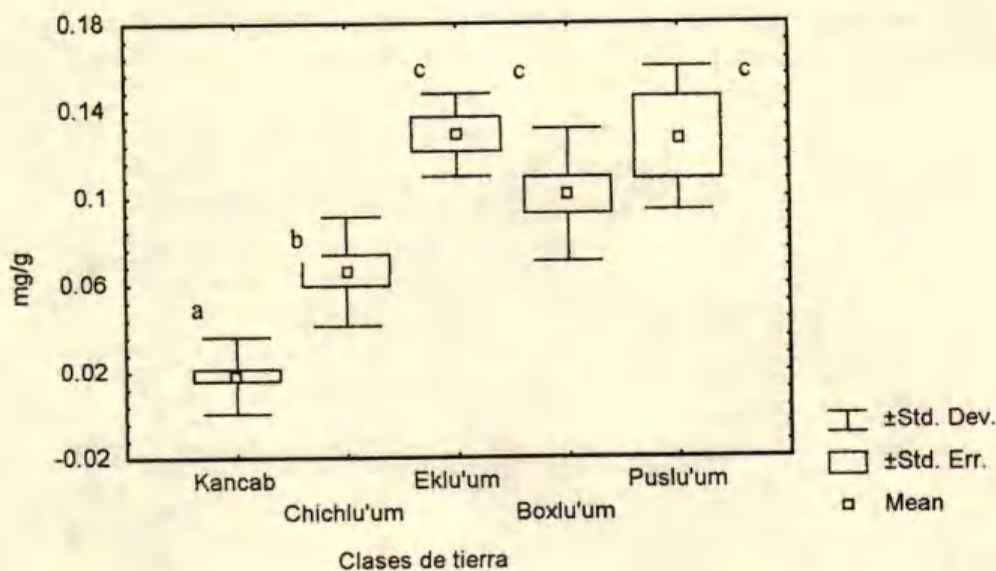


Figura 2. Fertilidad de las clases de tierra campesinas evaluada con la mineralización anaerobia potencial de nitrógeno (mg g⁻¹ de NH₄⁺).

(Muraoka *et al.*, 2002). El empleo de leguminosas herbáceas fijadoras de nitrógeno como cultivos de cobertera es una opción de mejoramiento de la fertilidad, además de la adición de materia orgánica y de la conservación de la humedad; sin embargo, los efectos benéficos potenciales de las diversas plantas utilizadas como cultivos de cobertera deben ser evaluados técnicamente y de manera integral.

Política Agrícola en el Municipio

En la actualidad, por razones económicas y políticas agrícolas del gobierno, como el PROCAMPO, los campesinos están cultivando los *Hubches* y los *Ta'ankenlem k'aax* sólo por un año, obteniendo una producción de maíz que no alcanzaría para pagar la mano de obra que se requiere para la RTQ, que es de \$ 500 ha⁻¹. De los entrevistados, 30% reciben apoyos de PROCAMPO.

El programa PROCAMPO toma en cuenta únicamente la superficie cultivada y no considera el tiempo de barbecho, ni mucho menos, la cantidad de semilla cosechada. Esta situación ocasiona que los campesinos quemen los *Hubches* y siembren, sabiendo que no obtendrán nada de cosecha. Cuando el campesino ha tumbado *Ta'ankenlem k'aax* y *Nuukush k'aax* muchas veces ya no lo cultiva para el segundo año debido a que el PROCAMPO sólo apoya milpas de primer año.

Los campesinos mostraron una clara preferencia por contar con *Nuukush k'aax*, una mayor superficie

de *Kankab*, escasa presencia de arvenses y, de este modo, obtener mejores cosechas; sin embargo, la cercanía de los terrenos de cultivo con relación al pueblo es un factor que está determinando la selección del terreno para el cultivo de la milpa, en cuatro casos, cuando: 1) alternan el trabajo de campo con otro empleo; 2) es la mujer la que se dedica al trabajo de campo; 3) edad avanzada del campesino; y 4) se opta por el PROCAMPO sabiendo que no se obtendrá producción agrícola.

Cano (2003) corroboró las opiniones de los campesinos, es decir, que el abandono del cultivo de henequén ocasiona un aumento de *Xlapach* que, a su vez, puede usarse para milpa o, para después de 20 años, convertirse en *Nuukush k'aax*. En el inventario nacional forestal se reporta que el uso agropecuario es el que más superficie ocupa con 67.3%, la selva mediana ocupa 18.3%, vegetación secundaria 11.9% y selva baja 1.7% (Palacio *et al.*, 2000). En otras palabras, 80% de la superficie se encuentra en uso, quedando el resto de selva baja y mediana con potencial de uso para hacer milpa como antes se hacía con 20 años de barbecho (Figura 3). Esta situación es preocupante, ya que ante la pérdida de una opción productiva como el henequén, los campesinos pierden oportunidades de trabajo y responden de formas diversas, según sus posibilidades: a) emigrando para buscar trabajo en otros lugares (Mérida, Cancún, Distrito Federal y Estado Unidos de América; b) regresar al cultivo de la milpa; c) venta de productos derivados

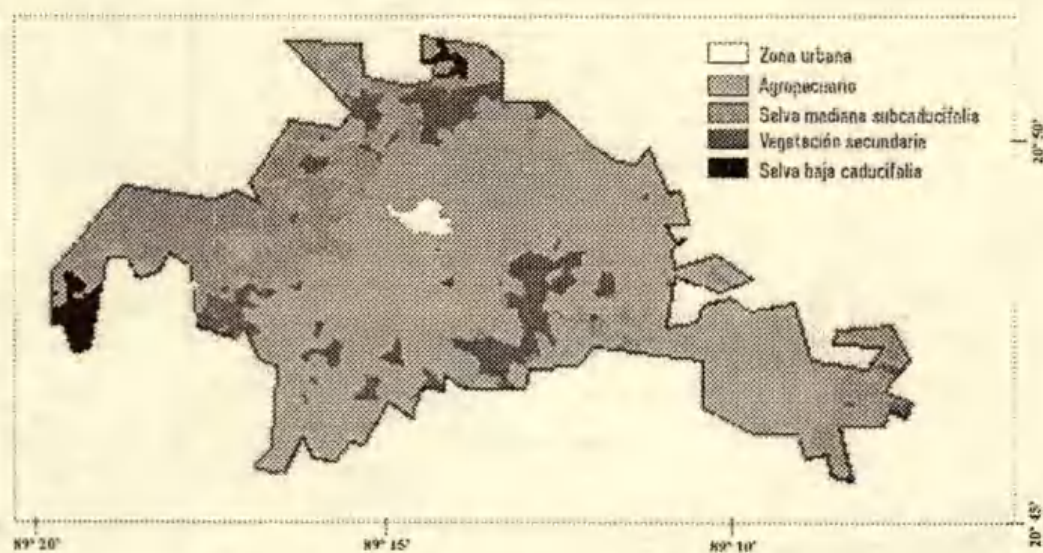


Figura 3. Uso de suelo y vegetación en Hocabá, Yucatán.

de la vegetación natural (artesanías, leña). Siendo la emigración la opción que toman los jóvenes.

La generación de oportunidades productivas se dificulta por las condiciones de karst tan particulares en esta parte de México, como heterogeneidad espacial de los suelos, escasa profundidad efectiva, gran cantidad de piedras y afloramientos rocosos, gran cantidad de calcio intercambiable, salinidad del agua del acuífero y lluvias impredecibles, principalmente. Sin embargo, los agricultores con capital han logrado buenos resultados en otros municipios con el cultivo de papaya, cítricos, sábila, chile habanero y pastos.

La política gubernamental actual, de querer convertir a los campesinos en agricultores, parece ser bien intencionada pero requiere de la participación conjunta de técnicos y campesinos para el diseño de nuevas y mejores formas de producción agropecuaria partiendo de la identificación conjunta de los problemas a abordar. Se requiere del reconocimiento mutuo de las habilidades y conocimientos de campesinos y técnicos

CONCLUSIONES

- En Hocabá, Yucatán se desarrollan cuatro tipos de milpa, milpa RQT, milpa caña de primero y segundo años, y milpa intensiva, cada una con sus variantes, que pueden ser de acuerdo con el tipo y tiempo de barbecho y con el tipo de cultivo de cobertera utilizado. Para instrumentar soluciones a los problemas agrícolas se deben tener en cuenta dichas variantes.

- La precipitación pluvial, según los campesinos, es la principal causa que limita la agricultura en Hocabá, lo cual se explica por la estacionalidad y por los coeficientes de variación en la precipitación media mensual durante la época de lluvia. En la utilización del agua del acuífero con fines de riego, debe considerarse su ablandamiento y las formas de aplicación en bajos volúmenes, como, por ejemplo, el riego por goteo. El control de las arvenses puede realizarse de manera integral, considerando el tipo de milpa. La heterogeneidad espacial del suelo debe ser considerada en la realización de planes agropecuarios a diversas escalas y en la fertilización.

- La situación agrícola en Hocabá se encuentra en crisis ante el abandono del cultivo del henequén. Las políticas agrícolas gubernamentales de asistencia a los campesinos requieren ser analizadas y corregidas, incentivando la producción agrícola en lugar del cultivo improductivo. El conocimiento local

(COLO) sobre los recursos naturales debe ser un recurso intelectual utilizado para el diseño de nuevos agroecosistemas con mayores posibilidades de inserción en el mercado y conservando las ventajas ecológicas de los sistemas tradicionales.

AGRADECIMIENTOS

Al *Interamerican Institute for Global Change Research*, al Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (B-1-99/014) y al CONACYT (R-31624-B) por el financiamiento. A G. Bocco del Instituto Nacional de Ecología por la información cartográfica y a la Comisión Nacional del Agua por los datos de la calidad del agua. El primer autor agradece la beca del Gobierno de México.

LITERATURA CITADA

- Arias, L. 1995. La producción milpera actual en Yaxcaba, Yucatán. pp. 171-199. In: Hernández, E., E. Bello y S. Levy (eds.). La milpa en Yucatán: un sistema de producción agrícola tradicional. Tomo I. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Barrera, N. y A. Zinck. 2000. Ethnopedology in a worldwide perspective: an annotated bibliography. International Institute for Aerospace Survey and Earth Science. Enschede, The Netherlands.
- Bautista, F., E. Batllori, M.A. Ortiz, G. Palacio y M. Castillo. 2003a. Geformas, agua y suelo en la Península de Yucatán. pp. 21-35. In: Larqué, A. y P. Colunga (eds.). Naturaleza y sociedad en el área maya. Academia Mexicana de Ciencias-Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Bautista-Zúñiga, F., J. Jiménez-Osornio, J. Navarro-Alberto, A. Manu y R. Lozano. 2003b. Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles cársticos. *Terra* 21: 1-11.
- Bautista-Zúñiga, F., H. Estrada-Medina, J.J.M. Jiménez-Osornio y J.A. González-Iturbe. 2004. Relación entre el relieve y unidades de suelo en zonas cársticas de Yucatán. *Terra Latinoamericana* 22: 243-254.
- Caamal, A., J. Jiménez, A. Torres y A. Anaya. 2001. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. *Agron. J.* 93: 27-36.
- Cano, L. 2003. Cambio de uso de suelo en el municipio de Hocabá, Yucatán. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 2: 45.
- Cruz-Balcázar, R., V. Volke-Haller, A. Turrent-Fernández y D. Pájaro-Huertas. 1998. Clasificación de tierras campesinas para la generación y transferencia de tecnología agrícola entre pequeños productores: caso del maíz en la región central de Veracruz. *Terra* 16: 1-10.
- Drinkwater, L., C. Cambardella, J. Reeder y C. Rice. 1996. Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biologically active soil nitrogen. pp. 217-229. In: Doran, J.W. y A.J. Jones (eds.). *Methods for assessing soil quality*. Special Publication 49. Soil Science Society of America. Madison, WI.

- FAO-ISRIC (Food and Agriculture Organization-International Soil Reference and Information Centre). 1990. Guidelines for soil profile description. 3rd (revised) ed. Rome, Italy.
- FAO-SICS-ISRIC (Food and Agriculture Organization-Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo-International Soil Reference and Information Centre). 1998. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WBR). Rome, Italy.
- Flores, J.S. y F. Bautista-Zúñiga. 2005. Inventario de plantas forrajeras utilizadas por los mayas en los paisajes geomorfológicos del estado de Yucatán. pp. 209-219. *In*: Bautista-Zúñiga, F. y G. Palacio-Aponte (eds.). Caracterización y manejo de suelos en la Península de Yucatán: implicaciones agrícolas, pecuarias y ambientales. Universidad Autónoma de Campeche-Universidad Autónoma de Yucatán-Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- Flores, J.S. e I. Espejel. 1994. Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. Etnoflora yucatanense. Fascículo 3. Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984. Mapa edafológico 1:250 000 Mérida F16-10. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2000. Anuario estadístico Yucatán. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Mariaca, R., E. Hernández, A. Castillo y E. Moguel. 1995. Análisis estadístico de una milpa experimental de ocho años de cultivo continuo bajo roza, tumba y quema en Yucatán, México. pp. 339-368. *In*: Hernández, E., E. Bello y S. Levy (eds.). La milpa en Yucatán: un sistema de producción agrícola tradicional. Tomo 2. Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México.
- Martínez-Montoya, J.F. y C.A. Ortiz-Solorio. 1992. Cartografía campesina de tierras en Villa Hidalgo, Zacatecas y su comparación con la carta edafológica. *Terra* 10: 140-150.
- Meelu, O.P. 1994. Green manuring for soil productivity improvement. World Soil Resources Report 76. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy.
- Muraoka, T., E.J. Ambrosano, F. Zapata, N. Bortoletto, A.L.M. Martins, P.C.O. Trivelin, A.E. Baoretto y W.B. Scivittaro. 2002. Eficiencia de abonos verdes (*Crotalaria* y *mucuna*) y urca, aplicados solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. *Terra* 20: 17-23.
- Okalebo, R., K.W. Gathua y P.L. Woomer. 1993. Laboratory methods of soil and plant analysis: a working manual. Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF). Nairobi, Kenya.
- Orellana, R., M. Balam, I. Bañuelos, E. García, J.A. González, F. Herrera y J. Vidal. 1999. Evaluación climática. pp. 163-182. *In*: García, A. y J. Córdoba (eds.). Atlas de procesos territoriales de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Pacheco, J. y A. Cabrera. 1995. Variabilidad espacial de la calidad del agua subterránea del estado de Yucatán. *Rev. Bol. Acad. FIUADY* 28: 11-21.
- Palacio, J.L., G. Bocco, A. Velázquez, J.F. Mas, F. Takaki, A. Victoria, L. Luna, G. Gómez, J. López, M. Palma, I. Trejo, A. Peralta, J. Prado, A. Rodríguez, R. Mayorga y F. González. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Nacional Forestal 2000. *Investigaciones Geográficas* 43: 183-203.
- Pool-Novelo, L. y E. Hernández-Xolocotzi. 1987. La intensificación de la producción maicera bajo roza-tumba-quema en Yaxcabá, Yucatán, México. *Terra* 5: 149-162.
- Sandoval L., J.J. y L.M. Martínez R. 1995. Clasificación de tierras para el manejo del suelo y agua en la subcuenca de Cuzamala, Sierra Manantlan, Jalisco. *Terra* 13: 216-230.
- Terán, S. y Ch. Rasmussen. 1994. La milpa de los mayas. Ministerio de Relaciones Exteriores del Gobierno de Dinamarca. Yucatán, México.
- Toledo, V. 2000. Indigenous knowledge on soils: an ethnoecological conceptualization. pp. 1-9. *In*: Barrera, N. y A. Zinck. Ethnopedology in a worldwide perspective: an annotated bibliography. International Institute for Aerospace Survey and Earth Science. Enschede, The Netherlands.
- Weisbach, C., H. Tiessen y J. Jiménez. 2002. Soil fertility during shifting cultivation in the tropical karst soils of Yucatán. *Agronomie* 2: 253-263.

SORGO CULTIVADO CON BIOFERTILIZANTES, FITOHORMONAS Y FÓSFORO INORGÁNICO

Sorghum Cultivated with Biofertilizers, Fito hormones, and Inorganic Phosphorus

Idalia Garza-Cano¹*, Víctor Pecina-Quintero¹, Arturo Díaz-Franco¹, Héctor Williams-Alanís¹ y José Alberto Ramírez-De León²

RESUMEN

Los suelos del norte de Tamaulipas, México se caracterizan por ser arcillosos y pobres en materia orgánica, nitrógeno y fósforo, lo que limita la producción de los cultivos. Durante los últimos años, se ha recurrido al uso de biofertilizantes para mejorar la absorción de nutrientes, agua del suelo y para mantener una agricultura sostenible, sin embargo, los resultados han sido inconsistentes. El presente trabajo se planteó con el objeto de evaluar la respuesta de la aplicación de micorrizas vesículo arbusculares y brassinoesteroides foliares en sorgo (*Sorghum bicolor*) y su relación con la adición de P al suelo (45 kg ha⁻¹) en condiciones de campo. Se observó una respuesta diferencial de los siete tratamientos con biofertilizantes en la absorción de P. El hongo *Glomus intraradices*, solo o combinado con un complejo micorrizico (CINVESTAV-4), registró las concentraciones más altas de P foliar. La adición de P al suelo no influyó en ninguna de las variables evaluadas y tampoco aumentó la colonización micorrizica. Se detectaron diferencias en el rendimiento de grano entre los biofertilizantes y la dosis de P aplicada al suelo. *Glomus fasciculatum* y el complejo micorrizico CINVESTAV-4 promovieron el rendimiento sin la adición de P al suelo, mientras que el comportamiento de *G. intraradices* no fue afectado por la dosis de P.

Palabras clave: *Sorghum bicolor*, micorrizas arbusculares, brassinoesteroides.

¹ Campo Experimental Río Bravo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apdo. Postal 172, 88900 Río Bravo, Tamaulipas, México.

² Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Apdo. Postal 1025, 88740 Reynosa, Tam., México.

* Autor responsable (garza.idalia@inifap.gob.mx)

Recibido: Febrero de 2004. Aceptado: Mayo de 2005.
Publicado como nota de investigación en
Terra Latinoamericana 23: 581-586.

SUMMARY

Soils of northern Tamaulipas, Mexico, are characterized by high clay content and low organic matter, N and P content which reduce crop production. During the last years, biofertilizers have been used to improve nutrient and water uptake; however, results have been inconsistent. The present work was carried out to evaluate sorghum (*Sorghum bicolor*) response to arbuscular mycorrhizal (AM) fungus and foliar application of brassinosteroids under field conditions. In addition to the treatments, 45 kg ha⁻¹ P were applied to the soil. Results showed different P uptake of sorghum plants to treatments of biofertilizers. *Glomus intraradices*, alone or combined with CINVESTAV-4 (a mycorrhizal complex), registered the highest concentrations of foliar P. Addition of P to the soil had no influence on the evaluated parameters nor on mycorrhizal colonization. However, different response in grain yield was observed between biofertilizers and P level. *G. fasciculatum* and CINVESTAV-4 had the highest grain yields without P and *G. intraradices* was not affected by the application on soil of P.

