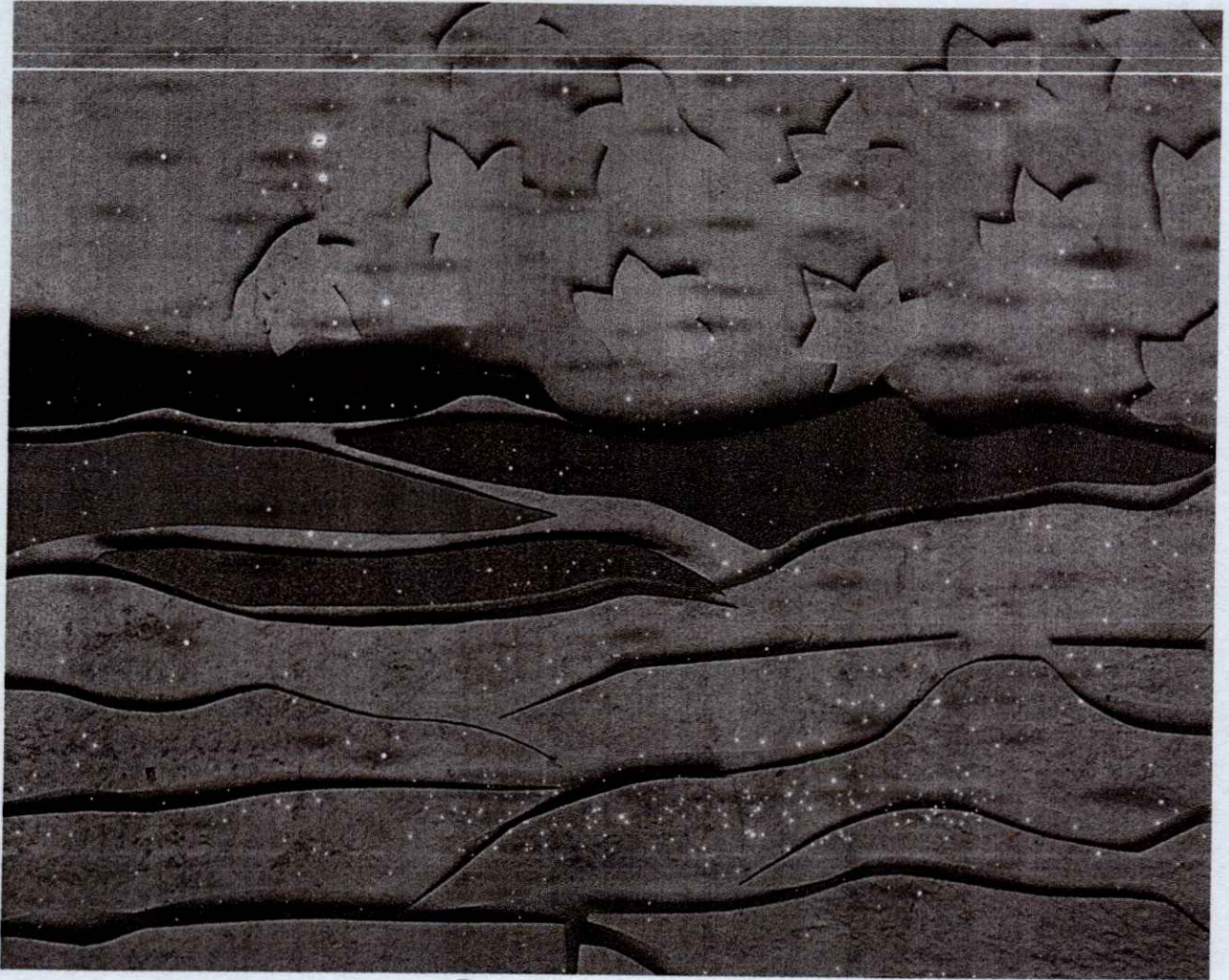


ISSN 0187-5779

TERRA

OCTUBRE - DICIEMBRE DE 2000 • VOLUMEN 18 • NUMERO 4



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

TERRA

SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO A.C.

MESA DIRECTIVA 1997-1999

Presidente

Vicepresidente

Secretario General

Tesorero

Secretario Técnico

Secretario de Relaciones Públicas

Secretario de Eventos Nacionales

e Internacionales

Vocal

Vocal

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

M.C. José Cisneros Domínguez

Dr. Prometeo Sánchez García

Dr. Fernando de León González

Dra. Edna Alvarez Sánchez

M.C. Ricardo Torres Cossío

Dr. Francisco Gavi Reyes

BIól. Rogelio Oliver Guadarrama

M.C. Gaspar Romero Hernández

EDITOR

EDITOR ADJUNTO

EDITORES TECNICOS

Dr. Antonio Vázquez Alarcón

Dr. Javier Z. Castellanos

Dr. Gabriel Alcántar González

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

Dr. Juan José Peña Cabriales

Dr. Xavier X. Uvalle Bueno

Dra. Edna Alvarez Sánchez

Dr. Mateo Vargas Hernández

Dra. Carmen Gutiérrez Castorena

Dr. David Espinosa Victoria

M.C. Jorge Alvarado López

M.C. Langen Corlay Chee

Ina Aalmers de Aguilar

Diane Fumiko Miyoshi Udo

EDITORES DE ESTILO

EDITORIA DE ESTILO

EN INGLES

DIVISIONES Y DISCIPLINAS

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

- Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos
- Física de Suelos
- Química de Suelos
- Contaminación

División II: Relación Suelo - Clima - Biota

- Nutrición Vegetal
- Relación Agua - Suelo - Planta - Atmósfera
- Biología del Suelo
- Tecnología y Uso de Fertilizantes
- Uso y Manejo del Agua

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

- Conservación del Suelo
- Drenaje y Recuperación
- Fertilidad
- Productividad de Agrosistemas

División IV: Educación y Asistencia Técnica

- Educación
- Crédito y Asistencia Técnica

TERRA registro en trámite.

Órgano Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Octubre - Diciembre de 2000 Volumen 18 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 a: Editor de la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Estado de México, México.