Index words: *Sorghum bicolor*, mycorrhizal fungi, brassinosteroids.

INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos en la región norte de Tamaulipas, México ha sido evidente durante los últimos años, debido principalmente a la erosión, a la desertificación y al monocultivo de sorgo (*Sorghum bicolor*) lo que ha provocado la disminución de la materia orgánica, la disponibilidad de agua para las plantas y la fertilidad de los suelos, lo cual se ha reflejado en la baja producción y productividad de los cultivos. Aun en ese escenario, el productor por lo general no aplica fertilización química. No obstante, se ha considerado la utilización de microorganismos benéficos, como los hongos micorrizicos vesículo arbusculares (MVA), dada su capacidad para estimular el crecimiento y desarrollo de la planta a

través de una asociación simbiótica que permita aprovechar con mayor eficiencia la humedad del suelo e incrementar la absorción de elementos minerales poco móviles y solubles, como el P y algunos microelementos como Cu, Fe y Zn (Hayman, 1982; Harley y Smith, 1983; Sylvia, 1999). Estudios regionales con MVA han demostrado incrementos en el rendimiento de sorgo (Díaz *et al.*, 2004). Sin embargo, la simbiosis puede ser afectada por diversos factores edáficos (Hayman, 1982; Hayman y Tavares, 1985) y por la interacción con otros microorganismos (Azcón-Aguilar y Barea, 1992; Linderman, 1992), lo que influye en su distribución, actividad y sobrevivencia en el suelo. Por lo anterior, las micorrizas introducidas en un sistema agroecológico deben evaluarse con base en su efectividad en el cultivo deseado (Hayman, 1982; Linderman, 1992; Sylvia, 1998). Algunos estudios han indicado que diferentes especies de MVA presentan respuesta variable a la fertilización química. Las esporas de *Gigaspora gigantea*, *G. margarita* y *Scutellispora calospora*, prácticamente desaparecen del suelo cuando se aplica fertilizante en forma continua, mientras que las esporas de *Glomus intraradices* se incrementan (Linderman, 1992). Asimismo, se ha detectado mayor actividad micorrizica cuando no existe deficiencia de P en el suelo. Las plantas inoculadas presentan mayores tasas de crecimiento comparadas con las no inoculadas (Hayman, 1982; Osonubi, 1994), ya que la actividad enzimática y el porcentaje de colonización micorrizica en las raíces se incrementan al aplicar fertilizante fosforado al suelo (Portilla *et al.*, 1997). Se ha demostrado que la efectividad de especies de MVA puede variar según la adición de P al suelo (Linderman, 1992; Bressan *et al.*, 2001).

En los últimos años ha cobrado importancia el uso de la fitohormona basado en brassinoesteroides como promotora del crecimiento y del desarrollo de las plantas (Clouse y Sasse, 1998), o bien, para reducir el estrés en condiciones de sequía. Su uso ha incrementado significativamente el rendimiento en otros cultivos (Mandava, 1988; Sairam, 1994) que en sorgo, para el cual no existen precedentes.

El presente trabajo se planteó con el objetivo de evaluar la respuesta de MVA y brassinoesteroides y su relación con dos dosis de P, en las características de planta y en el rendimiento de grano de sorgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el año 2000 en Rio Bravo, Tamaulipas, México (25° 57' N y 98° 0' O). El suelo es de textura arcillosa, deficiente en materia orgánica (0.79%), N (5.0 mg L⁻¹) y P (9.56 mg L⁻¹), y con pH alcalino (7.91) (Plenecassagne *et al.*, 1999). Se utilizó el híbrido de sorgo RB-3030. Los tratamientos fueron: a) *Glomus fasciculatum* [Campo Experimental General Terán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)], b) *G. intraradices* (INIFAP); c) complejo (g⁻¹ de suelo) MVA del desierto CINVESTAV-4 (CINVESTAV, Irapuato); todos en concentraciones mínimas de 200 esporas g⁻¹ de suelo, en dosis de 1 kg para 8 kg de semilla ha⁻¹, para la mezcla se utilizaron 0.5 L de agua y 60 mL de carboxi metil celulosa. La inoculación se realizó un día antes de la siembra; d) brassinoesteroides (CIDEF-4[®]), 10 g ha⁻¹ en dos aplicaciones foliares hasta antes de la floración con intervalos de 15 días; e) Flower Saver[®] [mezcla de MVA, rizobacterias fijadoras de N, solubilizadoras de P y promotoras de crecimiento; extractos de yuca (*Yucca schidigera*) y algas marinas (*Ascophylum nodosum*), según fabricante], tratamiento a la semilla (1 kg ha⁻¹), inoculación a semilla (1 kg ha⁻¹); f) combinación de *G. intraradices* + complejo MVA CINVESTAV-4 1+1 kg ha⁻¹; y g) testigo absoluto. Todos los tratamientos se evaluaron combinados con dos dosis de P (0 y 45 kg ha⁻¹) aplicado en la siembra en forma de superfosfato triple de calcio. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, donde las parcelas grandes fueron la dosis de P y, las parcelas chicas, los tratamientos. La parcela experimental constó de tres surcos de 5 m de longitud, separados 0.8 m y con cuatro repeticiones. El manejo agronómico del cultivo se realizó según las recomendaciones locales para riego (Montes y Aguirre, 1992). Se determinó el porcentaje de colonización micorrizica radical mediante un muestreo destructivo al azar de 10 plantas por parcela después de floración, con base en el método reportado por Phillips y Hayman (1970). Durante la floración se evaluó el índice de clorofila en la hoja bandera de 10 plantas por parcela, para lo cual se utilizó el medidor portátil de clorofila Minolta[®] SPAD-501. Además, se evaluó la biomasa total aérea en 10 plantas por parcela y se realizó un análisis químico foliar de N, P y K (Plenecassagne *et al.*, 1999). El rendimiento de grano se estimó en un surco de 5 m

por parcela y se ajustó a 14% de humedad. Los datos se analizaron estadísticamente con el paquete StatGraphics Plus, Versión 3.1 (Manugistics, 1997) y la separación entre medias se estimó con la prueba de la Diferencia Mínima Significativa (DMS, $P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza sólo mostró diferencias significativas entre biofertilizantes para la concentración de P foliar y para la interacción biofertilizante \times P en rendimiento de grano (Cuadro 1). Lo anterior indica una respuesta diferencial de tratamientos en la absorción de P por las plantas de sorgo. El tratamiento que incluyó *G. intraradices* promovió estadísticamente las mayores concentraciones de P en sorgo (Cuadro 2). Lo anterior coincide con lo reportado por Velasco *et al.* (2001), quienes observaron que los hongos MVA incrementan la absorción de P por las plantas. No obstante, se considera que, aunque la cantidad de P se incrementó significativamente, carece de impacto desde el punto de vista de la práctica agronómica. La mezcla de *G. intraradices* más el complejo MVA CINESTAV-4 no mostró efecto aditivo en la variable referida. El contenido de N en la planta

depende de la disponibilidad de este elemento en el suelo o de la cantidad aplicada. Cuando este elemento es escaso, el crecimiento se retrasa y el rendimiento es bajo (Marschner, 1990). El escaso contenido de N en el suelo (5.0 mg L^{-1}) en el presente estudio podría ser un reflejo de la ausencia de respuesta entre biofertilizantes en el contenido de clorofila, porcentaje de colonización micorrizica, peso total de biomasa y rendimiento de grano.

La adición de P al suelo sólo influyó en la interacción biofertilizante \times P y no aumentó el porcentaje de colonización micorrizica (Cuadro 1), como ha sucedido en otros estudios de campo (Portilla *et al.*, 1997; Velasco *et al.*, 2001) cuando este elemento se encuentra en cantidades adecuadas. Concentraciones elevadas de P no incrementan la colonización micorrizica, debido a la baja capacidad fijadora de este elemento por el suelo (Manske y Vlek, 1994).

Sin la adición de P al suelo, los hongos *G. fasciculatum* o el complejo MVA del desierto (CINESTAV-4) ocasionaron significativamente el mayor rendimiento del sorgo; el promedio de ambos tratamientos fue de 3267 kg ha^{-1} , mientras que el testigo correspondiente fue de 2735 kg ha^{-1} , lo que representó que los simbiontes incrementaron

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de algunas características evaluadas en sorgo inoculado con MVA y la aspersión de brassinoesteroides en dos dosis de P.

FV	Gl	Concentración foliar			Índice de clorofila	Infección radical	Peso seco biomasa	Rendimiento
		N	P	K				
Bloques	3							
Biofertilizante (B)	6	0.030	0.0030*	0.071	3.12	29.450	314.40	40.48
Fósforo (P)	1	0.002	0.0003	0.129	11.25	0.004	714.28	1.01
B \times P	6	0.060	0.0004	0.123	7.64	18.550	908.36	592.90*
Error	18	0.029	0.0005	0.057	6.14	24.570	1216.80	176.80
CV (%)		18.4	10.7	15.9	5.4	27.6	22.2	16.7

* Significativo a 0.05 de probabilidad.

Cuadro 2. Rendimiento de grano y características evaluadas en sorgo inoculado con MVA y la aspersión de brassinoesteroides en dos dosis de P.

Tratamiento	Concentración foliar			Índice de clorofila	Infección radical	Peso seco biomasa	Rendimiento
	N	P	K				
	- - - - - mg L^{-1} - - - - -			- - - - - % - - - - -		g planta^{-1}	kg ha^{-1}
<i>Glomus fasciculatum</i>	1.5	0.24 ab [†]	2.5	44.4	19.7	128	2840
<i>Glomus intraradices</i> (A)	1.5	0.26 a	2.6	44.0	19.1	136	2816
Complejo CINESTAV-4 (B)	1.4	0.23 b	2.7	45.6	17.0	137	2941
Mezcla A + B	1.5	0.25 ab	2.5	44.6	16.6	133	2759
Brassinoesteroides	1.5	0.24 ab	2.4	44.3	17.4	137	2747
Flower Saver [®]	1.5	0.23 b	2.6	44.2	16.0	144	2898
Testigo	1.4	0.20 c	2.4	43.6	14.0	125	2794

[†] Tratamientos con la misma letra en columna no difieren con $P \leq 0.05$ (DMS).

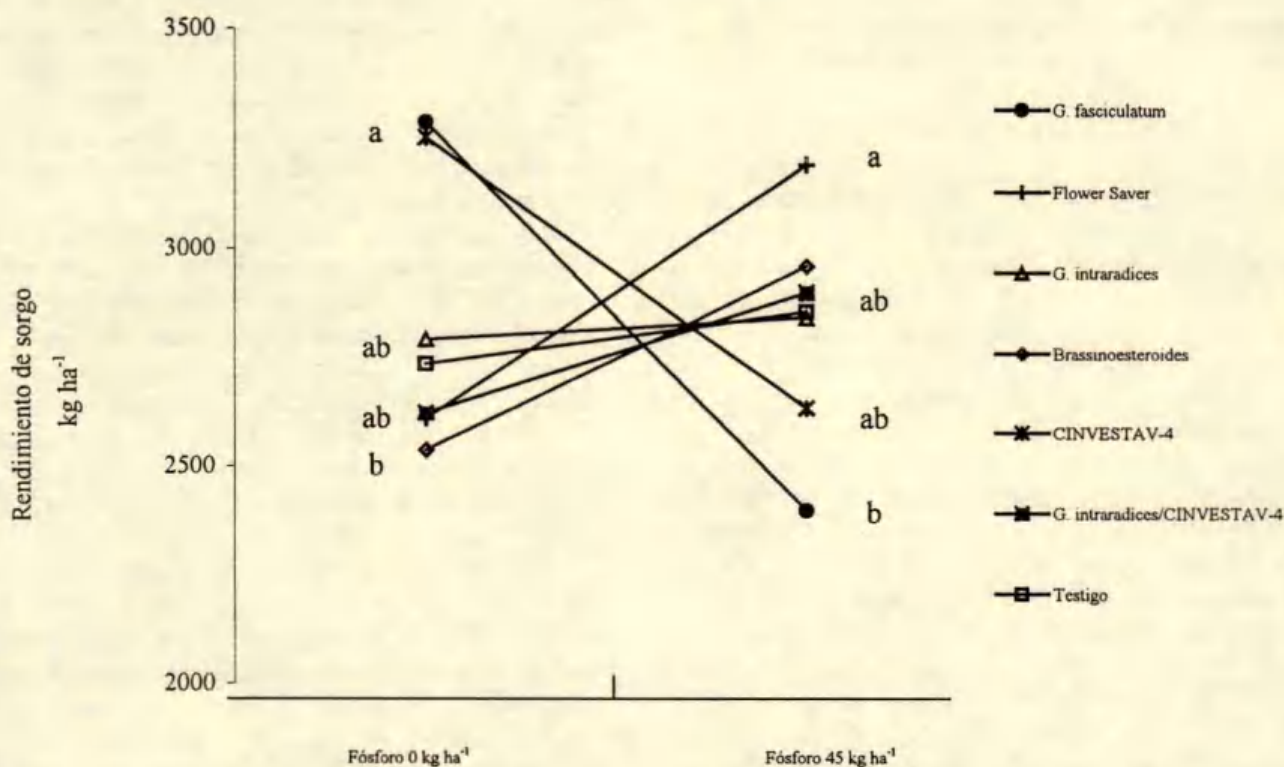


Figura 1. Rendimiento de grano de sorgo en la interacción de siete tratamientos de biofertilizantes y dos niveles de P en el suelo en Río Bravo, Tam. Medias unidas con la misma letra son semejantes con DMS, $P \leq 0.05$.

532 kg ha⁻¹ (19%) el rendimiento de grano (Figura 1). Es posible que el comportamiento del complejo MVA CINVESTAV-4 se deba a que éstas son cepas aisladas de suelos con baja fertilidad de regiones áridas; mientras que en *G. fasciculatum* ha sido reportado que aumentó el crecimiento vegetativo y el rendimiento con baja concentración de P en chile ancho (*Capsicum annum*) (Davies *et al.*, 2000). Con la aspersión de brassinosteroides se obtuvo rendimientos inferiores al testigo (Figura 1).

Con la adición de P resultó claro que *G. fasciculatum* se afectó con el incremento de la concentración de P en el suelo. Por el contrario, la aplicación de Flower Saver[®] promovió significativamente el mayor rendimiento de grano al aplicar P al suelo, probablemente debido a la actividad del complejo micorrízico VA y a las rizobacterias que contiene. Aunque como conocimiento experimental tiene validez, el alto costo de ese producto (más de

\$1000 ha⁻¹), así como la diferencia en el rendimiento con relación al testigo (334 kg ha⁻¹, 11%) (Figura 1), hace impráctica su implementación comercial.

El comportamiento de *G. intraradices*, no fue afectado por la dosis de P en el suelo (Figura 1), lo que coincide con lo reportado por Linderman (1992), ya que este hongo micorrízico es insensible a la fertilización química y difiere de otros simbioses que son alterados por la fertilización química, como resultado de las necesidades de carbohidratos solubles que obtienen de los exudados de la raíz. Diferentes estudios indican la necesidad de la adición de P al suelo como un prerrequisito para la infección micorrízica VA y, por ende, la subsiguiente contribución en el mejoramiento del crecimiento y desarrollo del sorgo (Singh y Tilak, 1992; Osonubi, 1994; Bagayoko *et al.*, 2000). Otros autores coinciden, en parte, con los resultados obtenidos en el presente estudio, al señalar que el desarrollo del sorgo

varia según la cantidad de P en el suelo y de la cepa micorrizica empleada (Auge *et al.*, 1995; Bressan *et al.*, 2001). Otro aspecto importante a considerar es la baja colonización micorrizica registrada en el estudio (< 20%), tal vez influenciada por complejo de factores edáficos o de manejo en el sitio experimental, como se ha constatado en otros trabajos (Arihara y Karasawa, 1999; Ericksson, 2001). En otros estudios regionales, realizados en sorgo y fuera del Campo Experimental Río Bravo, se han registrado porcentajes de colonización micorrizica superiores a 40% (Diaz *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

La adición de P al suelo no influyó en ninguna de las variables evaluadas y tampoco aumentó la colonización micorrizica en sorgo. Se detectó una respuesta diferencial de los biofertilizantes en relación con el contenido de P en el suelo para el rendimiento de grano. *G. fasciculatum* y el complejo micorrizico CINVSTAV-4 incrementaron 19% (promedio) el rendimiento de grano en suelo sin la adición de P. El comportamiento de *G. intraradices* no fue afectado por la dosis de P. La aplicación de Fower Saver® a la semilla incrementó en 11% el rendimiento de grano con la adición de P al suelo.

LITERATURA CITADA

- Arihara, F. y T. Karasawa. 1999. Effect of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of succeeding maize. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46: 43-51.
- Auge, R.M., A.J.W. Stodola, R.C. Ebel y X. Duan. 1995. Leaf elongation and water relations of mycorrhizal sorghum in response to partial soil drying: two *Glomus* species at varying phosphorus. *J. Exp. Bot.* 46(284): 297-307.
- Azcón-Aguilar, C. y J.M. Barea. 1992. Interactions between mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganisms. pp. 163-198. *In: Allen, M.F. (ed.). Mycorrhizal functioning.* Chapman and Hill, New York.
- Bagayoko, M., E. George, V. Romheld y A.B. Buerkert. 2000. Effects of mycorrhizae and phosphorus on growth and nutrient uptake of millet, cowpea and sorghum on a West African soil. *J. Agric. Sci.* 135: 399-407.
- Bressan, W., J.O. Siqueira, C.A. Vasconcellos y A.A.C. Purcino. 2001. Mycorrhizal fungi and phosphorus on growth, yield and nutrition of intercropped grain sorghum and soybean. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 36(2): 315-323.
- Clouse, S.D. y J.M. Sasse. 1998. Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 427-451.
- Davies, F.T., P.V. Olalde, M.J. Alvarado, H.M. Escamilla, R. Ferrera-Cerrato y J.L. Espinosa. 2000. Alleviating phosphorus stress of chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L. "San Luis") by arbuscular mycorrhizal inoculation. *J. Hort. Sci. Biotech.* 75(6): 655-661.
- Diaz-Franco, A., I. Garza-Cano, V. Pecina-Quintero y A. Magallanes-Estala. 2004. Inoculación de micorriza vesiculo arbuscular en sorgo: práctica de producción sostenible. Folleto Técnico 30, Campo Experimental Río Bravo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Cd. Río Bravo, Tamaulipas, México.
- Ericksson, A. 2001. Arbuscular mycorrhizal in relation to management, history, soil nutrients and plant species diversity. *Plant Ecol.* 155: 129-137.
- Harley, J.L. y S.H. Smith. 1983. *Mycorrhizal symbiosis.* Academic Press, London, UK.
- Hayman, D.S. 1982. Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Phytopathology* 72: 1119-1125.
- Hayman, D.S. y S. Tavares. 1985. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XV. Influence of soil pH on the symbiotic efficiency of different endophytes. *New Phytol.* 100: 67-377.
- Linderman, R.G. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions. pp. 45-70. *In: Bethlenfalvay, G.J. y R.G. Linderman (eds.). Mycorrhizae in sustainable agriculture.* Special Publication 54, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Mandava, N.B. 1988. Plant growth-promoting brassinosteroids. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39: 23-52.
- Manske, G. y G. Vlek. 1994. The prospects of developing nutrient efficient varieties (nev) for wheat based on symbiosis with va mycorrhizal fungi. pp. 300. *In: Behl, R.K. (ed.). Crop tolerance to abiotic stresses.* CCS Haryana Agricultural University, Hisar, India.
- Manugistics, Inc. 1997. *Statgraphics Plus.* Version 3.1. Rockville, MD.
- Marschner, H. 1990. *Mineral nutrition of higher plants.* Academic Press, San Diego, CA.
- Montes-García, N. y J.I. Aguirre-Rodríguez. 1992. Sorgo. pp. 54-63. *In: Manual de Cultivos del Norte de Tamaulipas.* Patronato para la Investigación Fomento y Sanidad Vegetal, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Cd. Victoria, Tamaulipas, México.
- Osonubi, O. 1994. Comparative effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization on growth and phosphorus uptake of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) plants under drought-stressed conditions. *Biol. Fert. Soil* 18: 55-59.
- Phillips, J.M. y D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Myco. Soc.* 55: 158-161.
- Plenecassagne, A., E. Romero-Fierro y C. López-Borrego. 1999. *Manual de Laboratorio.* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-ORSTOM, Gómez Palacio, Durango, México.
- Portilla-Cruz, I., E. Molina-Gayosso, G. Cruz-Flores, I. Ortiz-Monasterio y G.G.B. Manske. 1997. Colonización micorrizica arbuscular, actividad fosfatásica y longitud radical como respuesta a estrés de fósforo en trigo y triticale cultivados en un andisol. *Terra* 16: 55-61.
- Sairam, R.K. 1994. Effect of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and

- moisture-stress conditions of two wheat varieties. *J. Plant Growth Regulation* 14: 173-181.
- Singh, H. y K.V.B.R. Tilak. 1992. Inoculation of sorghum (*Sorghum bicolor*) with *Glomus versiforme* under field conditions. *Trop. Agric.* 69: 323-326.
- Sylvia, D.M. 1998. Applications and technologies for AM fungi. pp. 21-26. *In: Avances de la investigación micorrizica en México.* Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- Sylvia, D.M. 1999. Fundamentals and applications of arbuscular mycorrhizae: a 'biofertilizer' perspective. pp. 705-723. *In: Siqueira, J.O. y F.M. Moreira (eds.). Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships.* Sociedad Brasileira de Ciencia de Solo. Laurus, MG, Brasil.
- Velasco-Velasco, J., R. Ferrera-Cerrato y J.J. Almaraz-Suárez. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra* 19: 241-248.

INVESTIGACIÓN PARTICIPATIVA EN LA MILPA SIN QUEMA

Participatory Research in No Burn Milpa

Heriberto E. Cuanalo^{1‡} y Rafael A. Uicab-Covoh¹

RESUMEN

La mayor parte de maíz, frijoles y calabazas, base de la alimentación de los habitantes de Yucatán, se produce en *milpas* en forma asociada con el sistema de roza, tumba y quema. La disminución del periodo de "descanso" de la tierra acaecida durante los últimos años, que ha ido de más de 15 a cerca de siete años, ha favorecido la proliferación de arvenses, que compiten por luz, agua y nutrimentos con los cultivos, incrementando costos de producción y disminuyendo rendimientos. Las alternativas de producción de la *milpa*, ofrecidas por los investigadores, se han adoptado sólo en algunos componentes y no hay señales de que se esté modificando el sistema de roza, tumba y quema hacia alternativas más productivas y sostenibles. Con la finalidad de traer a primer plano la participación de los productores en la generación de alternativas de producción al sistema de roza, tumba y quema, se emplea la investigación participativa (definición del problema, de tratamientos y conducción de los experimentos con la participación activa de los productores). Los experimentos de 1996 dieron rendimientos "Con Quema" de 2676 kg ha⁻¹ de maíz y una relación B/C de 1.82, mientras que con *Mucuna* como cobertera se obtuvieron 3178 kg ha⁻¹ y una relación B/C de 1.92. Los productores no tienen interés en *Mucuna* por no tener uso regional y proponen *Ib* (*Phaseolus lunatus* L.), cultivo local, como cobertera. Los experimentos de 1997 generaron un rendimiento "Con Quema" de 1556 kg ha⁻¹, mientras que empleando *Ib* tuvieron un rendimiento de maíz de 1826 kg ha⁻¹ y de *Ib* de 550 kg ha⁻¹ con una relación B/C de 2.02. La investigación participativa genera rápidamente varias alternativas tecnológicas "Sin Quema", apropiadas a las circunstancias de los productores.

Palabras clave: agricultura tradicional, roza, tumba y quema, agricultura sustentable.

CINVESTAV-Instituto Politécnico Nacional. km 6 Carretera Antigua Progreso. 97310 Mérida, Yucatán, México.

[‡] Autor responsable (cuanalo@mda.cinvestav.mx)

Recibido: Noviembre de 2003. Aceptado: Abril de 2005.

Publicado como ensayo en *Terra Latinoamericana* 23: 587-597.

SUMMARY

Most of maize, beans and squashes, the staple crops of local people in Yucatan, are produced in a crop association called *milpa*, under shifting cultivation. The fallow period has been shortened during the last years, from more than 15 to about seven years on the average. Shortening of the fallow period increases weed populations that compete for light, water, and nutrients, decreasing *milpa* yields and increasing production costs. Alternatives to the slash and burn system have been proposed, but farmers are only adopting a few components. There is no clear evidence that the system has been modified in any way towards more productive and sustainable variants. This could be due to the fact that during the research process local farmers' knowledge and priorities were not fully taken into account. To incorporate farmers' participation in the research process to design appropriate alternative technologies to the slash and burn system, the participatory research method was used. Participant farmers along with scientists defined the relevant treatments and carried out the experiments to test production alternatives to shifting agriculture. The 1996 experimental results showed yields of maize "With Burn" of 2676 kg ha⁻¹ and a B/C of 1.82, while "No Burn and *Mucuna*" as a cover crop gave yields of 3178 kg ha⁻¹ and a B/C of 1.92. *Mucuna*, however, does not have a local use and the farmers suggested the use of *Ib* (*Phaseolus lunatus* L.), a local crop, as cover crop. The 1997 experiments gave yields "With Burn" of 1556 kg ha⁻¹, while "No Burn and *Ib*" yielded 1826 kg ha⁻¹ of maize and 550 kg ha⁻¹ of *Ib* with a B/C ratio of 2.02. Participatory research produces rapidly several "No Burn" technologies that are appropriate to the circumstances of traditional farmers.

Index words: traditional agriculture, shifting cultivation, sustainable agriculture.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte del maíz (*Zea mays* L.), frijoles (*Phaseolus vulgaris* y *P. lunatus* L.) y calabazas,

(*Cucurbita argyrosperm*, Huber y *Cucurbita moschata*, Duch), base de la alimentación de los habitantes de Yucatán, se produce con el sistema de *milpa*, bajo el sistema de roza, tumba y quema. La *milpa* es el proceso de producción más importante de las familias del medio rural de Yucatán, ella provee los carbohidratos, las grasas y las proteínas de origen vegetal de los cuales se alimentan. La *milpa* es también fuente de alimentación del ganado de patio que, a su vez, provee a la familia de proteína animal. La disponibilidad de alimentos producidos en la *milpa* asegura la sobrevivencia de la familia. Los productos de la *milpa*, principalmente el maíz y los frijoles funcionan también como "moneda" mediante el trueque con otros productores o en los comercios que los intercambian por mercancías. La falta de los productos de la *milpa* obliga a las familias a emigrar a las ciudades a vender su mano de obra.

En promedio, en el estado de Yucatán se rozan, tumban y queman aproximadamente 180 000 ha anualmente para la producción de *milpa*. Este sistema se ha practicado durante siglos por la población maya: Andrews (1938), citado por Terán y Rasmussen (1994), y se adapta muy bien a las restrictivas condiciones edáficas y climáticas de la entidad (suelos delgados, pedregosos y rocosos; además, altas temperaturas y lluvias erráticas). Debido a la siembra de pastizales en más de la mitad de la superficie que antes se empleaba en la roza, tumba y quema, el período de "descanso" de la tierra se ha ido acortando (de más de 20 años a siete años, en promedio). La disminución del período de descanso ha provocado una marcada disminución del rendimiento de la *milpa* y un incremento en sus costos de producción. En estas condiciones el sistema no es sustentable.

La agricultura de roza, tumba y quema en Yucatán ha sido descrita por De Landa desde el siglo XVI, después de la conquista española; posteriormente por Pérez (1942), Morley (1946), Hernández (1959) y más recientemente por Terán y Rasmussen (1994). Los cambios que ocurren en el suelo con la agricultura de roza, tumba y quema han sido descritos por Nye y Greenland (1960). Alegre y Cassel (1994), Juo y Manu (1994) y Palm *et al.* (1994) mostraron la dinámica de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en la agricultura de roza, tumba y quema en varios documentos presentados en el Symposium "ID-6, Alternatives to Slash and Burn Agriculture", en el 15th World Congress of Soil Science en México (1994). Cuanalo (1994) generó un modelo del funcionamiento de la materia orgánica en

la agricultura de roza y quema, empleando la actividad de la biomasa del suelo y su efecto sobre dos tipos de detritus orgánicos. Mediante análisis químicos, Weisbach *et al.* (2002) estimaron los cambios que sufren los suelos de Yucatán con roza, tumba y quema, y mostraron que existe un decremento de la materia orgánica del suelo y del fósforo asimilable. Para Yucatán, Caamal-Maldonado *et al.* (2001) han descrito los cambios en la incidencia de arvenses y la disponibilidad de nutrimentos, y el efecto del uso de leguminosas y mantillos orgánicos en el sistema de roza, tumba y quema. Otras contribuciones han surgido del uso de cultivos de cobertera como alternativa de producción agrícola consecutiva a la roza, tumba, quema (Bunch, 1994, 1995, 2001; Buckles, 1995). Estos autores, empleando leguminosas como cultivos de cobertera, han logrado producir, de manera consecutiva, en tierras que han estado bajo roza, tumba y quema. Algunas de estas leguminosas han sido *Mucuna* (*Mucuna pruriens*), *Cannavalia* (*Cannavalia ensifonnis*) y *Leucaena* sp.

Existen cuando menos dos alternativas para incrementar la producción de los cultivos de la *milpa*: una, aumentando la producción por unidad de superficie y, otra es aumentando la superficie de los cultivos mediante la disminución del período de descanso de la tierra. Mientras que las instituciones de investigación han seguido la estrategia del incremento de la producción por unidad de superficie de la *milpa*, los productores han empleado la estrategia de aumentar la superficie de cultivo, de manera que mientras hace 30 años el período de descanso de la vegetación era de más de 15 años, en la actualidad el período se ha reducido a cerca de siete años. Por otra parte, un mayor entendimiento del funcionamiento del ecosistema de la materia orgánica en el suelo ha permitido vislumbrar la posibilidad de la eliminación de la quema lo que permite lograr ambas metas (Cuanalo, 1994). Sin embargo, la tradición de más de 3000 años del cultivo de la *milpa* empleando la quema hace difícil su eliminación. Por otra parte, la práctica muestra que en las porciones de *milpa* donde, por alguna razón, no se quema, los cultivos crecen raquíticos y casi no producen frutos. La tradición y la práctica son algunos de los retos que presenta la innovación del sistema de producción de la *milpa*.

En la práctica, una de las alternativas productivas que se le han dado a la agricultura de roza y quema ha sido la introducción del riego para la producción de cítricos y otros cultivos perennes. Esto requiere de importantes inversiones en infraestructura, equipo y

trabajo, y de un lapso que va de cinco a siete años para iniciar la producción. El área con la que se provee a cada agricultor es de una hectárea, con costos altos de operación, ya que el agua debe ser bombeada.

Otras alternativas tecnológicas ofrecidas a los productores que emplean la roza, tumba y quema se centran, principalmente, en el uso de fertilizantes y herbicidas, pero empleando la quema. Las tecnologías ofrecidas, sin embargo, han tenido un bajo índice de adopción y no hay señales de que se esté modificando el sistema de roza, tumba y quema de la agricultura de Yucatán hacia alternativas más productivas y sostenibles. Si juzgamos el éxito de una innovación de producción en términos de su grado de adopción, como lo argumentó Werner (1993), entonces no hay alternativas realistas para la mayoría de los pequeños agricultores tradicionales y pobres, para los que la *milpa* es la principal fuente de alimentos. Esto puede ser debido a que en la generación de la tecnología no se tomó en cuenta, de manera prioritaria, el conocimiento, los recursos y las prioridades de los productores.

Con la finalidad de traer la participación de los productores a primer plano en el estudio del fenómeno y en la generación de alternativas tecnológicas al sistema de roza y quema, se aplicó la investigación participativa para contrastar la quema y la no quema, explorando las alternativas reales que los productores pobres tienen para la agricultura con el sistema de roza y quema. La investigación participativa rompe el esquema de una relación vertical de la investigación en la cual se obvia la reflexión crítica de una realidad social determinada, por lo que el productor no participa de una manera activa y crítica de la realidad que quiere modificar (Yopo, 1989).

En este documento, se presentan los resultados obtenidos en 1996 y 1997. Estos resultados apuntan a una alternativa viable para el productor tradicional de *milpa*, empleando un uso intensivo de mano de obra y baja inversión, semejante a la práctica tradicional de la agricultura con roza, tumba y quema.

MÉTODOS

La base de comparación para la investigación participativa se obtuvo de la estimación de rendimiento, costos, producción y relaciones beneficios sobre costos de tres tipos de *milpa*. Estos tres tipos son empleados por los productores en Yaxcabá, Yucatán, México. Para este fin, se utilizó información de las siembras de 1995, proporcionada

por seis productores clave. Los tipos de *milpa* fueron: *milpa roza* de 1er año, *milpa caña* de 2do año (segundo año de quema y de producción de *milpa*) y *maíz roza* de 1er año (solo maíz).

Las labores, los materiales empleadas, los tiempos, los costos y el rendimiento obtenido se registraron en entrevistas por separado con cada uno de los productores y después se analizaron y se validaron en una reunión con 17 productores. Estos resultados permitieron conocer los factores limitativos, tanto biológicos, como económicos en la eliminación de la quema, de la agricultura de roza tumba y quema en Yaxcabá, Yucatán.

El método de investigación participativa consistió en: 1) Esclarecer conjuntamente con los productores la importancia total de la *milpa* en la unidad de producción doméstica y la importancia de aumentar su producción y productividad. Ésta es la manera de asegurar la participación de los productores en la investigación. 2) Un grupo de productores y los investigadores visitaron las *milpas* de los mejores productores, para discutir en el campo las alternativas para aumentar su producción y productividad, y se analizaron las ventajas de eliminar la quema, entre otras. Se hicieron más de cuatro recorridos. En cada recorrido se visitaron dos o tres *milpas*, hasta que los productores sugirieron la necesidad de que debería de establecerse un experimento conjunto. El intercambio de conocimientos entre productores e investigadores establece con claridad las alternativas a investigar. 3) Se realizaron tres talleres de intercambio entre productores e investigadores, donde se analizaron los cambios que ocurren en el suelo durante y después de la quema en la agricultura de roza, tumba y quema. Esto incluyó el efecto de la quema en los ciclos del nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y del agua. De esta manera, se aseguró un nivel mínimo de información compartida, tanto teórica, como empírica entre los productores e investigadores. Esto se hizo con la finalidad de tener la mayor información posible, para seleccionar los tratamientos a investigar y romper la relación vertical entre productores e investigadores. 4) Los tratamientos a probar fueron propuestos y acordados por los productores y los investigadores. Cada productor seleccionó los tratamientos que quiso probar. Esto fortaleció el interés de cada productor en la conducción de cada parcela experimental. 5) Se definieron claramente las tareas y responsabilidades de los productores y de los investigadores: los productores seleccionaron los sitios experimentales y aportaron su mano de obra en

la conducción del experimento; los investigadores aportaron los insumos requeridos y registraron las observaciones necesarias. 6) Veinte productores establecieron dos sitios experimentales en acuerdo con los investigadores. Dos investigadores tomaron los datos, uno de ellos viviendo en la comunidad para participar en las decisiones no previstas. 7) Los investigadores analizaron la información experimental y la presentaron a los productores para interpretar los resultados conjuntamente. En esta parte fue evidente el alto poder de observación de los productores. 8) Finalmente, los productores participantes presentaron los resultados experimentales a otros productores, así como a representantes de instituciones gubernamentales. Lo anterior tuvo un gran impacto, tanto entre los productores visitantes, como en los funcionarios del gobierno.

En uno de los dos sitios seleccionados por los productores, se presentó una sequía en la época de floración y prácticamente no se obtuvieron rendimientos y los productores lo abandonaron. El sitio experimental de "Mopila" se estableció y se condujo con la participación de 10 productores. Se probaron seis tratamientos. El sitio tuvo *milpa* con roza, tumba y quema el año anterior y tiene suelos rojos profundos. Se seleccionaron a los suelos rojos profundos porque son más fértiles y poseen una mayor capacidad de retención de humedad que los suelos pedregosos, de modo que el efecto de la quema pudiese ser visto claramente. Se instalaron seis tratamientos, cada uno con tres o cuatro repeticiones en un diseño completamente al azar. Cada productor plantó una o dos repeticiones. El tamaño de parcela experimental que se recomienda para este tipo de suelos es de tres surcos de 10 m (Castillo *et al.*, 1995), sin embargo, debido a que era importante estimar el número de jornales que requería cada tratamiento, se utilizó un tamaño de parcela propuesto por los productores de 400 m², esto es 20 x 20 m (un *mecate*). Ésta es el área a la que los productores se refieren cuando calculan la cantidad de insumos y productos, por lo que se consideró como la parcela útil. Se estimó y se registró, para cada repetición, el tiempo requerido para cada una de las tareas, así como el costo de los insumos. Se calcularon los costos de producción y el rendimiento para cada repetición y los resultados se presentan como la relación beneficio sobre costo (B/C). Con la finalidad de calcular el error experimental y las diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, se practicó un análisis de varianza de las principales variables, Rendimiento y

Relación B/C. La comparación entre las medias de los tratamientos se hizo mediante la prueba de Tukey o, cuando se compararon sólo dos tratamientos, se empleó la *t* de Student.