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

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

EQUIPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

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

Diseño de portada

EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

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

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

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

TERRA

OCTUBRE - DICIEMBRE DE 2000 • VOLUMEN 18 • NUMERO 4

DIVISION I

- 277 Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos.
T. Méndez-García, L. Rodríguez-Domínguez y S. Palacios-Mayorga
- 289 Identificación de la degradación/desertificación de las tierras en Santa María (Catamarca) a través del procesamiento de imágenes Radarsat.
Stella Maris Navone y Esteban Palacín

DIVISION II

- 299 Nutrición mineral en la caída de yemas florales de chabacano selección 17-10.
Ramón Armas Reyes, Gabriel Alcántar González y Jorge Rodríguez Alcázar
- 305 Desarrollo de la almendra y germinación del fruto del nogal pecanero bajo cuatro calendarios de riego.
Claudio Godoy Avila e Isaías López Montoya
- 313 Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido.
Víctor Manuel Olalde Gutiérrez, José Alberto Escalante Estrada, Prometeo Sánchez García, Leonardo Tijerina Chávez, Angel Agustín Mastache Lagunas y Evaristo Carreño Román
- 325 Persistencia de esporas de *Bacillus thuringiensis* en hojas en maíz, de frijol y en el suelo.
J. M. Sánchez-Yáñez y J. J. Peña-Cabriales
- 333 Sobrevivencia de células vegetativas de *Bacillus thuringiensis* en la esfermosfera/rizosfera de frijol.
M. A. Medrano-González, H. A. Luna-Olvera, J. J. Peña-Cabriales y J. M. Sánchez-Yáñez

DIVISION III

- 339** Efecto de la fertilización foliar en el estado nutrimental, la fotosíntesis, la concentración de carbohidratos y el rendimiento en naranjo 'Valencia Late'.
Onorato Olarte-Ortíz, Gustavo Almaguer-Vargas y José Refugio Espinoza
- 349** Efecto a mediano plazo de labranza en la distribución de la biomasa microbiana y nutrimentos en Vertisoles y Andsoles bajo producción de maíz de temporal.
J. R. Salinas-García, J. de J. Velázquez-García, E. Rosales-Robles, A. D. Baéz-González, M. Tiscareño-López y S. Uribe-Gómez
- 361** Roca fosfórica y *Glomus* sp. en el crecimiento de naranjo agrio.
M. C. González Chávez y R. Ferrera-Cerrato
- 369** Selección de sustratos de crecimiento en microplántulas de cítricos inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19.
M. C. González Chávez y R. Ferrera-Cerrato, A. Villegas-Monter y J. L. Oropeza

Indice de autores	379
Indice de revisores	380
Normas para publicación	381

TERRA

MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

BOARD

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

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

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

DIVISIONS AND DISCIPLINES

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

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

Division II: Soil - Climate - Biota Relationship

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

Division III: Use of the Soil Resource

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

Division IV: Education and Technical Assistance

- Education
- Credit and Technical Assistance

TERRA Registration pending
Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science
October - December, 2000 Volume 18 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, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Estado de México, México.

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

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

EDITOR-IN-CHIEF
ASSOCIATE EDITOR
TECHNICAL EDITORS

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

STYLE EDITORS

ENGLISH EDITOR

EDITORIAL STAFF

Cover design

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

NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

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

INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

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

TERRA

OCTOBER - DECEMBER, 2000 • VOLUME 18 • NUMBER 4

DIVISION I

277 Impact of irrigation with polluted water, evaluated by the presence of heavy metals in soils.

T. Méndez-García, L. Rodríguez-Domínguez and S. Palacios-Mayorga

289 Identification of desertification/degradation using Radarsat image enhancement in lands of Santa Maria.

Stella Maris Navone and Esteban Palacín

DIVISION II

299 Effect of mineral nutrition on bud flower drop of apricot 17-10 selection.

Ramón Armas Reyes, Gabriel Alcántar González and Jorge Rodríguez Alcázar

305 Kernel growth and nut germination under four irrigation schedules in pecans.

Claudio Godoy Avila and Isaias López Montoya

313 Effect of nitrogen application and population density on sunflower growth and biomass distribution in hot climates.

Víctor Manuel Olalde Gutiérrez, José Alberto Escalante Estrada, Prometeo Sánchez García, Leonardo Tijerina Chávez, Angel Agustín Mastache Lagunas and Evaristo Carreño Román

325 Persistence of *Bacillus thuringiensis* spores on soil and maize and bean leaves.

J. M. Sánchez-Yáñez and J. J. Peña-Cabriales

333 Survival of vegetative cells of *Bacillus thuringiensis* in the spermosphere-rhizosphere of common bean.

M. A. Medrano-González, H. A. Luna-Olvera, J. J. Peña-Cabriales and J. M. Sánchez-Yáñez

DIVISION III

- 339** Effect of foliar fertilization on the nutrimental status, photosynthesis, carbohydrate content, and yield of orange 'Valencia Late' trees.
Onorato Olarte-Ortíz, gustavo Almaguer-Vargas and José Refugio Espinoza
- 349** Mid-term effects of tillage on microbial biomass and nutrient distribution in Vertisols and Andisols under rain-fed corn production.
J. R. Salinas-García, J. de J. Velázquez-García, E. Rosales-Robles, A. D. Baéz-González, M. Tiscareño-López and S. Uribe-Gómez
- 361** Rock phosphate and *Glomus* sp. on sour orange growth.
M. C. González Chávez and R. Ferrera-Cerrato
- 369** Selection of growth substrates in micropropagated citrus inoculated plants with *Glomus* sp. Zac-19.
M. C. González Chávez y R. Ferrera-Cerrato, A. Villegas-Monter and J. L. Oropeza

Authors index	379
Reviewers	380
Instructions to authors	385

IMPACTO DEL RIEGO CON AGUAS CONTAMINADAS, EVALUADO A TRAVES DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN SUELOS

Impact of Irrigation with Polluted Water, Evaluated by the Presence of Heavy Metals in Soils

T. Méndez-García¹, L. Rodríguez-Domínguez¹ y S. Palacios-Mayorga¹

RESUMEN

Con el propósito de evaluar los niveles de contaminación por metales pesados, en suelos de 16 sitios del valle de Atlixco, estado de Puebla, que se han sometido al riego, por más de 30 años, con las aguas del río Atoyac, contaminadas con aguas residuales municipales e industriales, se realizó un monitoreo en este río, durante un año, en el trayecto Río Frio-Atlixco, con el propósito de evaluar la calidad del agua. En este trayecto, las aguas del río tienden a la alcalinidad (con un pH promedio de 7.7) por lo que se clasifican como C₁ S₁, C₃ S₁ y C₄ S₁. Los metales pesados solubles se detectaron en el siguiente orden: Fe>Pb>Mn>Cr>Cd (con valores promedio de: 0.67, 0.21, 0.11, 0.04 y 0.03 mg L⁻¹, respectivamente). Se encontró que el Mn es el único metal que excede los límites máximos permisibles por la norma (NOM-NTE-032-91), y que el Cr y el Cd exceden dichos límites sólo al final del trayecto monitoreado, después del punto donde se incorporan las aguas residuales de la ciudad de Puebla. Los suelos, por su contenido alto en Ca y Mg, se clasifican como alcalinos. Los valores de capacidad de intercambio catiónico total (CICT), materia orgánica (MO), nitrógeno total (NT) y fósforo asimilable (P) fluctuaron de bajos a altos. Los metales pesados extractables se detectaron en el siguiente orden: Mn>Fe>Pb>Cd>Cr (con valores promedio de: 85.08, 68.63, 4.22 y 0.30 mg kg⁻¹ y no detectable (ND), respectivamente). Aunque no existen normas oficiales sobre los niveles de toxicidad, llaman la atención los valores de Cd y Pb, los cuales pueden repercutir en la cadena trófica. Los metales totales se detectaron en el siguiente orden: Fe>Mn>Cr>Pb>Cd

(con valores promedio de: 1451.3; 303.6; 195.1; 56.0 y 4.14 mg kg⁻¹, respectivamente); de éstos, el Cr se encontró en concentraciones fitotóxicas en todos los sitios y el Cd y el Pb solamente se detectaron en cantidades fitotóxicas, en la mayoría de los sitios sujetos al riego con agua del Río Atoyac y en aquéllos donde se aplican intensivamente los agroquímicos. Los valores totales de metales pesados, detectados en los suelos, indican que éstos se han acumulado a través del riego, aun cuando su concentración, en forma soluble, es baja en el agua del río.

Palabras clave: Contaminación de agua y suelo, agua residual.

SUMMARY

To assess the levels of heavy metal pollution in soils in 16 sites of Atlixco Valley, Puebla, the Atoyac River, between Rio Frio and Atlixco was monitored for one year to evaluate water quality. These sites have been irrigated for more than 30 years with the waters of the Atoyac which has received municipal and industrial waste waters for more than 50 years. It was found that the river water tends to be alkaline (with an average pH of 7.7) and is thus classified C₁S₁, C₃S₁, and C₄S₁. The soluble heavy metals detected were Fe>Pb>Mn>Cr>Cd (with average values of 0.67, 0.21, 0.11, 0.04, and 0.03 mg L⁻¹, respectively). It was found that Mn was the only metal that exceeds the maximum permitted level of the norm (NOM-NTE-032-91), and that Cr and Cd exceed the limits only at the end of the monitored stretch, beyond the point where the waste waters of the city of Puebla merge with the river. Because of their high content of Ca and Mg, the soils are classified as alkaline. Cation exchange capacity (CEC), organic matter (OM), total nitrogen (TN) and available phosphorus (P) fluctuated from low to high. The extractable heavy metals detected were Mn>Fe>Pb>Cd>Cr [with average values

¹ Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México DF, México.

Recibido: Agosto de 1998.

Aceptado: Noviembre de 2000.

of 85.08, 68.63, 4.22, and 0.30 mg kg⁻¹ and not detectable (ND), respectively]. Although there are no official norms regarding levels of toxicity, the values of Cd and Pb call our attention because they can have repercussions in the trophic chain. Totals for the metals detected were Fe>Mn>Cr>Pb>Cd (with average values of 1451.3, 303.6, 195.1, 56.0, and 4.14 mg kg⁻¹, respectively). Of these, Cr was found in phytotoxic quantities in most of the sites subject to irrigation with Atoyac River water and in those where agrochemicals are used intensively. The total values of heavy metals detected in the soils indicate that they accumulated through irrigation, even though their concentrations in soluble form is low in the river water.

Index words: Water and soil pollution, waste water, heavy metals.

INTRODUCCION

La contaminación de los suelos por metales pesados se ha incrementado considerablemente, como consecuencia del empleo intensivo de agroquímicos y del riego con aguas residuales (Tamariz, 1996; Méndez *et al.*, 1997). Esta problemática ocurre, generalmente, en las zonas agrícolas cercanas a las grandes urbes, en donde los volúmenes de aguas residuales industriales y municipales, que se generan, son cada vez mayores. El valle de Atlixco cuenta con más de 10 000 ha destinadas al cultivo, lo que lo ha convertido en una de las principales zonas forrajeras y hortícolas del estado (con cultivos como tomate, jitomate, cebolla, cilantro, acelga, ajo, ejote, rábano, col y chícharo). Además del maíz, en esta región se cultivan: frijol, cebada, trigo, sorgo, frutales y plantas ornamentales.

Atlixco cuenta con varios ríos, como son: Atoyac, Nexapa, Los Molinos, La Leona y Cantarranas, que reciben descargas de aguas municipales e industriales. Por este hecho, el uso del agua de buena calidad con fines agrícolas se ha dado en un marco de escasez y conflicto. Dentro de esta problemática, Paredes (1992) menciona que, a finales del siglo pasado, el río Atoyac se desvió hacia el valle de Atlixco. Desde entonces, ambos caudales se han utilizado para el riego de cultivos forrajeros, granos básicos y plantas ornamentales. En la década de los 60's, estos cultivos se sustituyeron exitosamente por hortalizas y se obtuvieron altos rendimientos sin el empleo de

fertilizantes (Córdova *et al.*, 1991). Recientemente, el problema del río Atoyac se ha agudizado con la incorporación del agua residual, procedente de Tlaxcala, San Martín Texmelucan, Moyotzingo y la ciudad de Puebla, al río Atoyac, debido a su alto contenido de sales solubles y a la presencia de metales pesados, detergentes y grasas. La adición y acumulación de estos contaminantes en los suelos agrícolas, a través del riego, se han incrementado con la industrialización de los estados de Puebla y Tlaxcala (Méndez *et al.*, 1995).