Tratamientos experimentales en 1996

Los tratamientos experimentales fueron:

I. Roza y quema, aplicación de fertilizante con la dosis 36-92-00, aplicación de 1.5 L de herbicida Paraquat (Gramoxone), como referencia, ya que los fertilizantes y herbicidas se han utilizado por años en la región.

II. Roza sin quema, fertilización 36-92-00, 1.5 L de herbicida Paraquat (Gramoxone), para ver los efectos de la no quema.

III. Roza sin quema, fertilización 36-92-00, 1.5 L de herbicida Paraquat (Gramoxone) y siembra de *Cannavalia ensiformis* como cobertera para el control de arvenses y como fijadora de nitrógeno (Bunch, 1994).

IV. Roza sin quema, fertilización 36-92-00, 1.5 L de herbicida Paraquat (Gramoxone) y siembra de *Leucaena* sp. como cobertera.

V. Roza sin quema, fertilización 36-92-00, 1.5 L de herbicida Paraquat (Gramoxone) y siembra de *Cannavalia* y *Mucuna* (*Mucuna pruriens*), en combinación como cobertera, de acuerdo con los resultados obtenidos por Buckles (1995) y Bunch (1995).

VI. Roza sin quema, construcción de camas excavando el suelo en fajas de 40 cm de ancho y 20 cm de hondo, dejando 80 cm entre fajas, se efectuó el deshierbe en forma manual. Se aplicaron alrededor de 30 t ha⁻¹ de estiércol y se plantó *Cannavalia* entre las líneas de maíz como cobertera. Este tratamiento no incluyó agroquímicos; es el tratamiento que recomienda una organización religiosa. Se incluyó por decisión de los productores.

Se sembró el maíz manualmente al inicio de las lluvias (8 de junio de 1996), usando semilla criolla de maíz de bajo porte y precoz llamado *Xoy*, con excepción del Tratamiento VI, en el que se utilizó la variedad mejorada V527. El maíz se sembró en líneas a 80 cm de distancia; en las líneas se plantaron de dos a tres semillas cada 40 cm. La densidad de siembra fue de aproximadamente 62 500 plantas ha⁻¹ para todos los tratamientos, excepto los Tratamientos IV y VI. El Tratamiento IV tuvo una densidad de siembra de maíz de 42 500 plantas ha⁻¹ debido a que una de cada tres líneas se sembró con *Leucaena*, cuatro

semillas a intervalos de 50 cm. En el Tratamiento VI, se sembró el maíz en las camas en línea doble a 20 cm de distancia una de otra y a 10 cm de los márgenes; esto dio una densidad de siembra de aproximadamente 56 000 plantas ha⁻¹. La *Cannavalia* se plantó 30 días después de que emergió el maíz (DDE), dos semillas cada 60 cm entre las líneas de maíz. La *Mucuna* se plantó 40 DDE, sobre las líneas, de dos a cuatro semillas a una distancia de 50 cm. Se hizo un deshierbe manual antes de la siembra y se aplicaron 1.5 L ha⁻¹ de herbicida Paraquat, tres días después de la siembra (DDS) a todos los tratamientos, excepto el Tratamiento VI. El fertilizante utilizado fue el fosfato diamónico (18-46-00), en aplicaciones de 200 kg ha⁻¹, excepto el Tratamiento VI, al cual se le aplicó estiércol solamente. La fertilización se hizo 15 DDS. El año 1996 fue extremadamente seco, sin embargo, una lluvia en septiembre "salvó" la producción. No fue importante la presencia de plagas. Se cosechó el 21 de octubre, excepto el Tratamiento VI, el cual se cosechó el 26 de septiembre debido a que la variedad V 527 tiene un periodo vegetativo más corto que el *Xoy*. Se eliminaron los resultados de dos parcelas a propuestas de los productores por problemas en su conducción y, de esta manera, se obtuvieron tres repeticiones para cada tratamiento.

Tratamientos en 1997

La experiencia del año 1996 permitió entender los principios del cultivo sin quema y la función que tienen los cultivos de cobertera. Los productores señalaron también que el cultivo de *Ib* (*Phaseolus lunatus* L.) tiene los mismos hábitos de crecimiento que la *Mucuna*, por lo cual los tratamientos que no tenían *Mucuna* se sembraron con *Ib*, como cobertera. Los tratamientos fueron:

I. Roza y quema, aplicación de fertilizante con la dosis 36-92-00, aplicación de 1.5 L de herbicida Paraquat (Gramoxone), siembra de maíz asociado con *Ib*.

II. Roza sin quema, fertilización 36-92-00, 1.5 L de herbicida Paraquat (Gramoxone), siembra de maíz asociado con *Ib*, para ver los efectos de la no quema.

III. Roza sin quema, fertilización 36-92-00, 1.5 L de herbicida Paraquat (Gramoxone) y siembra de maíz y de *Cannavalia* e *Ib* como coberteras.

IV. Roza sin quema, fertilización 36-92-00, 1.5 L de herbicida Paraquat (Gramoxone) y siembra de maíz y de *Leucaena* sp. e *Ib* como coberteras.

V. Roza sin quema, fertilización 36-92-00, 1.5 L de herbicida Paraquat (Gramoxone) y siembra de maíz y de *Cannavalia* y *Mucuna*, en combinación como cobertera.

VI. Roza sin quema, en eras; se efectuó el deshierbe en forma manual, sin agroquímicos y siembra de *Ib*.

Se sembró el maíz manualmente al inicio de las lluvias (8 de junio), usando semilla criolla de *Xoy*, con excepción del Tratamiento VI, en el que, de nueva cuenta, se utilizó la variedad mejorada V 527. El *Ib* se sembró al mismo tiempo que el maíz. La fertilización se hizo 15 días después. Los cultivos de cobertera se sembraron de la misma forma que en 1996.

Estimación de Costos para los Años 1996 y 1997

Por no disponer de las facilidades para hacer las determinaciones del contenido de humedad del grano, se estimó en 20%. Los costos del jornal para 1996 y 1997 fueron de \$15.00. Los precios del maíz fueron \$1.50 kg⁻¹ de 1996 y 1997. Los precios del *Ib* fueron de \$6.00 kg⁻¹ en 1996 y 1997. Con la información de costos y rendimientos se calculó la relación beneficio sobre costo (B/C), para cada uno de los tratamientos y repeticiones. Se utilizaron los precios medios rurales del momento y de la localidad para los costos de semilla, estiércol y agroquímicos. No se consideró el costo financiero del capital, interés, ni la renta de la tierra. Las diferencias en los costos, en los rendimientos y en relaciones B/C se analizaron detenidamente con los productores para su interpretación final.

Los productores, conjuntamente con los investigadores, presentaron los resultados experimentales a productores de la misma comunidad de Yaxcabá y de otras comunidades, así como a autoridades del estado y directivos de instituciones oficiales que inciden en la producción de la milpa. Las presentaciones se hicieron a Presidentes Municipales, Senadores y Diputados, tanto locales, como federales, así como a directivos y funcionarios de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), de la Secretaría de Desarrollo Rural, del Fideicomiso Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), del Instituto Indigenista y otras instancias. Las presentaciones se hicieron mediante días de campo y visitas solicitadas o por invitación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, se presenta la información sobre la rentabilidad de los tres tipos *milpa roza* de 1er año, *milpa caña* de 2do año y *maíz roza* de 1er año, obtenidas de la producción de 1995. Se presentan los valores promedio de seis productores clave. Ellos sembraron, en promedio, dos hectáreas cubriendo tanto suelos rojos profundos, como suelos pedregosos. Las cantidades relativamente altas de jornales se deben a que la mayor parte de las labores se hacen manualmente. Los jornales normalmente no son considerados por los productores dentro de los costos. Las relaciones B/C fueron menores que la unidad, los costos de producción son más altos que el valor de la producción, debido a que la mayor parte de las parcelas habían tenido descanso de seis a ocho años (cuando el tiempo mínimo para recuperar su productividad es de más de 15 años), y los costos aumentaron debido al uso de fertilizantes y herbicidas (Paraquat y 2,4, D Amina, 1.5 L ha⁻¹). Producir *milpa* es mejor que sembrar maíz solo, pero no se pueden utilizar herbicidas para controlar arvenses de hoja ancha. Los campesinos continúan produciendo *milpa* y maíz solo porque con eso garantizan la alimentación y reproducción de la unidad familiar.

El bajo rendimiento se asocia con el corto periodo de descanso, baja dosis de fertilización (18-46-00) y baja densidad de siembra (alrededor de 36 000 plantas ha⁻¹).

Es claro que la producción de *milpa* o maíz es una actividad para la cual los agricultores subsidian la producción. De ahí la necesidad de contar con alternativas tecnológicas para aumentar la producción,

Cuadro 1. Costos, producción y relaciones B/C de la *milpa* 1995.

Concepto	Tipo		
	Milpa 1er año	Milpa 2do año	Maíz 1er año
Jornales (número ha ⁻¹)	50.1	43.1	44.1
Costo de los jornales (pesos ha ⁻¹)	939	808	827
Costos de insumos externos (pesos ha ⁻¹)	236	244	234
Costo total (pesos ha ⁻¹)	1176	1052	1060
Rendimiento de maíz (kg ha ⁻¹)	839.0	625.0	625.0
Rendimiento de lb (kg ha ⁻¹)	26.7	26.7	0.0
Rendimiento semilla calabaza (kg ha ⁻¹)	15.8	15.8	0.0
Precio de los productos (pesos ha ⁻¹)	959	783	514
Ganancia (pesos ha ⁻¹)	-217	-269	-547
Relación beneficio/costo	0.82	0.74	0.48

productividad y rentabilidad del sistema de una manera sostenible, disminuyendo el riesgo de la inversión hasta donde sea posible.

Resultados para el Año 1996

En el Cuadro 2, se presentan los resultados obtenidos en el experimento en 1996. El rendimiento medio para el tratamiento de referencia, con roza y quema (Tratamiento I), fue de 2676 kg ha⁻¹. Este rendimiento es muy superior al mostrado en el Cuadro 1 que fue de 800 kg ha⁻¹. Esto es debido a que el experimento se estableció en suelos profundos en vez de una mezcla de suelos profundos y suelos pedregosos, así como al empleo de dosis de fertilización recomendada, que es el doble de la empleada por los productores y, finalmente, a una mayor densidad, entre 62 500 y 42 500 plantas ha⁻¹, en comparación con 36 000 plantas ha⁻¹. Esto se hizo con la finalidad de asegurar la comparación entre los tratamientos Con quema y Sin quema. La diferencia entre las inversiones se evidencia al ver los costos de insumos y los costos de mano de obra de los productores entrevistados con los costos de insumos en los resultados experimentales.

Efecto de la No quema. En el Cuadro 2, también se observa que el Tratamiento V produjo un rendimiento de maíz de más de 3000 kg ha⁻¹. Este rendimiento se obtuvo sin necesidad de quemar, con fertilización, aplicación de un solo herbicida (Paraquat), en lugar de dos, un incremento en la densidad de siembra y el uso de las coberteras, *Mucuna* y *Cannavalia*.

El coeficiente de variación del experimento fue 21% para rendimiento de maíz, lo cual es un valor alto pero aceptable para experimentos de este tipo. La variabilidad en los resultados es debido a la heterogeneidad del suelo y a la participación de 10 productores en la conducción de los tratamientos. Los rendimientos promedio variaron de 1730 a 3178 kg ha⁻¹. El análisis de varianza del rendimiento de maíz se presenta en el Cuadro 3, el cual evidencia que los tratamientos no dan diferencias significativas. Esto muestra que la eliminación de la quema puede lograrse sin abatir el rendimiento del cultivo del maíz de manera significativa, mediante una buena fertilización y un buen control de arvenses, tanto con herbicidas, como manualmente, y el sombreado de los cultivos de cobertera.

Diferencias en la Relación Beneficio sobre Costo. Otro aspecto fundamental lo constituye el análisis de relación B/C, ya que éste toma en cuenta tanto

Cuadro 2. Uso de insumos, costos, producción y rentabilidad. 1996.

Tratamiento	Jornales	Costo jornales	Costo insumos	Costo total	Rendimiento	Valor producción	Ganancia	Relación B/C
	# ha ⁻¹	----- pesos ha ⁻¹ -----	-----	-----	kg ha ⁻¹	--- pesos ha ⁻¹ ---	---	
I	99	1481.3	712.3	2193.5	2676	4013.8	1820.3	1.82
II	93	1392.5	713.5	2106.0	2338	3507.5	1401.5	1.65
III	100	1492.5	838.5	2331.0	2248	3371.3	1040.3	1.44
IV	87	1302.5	567.3	1869.8	1730	2595.0	725.3	1.38
V	109	1637.5	838.5	2476.0	3178	4766.9	2290.9	1.92
VI	401	6021.3	185.0	6206.3	2892	4337.5	-1868.8	0.70

el rendimiento, como los costos de producción. Las relaciones B/C se presentan también en el Cuadro 2. La relación B/C fue de 1.82 para el tratamiento de referencia, Roza y quema, y de 1.92 para el mejor tratamiento, esto es Sin quema y con *Mucuna* y *Cannavalia* como cobertera, aumentando la rentabilidad en 10%. El empleo de *Mucuna* y *Cannavalia* como cobertera muestra un incremento en el costo por jornales de cerca de 11% y de 18% en el costo de insumos. El ingreso aumentó en 19% en el primer año y se esperaría que continúe aumentando con el tiempo al reducirse el uso de insumos. Las arvenses se han controlado en alto grado durante y después de que el maíz terminó su ciclo de crecimiento, pero cuando aún hay humedad disponible para el desarrollo de la vegetación, el próximo año será más fácil su control. Asimismo, después de la cosecha se aprecia la formación de un mantillo sobre el suelo, que será fuente de nutrimentos y limitará la germinación de arvenses.

El Tratamiento VI, Eras y Sin agroquímicos, se asoció con la menor relación B/C, debido al gran número de

jornales que requiere, en especial para la construcción de eras y el recoger y transportar el estiércol.

El Cuadro 4 presenta el análisis de la varianza de los valores B/C del experimento y muestra diferencias significativas en los tratamientos. El coeficiente de variación de la relación B/C fue de 19.4%, es alto pero aceptable en este tipo de experimentos. La prueba de Tukey no muestra diferencias significativas entre el tratamiento de referencia Con quema y los tratamientos Sin quema excepto para el Tratamiento VI, Sin quema y con eras. Esto es debido al alto costo de la construcción de eras y a los costos de los jornales para recoger y transportar el estiércol.

Los resultados del análisis de la varianza muestran diferencias significativas para la relación B/C, no así para rendimiento. Las diferencias significativas se explican por los altos costos del Tratamiento VI. La no diferencia de rendimiento de maíz entre tratamientos indica que no hubo una disminución del rendimiento al no quemar. Al utilizar la prueba de Tukey para comparaciones múltiples entre medias de

Cuadro 3. Análisis de la varianza para el rendimiento de maíz. 1996.

Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Nivel de significación
Total	17	7388,913			
Tratamientos	5	3978,175	795,635	2.799	0.067
Error	12	3410,739	284,228		

Cuadro 4. Análisis de la varianza para la relación beneficio/costo. 1996.

Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Nivel de significación
Total	17	3.844			
Tratamientos	5	2.849	0.57000	6.867	0.003
Error	12	0.996	0.08296		

la relación B/C y comparando el Tratamiento I con el Tratamiento V se obtiene (Diferencia entre medias 0.097, no significativa a 0.01 de probabilidad) que Sin quema no se disminuye la rentabilidad de la *milpa*.

Los resultados experimentales analizados conjuntamente con los productores dejaron en claro que existen varias tecnologías para eliminar la quema, los productores cuentan con una dotación diferente de recursos, luego ellos podrán utilizar varias tecnologías. Los campesinos comprendieron el papel de las coberteras y el mantillo para el combate a las arvenses e hicieron notar su efecto en la conservación de la humedad del suelo. La quema es una práctica empleada en Yucatán por más de 3000 años y los resultados de 1996 muestran que es posible producir sin el uso de la quema.

Resultados para el Año 1997

Los resultados del experimento para el año 1997 se presentan en el Cuadro 5. Como se mencionó en metodología, los productores observaron el desarrollo del cultivo de *Mucuna* e insistieron en que el *Ib* se comportaba igual, pero, además, producía cosecha de alto valor de uso y de mercado, por esta razón se sembró *Ib* como planta cobrera en el Tratamiento I Con quema, en el Tratamiento II Sin quema, en el Tratamiento III Sin quema y con *Cannaevia*, en el Tratamiento IV Sin quema y con *Leucaena*, y en el Tratamiento VI Sin quema en eras.

Cuadro 5. Uso de insumos, costos, producción y rentabilidad. 1997.

Tratamiento	Jornales # ha ⁻¹	Costo insumos - - - pesos ha ⁻¹ - - -	Costo total - - -	Rendimiento maíz - - - - kg ha ⁻¹ - - - -	Rendimiento asociados - - - -	Valor total producción - - - pesos ha ⁻¹ - - -	Ganancia - - -	Relación B/C
I	110	681.2	2326.0	1556	275	3983.3	1657.3	1.68
II	142	770.0	2899.3	1826	550	6039.6	3140.3	2.02
III	132	895.0	2881.8	1906	408	5308.5	2426.8	1.84
IV	104	721.7	2285.9	1584	242	3825.9	1540.0	1.65
V	232	865.0	4350.0	2335	2583	3502.6	-847.4	0.81
VI	173	450.0	3051.4	3279	17	5018.8	1967.3	1.65

Cuadro 6. Análisis de la varianza para el rendimiento del maíz. 1997.

Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Nivel de significación
Total	17	8450,860			
Tratamientos	5	6356,729	1271,345	7.285	0.002
Error	12	2094,131	174,511		

Efecto de la No quema. Los resultados muestran que los rendimientos promedio de maíz para el tratamiento Con quema son de 1556 kg ha⁻¹ de maíz y 275 kg ha⁻¹ de *Ib*, lo que da una relación B/C de 1.68. En contraste, el Tratamiento II Sin quema dio rendimientos de maíz de 1826 kg ha⁻¹ y de *Ib* de 550 kg ha⁻¹ con una relación B/C de 2.03. Por otra parte, el Tratamiento V Sin quema y con *Mucuna*, aunque dio un rendimiento de maíz de 3502 kg ha⁻¹, la relación B/C fue únicamente de 0.81 debido a que la semilla no tiene ningún valor comercial.

Diferencias en los rendimientos de maíz. El análisis de la varianza para el rendimiento de maíz se presenta en el Cuadro 6, en el cual puede observarse que existen diferencias significativas para el rendimiento de maíz. La prueba de Tukey muestra diferencias entre todos los tratamientos y el Tratamiento VI. Esto se debió a la falta de lluvias en septiembre que disminuyó el rendimiento de la variedad *Xoy*, pero no la del V 527 que ya había completado su ciclo vegetativo. En este caso, el coeficiente de variación para el rendimiento de maíz fue alto, de 20%.