El impacto que ha originado el uso de aguas contaminadas en Atlixco es importante; en particular, en las zonas donde, por predominar los suelos arcillosos, la acumulación de metales pesados se ve favorecida por la fracción coloidal (Rodríguez y Méndez, 1995; Rodríguez *et al.*, 1995).

Afortunadamente para la región, las condiciones alcalinas de los suelos de Atlixco han influido en la precipitación de los metales pesados, disminuyendo, con ello, su disponibilidad para las plantas. Sin embargo, su acumulación en los suelos de Atlixco representa un peligro latente para los cultivos e, indirectamente, para el hombre (Rodríguez y Méndez, 1995). Considerando lo antes expuesto, los objetivos de este trabajo fueron: 1) la caracterización físico-química y química de las aguas y 2) evaluar los niveles de contaminación de los suelos del ejido Flores Magón, estado de Puebla, por los metales pesados (Fe, Mn, Pb, Cr y Cd), debido al efecto del riego con las aguas del río Atoyac, contaminadas con aguas residuales, industriales y municipales.

MATERIALES Y METODOS

La zona de estudio se localiza en el municipio de Atlixco, al suroeste de la ciudad de Puebla; específicamente, comprende el ejido Flores Magón, situado entre 18°50' y 19°50' latitud norte y 98°18' y 98°35' longitud oeste, a una altitud de 1840 m.

Se realizaron varios recorridos de reconocimiento con el apoyo de la carta topográfica, escala 1:250 000. Los sitios de muestreo correspondieron a: 1) sitio "testigo", regado con agua de pozo; 2) suelos que se han sometido al riego con agua del río Atoyac, contaminado con aguas residuales por más de 30 años; 3) un suelo arenoso procedente de la ribera del río, sujeto a continuas inundaciones; y 4) una muestra de sedimento del cauce del río Atoyac (Figura 1).

Se colectaron 16 muestras de suelo en 16 sitios, a una profundidad de 0 a 30 cm, correspondiente a la capa arable. Las muestras de suelo compuestas, después de ser procesadas, se sometieron a los siguientes análisis: para los metales pesados extractables (Cd, Cr, Fe, Mn y Pb) se utilizó el método de extracción con DTPA de Lindsay y Norvell (1978); los totales se obtuvieron mediante una digestión ácida, utilizando HF-HClO₄ (Walsh, 1971). La determinación, tanto de los metales extractables como de los totales, se realizó por espectrofotometría de absorción atómica de flama. Adicional a la toma de muestras de suelo, se realizó el monitoreo del río Atoyac durante un año (de junio de 1996 a abril de 1997), el cual se llevó a cabo en el trayecto Río Frío-

Atlixco donde se colectaron, trimestralmente, 17 muestras compuestas de agua para su caracterización fisico-química y química, en la cual se incluyeron los metales pesados solubles (Fe, Mn, Pb, Cr y Cd). Todas las muestras se conservaron en refrigeración a 4 °C; las destinadas para el análisis de cationes se acidificaron a pH 2 con H₂SO₄ y para los metales pesados se agregó HNO₃ hasta pH 2, con base en la metodología propuesta por la US-EPA (1974) y la APHA-AWWA-WPCF (1992).

La correlación, tanto de los metales extractables con DPTA como los totales (Pb, Cr, Cd, Mn y Fe), se obtuvo a través de la aplicación del análisis por regresión lineal simple (Pérez, 1997), aplicando el paquete estadístico SG PLUS Ver. 5.2.

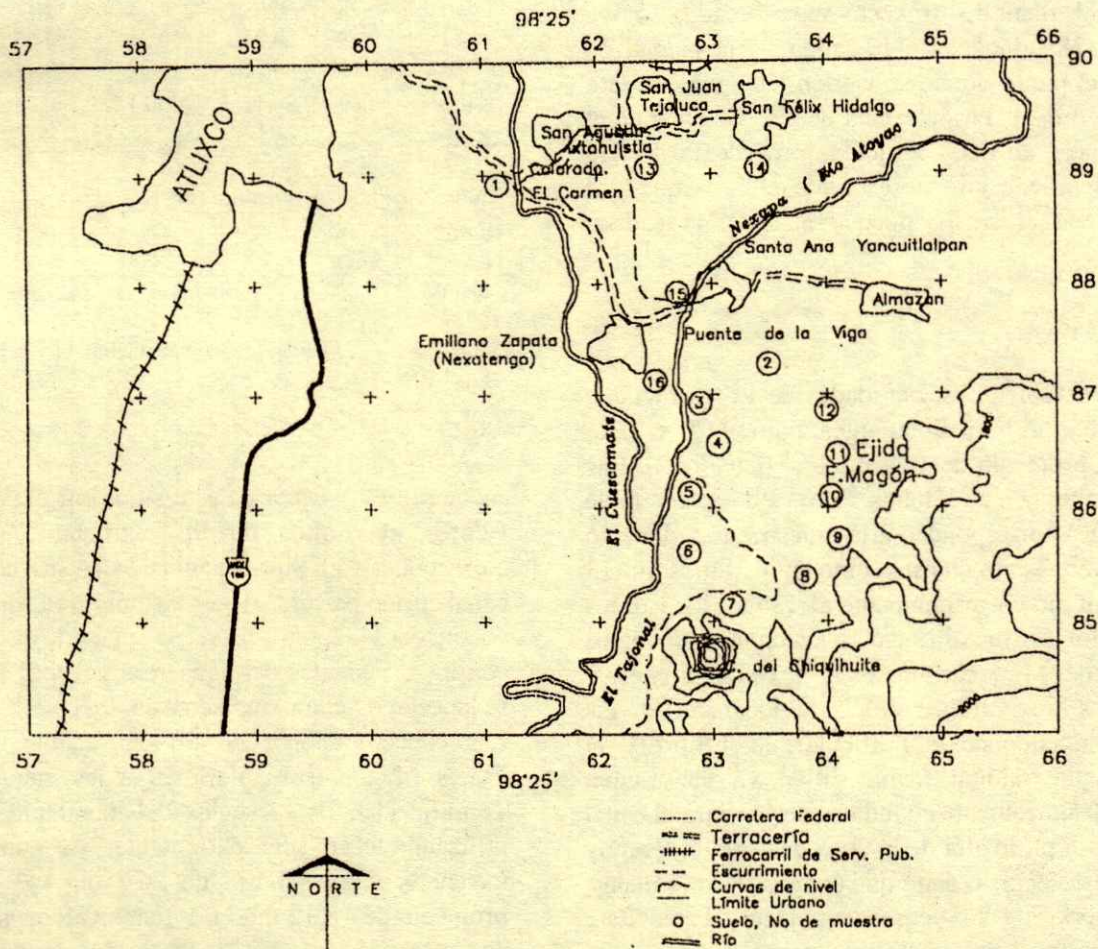


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo de suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Metales Pesados Solubles