Diferencias en el rendimiento de cultivos asociados. El Cuadro 7 muestra el análisis de la varianza para rendimientos de cultivos asociados y muestra diferencias significativas entre tratamientos. El coeficiente de variación es alto, de 21% para rendimiento de cultivos asociados. Los rendimientos promedio de los tratamientos variaron de 16.6 kg ha⁻¹ de *Ib* en el Tratamiento VI Sin quema con eras,

debido a la baja densidad de siembra empleada, hasta 2583 kg ha⁻¹ de semilla de *Mucuna* en el Tratamiento V. Los rendimientos para los otros tratamientos variaron entre 242 y 550 kg ha⁻¹ de *Ib*, debido, principalmente, a su densidad de población. El Tratamiento II Sin quema y solo con *Ib* produjo 550 kg ha⁻¹, mientras que el Tratamiento I Con quema rindió 242 kg ha⁻¹. El Tratamiento I sólo muestra diferencias significativas con el Tratamiento V, mientras que el Tratamiento II muestra diferencias significativas con los Tratamientos V y VI.

Diferencias en la relación beneficio sobre costo.

El Cuadro 8 muestra el análisis de la varianza para la relación B/C. El coeficiente de variación es de 18%. Este cuadro muestra diferencias significativas entre Tratamientos I Con quema con *Ib* y el Tratamiento V Sin quema y con *Mucuna* debido a que mientras el *Ib* tiene un valor en el mercado local de \$ 6.00 kg⁻¹, la *Mucuna* no tuvo precio, ya que nadie lo compra. Lo mismo sucede con todos los otros tratamientos. La relación B/C no muestra diferencias significativas entre el Tratamiento I Con quema e *Ib* y el Tratamiento II Sin quema con *Ib* debido, principalmente, a su alto coeficiente de variación, derivado de la densidad de población del *Ib* en las repeticiones. Las más altas poblaciones rindieron más pero dificultaron la cosecha del maíz.

La interpretación conjunta de productores e investigadores indicaron que la milpa Sin quema es mejor que la Con quema pero requiere de más jornales y semillas. Por otra parte, la semilla de *Ib* tiene un alto precio mientras que la semilla de *Mucuna* no tiene valor de uso ni valor de cambio, por lo que el *Ib* como cultivo de cobertera es preferible a la de *Mucuna*.

Análisis de la Información

El uso continuo de la quema para la siembra *milpa* produce una drástica disminución de su rendimiento, como lo muestran los trabajos de Steggerda (1941) y Cowgill (1961) y, más recientemente, Soria *et al.* (1991). La caída en el rendimiento se debe, principalmente, al efecto combinado de la disminución de los nutrientes disponibles para los cultivos, al incremento de arvenses y a la pérdida del mantillo (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Weisbach *et al.*, 2002). Los nutrientes disponibles disminuyen porque se presenta un decremento en la cantidad y velocidad de mineralización de la materia orgánica del suelo, liberándose menor cantidad de nutrientes (Soria *et al.*, 1991). El incremento en la incidencia de arvenses genera una competencia por luz, agua y nutrientes entre los cultivos y las arvenses, bajando el rendimiento del cultivo. La pérdida del mantillo deja al descubierto las capas superficiales del suelo disminuyendo su infiltración, aumentando la evaporación e incrementando la magnitud de los cambios de temperatura del suelo. El uso combinado de cultivos de cobertera y fertilizantes químicos mantiene la disponibilidad de nutrientes, compite con las arvenses y forma un mantillo.

La investigación participativa desarrollada cubre desde la selección de tratamientos hasta la evaluación conjunta entre productores e investigadores del proceso de producción de las *milpas*, pasa por el diseño, el establecimiento y la interpretación de experimentos y llega hasta la generación y divulgación de recomendaciones de producción. La generación de alternativas para la producción continua

Cuadro 7. Análisis de la varianza para rendimiento de cultivos asociados. 1997.

Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Nivel de significación
Total	17	13774,141			
Tratamientos	5	13521,030	2704,206	128.207	< 0.000
Error	12	253,111	21,093		

Cuadro 8. Análisis de la varianza para la relación beneficio/costo. 1997.

Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Nivel de significación
Total	17	3.657			
Tratamientos	5	2.642	0.52800	6.244	0.004
Error	12	1.015	0.08461		

de la *milpa* es de gran importancia para los productores tradicionales como lo demuestra su participación en la investigación durante dos años.

Después del ciclo experimental en 1966 y una vez que los productores entendieron la función de la cobertera, inmediatamente propusieron el uso de *Ib* como cobertera, pero ahora con el tratamiento "Sin quema" y con el uso de herbicidas y fertilizantes. El cultivo de *Ib* como cobertera mostró un buen comportamiento, además de generar relaciones B/C mejores que para *Mucuna*.

La investigación participativa, sin embargo, requiere que el investigador esté en contacto permanente con los productores participantes en la conducción de los experimentos para tomar los datos y la información requerida, y para participar en la toma de decisiones de situaciones no previstas. La investigación participativa permite al investigador entender perfectamente las necesidades, los recursos, los conceptos y métodos que emplean los productores.

Los resultados de la investigación participativa presentados por los productores que condujeron los experimentos causaron un fuerte impacto sobre productores visitantes, autoridades y funcionarios públicos. El FIRA organizó la visita para la presentación de los resultados experimentales a productores del oriente de Yucatán. El Instituto Nacional Indigenista organizó visitas de productores y se impartió capacitación a sus técnicos.

Los productores de Yaxcabá sembraron aproximadamente 80 ha de *milpa* sin quema en 1998, utilizando *Ib* (*Phaseolus lunatus*). La *milpa* sin quema emplea cultivos de cobertera que hacen un buen control de arvenses y, al mismo tiempo, produce granos de alto valor alimenticio y con demanda en el mercado local.

CONCLUSIONES

- La investigación participativa muestra algunas desventajas en comparación con los métodos tradicionales de experimentación, probablemente la más importante es la gran variación en cuanto al rendimiento obtenido para cada repetición. Esto es debido a que cada repetición es atendida por un productor diferente, las parcelas son de mucho mayor tamaño que las parcelas tradicionales de experimentación y, además, de que en parcelas grandes es más difícil controlar las plagas y enfermedades, todo esto trae como consecuencia valores altos a muy altos de los coeficientes de

variación de los experimentos. Estas desventajas se compensan en parte en el momento de hacer las interpretaciones en el grupo de trabajo, ya que existe un claro conocimiento de la manera en que cada productor condujo su parcela, se conoce la variabilidad de los suelos y se estima con bastante precisión el impacto en cada parcela de las plagas y enfermedades. De esta manera, en el momento de hacer la interpretación de los resultados, no hay duda en el grupo de las ventajas y limitaciones que presenta cada uno de los tratamientos probados.

- Las ventajas de la investigación participativa muestran sus resultados, por una parte el entendimiento de los productores e investigadores de la naturaleza del fenómeno, en este caso con la función que desempeñan los cultivos de cobertera en el control de la competencia por luz, agua y nutrientes de las arvenses y, por otra, la generación de tecnología aplicable a las circunstancias reales de los productores.

- Las innovaciones empleadas en la *milpa* sin quema incrementan los rendimientos de maíz y leguminosas, así como la rentabilidad de la *milpa*, pero también ayudan a la conservación del ambiente, ya que no elimina la biomasa acumulada en el suelo, sino que la incorpora, siendo esto la base de su sostenibilidad. Sin embargo, su aplicación requiere de una inversión inicial en semillas, fertilizantes, herbicidas y jornales por parte del productor. Esta inversión podría hacerse mediante programas gubernamentales, de manera tal que los costos de mantenimiento de la selva, la fauna y el mejoramiento del ambiente no recaigan totalmente sobre el productor.

- Es necesario tener continuidad en el diseño y en la prueba de tecnologías alternativas al sistema de roza, tumba y quema, para evaluar su desempeño durante varios años y continuar generando alternativas a los productores de la región.

LITERATURA CITADA

- Alegre, J.C. y D.K. Cassell. 1994. Soil physical dynamics under slash-and burn system. pp. 47-62. In: Supplement to Transactions. Alternatives to Slash-and Burn Agriculture. Symposium ID-6. 15th World Congress of Soil Science. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Buckles, D. 1995. Velvet bean: a "new" plant with a history. Econ. Bot. 49: 13-25.
- Bunch, R. 1994. The potential of slash mulch for relieving poverty and environmental degradation. pp 5-9. In: Thurston, H.D., et al. (eds.). Tapado slash mulch: how farmers use it and what researchers know about it. Centro de Agricultura Tropical de

- Investigación y Enseñanza-Cornell International Institute for Food Agriculture and Development-Cornell University. Ithaca, NY.
- Bunch, R. 1995. The use of green manures by villager farmers: what we have learned to date. Technical Report 3. Centro Internacional de Información sobre Cultivos de Cobertura. Tegucigalpa MDC, Honduras.
- Bunch, R. 2001. The Overstory, #29. Tropical green manures/cover crops. (<http://www.agroforester.com/overstory/overstory29.html>). (July 19, 2002).
- Caamal-Maldonado, J.A., J.J. Jiménez-Osornio, A. Torres-Barragán y A.L. Anaya. 2001. The use of allelopathic legume and mulch species for weed control in cropping systems. *Agron. J.* 93: 27-36.
- Castillo-M., A., R. Mariaca-M. y E. Hernández-X. 1995. Un procedimiento para realizar experimentación agrícola para maíz en suelos pedregosos de Yucatán, México. pp. 369-380. *In: Hernández-X., E., Bello-B. y S. Levy-T. (eds.). La Milpa en Yucatán. Vol. 2. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.*
- Cowgill, U.M. 1961. Soil fertility, population, and ancient Maya. *Academy of Science* 46 (80): 1009-1010.
- Cuanalo, H.E. 1994. An agro-ecological model of organic matter in the rocky limestone soils of Yucatan. pp. 433-434. *In: Symposium ID-19: Fertilizer Technology it Efficient Use for Crop Production. Vol. 5b. 15th World Congress of Soil Science. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.*
- De Landa, D. S/F. Relación de las cosas de Yucatán. Dante. Mérida, Yucatán, México.
- Hernández-X., E. 1959. La Agricultura en la Península de Yucatán. pp. 3-57. *In: Beltrán, E. (ed.). Los recursos naturales del Sureste y su aprovechamiento. Vol. 3. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México, D.F.*
- Jiménez-Osornio, J., M.K. Moo-M., I.S. López-F., A. López-P., F. Ancona-B., A. Mendoza-E, F. Xuluc-T., R. Camara-S. y K. Nelson. 1997. Investigación en Sahcabá, Yucatán: la experiencia de Protrópico-FMVZ-UADY. Red de Gestión de Recursos Naturales y Fundación Rockefeller. México, D.F.
- Juo A., S.R. y A. Manu. 1994. Chemical dynamics in slash-and-burn agriculture. pp. 63-77. *In: Supplement to Transactions. Alternatives to Slash-and Burn Agriculture. Symposium ID-6. 15th World Congress of Soil Science. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.*
- Morley, S.G. 1946. The ancient Maya. Stanford University Press. Palo Alto, CA.
- Nye, P.H. y D.J. Greenland. 1960. The soil under shifting cultivation. Technical Communication 51. Commonwealth Bureau of Soils. Harpenden, UK.
- Palm, C.A., M.J. Swift y P.L. Woomer. 1994. Soil biology in slash-and-burn agriculture. pp. 78-92. *In: Supplement to Transactions. Alternatives to Slash-and Burn Agriculture. Symposium ID-6. 15th World Congress of Soil Science. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.*
- Pérez-A., T. 1942. La Milpa. Gobierno de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Soria-F., M., H. Cuanalo-de la Cerda, R. Ferrera-Cerrato y A. Martínez-Garza. 1991. La actividad microbiana del suelo y su efecto en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en el norte de Yucatán. *Agrociencia. Serie Agua Suelo Clima* 2: 97-114.
- Steggerda, M. 1941. Maya Indians of Yucatan. Publication 531. Carnegie Institute of Washington. Washington, DC.
- Terán, S. y C. Rasmussen. 1994. La Milpa de los Mayas.. Ministerio de Relaciones Exteriores de Dinamarca. Mérida, Yucatán. México.
- Weisbach, C., H. Tiessen y J.J. Jimenez-Osornio. 2002. Soil fertility during shifting cultivation in tropical Karst soils of Yucatan. *Agronomie* 22: 253-263.
- Werner, J. 1993. Participatory development of agricultural innovations: procedures and methods of on farm research. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit-Swiss Development Cooperation. Eschborn, Germany.
- Yopo-B., P. 1989. Metodología de la Investigación Participativa. Cuaderno de CEPAL 16. Centro Regional de Educación de Adultos y Alfabetización Funcional para América Latina. Pátzcuaro, Michoacán, México.

VERIFICACIÓN DE TECNOLOGÍA PARA FRIJOL DE RIEGO EN LA REGIÓN CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO

Verification of Technology for Irrigated Beans in the Central Region of the State of Veracruz, Mexico

Fco. Javier Ugalde-Acosta¹, Bernardo Villar-Sánchez^{2*}, Ernesto López-Salinas¹ y Oscar Hugo Tosquy-Valle¹

RESUMEN

Para validar la tecnología existente en el cultivo de frijol de riego (*Phaseolus vulgaris* L.) para la región centro del estado de Veracruz, el programa de investigación de frijol del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y los departamentos de fomento agropecuario municipal establecieron durante los ciclos invierno-primavera (I-P) 1999, 2000 y 2001 cuatro módulos de producción de frijol en el municipio de Jamapa, cinco en Medellín de Bravo y cinco en Veracruz. Los objetivos fueron comparar un grupo de variedades mejoradas con respecto al criollo regional y cuatro sistemas de riego-fertilización N-P-K que el productor utiliza (rodado-fertilización manual 40-40-0, aspersión-fertilización manual 40-40-0, goteo-fertilización manual 40-40-0 y goteo-fertirriego 70-20-50), para determinar el mejor sistema en cuanto al incremento en rendimiento y a la eficiencia en el uso del agua y a la rentabilidad. Los tratamientos se evaluaron en terrenos de productores y se les realizó un análisis estadístico consistente en la aplicación del método de parcelas apareadas; asimismo, la eficiencia en el uso del agua se analizó considerando la relación existente entre el agua consumida por el cultivo y la aplicada con el riego. Finalmente, se realizó un análisis marginal para determinar la rentabilidad del mejor tratamiento. Las variedades mejoradas de frijol incrementaron en más de 100% el rendimiento con respecto al criollo. El mayor porcentaje de eficiencia en el uso de agua (97.9%) se obtuvo con el sistema de

riego por goteo. Riego por goteo y fertirriego con la dosis 70-20-50 de N, P y K fue el sistema más productivo y rentable para el productor con una tasa de retorno marginal de 151%.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., rendimiento de grano, riego por goteo, relación beneficio/costo.

SUMMARY

In order to validate the existing technology for irrigated beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in the central region of the state of Veracruz, during the Winter-Spring agricultural cycles of 1999, 2000, and 2001, the bean research program of the Cotaxtla Experiment Station (INIFAP) in conjunction with the Municipal Departments of Agriculture and Cattle Fomentation established four modules for bean production in the municipality of Jamapa, five in Medellín de Bravo and five in Veracruz. The objectives were to compare a group of improved bean varieties with the regional traditional variety and four irrigation N-P-K fertilization systems used by the farmers (ground-manual fertilization 40-40-0, sprinkler-manual fertilization 40-40-0, manual drip-fertilization 40-40-0, and drip-fertigation 70-20-50), to determine the best system for yield increase, water use efficiency and profitability. The treatments were evaluated in farmers' plots and paired-plots statistical analysis was performed. The water use efficiency was also analyzed, considering the existing relationship between the water consumed by the crop and that applied with irrigation. Likewise a marginal analysis was performed to determine the profitability of the best treatment. The improved bean varieties increased yield by more than 100% as compared with the regional traditional varieties. The highest percentage of water use efficiency (97.9%) was obtained with the drip irrigation system. Drip fertigation 70-20-50 N, P, and K was the most productive and profitable system for the farmer with a marginal return rate of 151%.

¹ Campo Experimental Cotaxtla, CIRGOC, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz, México.

² Autor responsable (bervill@prodigy.net.mx)

³ Campo Experimental Centro de Chiapas, CIRPAS, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Ocozocoautla, Chiapas, México.

Index words: *Phaseolus vulgaris* L., grain yield, drip irrigation, relationship benefit/costs

INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo de gran importancia económica y social en el estado de Veracruz. En esta entidad, las siembras de frijol de temporal ocuparon una superficie de 39 484 ha, en tanto que en condiciones de riego la superficie de siembra fue de 577 ha (SAGARPA, 2002). Sin embargo, existen áreas de gran potencial productivo que no se aprovechan, a pesar de contar con el recurso agua (Durán-Prado, 1995). Además, en estas áreas tradicionalmente se siembran materiales criollos de baja capacidad productiva, establecidos mediante los sistemas de cultivo de riego rodado y fertilización manual 40-40-00 de N, P y K, respectivamente, y, en menor proporción, riego por aspersión también con fertilización manual. En el primer sistema, la eficiencia en el uso del agua de los fertilizantes es muy baja, por lo que el rendimiento promedio es de 957 kg ha⁻¹ (SAGARPA, 2002). En el sistema de riego por aspersión puede disminuirse hasta en 50% el gasto de agua en comparación con el riego por gravedad, sin embargo, un factor limitativo de este sistema es la velocidad del viento que no permite una distribución homogénea del agua (Manjares-Sandoval y López-Lugo, 1983).

Se ha demostrado que con el uso de variedades mejoradas conducidas tradicionalmente mediante riego rodado o aspersión y fertilización manual puede incrementarse significativamente el rendimiento de grano (Acosta-Gallegos *et al.*, 2000). En cuanto a sistemas de riego y fertilización, el método de riego por goteo ofrece la ventaja adicional de que puedan aplicarse los fertilizantes en el agua de riego. Esto permite incrementar la eficiencia de este insumo, ya que con este sistema el fertilizante se aplica en forma exacta y uniforme, sólo al volumen radical humedecido, donde están concentradas las raíces activas (Haynes y Swift, 1987; Imas *et al.*, 1997). Además de que pueden programarse las aplicaciones con base en las necesidades de la planta y, de esta manera, reducirse las pérdidas de nutrimentos (Dilz, 1988). Este sistema también ofrece un ahorro de agua de 70 y 20% con respecto al riego rodado y aspersión, respectivamente (Dominguez, 1993; Ugalde-Acosta *et al.*, 2004). Por lo que, la correcta combinación de estos dos elementos (nutrimentos y agua) es importante para lograr altos rendimientos y mejorar la

calidad en las cosechas (Pizarro, 1996; Cadahia-López, 1998). De esta manera, en Sinaloa, se ha incrementado en 27% el rendimiento de grano de frijol, y, en San Luis Potosí, en más de 50%, con respecto al obtenido con riego rodado y fertilización manual (Mendoza-Robles, 1993; Jasso-Chavarría *et al.*, 2004).

El programa de frijol del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha generado variedades de alto potencial de rendimiento y con adaptación a diferentes sistemas de producción (temporal, humedad residual y riego). Considerando que, en el estado de Veracruz, las unidades de producción de frijol son predominantemente de menos de 5 ha y con bajo rendimiento, una alternativa viable es el establecimiento de estas variedades mediante el sistema de fertirriego, modalidad riego por goteo con el fin de contribuir a incrementar la productividad de este cultivo. Por lo anterior, este sistema de producción se validó en tres municipios de la zona centro de Veracruz con los objetivos: 1) comparar el rendimiento de un grupo élite de variedades mejoradas de frijol, con respecto al criollo utilizado por el productor; 2) determinar el sistema de riego con el que se obtenga la mayor eficiencia en el uso de agua en el cultivo de frijol; 3) determinar con qué sistema de riego y fertilización el productor obtiene la mayor rentabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante los ciclos invierno-primavera 1999, 2000 y 2001 en el área comprendida del Distrito de Temporal Tecnificado No. 5, el cual se encuentra ubicado a 18° 50' N y 96° 10' O, a una altitud promedio de 16 m. En esta área, el tipo de clima es cálido subhúmedo Aw1 (García, 1981) con suelos del tipo Fluvisol de acuerdo con la clasificación FAO-UNESCO (1980), caracterizados por tener profundidades de más de 1 m, de regular a buena fertilidad y textura franca; la topografía es plana y no se tienen restricciones de agua, por lo que existen condiciones propias para riego.

Se sembraron 14 módulos de verificación de tecnología de frijol en condiciones de riego, distribuidos en los municipios de Jamapa (4), Medellín de Bravo (5) y Veracruz (5), los cuales se condujeron con la participación de 10 productores, asesorados por técnicos del Departamento de Fomento

Agropecuaria de los municipios de Veracruz, Jamapa y Medellín de Bravo. En los módulos se utilizó infraestructura de riego disponible del agricultor y se aplicaron la tecnología de variedades mejoradas, densidad de población, fertilización y control fitosanitario generada por el Programa de Frijol del Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP (López-Salinas *et al.*, 1994b). La superficie de los módulos fue de 1 ha en promedio.

Se evaluaron dos componentes tecnológicos: 1) variedad: criollo (testigo) y variedad mejorada: Negro Tropical, Negro INIFAP, Negro Tacaná y Negro Medellín; y 2) sistemas de riego-fertilización: riego rodado + fertilización manual 40-40-00 de NPK, riego por aspersión + fertilización manual 40-40-00 de NPK, riego por goteo + fertilización manual 40-40-00 de NPK y riego por goteo + fertilización soluble 70-20-50 de NPK.

Sistemas de Riego-Fertilización

El riego rodado se operó con manguera poliducto de 2 pulgadas, para el riego de aspersión se utilizaron cañones de 5/8 de pulgadas y en el riego por goteo se emplearon cintillas con goteros distribuidos cada 30 cm. Para cubrir la dosis de fertilización de los tres primeros tratamientos se utilizaron las fuentes nutrimentales urea y fosfato diamónico grado 18-46-0, aplicadas en banda a ocho días después de la siembra. Para cubrir la dosis de fertilización del último tratamiento, se emplearon como fuentes solubles urea, fosfato monoamónico grado 12-61-00 y nitrato de potasio aplicados en forma fraccionada cada 10 días a partir de la etapa V3 (primera hoja trifoliada) hasta la etapa R8 (llenado de vaina). Esta dosis de fertilización se obtuvo a partir de estudios realizados en Sinaloa con el sistema de fertirriego en el cultivo de frijol (Mendoza-Robles, 2003) y se adaptó a la región con base en las características de los suelos y en los costos de los fertilizantes solubles.

Los rendimientos parcelarios obtenidos por los genotipos (criollo y variedad mejorada), así como por los sistemas de riego-fertilización se promediaron y se transformaron en kg ha⁻¹ ajustados a 14% de humedad y, para darles validez estadística a las diferencias entre las medias de rendimiento, se utilizó el método t de Student para parcelas apareadas (Reyes-Castañeda, 1982).

Para evaluar la eficiencia de los sistemas de riego en el uso de agua, se consideró la relación existente

entre el agua consumida por el cultivo y el agua aplicada con el riego (Doorenbos y Pruitt, 1990). En un sistema de riego eficiente, el agua aplicada debe ser igual a la que utilice el cultivo para su desarrollo, es decir:

$$E_{rp} = \left(\frac{L_{rc}}{L_{ra}} \right) * 100$$

donde: E_{rp} es la eficiencia de riego en parcela (%); L_{rc} es la lámina de riego consumida (cm) y L_{ra} es la lámina de riego aplicada (cm).

Para la presente investigación, mediante el monitoreo del gasto de agua aplicado en el riego, el contenido gravimétrico de humedad del suelo y las características físico-químicas del mismo, se aplicó la ecuación del balance de humedad para estimar el agua consumida por el cultivo y la almacenada en el suelo. Para el sistema de riego, la humedad consumida por el cultivo se estimó como la suma de la diferencia de los abatimientos de la curva de humedad del suelo.

Finalmente, para determinar el sistema de riego y la fertilización de mayor rentabilidad, se realizó un análisis económico, mediante la tasa de retorno marginal, la cual se obtuvo al dividir el incremento marginal en beneficio neto (es decir, el aumento en beneficios netos) entre el incremento marginal en costo variable (aumento en los costos que varían) y se expresa en porcentaje (CIMMYT, 1988).

Los costos de las tecnologías validadas de riego-fertilización incluyeron los siguientes conceptos: 1) accesorios para el riego (manguera de suministro, tubo de PVC, cintillas de riego, aspersores, conectores iniciales); 2) insumos (fertilizantes solubles y sólidos); y 3) costo de operación (cuotas de riego y jornales).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el componente variedad, con el empleo de variedades mejoradas se obtuvo un rendimiento promedio de 1159 kg ha⁻¹ que fue significativamente mayor en 626.5 kg ha⁻¹ con respecto al material criollo utilizado por el productor en los tres municipios de estudio. Estos resultados permiten afirmar que sólo con el cambio de variedad, el productor puede incrementar su producción en el ciclo de riego en más del doble, sin un aumento considerable de sus costos de producción (López-Salinas *et al.*, 1999).

Es importante señalar que, en esta región del Golfo de México, uno de los principales problemas de

frijol establecido en condiciones de humedad residual, es la sequía terminal que no permite que las variedades mejoradas de frijol expresen su máximo potencial productivo (López-Salinas *et al.*, 1994a). En el Cuadro 1, se presentan los rendimientos promedio obtenidos de los tratamientos riego-fertilización, en el cual puede observarse que el sistema de riego por goteo con fertilización soluble fraccionada con dosis 70-20-50 obtuvo el mayor rendimiento y fue significativamente superior al resto de los tratamientos, los cuales fueron estadísticamente similares entre sí.

El alto rendimiento obtenido en dicho tratamiento es atribuido principalmente a un incremento en la dosis de fertilización y en la eficiencia en el uso del agua y de los fertilizantes solubles aplicados mediante riego por goteo en forma fraccionada y oportuna en las etapas fenológicas del cultivo desde V₃ al R₈.

En cuanto a la eficiencia en el uso de agua (Cuadro 2), los sistemas de riego utilizados presentaron el siguiente orden: riego por goteo > riego por aspersión > riego rodado. Con el sistema de riego por goteo, el cultivo de frijol consumió 97.95% de la humedad almacenada en el suelo, con el sistema de riego rodado, el frijol consumió sólo 82.31% de la humedad almacenada; esto indica que, con el riego por goteo, el volumen de agua aplicado fue muy cercano al volumen consumido por el frijol, haciendo

Cuadro 1. Rendimiento promedio obtenido en los sistemas de riego-fertilización.

Tratamiento	Invierno-Primavera			Promedio
	1999	2000	2001	
Fertirriego 70-20-50	-	-	2269	2269.0 a
Rodado 40-40-0	871	778	1196	948.8 b
Aspersión 40-40-40	597	954	1210	920.4 b
Goteo 40-40-40	800	751	1113	889.5 b

Cuadro 2. Eficiencia en el uso de agua para tres sistemas de riego en frijol.

Sistema de riego	Lámina total		Eficiencia
	Almacenada en el suelo	Consumida por el cultivo	
	----- cm -----		%
Riego rodado	30.58	25.17	82.31
Riego por aspersión	30.06	26.94	89.62
Riego por goteo	25.38	24.86	97.95

a este sistema de riego el más eficiente en el uso del agua.

Estas diferencias en la eficiencia en el uso del agua entre sistemas de riego son atribuidas al tipo de distribución del agua por cada sistema, ya que mientras en el sistema de goteo se tiene una humedad más uniforme en la cercanía a la raíz, en el riego rodado existe más heterogeneidad, sobre todo en terrenos mal nivelados (Krüger *et al.*, 1999).

Los resultados anteriores demuestran que, aunque el sistema riego por goteo y fertilización fraccionada requiere de una inversión alta, el rendimiento obtenido es alto, por lo que representa un nuevo enfoque de productividad y rentabilidad para productores que siembran frijol con riego.

Con el sistema de riego por goteo y fertilización soluble fraccionada, se obtuvieron rendimientos similares a los alcanzados en el estado de Sinaloa (2.4 t ha⁻¹) con dosis altas de fertilización NPK 140-20-110 (Mendoza-Robles, 2003), a pesar de que estos módulos se establecieron en zonas de mediano a bajo potencial para la producción de frijol (Durán-Prado, 1995).

Rentabilidad de la Tecnología Validada

En el Cuadro 3, puede observarse que el único tratamiento que aportó ganancias económicas fue riego por goteo y fertilización soluble con la dosis 70-20-50 de NPK, a pesar de que los costos de aplicación de esta tecnología fueron mayores que el resto de los tratamientos. El análisis marginal reportó una tasa de retorno de 151% al aplicar esta tecnología en comparación con el tratamiento inmediato que obtuvo las menores pérdidas (riego rodado y fertilización manual 40-40-0 de NPK). Estos resultados señalan que la productividad obtenida con este sistema de riego-fertilización soluble permite recuperar la inversión realizada y obtener un margen significativo de utilidad. Cabe mencionar, que la inversión realizada (tubería, cintillas, conectores y filtro) para la aplicación de esta tecnología tiene un período mínimo de vida útil de dos años, por lo que en futuras siembras la utilidad será mayor. En el caso de cultivos anuales, cuando se trata de una tecnología que representa un ajuste de la práctica actual del agricultor, la tasa de retorno mínima aceptable es a partir de 50%. (CIMMYT, 1988).

Cuadro 3. Análisis económico de tratamientos de riego-fertilización en el cultivo de frijol en el estado de Veracruz.

Concepto	Riego por goteo-fertilización soluble	Rodado-fertilización manual	Aspersión-fertilización manual	Riego por goteo-fertilización manual
Costo riego-fertilización (\$ ha ⁻¹)	9860	5650	6890	8290
Costo de producción (\$ ha ⁻¹)	13355	9145	10385	11785
Rendimiento (\$ ha ⁻¹)	2269	948	920.40	889.5
Beneficio bruto (\$ ha ⁻¹)	18152	7584	7363.2	7116
Beneficio neto (\$ ha ⁻¹)	4797	-1561	-3021.8	-4669
Relación beneficio/costo	1:1.36	1:0.83	1:0.71	1:0.60
Incremento marginal en beneficio neto (\$)	6358	-1460.8	-1647.2	
Incremento marginal en costo variable (\$)	4210	-1240	-1400	
Tasa de retorno marginal (%)	151			

Costo por kilogramo de grano de frijol \$ 8.00. Costo de jornal \$ 80.00. Costo producción oficial para el cultivo de frijol de riego rodado \$ 9145.00.

CONCLUSIONES

- El uso de variedades mejoradas representa una alternativa viable para incrementar el rendimiento del cultivo de frijol de riego.
- El sistema de riego más eficiente en el uso de agua fue el de riego por goteo.
- La tecnología que proporcionó el mayor rendimiento y rentabilidad para el productor de frijol fue riego por goteo y fertilización soluble fraccionada 70-20-50 de NPK.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Gallegos, J.A., R. Rosales-Serna, R. Navarrete-Maya y E. López-Salinas. 2000. Desarrollo de variedades de frijol para condiciones de riego y temporal en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 79-98.
- Cadahía-López, C. 1998. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: programa de economía. México, D.F.
- Dilz, K. 1988. Efficiency of uptake and utilization of fertilizer nitrogen plants. pp. 1-26. *In: Jenkinson, D.S. y K.A. Smith (eds.). Nitrogen efficiency in agricultural soils.* Elsevier Applied Science Publishers. London, UK.
- Dominguez-V., A. 1993. Fertirrigación. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Doorenbos, J. y O. Pruitt. 1990. Las necesidades de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Cuarta reimpression. Roma, Italia.
- Durán-Prado, A. 1995. Áreas con potencial para la producción de frijol en Veracruz. Publicación Especial 9. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional del Golfo Centro-Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, Veracruz, México.
- FAO-UNESCO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. UNESCO-PNUMA. Roma, Italia.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema climático de Köppen. 3ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Haynes, R.S. y D. Swift. 1987. Effect of trickle fertigation with three forms of nitrogen on soil pH, levels of extractable nutrients below the emitter and plant growth. *Plant Soil* 102: 211-221.
- Imas, P., B. Bar-Yosef, U. Kafkafi y R. Ganmore-Neumann. 1997. Release of carboxylic anions and protons by tomato roots in response to ammonium nitrate ratio and pH in nutrient solution. *Plant Soil* 191: 27-34.
- Jasso-Chavarría, C., M.A. Martínez-Gamiño y J. Huerta-Díaz. 2004. Tecnología para la producción de frijol con fertirriego en San Luis Potosí. Folleto Técnico 24. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional del Noreste-Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, S. L. P., México.
- Krüger, E., G. Schmidt y U. Brückner. 1999. Scheduling strawberry irrigation based upon tension meter measurement and a climatic water balance model. *Scientia Horticulturae* 81: 409-424.
- López-Salinas, E., B. Villar-Sánchez y O. Cano-Reyes. 1994a. Rendimiento y adaptación del frijol negro E-44 en el trópico húmedo de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 17: 39-47.
- López-Salinas, E., A. Durán-Prado, E.N. Becerra-Leor, V.A. Esqueda-Esquivel y O. Cano-Reyes. 1994b. Manual de producción de frijol en el estado de Veracruz. Folleto para Productores 7. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional del Golfo Centro-Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, Veracruz, México.
- López-Salinas, E., J. Acosta-Gallegos, G. Fraire-Vásquez, J. Cumpían-Gutiérrez, E.N. Becerra-Leor, B. Villar-Sánchez, F.J. Ugalde-Acosta. 1999. Estabilidad de rendimiento de la línea de frijol DOR-500 en el trópico húmedo de México. *Agron. Mesoamericana* 10: 69-74.
- Manjarres-Sandoval, J.R. y J.M. López-Lugo. 1983. Uso y manejo del agua. pp. 117-135. *In: Frijol en el noroeste de México (Tecnología de Producción).* Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas-Centro de Investigaciones Agrícolas del Pacífico Norte-Campo Experimental Valle de Culiacán. Culiacán, Sinaloa, México.

- Mendoza-Robles, J.L. 2003. Manejo de cultivos para grano mediante riego por goteo. Folleto Técnico 18. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional del Noroeste-Campo Experimental Valle del Fuerte. Los Mochis, Sinaloa, México.
- Pizarro-C., F. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia (goteo, microaspersión y exudación). Tercera edición. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Reyes-Castañeda, P. 1982. Diseño de experimentos aplicados. Trillas. México, D.F.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2002. Anuarios estadísticos de la producción agrícola. (CD-ROM computer file). Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. México, D.F.
- Ugalde-Acosta, F.J., E. López-Salinas, O.H. Tosquy-Valle, R. Martínez-Morales, I. Olivares-Linares y J.M. López-Irigoyen. 2004. Tecnologías de fertirriego y variedad de frijol Negro INIFAP, para la cuenca hidrológica del Papaloapan. pp. 75-79. *In: Avances de la investigación agrícola, pecuaria, forestal y acuicola en el trópico mexicano. Libro Científico 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Colegio de Postgraduados-Instituto Tecnológico Agropecuario No. 18-Instituto Tecnológico del Mar No.1-Universidad Autónoma Chapingo-Universidad Veracruzana. Veracruz, Veracruz, México.*

TOUR DE LA WRB AL SUROESTE DE MÉXICO

Organizador: Dr. Pavel Krasilnikov

La Base Referencial de los Suelos del Mundo (WRB, por sus siglas en inglés), es un grupo de trabajo de la Unión Internacional de las Ciencias del Suelo (IUSS), cuyo principal objetivo es generar los antecedentes y la profundización científica de la Leyenda de la FAO, revisada en 1988; e ir incorporando los últimos adelantos relacionados con los recursos edáficos y sus interrelaciones para incluir algunos de los estudios pedológicos más recientes, así como difundir y transferir el uso del sistema desde un punto de vista agrícola hacia uno ambiental más amplio, además de su aplicación a otras ciencias relacionadas como la Geología, Ecología e Hidrología. Es un instrumento para mejorar la correlación entre los sistemas de clasificación nacionales. Intenta actuar como un común denominador para la comparación entre los sistemas nacionales (WRB, 1998).

El grupo de trabajo de la WRB se estableció a partir del XV Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo en Acapulco, 1994. Con parte de sus actividades en 1998 se generaron tres publicaciones: la primera con el objetivo de conseguir un acuerdo internacional de las principales agrupaciones de suelos para ser reconocidos a nivel mundial dirigida al público en general; **la segunda**, el Atlas con la distribución de los Grupos de Referencia en el mundo; y la tercera es el manual técnico con las definiciones y criterios de diagnóstico de los horizontes del suelo, propiedades edáficas; y materiales de origen del suelo, también contiene las claves para la clasificación de los grupos de referencia y sus calificadores, esta publicación está dirigida a profesionistas de la Ciencia del Suelo.

En este contexto y con tareas explícitas para continuar con las propuestas para la clasificación de algunos suelos del sur de nuestro país, el Dr. Pavel Krasilnikov, representante de México en la WRB, organizó del 7 al 13 de marzo el Tour de la WRB al suroeste de México, para discutir 10 perfiles de suelo. Asistieron el Dr. Peter Schad, Vicepresidente del comité de la WRB de la IUSS, el Dr. Rosario Napoli, representante de Italia en la WRB, el Dr. Victor Targulian, Presidente de la Comisión de Génesis de Suelos de la IUSS, además el Dr. Gerd Werner, Profesor de la Universidad de Giessen, y el Ing. Carlos Omar Cruz Gaistardo, Subjefe del Departamento de Edafología del INEGI.