Los metales pesados solubles, presentes en el agua del río, se encontraron en el siguiente orden decreciente: Fe>Pb>Mn>Cr>Cd (con valores promedio de: 0.67; 0.21; 0.11; 0.04 y 0.03 mg L⁻¹, respectivamente). Las cantidades de Mn detectadas en todos los sitios, exceden el nivel máximo permisible (0.020 mg L⁻¹) establecido por la norma (NOM-NTE-032-91) y únicamente en los sitios 17 y 18, las concentraciones de este metal rebasan el límite máximo tolerable (0.200 mg L⁻¹) que se considera en la norma (NOM-CCA-032-ECOL 1993). Las concentraciones más altas de Cd y Cr, superiores a los límites máximos permisible por la norma (NOM-NTE-032-91), se detectaron al final del trayecto monitoreado, en los sitios 17 y 18, ubicados a la salida de la ciudad de Puebla, en el punto donde se vierten las aguas de esta ciudad (Cuadro 1). La presencia de Cd, Cr y Pb en el agua destinada al riego agrícola, procedente del río Atoyac, significa un riesgo latente ya que, al acumularse en el suelo, pueden pasar a la cadena trófica.

Metales Pesados

Plomo extractable. Las cantidades de Pb extractable detectadas fueron muy fluctuantes, entre 1.70 y 7.36, con valores promedio de 4.22 mg kg⁻¹ (Cuadro 2). Las concentraciones más bajas de Pb extractable (1.70 mg kg⁻¹) corresponden a la muestra de sedimento del río Atoyac. Tanto en éste como en los Sitios 10, 13 y 14 (este último correspondiente al testigo) los valores bajos de Pb extractable se relacionan con bajos contenidos de MO, carbonatos y texturas arenosas. Además, los tres últimos sitios se localizan en las partes más altas donde, en particular, en el Sitio 10, el riego con agua residual es más difícil, ya que el agua podría llegar únicamente cuando se desbordara el canal que cruza esta parte alta de la zona de estudio. Es muy difícil que esto ocurra, dado que el agua de los canales, en la mayoría de los casos, es insuficiente. Esto significa que, en este sitio es más probable que el Pb extractable detectado provenga del uso de agroquímicos o del tránsito de automotores, ya que el camino de terracería que comunica varios poblados, se

Cuadro 1. Concentración de metales pesados en las aguas del río Atoyac.

Sitios	Fe	Mn	Pb	Cr	Cd
----- mg L ⁻¹ -----					
1	0.05	0.02	0.32	ND	ND
2	0.87	0.18	0.32	ND	ND
3	0.25	0.14	0.38	ND	ND
4	1.32	0.06	0.21	ND	ND
5	0.70	0.03	0.14	ND	ND
6	1.08	0.06	0.18	ND	ND
7	1.87	0.10	0.14	ND	ND
8	1.93	0.07	0.14	ND	ND
9	0.54	0.11	0.38	ND	ND
10	0.32	0.08	0.14	ND	ND
11	0.25	0.03	0.14	ND	ND
12	0.37	0.10	0.19	ND	ND
13	0.41	0.10	0.14	ND	ND
14	0.35	0.14	0.14	ND	ND
15	0.28	0.10	0.14	ND	ND
16	0.23	0.08	0.14	ND	ND
17	0.59	0.24	0.23	0.03	0.02
18	0.60	0.25	0.23	0.04	0.03
Pro-medio	0.67	0.11	0.21	0.04	0.03

Valores máximos permisibles (mg L⁻¹)

NOM*	5.000	0.020	0.500	0.01	0.01
NOM**	5.000	0.200	5.000	0.10	0.01

*NOM-NTE-032-91 (Diario Oficial de la Federación, 24 sept. 1991).

**NOM-CCA-032-ECOL/93 (Diario Oficial de la Federación, 18 oct. 1993).

ND: No detectado.

encuentra muy cerca de este sitio. Por el contrario, los valores más altos de Pb extractable (Cuadro 2) corresponden al Sitio 9, ubicado en las cercanías del canal principal de riego en un área que, por las condiciones topográficas, se inunda frecuentemente con los excedentes del agua residual, por lo que el Pb se ha estado acumulando en esta área.

Las concentraciones de Pb extractable, en el ejido Flores Magón, son inferiores a las encontradas por Tamariz (1996), en suelos del municipio de Atlixco, utilizando el mismo extractante, ya que este autor menciona valores hasta de 26.2 mg kg⁻¹ y un valor promedio de 18.12 mg kg⁻¹. Estos valores superan más de cuatro veces los valores que aparecen en el Cuadro 2. Estas diferencias probablemente se deben más que al tipo de agua de riego, a que los suelos del ejido Flores Magón son más arenosos y más pobres en

Cuadro 2. Concentración de metales extractables en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Sitio	Fe	Mn	Cd	Pb
	----- mg kg ⁻¹ -----			
1	46.27	84.49	0.32	4.96
2	56.67	90.74	0.34	5.73
3	78.30	109.48	0.32	5.90
4	45.30	67.58	0.32	4.20
5	55.21	104.89	0.35	4.76
6	38.17	71.30	0.29	3.23
7	65.66	106.18	0.32	5.26
8	112.95	96.90	0.32	4.86
9	72.25	107.28	0.36	7.36
10	59.45	43.22	0.25	2.10
11	64.49	101.59	0.33	5.16
12	54.12	121.72	0.34	4.50
13	45.55	56.47	0.25	1.93
14 testigo	59.96	84.24	0.28	2.16
15	67.26	43.49	0.21	3.76
16	176.50	71.68	0.21	1.70
Promedio	68.63	85.08	0.30	4.22

No se detectó cromo.

MO, razón por la cual el plomo se ha estado acumulando en menor cantidad que en los suelos de Atlixco. Las cantidades de Pb extractable en el ejido Flores Magón son también inferiores a las indicadas por Cajuste *et al.* (1991) y Hernández *et al.* (1994) en suelos superficiales de Tlaminulpa y las series Actópan, Progreso y Tepatepec del valle del Mezquital Hidalgo, respectivamente, donde se han detectado 17.0, 44.8, 51.2 y 27.2 mg kg⁻¹, respectivamente. Las notables diferencias detectadas en el contenido de Pb extractable entre estas dos zonas, se deben no sólo al diferente tipo de agua y de suelo, sino, además, a que los suelos del valle del Mezquital han estado sujetos al riego con agua residual desde finales del siglo pasado, mientras que, en Atlixco, el agua residual procedente principalmente del río Atoyac, utilizada en el riego, se integró al valle de Atlixco a partir de los años sesentas (Tamariz, 1996).

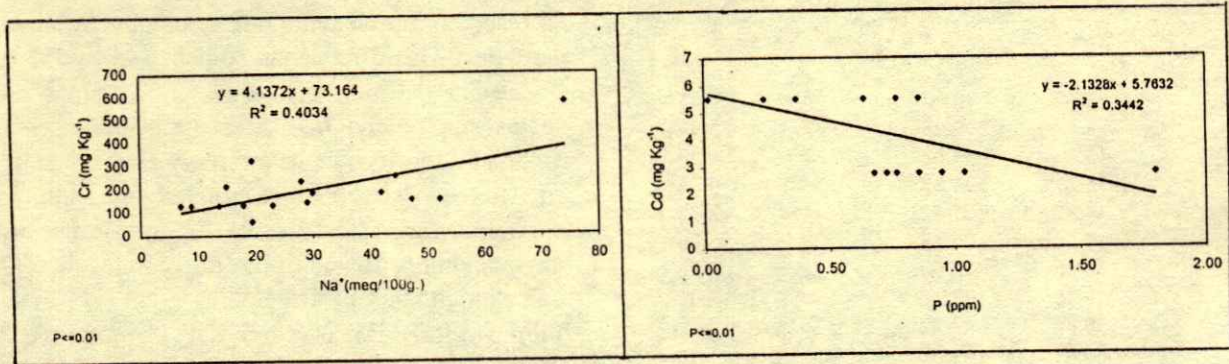
Los valores de Pb extractable detectados en el presente estudio, en el ejido Flores Magón (Cuadro 2), son similares a los encontrados por Archer y Hodgson (1987) y El-Hassanin *et al.* (1993) en suelos de Inglaterra y Egipto que han sido sometidos al riego con aguas residuales por varias décadas, donde las cantidades promedio son de 11.2 mg kg⁻¹ y 4.8 mg kg⁻¹, respectivamente; y, por otra parte, son superiores a los detectados por Méndez *et al.* (1997) en el DDR 030 de Tecamachalco donde, también, se emplean para el

riego aguas del mismo río Atoyac, contaminadas con aguas residuales; los valores promedio de Pb extractable con DTPA son del orden de 0.82 mg kg⁻¹. Al respecto, no obstante que se emplea la misma agua para riego, las diferencias se deben al tipo de suelo y frecuencia del riego, ya que, en Tecamachalco, los suelos son mucho más arenosos, pobres en materia orgánica y el riego es de auxilio y anual; mientras que, en Atlixco, el riego y los cultivos son continuos. Las curvas de regresión lineal (Figura 2) muestran una interacción positiva entre los porcentajes de MO y NT, y la cantidad de Pb extractable.

Plomo total. En el caso del Pb total (Cuadro 3) destacan, también, los Sitios 9, 13 y 14, donde las cantidades promedio fueron del orden de 56 mg kg⁻¹ de suelo y las más altas de 94.33 mg kg⁻¹. El nivel más alto se encuentra cerca de los límites fitotóxicos de 100 mg kg⁻¹, considerados por El-Bassam y Tietjen (1977), Kloke (1979) y Kabata-Pendias y Pendias (1992). Por otra parte, si se toma en cuenta el valor promedio de Pb total, detectado en el ejido Flores Magón (50.10 mg kg⁻¹), se observará que coincide con los niveles de Finnecey y Pearce (1986) y Page *et al.* (1988), quienes indican que 50 y 60 mg kg⁻¹ son considerados como fitotóxicos para los suelos de la Comunidad Económica Europea (CEE) y el Ministerio de Agricultura y Alimentos de Ontario, respectivamente. Los valores de Pb, detectados en la zona de estudio, llaman la atención por el riesgo que significa el empleo del agua residual sin tratamiento en la agricultura, debido a su contenido de metales pesados, como es el caso del río Atoyac (Cuadro 1). Además, el hecho de que entre los niveles más altos de Pb total se encuentre el Sitio 14 (testigo), induce a pensar que existe otra fuente de Pb en la región, o que la contaminación proviene de los agroquímicos que se han empleado intensamente en la región.