El Dr. Krasilnikov elaboró la guía de campo del Tour con el estudio morfológico, físico y químico de 7 de los perfiles, el Dr. Werner fue responsable de los perfiles de la región de Tlaxcala y el Ing. Cruz Gaistardo del perfil de Santo Domingo Yanhuitlán.

Los perfiles discutidos correspondieron a:

Un Terric Anthrosol, en la Laguna del Toro en el área chinampera de Xochimilco, se propone el calificativo de húmico, sálico y/o sódico para estos suelos.

Dos Andosoles en la Sierra Nevada, derivados de cenizas volcánicas emitidas por el Popocatepetl; el primero se clasificó como un Melanic Pachic Andosol, en un bosque de *Abies religiosa* y *Pinus pseudostrabus*, y, el segundo, como un Vitric Umbric Andosol del cual se discutieron las propiedades para definir el horizonte ándico.

En el estado de Tlaxcala se discutió el cuarto perfil en la localidad de Tlalpan, la secuencia paleosedimentaria de nueve Paleosuelos, separados por sedimentos de toba y se discutió su clasificación como Luvisoles y Cambisoles.

El tercer día se discutió una secuencia de Luvisoles crómicos a vérticos, si bien por sus rasgos morfológicos pudieran ser Kastañozems vérticos o Vertisoles ócricos.

En la Sierra de Juárez se discutió una secuencia de podzoles: Podzol epigleico (Cambisol Estágnico) a Podzol húmico dístrico estágnico.

Y en el Municipio de Pluma Hidalgo de la Sierra Sur de Oaxaca se discutieron un Cambisol húmico eutríco y un Alisol móllico.

- Como conclusiones finales del tour se destaca la discusión enriquecedora de los primeros Podzoles descritos y estudiados en la región de la Chinantla.
- La propuesta de ordenar los descriptores en relación con su prioridad, de incluir los Technosoles y nuevos descriptores en el caso del Anthrosol térrico.
- Con relación a la presencia del fragipan en el Perfil 4, se sugiere la necesidad de revisar las propiedades de los fragipanes a través del tiempo. a la vez gran parte de los tepetates deben clasificarse como fragipanes. También se hizo énfasis que los tepetates no son duripanes y, por lo tanto, los suelos que los presentan no pueden ser clasificados como Durisoles o suelos dúricos.
- Deben simplificarse los criterios de diagnóstico de los Alisoles, como estaban en la versión de la FAO (1990).

Dra. Norma Eugenia García-Calderón

Revisores de este número
Reviewers of this number

607

Acosta Gallegos, Jorge A.	Celaya, Guanajuato, México
Aguirre Gómez, Arturo	Cuautitlán, estado de México
Arrigo, Nilda Marta	Buenos Aires, Argentina
Ayala Orduño, José Luis	Chapingo, estado de México
Bordoli Rodríguez, José Martín	Montevideo, Uruguay
Carrillo González, Rogelio	Montecillo, estado de México
Cueto Wong, José A.	Ciudad Lerdo, Durango, México
De la Torre-Almaráz, Rodolfo	México, D.F.
Duch Gary, Jorge	Chapingo, estado de México
Enriquez Reyes, Sergio A.	Querétaro, Querétaro, México
Espinosa Victoria, David	Montecillo, estado de México
García-Mina, Josemaría	Orcoyen Navarra, España
García Pérez, Rafael E.	Chapingo, estado de México
Garrido Reixach, Jordi	Pamplona, España
Geissen, Violette	Villahermosa, Tabasco, México
Granados Sánchez, Diódoro	Chapingo, estado de México
Gutiérrez Coronado, Marco Antonio	Ciudad Obregón, Sonora, México
Larqué-Saavedra, Alfonso	Mérida, Yucatán, México
Loli Figueroa, Oscar	Rimac-Lima, Perú
López de Rodríguez, Marisol	Maracay, Venezuela
López Reyes, Lucía	Puebla, Puebla, México
Luján Pérez, Marcos	Cochabamba, Bolivia
Maldonado Mendoza, Ignacio E.	Ithaca, NY, EEUU
Martínez, Gloria Cristina	Corrientes, Argentina
Mazzarino, María Julia	Bariloche, Argentina
Medina Morales, Ma. del Consuelo	Torreón, Coahuila, México
Nikolskii Gavrilov, Iouri	Montecillo, estado de México
Palacios Mayorga, Sergio	México, D.F.
Pérez Moreno, Jesús	Montecillo, estado de México
Pool Novelo, Luciano	Hopelchen, Campeche, México
Rodríguez Mendoza, Ma. Nieves	Montecillo, estado de México
Rodríguez Neave, Francisco	Chapingo, estado de México
Rubio Covarrubias, Oswaldo A.	Metepec, estado de México
Salgado García, Sergio	Cárdenas, Tabasco, México
Serrano Covarrubias, Luis M.	Chapingo, estado de México
Valdés Ramírez, María	México, D.F.
Velasco Velasco, Vicente Arturo	Oaxaca, Oaxaca, México
Vergara Sánchez, Miguel A.	Chapingo, estado de México
Volke Haller, Víctor	Montecillo, estado de México

Editores Técnicos de este número
Technical Editors of this number

Aguirre Gómez, Arturo	Cuautitlán, estado de México
Alvarado López, Jorge	Montecillo, estado de México
Corlay-Chee, Langén	Chapingo, estado de México
Cueto Wong, José A.	Ciudad Lerdo, Durango, México
Espinosa E., José Refugio	Chapingo, estado de México
Espinosa Victoria, David	Montecillo, estado de México
Fariás Larios, Javier	Tecomán, Colima, México
Gutiérrez Castorena, Carmen	Montecillo, estado de México
López Alcocer, Eduardo	Guadalajara, Jalisco, México

Maldonado Mendoza, Ignacio E.
Martínez Ríos, Juan José
Sandoval Villa, Manuel
Tijerina Chávez, Leonardo
Vargas Hernández, Mateo

Ithaca, NY, EEUU
Ciudad Lerdo, Durango, México
Montecillo, estado de México
Montecillo, estado de México
Chapingo, estado de México

- Aceves-Navarro, L.A. 159
 Aceves-Ruiz, E. 249
 Acosta-Gallegos, J.A. 311
 Acosta-Mireles, M. 57
 Acosta-Rodríguez, G.F. 233
 Adams-Schroeder, R.H. 293
 Aguilar-Espinosa, S. 523
 Aguilar-García, L. 303
 Aguilera-Carbo, A.F. 105
 Aguilera-Ponce, R. 335
 Alarcón, A. 553
 Alcántar-González, G. 97, 457, 469, 495
 Almaguer-Vargas, G. 225
 Almaraz-Suárez, J. 89
 Alonso-López, A. 409
 Álvarez-Sánchez, E. 447
 Armida-Alcudia, L. 545
 Arreola-Ávila, J.G. 233
 Arteaga-Ramírez, R. 113, 159
 Avelar-Mejía, J.J. 563
 Avitia-García, E. 225
 Baca-Castillo, G.A. 49
 Bautista-Cruz, A. 147
 Bautista-Zúñiga, F. 571
 Bello, M.R.F. 523
 Beltrán-Morales, F.A. 381
 Benavides-Mendoza, A. 105
 Bolaños-González, M. 167
 Borges-Gómez, L. 437
 Bravo-Espinosa, M. 371
 Brizuela-Amador Pérez, B. 469
 Bueno-Jáquez, J.E. 409
 Cadena-Hinojosa, M.A. 487
 Cajuste, Lenom J. 285, 447
 Camacho-Díaz, E. 175
 Campos-Ángeles, G.V. 515
 Cantellano-de Rosas, E. 417
 Capulín-Grande, J. 241
 Cárdenas-Soriano, E. 49
 Carrillo-González, R. 447
 Casanova-Villareal, V. 437
 Castellanos-Ramos, J.Z. 321, 329, 447, 469
 Castillo-González, A.M. 225
 Cobos-Peralta, M.A. 73
 Contreras-Hinojosa, J. 399
 Coras-Merino, P.M. 113
 Cortés-Flores, J.I. 249, 265, 273
 Cortéz-Marin, A.L. 159
 Crespo-Pichardo, G. 321, 329
 Cruz-Flores, G. 457
 Cuanalo, H.E. 587
 Cuevas-Renaud, B. 191
 De la Isla-de Bauer, M.L. 201
 Del Castillo-Sánchez, R.F. 147
 Delgadillo-Martínez, J. 73
 Deyta-Sánchez, M. 175
 Deyta-Sánchez, Y. 175
 Díaz-Franco, A. 581
 Domínguez-Esquivel, J.M. 293
 Engleman, E.M. 303
 Escalante-Estrada, J.A. 303
 Escamilla-Bencomo, A. 437
 Espinosa-Calderón, A. 129
 Espinosa-Victoria, D. 545
 Estañol-Botello, E. 477
 Etchevers-Barra, J.D. 57, 89, 147
 Exebio-García, A. 167, 191, 213
 Farias-Larios, J. 523
 Farias-Rodríguez, R. 65, 81
 Fenech-Larios, L. 381
 Fenn, M.E. 201
 Ferrera-Cerrato, R. 73, 293, 523, 553
 Figueroa-Navarro, C. 57
 Fimbres-Fontes, A. 121, 335
 Flores, R.D. 457
 Fragoso, C. 533
 Fucikovsky-Zak, L. 303
 Fuentes-Lara, L.O. 105
 Gallardo-López, F. 409
 Galvis-Spínola, A. 73, 545
 Gama-Castro, J.E. 1
 García, J. 571
 García-Calderón, N.E. 605
 García-Esteva, A. 311
 García-Gamboa, M. 175
 García-González, M.M. 65
 García-Hernández, J.L. 381
 García-Rodríguez, F. 381
 Garza-Cano, I. 581
 Gavi-Reyes, F. 285, 293
 Godoy-Ávila, C. 505
 Gómez-Merino, F.C. 495
 González-Chávez, M.C.Á. 29
 González-Raya, E. 105
 González-Zamudio, B. 447
 Granados-Sánchez, D. 351
 Grünwald, N.J. 487
 Guerrero-Acosta, R. 563
 Gutiérrez-Castorena, M.C. 13, 21, 147
 Gutiérrez-Guzmán, B. 89
 Hernández, D. 1
 Hernández-Garay, A. 73
 Hernández-García, M.A. 351
 Hernández-Martínez, J. 563
 Hernández-Santiago, Q. 341
 Hernández-Tejeda, T. 201
 Hernández-Valencia, R.E.M. 105
 Huerta, E. 533
 Inzunza-Ibarra, M.A. 363, 429
 Jasso-Castañeda, C. 1
 Jasso-Chaverría, C. 257
 Kohashi-Shibata, J. 311

- Landois-Palencia, L.L. 389
 Lara-Herrera, A. 563
 Larrinaga-Mayoral, J. 381
 Lavelle, P. 533
 López-Aguirre, J.G. 523
 López-Carvajal, A. 121
 López-Moctezuma, H. 523
 López-Ríos, G.F. 351
 López-Salinas, E. 599
 López-Upton, J. 515
 Llamas-Llamas, J.J. 563
 Maiti, Ratikanta 105
 Maldonado-Torres, R. 225, 469
 Manjarrez-Martínez, M.J. 553
 Martínez-Gamiño, M.A. 257
 Martínez-Garza, A. † 241, 399
 Martínez-Saldaña, T. 399
 Martínez-Villegas, E. 311
 McClung, E. 1
 Mejía-Saenz, E. 167, 191, 213
 Mellado-Vázquez, A. 137
 Mizrahi, A. 571
 Monger, H.C. 363, 429
 Montalvo-Hernández, D. 341
 Mosqueda-Vázquez, R. 409
 Murillo-Amador, B. 381
 Navarro-Ainza, J.A.C. 121
 Navarro-Garza, H. 183
 Núñez-Escobar, R. 241
 Ojeda-Ramírez, M.M. 409
 Ontiveros-Cortés, A. 311
 Ordaz-Chaparro, V. 97
 Oropeza-Mota, J.L. 167, 191, 389, 399
 Ortiz-Solorio, Carlos A. 13, 21, 417
 Palacios-Mayorga, S. 1
 Palacios-Vélez, E. 167, 213
 Palafox-Caballero, A. 129
 Palma-López, D.J. 293, 545
 Parra-Quezada, R.A. 233
 Pecina-Quintero, V. 581
 Pedraza-Oropeza, F.J.A. 191
 Peña-Cabriales, J.J. 65, 81
 Peña-Lomelí, A. 341
 Peña-Valdivia, C. 477
 Perea-Estrada, V.M. 201
 Pérez-Madrid, G. † 225
 Pérez-Moreno, J. 201
 Pérez-Olvera, M.A. 183
 Pérez-Zamora, O. 39
 Quevedo-Nolasco, A. 137
 Quintero-Lizaola, R. 97
 Ramírez, H. 105
 Ramírez-De León, J.A. 581
 Reyes-Juárez, I. 505
 Reyes-López, A. 105
 Robledo-Torres, V. 105
 Rodríguez-Franco, C. 399
 Rodríguez-Macias, R. 97
 Rodríguez-Mendoza, M.N. 49, 477, 495
 Rubio-Covarrubias, O.A. 487
 Ruiz-Careaga, J. 175
 Ruiz-Carmona, V. 213
 Ruiz-Espinoza, F.H. 381
 Ruiz-Huanca, P. 167
 Ruiz-Vega, J. 371
 Rumayor-Rodríguez, A.F. 563
 Salgado-García, S. 545
 Sánchez-Del Castillo, F. 341
 Sánchez-García, P. 49, 137, 241, 285, 469, 477
 Sánchez-Guzmán, P. 13, 21
 Sánchez-Yáñez, J.M. 65, 81
 Sandoval-Villa, M. 49
 Sedov, S. 1
 Segura-Castruita, M.A. 13, 21
 Sierra-Macias, M. 129
 Solleiro-Rebolledo, E. 1
 Soria-Fregoso, M. 437
 Soto-Hernández, M. 241
 Tapia-Vargas, M. 137
 Tijerina-Chávez, L. 303, 321, 329, 469
 Torres-Estrada, C.A. 505
 Tosquy-Valle, O.H. 129, 599
 Trejo-López, C. 49, 515
 Trejo-Téllez, L.I. 495
 Trinidad-Santos, A. 201, 285, 389, 457
 Troyo-Díez, E. 381
 Turrent-Fernández, A. 129, 249, 265, 273
 Ugalde-Acosta, F.J. 599
 Uicab-Covoh, R.A. 587
 Valdez-Cepeda, R.D. 381
 Valencia-Cantero, E. 81
 Vaquera-Huerta, H. 293
 Vargas-Hernández, J.J. 515
 Vázquez-Alarcón, A. 447
 Vázquez-Peña, M.A. 113, 159
 Velázquez-Martínez, A. 57, 89
 Velázquez-Mendoza, J. 515
 Venegas-González, J. 285
 Villalobos-Reyes, S. 321, 329
 Villalpando, J.L. 1
 Villar-Sánchez, B. 599
 Villegas-Moreno, J. 81
 Villegas-Torres, O.G. 49
 Volke-Haller, V. 97, 137, 249, 371, 389, 399, 409, 477
 Williams-Alanís, H. 581
 Xopiyaxtle-Jarquín, Z. 505
 Yáñez-Jiménez, P. 311
 Zavala-Cruz, J. 293
 Zavaleta-Mejía, E. 477
 Zetina-Lezama, R. 389

NORMAS PARA PUBLICAR EN TERRA *Latinoamericana*

TIPOS DE MANUSCRITOS PARA PUBLICACIÓN

La Revista *TERRA Latinoamericana* acepta trabajos en español, portugués e inglés, sobre temas relacionados con la ciencia del suelo y el agua. Éstos pueden ser artículos científicos, notas de investigación, ensayos, cartas al editor y reseñas de libros.

Se entiende por artículo científico aquél basado en un trabajo de investigación en el cual se ha aplicado en forma rigurosa el método científico y se ha estudiado el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre la respuesta medible de un sistema, como metodología para comprobar o rechazar una hipótesis claramente establecida en el trabajo.

Las notas de investigación son artículos basados en trabajos experimentales que presentan aspectos metodológicos novedosos o resultados que el autor quisiera publicar antes de finalizar su investigación.

Los ensayos son artículos basados en una recopilación de artículos científicos o informes de investigación, en los que el autor aporta su opinión personal sobre el tema y establece conclusiones respecto al estado actual del conocimiento sobre el mismo.

TERRA Latinoamericana publicará en la sección cartas al editor, aquéllas que juzgue convenientes, las cuales deben contener opiniones o comentarios debidamente argumentados. Esta sección tiene por objeto fomentar la discusión sobre temas publicados en sus páginas o de interés para la comunidad científica.

La reseña de libros es una sección destinada a dar a conocer la obra, en particular de autores mexicanos e iberoamericanos, que sea de interés para los científicos del suelo.

Los trabajos que se envíen deberán ceñirse a estas normas para publicación y estarán sujetos a revisión por el Comité Editorial o por quien éste designe, antes de su publicación. No se aceptan trabajos ya publicados o que estén sometidos a la consideración de otras revistas.

CONTENIDO Y FORMATO DEL MANUSCRITO

Los artículos científicos y las notas científicas que se presenten deberán constar de las siguientes partes: 1) título, título en inglés; 2) autor(es); 3) institución(es) del trabajo y dirección de los autores; 4) Resumen; 5) Palabras clave; 6) Summary; 7) Index words; 8) Introducción; 9) Materiales y Métodos; 10) Resultados y Discusión; 11) Conclusiones; y 12) Literatura Citada. El Comité Editorial podrá aceptar algunas modificaciones a esta estructura, cuando el tenor del texto así lo aconseje.

Los ensayos deberán constar de las siguientes partes: 1) título, título en inglés; 2) autor(es) y dirección; 3) institución donde se desarrolló el trabajo y dirección de autores; 4) Resumen; 5) Palabras clave; 6) Summary; 7) Index words; 8) Introducción; 9) Desarrollo del tema, con los subtítulos que se estimen convenientes; 10) Discusión, cuando proceda; 11) Conclusiones; y 12) Literatura Citada.

Las cartas al editor y las reseñas de libros no tienen un formato definido, pero no deberán exceder de dos cuartillas a doble espacio.

Los trabajos deben enviarse con original y dos copias, en papel tamaño carta a doble espacio, dejando márgenes de 2.5 cm en los cuatro costados y con las líneas numeradas. Las páginas, incluyendo los cuadros y las figuras, se numerarán progresivamente. El texto no deberá exceder 15 páginas para un artículo científico y de ocho para una nota científica **incluidos cuadros y figuras**. En la primera versión, cada cuadro o figura deberá estar insertado en el texto.