Al comparar el valor promedio de Pb total, detectado en esta investigación (Cuadro 3), se encontró una similitud con los valores encontrados por Moreno *et al.* (1991) y El-Hassanin *et al.* (1993) en suelos agrícolas cercanos a Madrid y Egipto, respectivamente; ambos suelos regados con agua residual por más de 60 años, donde los valores promedio de Pb total son del orden de 50 y 49.2 mg kg⁻¹, respectivamente. Coinciden, también, con los valores detectados por Cajuste *et al.* (1991), de 49 mg kg⁻¹ de Pb total en suelos de Xochitlán, Hidalgo, en el valle del Mezquital, donde se han utilizado aguas mezcladas para riego; pero son

Metales Totales



Metales Extractables

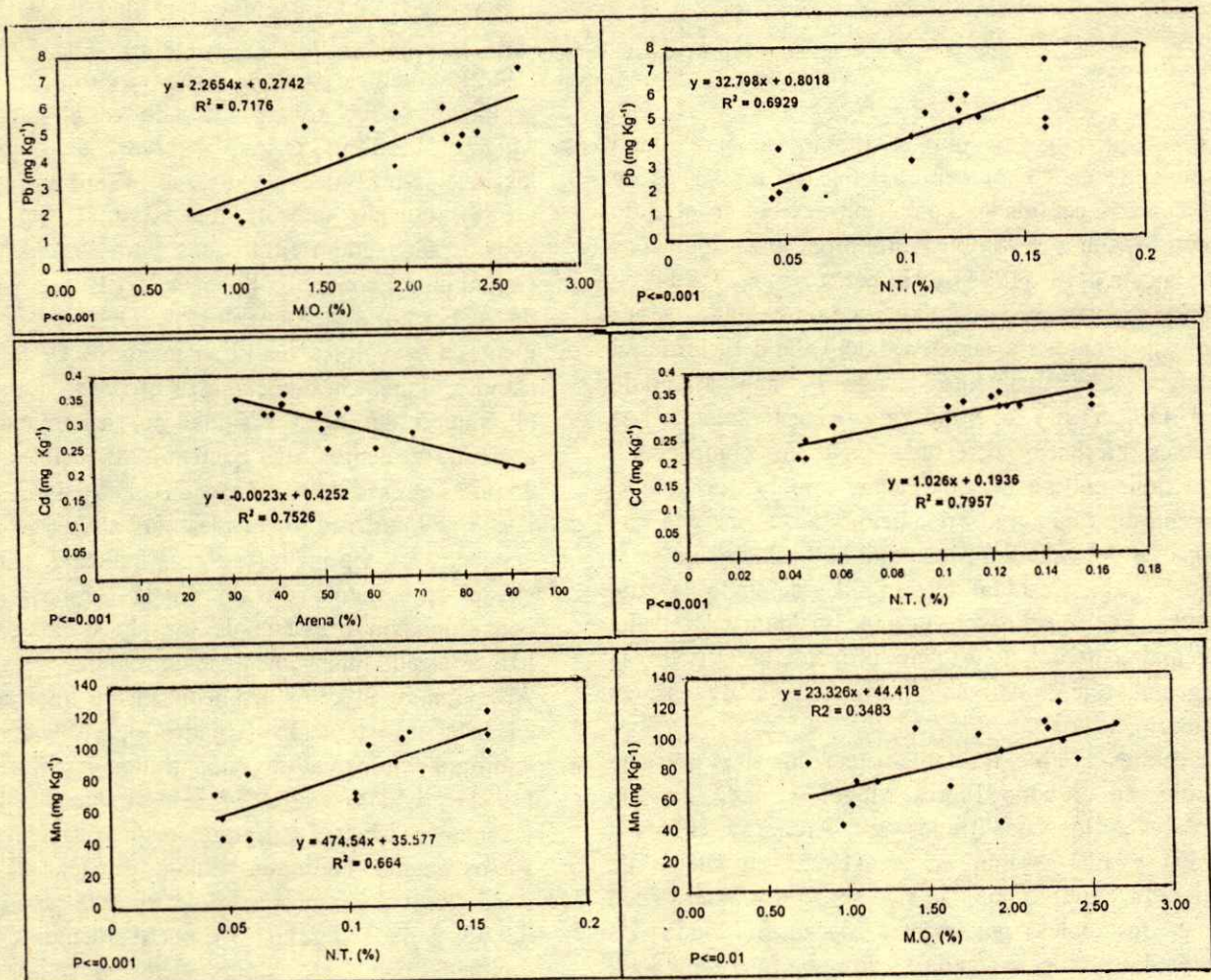


Figura 2. Curvas de regresión lineal simple de los metales pesados extractables y totales con algunas propiedades físicas y químicas de los suelos.

Cuadro 3. Concentración de metales totales en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Sitio	Fe	Mn	Cd	Pb	Cr
	----- mg kg ⁻¹ -----				
1	1370.00	300.56	5.52	47.16	131.30
2	1410.00	313.82	5.52	47.16	151.50
3	1460.00	322.66	2.76	47.16	151.50
4	1410.00	278.46	5.52	47.16	131.30
5	1620.00	291.72	2.76	47.16	212.10
6	1410.00	353.60	2.76	47.16	131.30
7	1540.00	300.56	2.76	47.16	575.70
8	1390.00	313.82	2.76	47.16	252.50
9	1390.00	313.82	2.76	94.33	181.80
10	1450.00	225.42	2.76	47.16	60.60
11	1620.00	358.02	2.76	47.16	181.80
12	1320.00	300.56	5.52	47.16	131.30
13	1340.00	260.78	5.52	94.33	131.30
14 testigo	1190.00	265.20	5.52	94.33	141.40
15	2260.00	433.16	5.52	47.16	323.20
16	1040.00	225.42	5.52	47.16	232.30
Promedio	1451.25	303.60	4.14	56.00	195.06
Niveles fitotóxicos (mg kg ⁻¹)		3000 (5) 1500 (6)	3 (1, 3 y 4) 1 (2) 1.6 (7)	100 (1, 3 y 4) 50 (2) 60 (7)	100 (1, 3 y 4) 50 (2) 120 (7) 75 (6)

Fuentes:

- 1) El-Bassam y Tietjen (1977)
- 2) Finnecy y Pearce (1986)
- 3) Kabata-Pendias y Pendias (1992)
- 4) Kloke (1979)

- 5) Kovalskiy (1974)
- 6) Linzon (1978)
- 7) Page *et al.* (1988)

notablemente menores que los detectados, por estos mismos autores, en suelos de Tlaminulpa (de 300 mg kg⁻¹ de Pb) en suelos regados con agua residual cruda. En este mismo sentido, Siebe (1994) detectó, en suelos clasificados como Feozems del valle del Mezquital, Hidalgo, 50 mg kg⁻¹ de Pb total a una profundidad de 0 a 26 cm. Finalmente, los valores promedio de Pb total encontrados en el ejido Flores Magón (56.0 mg kg⁻¹) coinciden con los valores de 50.86 mg kg⁻¹ detectados en suelos de Atlixco, regados con agua negra (Tamariz, 1996).