Los cuadros y las figuras contendrán sólo la información esencial y en ningún caso repetirán los datos que se presenten en otra forma. Las unidades que se empleen serán las del Sistema Internacional de Unidades y Medidas, **por ejemplo para ppm usar mg kg^{-1} o mg L^{-1}** . Los manuscritos, las figuras y los cuadros deberán entregarse también en versión electrónica en procesador Word para Windows de la versión más reciente. **Las figuras deberán estar en un formato que permita hacer modificaciones posteriores.**

FORMATO PARA PUBLICACIÓN

En *Terra Latinoamericana*, los trabajos se publican con el formato que se describe a continuación; sin embargo, los manuscritos deben ser preparados por los autores como se indicó en la sección anterior y tomando en cuenta, hasta donde sea posible, las instrucciones en esta sección. El personal editorial de *Terra Latinoamericana* preparará la versión definitiva para su impresión en las páginas de la revista.

Título. El título se escribirá con mayúsculas, al inicio, centrado, con negritas y tipo de letra TIMES NEW ROMAN 14, se colocará su traducción al inglés debajo del título en español. El título en inglés se escribirá con minúsculas, excepto la primera letra de cada palabra, centrado, con negritas y tipo de letra TIMES NEW ROMAN 12. Para el encabezado de páginas se requiere de un título corto con 60 caracteres o menos.

Autores. Se incluirá el nombre del autor o autores sin títulos ni grados. La primera letra del nombre(s) y de los apellidos paternos y maternos se escribirán con mayúsculas. Los nombres de los autores se separarán por comas, se centrarán, con negritas, tipo de letra TIMES NEW ROMAN 12, a un espacio después del título en inglés.

Institución(es) patrocinadora(s) y dirección de los autores. El objetivo de esta parte del artículo es dar el crédito respectivo a la institución que patrocinó el trabajo y que los lectores puedan contactar a los autores en caso necesario; la dirección postal y electrónica del autor responsable deberán quedar claramente especificadas. Para los otros autores, incluir sólo el nombre y dirección de la institución. Esta identificación se escribirá con minúsculas, excepto las siglas, debajo de los autores, centrado y con tipo de letra TIMES NEW ROMAN 11.

Notas al pie de página. Se podrán utilizar, cuando sea necesario para identificar información adicional; se numerarán progresivamente a través de todo el texto. **Deberán emplearse sólo cuando sea imprescindible.**

Forma de titular. Los títulos tienen diversos órdenes y señalan automáticamente la posición de una parte del artículo dentro de éste.

Título de primer orden. Es el título principal del artículo.

Título de segundo orden. A este tipo corresponden las diferentes partes del artículo; Resumen, Summary,

Introducción, etc. Se escriben con mayúsculas, centrados, con negritas (TIMES NEW ROMAN 11). **Títulos de tercer orden.** Se escriben al margen izquierdo, con minúsculas, excepto la primera letra de las palabras, en negritas, con espacios sencillos después del último texto escrito y antes del que continúa.

Títulos de cuarto orden. Se escriben al margen izquierdo, con negritas, con minúsculas excepto la primera letra, con punto seguido de texto. Sin numeración.

Títulos de quinto orden. Se escriben al margen izquierdo, sin negritas, con minúsculas excepto la primera letra, con punto seguido de texto. Sin numeración.

Resumen. Esta sección debe sintetizar, con menos de 300 palabras, los aspectos más importantes del trabajo, esto es, su justificación, importancia, método experimental (cuando corresponda) y las conclusiones más importantes.

Palabras clave. Estas palabras no deben incluir los mismos términos contenidos en el título. Se colocan a un espacio debajo del resumen al margen izquierdo, con un máximo de cinco. El término "Palabras clave:" se escribe con letra TIMES NEW ROMAN 11, con cursivas, negritas y las palabras clave con el mismo tipo de letra, cursivas, sin negritas. Ejemplo:

Palabras clave: biofertilizante, agroquímicos.

Summary. Se siguen las mismas normas que para el Resumen en español.

Index words. Se seguirán las instrucciones dadas para Palabras clave.

Introducción. En esta sección se indica la motivación, la importancia y los objetivos del trabajo que llevan implícitas las hipótesis del mismo. Contiene, además, los aspectos más relevantes del tema tratados por otros autores e identificados en la revisión de literatura. La Introducción no debe exceder tres cuartillas a doble espacio.

Materiales y Métodos. Esta sección debe describir las características relevantes de los materiales usados en el estudio y los métodos experimentales empleados. Se le debe dar particular importancia a la descripción del método experimental utilizado para lograr los objetivos planteados. Debe mostrar concordancia plena con las hipótesis.

Resultados y Discusión. Aquí se incluyen los resultados obtenidos en la investigación. Éstos se presentarán en forma de texto, cuadros o figuras, y no deberán duplicar la información presentada.

Además deben contener resultados que puedan ser fácilmente calculables.

En la Discusión se resaltarán los principios más importantes y las relaciones causa-efecto derivadas del análisis de los resultados. Además, se deberá explicar, en función de las observaciones hechas, el porqué de lo observado sin establecer suposiciones. Los resultados obtenidos se compararán con los de otros investigadores y se señalarán las divergencias y las semejanzas.

Conclusiones. Las primeras conclusiones que se presenten deben ser aquellas correspondientes a los objetivos planteados. Se pueden incluir, además, otras conclusiones relevantes y recomendaciones que emanen del trabajo.

Citas en el texto. Las citas en el texto se harán de acuerdo con la forma en que éstas participan en la oración. Se seguirán las siguientes reglas: 1) se citará el apellido principal del(los) autor(es) y el año, cuando se trate de uno o dos autores, y el apellido principal del primer autor seguido de *et al.* y el año cuando se trate de tres o más autores; 2) las citas, cuando más de una, se colocarán en orden cronológico; 3) cuando el nombre del(los) autor(es) participa en la oración se colocará el apellido principal seguido del año entre paréntesis, ejemplo: Martínez (2002) observó que..., Merino (2001) y Carrasco (2003) encontraron gran diferencia...; 4) cuando la cita se agrega al final de la oración los nombres de los autores y el año se colocarán entre paréntesis separados por una coma, ejemplo: al final de la cosecha (Martínez, 2002) o (Merino, 2001; Carrasco, 2003) o (Bravo *et al.*, 1999); 5) cuando el autor tiene más de una publicación en un año se adiciona a este a, b, c, ejemplo: (Moreno, 2003a), (Moreno, 2003b) o (Moreno, 2003a,b); 6) Las referencias bibliográficas consultadas en internet, se redactarán de acuerdo con lo enunciado previamente, además de incluir la dirección electrónica y fecha en que se obtuvo la consulta.

Howell, A. T. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture.

<http://agron.scijournals.org/cgi/content/abstract/93/2/281>

(28 mayo 2001).

Literatura Citada. Para confeccionar la lista de citas de literatura se seguirán las normas que se detallan con ejemplos a continuación.

1. Caso de artículos en revistas seriadas, ejemplo:
Contreras-Hinojosa, J. R., V. Volke-Haller, J. L. Oropeza-Mota, C. Rodríguez-Franco, T. Martínez-Saldaña y A. Martínez-Garza. 2003. Encalado y fertilización fosfatada en el cultivo de papa en un Andosol de la Sierra Veracruzana. *Terra* 21: 417-426.

Obsérvese que la inicial del nombre propio se ha trasladado al final de los apellidos sólo para el caso del primer autor, y que se escriben completos los apellidos ligados con guión. Se mantiene el nombre propio en el lugar que corresponde en el resto de los casos. Es común que los nombres ingleses se escriban con dos nombres personales y un apellido; ejemplo: L.J. Brown, el cual se redactará en caso de ser primer autor como Brown, L.J. y como L.J. Brown, si es coautor.

2. Caso de artículos en una publicación colectiva no periódica con o sin editor, ejemplo:

a) con editor

Turrent-Fernández, A. 1984. Los agrosistemas del trópico. pp. 315-328. *In:* E. Hernández X. (ed.). Los sistemas agrícolas de México. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

b) sin editor

Cortés-Flores, J. I. 1984. El manejo de los frutales en zonas frías. pp. 181-192. *In:* La fruta y su perspectiva en México. CONAFRUT. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F.

3. Caso de los boletines técnicos u otras publicaciones seriadas no periódicas, ejemplo:

Hartemink, A. E. 2001. Publish or perish (6) - Soil science for pleasure. *Bull.* 100:50-56. International Union of Soil Science. Vienna, Austria.

4. Caso de los libros, ejemplo:

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.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. London, UK.

No deben incluirse referencias de tesis ni de trabajos publicados en memorias y en proceedings.

La lista de citas se confeccionará en orden alfabético, con sangría francesa de 0.6 cm, con tipo de letra TIMES NEW ROMAN 9, sólo se incluirá en ella los trabajos citados en el texto.

Otros Aspectos del Manuscrito

Para referir a plantas, animales u otros organismos, usar el nombre en latín binomial y con letras itálicas. A continuación se dan algunas indicaciones acerca de los cuidados y consideraciones

que hay que tomar en cuenta para la elaboración de las figuras, cuadros, mapas, etc. Los cuadros deben ser numerados en forma secuencial con números arábigos y en el mismo orden como aparecen en el texto. Los cuadros y las figuras se emplean para reemplazar al texto, cuando el contenido de éstos no puede expresarse claramente con palabras o su uso contribuye a un ahorro importante de espacio. Los cuadros y las figuras deben ser claros, simples y concisos. Para ello es necesario seleccionar los datos de modo que se presenten sólo aquellos que se emplearán para hacer énfasis en algún aspecto o que expliquen otros. Los datos deben ordenarse en una forma tal que sean fáciles de interpretar.

En el pie de cuadro se incluirán las llamadas que sean pertinentes. Los asteriscos se reservarán para indicar significación a 5% (*) y 1% (**), respectivamente; es recomendable incluir el error estándar promedio en las figuras. Otras notas serán señaladas con los símbolos en orden: †, ‡, §, ¶, #, ††, ‡‡, ..., †††.

Los cuadros deben tener tres líneas horizontales continuas: al inicio del cuadro, al inicio del campo del cuadro (no en el encabezado) y al final. El campo y el encabezado de las columnas se pueden dividir a conveniencia del autor. No se deben añadir líneas verticales. Los encabezados, de columnas y líneas, se describirán con minúsculas, excepto la primera letra de la oración. Las unidades se colocan debajo de la segunda línea horizontal. Se empleará sólo el número de cifras significativas necesarias para destacar el punto que se desee. Los cuadros no podrán ser mayores que una página tamaño carta, considerando los márgenes antes señalados.

Los mapas y las figuras, con el título separado, no deben exceder las dimensiones de una página tamaño carta con los márgenes especificados previamente. La leyenda debe ser con letras y números lo suficientemente grandes (con minúscula excepto la primera letra), como para que puedan leerse al ser reducidos, al igual que el grosor de los ejes y las líneas interiores. En una figura lo que interesa destacar es el contenido y no los ejes. En consecuencia, el grosor de estos últimos tiene que ser menor que el de las líneas interiores. Los puntos experimentales deben marcarse visiblemente con símbolos que puedan diferenciarse entre sí, sin color en el relleno y sin marco, por ejemplo: ○●□■△▲. Para dividir los ejes se deben escoger intervalos constantes para cada uno.

Los mosaicos fotográficos deben entregarse montados en hojas de papel, totalmente terminados, con leyenda y numeración. El aumento de las microfotografías debe indicarse en la leyenda.

Agradecimientos. Podrán incluirse al final del texto, esto es, después de las Conclusiones y antes de la Literatura Citada.

Información Adicional

Para mayor información sobre la preparación de manuscritos se recomienda consultar el libro: Alvarado López, J. 2000. Redacción y preparación del artículo científico. Segunda edición. Publicación Especial 11. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo-Colegio de Postgraduados-Agrociencia. Chapingo, México.

Actualizado, Septiembre de 2005

TERRA *Latinoamericana*

Journal of the Mexican Society of Soil Science

Instructions to Authors

SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

Submission of manuscripts for publication should be sent in triplicate to:

Editorial Office of Terra *Latinoamericana*
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
Apartado Postal 45
56230 Chapingo, Edo. de Mexico, Mexico.
Phone and Fax: +52 (595) 9521721
e-mail: terra@correo.chapingo.mx

Upon receipt of a manuscript the authors will receive the file number of their paper. This number should be quoted in all correspondence. Papers already published or under consideration elsewhere cannot be accepted.

TYPE OF MANUSCRIPT

The Journal welcomes concise papers presenting original research findings from authors throughout the world, making a significant contribution to the advancement of knowledge of existing soil science concepts. The Journal publishes papers of topics related to Soil Science, Water Management and Environmental Sciences. The contributions may be Scientific Papers, Research Notes and Critical Reviews. The Journal publishes also Letters to the Editor and Book Reviews.

Scientific Papers must be generated from original research in which the scientific method was implemented to accept or reject a given hypothesis.

Work based on limited experimentation will not generally be acceptable.

Work of local interest only is not considered appropriate for this International Journal.

Research Notes are articles based on experimental work that presents new methodological aspects or important results that the author wants to publish before the research project is completed.

Critical Reviews are articles in which the author reports the State of the Art about a given topic of interest to the scientific community, based on the published literature, establishing some conclusions regarding the analysis of the published data.

MANUSCRIPT

The manuscripts should be provided with a **title page**, containing the title typed in uppercase letters, centered, in English and Spanish; author(s) name(s) and affiliation(s) and including a complete address for correspondence (e-mail). A short title not exceeding 60 characters must be provided for the running headlines. Manuscripts should be typed in double space, with at least 2.5 cm margin on both sides.

Scientific Papers and Research Notes should be divided into the following sections: 1) **Summary** in English and Spanish, not exceeding 300 words for scientific papers and 150 words for research notes; 2) **Index words**, include up to five; 3) **Introduction**, which should set the work in context, presenting the essential background and including a concise statement of the objectives; 4) **Material and Methods**, indicating relevant details of the experimental methods and design, the techniques and statistical methods used in the study, so that the results can be judged for validity and so

that previous experiments may serve as a basis for the design of future experiments. It is highly recommended to describe the soil type and characteristics in which the experiment was conducted; 5) **Results and Discussion**, indicating numerical results in tables or figures and should not be repeated in the text. All statements should be based on proof and not supposition, and should be supported with statistical analysis, i.e. Standard Error and Degrees of Freedom, Least Significant Difference, and Multiple Range Test. The level of significance should be indicated in the text and tables. Discussion should briefly relate the author's results of other works on the subject and give the author's conclusion; 6) **Acknowledgments** and 7) **References**.

STYLE

The acceptable languages are Spanish, English, and Portuguese. For plants, insects, and pathogens give the Latin binomial name (in Italics) at first mention and do not include them in the title, but in the summary. The International System of Units is required. Follow Chemical Abstracts and its indexes for chemical names. Give cation exchange capacity in $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. For ppm use mg kg^{-1} or mg L^{-1} . Use kg ha^{-1} or t ha^{-1} . For time units use min, h, d, month (abbreviate to three letters, i.e. Jan, Feb). A zero must always precede a decimal point e.g. 0.24. All abbreviations must be explained at first mention in the text. The use of asterisks is reserved to indicate statistical significance *($P < 0.05$), **($P < 0.01$), ***($P < 0.001$)

MANUSCRIPTS ON DISK

The original manuscript should always be sent on paper. After acceptance, the submission of the final version must be on disk, formatted for use on Windows based computers. An accompanying printout should be provided. Word software is preferred.

Headings should be used in dividing and subdividing the paper e.g.

First-order headings: Centered, boldface type and uppercase letters Times New Roman 14. Reserved for the main title of the paper.

Second-order headings: Centered, boldface type and uppercase letters. Times New Roman 11. Used for the different parts of the manuscript i.e. Introduction.

Third-order headings: Against left margin, bold face type and first letter of each word in uppercase letter.

Fourth-order headings: In the paragraph. Lowercase letters except the first one, boldface type.

TABLES

These must be numbered consecutively with Arabic numerals, in the same order as they are mentioned in the text. Tables are always printed in a small letter type and should be provided with descriptive headings. All column headings should begin with a capital letter. Table notes should be referred to by superscript: †, ‡, §, ¶, #, ††, †††. When preparing the tables it should be considered that they could be printed in one column (85 mm) or two columns (180 mm). Tables must have three horizontal solid lines: one at the beginning of the table, the second at the beginning of the field and the last one at the end of the table. No vertical lines are allowed. All tables must present statistic parameters to do the appropriate comparisons.

FIGURES

These can be photographs, graphs, charts or diagrams. They must be included in the text. Figures may not reproduce the same matter as tables. Originals of figures must be provided of good quality, drawn or printed clearly in black on white. There should be no numbering or lettering on the originals but in the copies. Vertical axes should be labeled vertically. Keep in mind that the final reduced size is 9-point type for numbers on the axis scale, 10 to 11 points for the axis labels and 7 to 8 points for inside legends. A typewritten, double-spaced list of legends of all figures must be supplied. Each legend should contain sufficient explanation to be meaningful without cross-referencing, giving a key to all the symbols on it. The preferred symbols are ○● □■ ▲, Standard Errors of the means are strongly recommended to be included in the figures.

LITERATURE CITED

In the text the references should be quoted by the author's last name followed by the year and in date order, e.g. (Laird, 1990; Pratt and Adriano, 1993; Jensen *et al.*, 1995) or Follett (1991). The list of references should be provided at the end of the text, listing in alphabetical order, surname of first author and initials, initials and surname of following

authors, year of publication, title of the paper, name of the journal in abbreviation, volume, and first and last page, e.g.:

Flach, K.W., W.D. Nettleton, and O.A. Chadwick. 1992. The criteria of duripans in the US soil taxonomy and the contribution of micromorphology to characterize silica indurated soils. *Terra* 10: 34-45.

Goijsberg, G. and A. Aguilar-Santelises. 1985. pH del suelo y necesidades de cal. pp. 17-24. *In*: A. Aguilar-Santelises, J.D. Etchevers, J.Z. Castellanos (eds.). *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo*. Publicación Especial 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, estado de México.

Ryan, T.P. 1989. *Statistical methods for quality control*. John Wiley & Sons. New York.

Thompson, T.L. and T.A. Doerge. 1996. Nitrogen and water interactions in subsurface trickle irrigated leaf lettuce. II. Agronomic, economic, and environmental outcomes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 168-173.

Smith, P.G., and T. Jones. Title of article (abstract). *JASH* 4(3): 54-59, <http://asac.frymulti.com> (Aug. 9, 2000).

The list of references should be typed in double space throughout.

PROOFS

The proofs will be sent to the authors to enable them to check correctness of the typesetting. They should be handled promptly and returned to the editorial office. No changes other than corrections should be made.

September 2005



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