Cromo extractable. No se detectó este metal en forma extractable, en ninguno de los sitios del área de estudio, por la técnica analítica utilizada (Cuadro 2). Este hecho no significa que este elemento se encuentre ausente en estos suelos sino que, probablemente, esté acompañado o adsorbido a los coloides del suelo, o forma compuestos insolubles por efecto del pH alcalino y los carbonatos. Esto se confirma con la presencia de altas concentraciones de Cr total en estos suelos (Cuadro 3) y las concentraciones de Cr

detectadas en el agua de riego en el Sitio 17 a la salida de la ciudad de Puebla y Atlixco, respectivamente (Cuadro 1).

Cromo total. A diferencia del cromo extractable, el Cr total se detectó en cantidades elevadas, de 60.60 a 575.70 mg kg⁻¹ de suelo, con un valor promedio de 195.06 mg kg⁻¹ (Cuadro 3). Es probable que el Cr sea tanto de origen natural como antropogénico. Al comparar las concentraciones de cromo, obtenidas en esta investigación, con las obtenidas por otros autores, éstas son notablemente mayores, por ejemplo, que las detectadas por Tamariz (1996) en suelos del municipio de Atlixco, que se han regado con agua residual, donde menciona valores promedio de 19.90 mg kg⁻¹ y, también, superiores a los encontrados por Mendoza (1981), Carrillo *et al.* (1992), Hernández *et al.* (1994) y Siebe (1994), quienes detectaron cantidades de 69.00, 94.00, 90.10 y 100.00 mg kg⁻¹ en suelos superficiales de Tlahuelilpan (estado de Hidalgo), valle del Mezquital, estado de Hidalgo, y en suelos de la

serie Progreso y en Feozems, también en el valle del Mezquital, respectivamente.

La cantidad total de este metal detectada en los suelos del ejido Flores Magón (Cuadro 3) es similar a la encontrada por Adriano (1992) y Vathiyathan y Ramanathan (1993) en sedimentos del río Cauvery de la India; en varios países europeos; Canadá y Estados Unidos, quienes mencionan valores de 150 y 250 mg kg⁻¹, respectivamente.

Los valores de Cr total superiores a 100 mg kg⁻¹ llaman la atención ya que, aunque no esté disponible, se trata de un elemento bioacumulable. En este contexto, tomando en cuenta los criterios de varios autores como El-Bassam y Tietjen (1977), Linzon (1978), Kloke (1979) y Kabata-Pendias y Pendias (1992), se concluye que las concentraciones de Cr total, encontradas en el ejido Flores Magón, son fitotóxicas, ya que superan los límites de 100, 75, 100 y 100 mg kg⁻¹, propuestos por estos autores, respectivamente. Superan, también, las concentraciones propuestas por la Comunidad Económica Europea (CEE) y el Ministerio de Agricultura y Alimentación de Ontario que toleran hasta 50.0 y 120.0 mg kg⁻¹, respectivamente (Finnecy y Pearce, 1986; Page *et al.*, 1988).

Cadmio extractable. La concentración de Cd extractable, en los suelos del ejido Flores Magón, fluctuó de 0.21 a 0.36 con un valor promedio de 0.30 mg kg⁻¹ de suelo (Cuadro 2). De los elementos analizados en esta investigación, el cadmio fue el elemento con un comportamiento más homogéneo; se detectaron las menores concentraciones en los Sitios 10, 15 y 16, y los valores más altos en el Sitio 9, como ocurrió con el Pb (Cuadro 2), ya que este sitio se encuentra en la cercanía del canal principal. Las cantidades de Cd extractable detectadas coinciden con los valores encontrados en el agua, ya que éstos rebasan en los Sitios 17 y 18 los límites máximos permisibles por la norma (NOM-NTE-032-91 y NOM-CCA-032-ECOL/93) para agua de uso agrícola (Cuadros 1 y 2). Las cantidades de Cd que aparecen en el Cuadro 2 son superiores a las detectadas por Tamariz (1996) y Méndez *et al.* (1997) en suelos de Atlixco y Tecamachalco regados con agua residual, donde se encontraron de 0.05 y 0.064 mg kg⁻¹, respectivamente. Sin embargo, estos niveles son inferiores a las cantidades que cuantificaron Mendoza (1981), Cajuste *et al.* (1991), Hernández *et al.* (1994), Siebe (1994) y Siebe y Cifuentes (1995). Estos autores

mencionan concentraciones de 5.3, 1.5, 7.72, 1.55 y 1.65 mg kg⁻¹, respectivamente, en suelos de la capa superficial de Tlahuelilpan, Tlaminulpa y en suelos de la serie Actopan, y en Feozems y Leptosoles, respectivamente, todos en el valle del Mezquital, estado de Hidalgo. Las diferencias en las concentraciones de Cd en las dos zonas se debe, como en el caso del Pb, al tipo de suelo y los coloides, las características del agua y al tiempo al que se han sometido estos suelos al riego con aguas residuales; ya que mientras el uso de estas aguas en Atlixco es reciente (30 años aproximadamente), en el valle del Mezquital ocurre desde hace más de 100 años. Sin embargo, de acuerdo con Adriano (1992) y Sposito (1994), la presencia de Cd disponible en los suelos se ha generalizado por lo que, actualmente, este elemento es cada vez más común en el medio ambiente, al grado de que, con frecuencia, el Cd tiende a sustituir al calcio en los huesos (Baran, 1994), debido al consumo de alimentos con cantidades considerablemente altas de cadmio. El aumento de Cd en el medio ambiente puede deberse a la cada vez mayor actividad industrial carente de control ambiental y al uso intensivo de agroquímicos (Schwab *et al.* 1990).

Al comparar las concentraciones de Cd extractable, detectadas en el ejido Flores Magón, de 0.21 a 0.36 mg kg⁻¹ (Cuadro 2) con las detectadas en otros países, utilizando el mismo extractante, éstas resultan semejantes a las encontradas por Moreno *et al.* (1991), El-Hassanin *et al.* (1993) y Hue y Subasinghe (1994), quienes indican concentraciones de 0.36, 0.12 y 1.19 mg kg⁻¹ en suelos del suroeste de Madrid, Egipto y Kailua en Hawaii, respectivamente. La curva de regresión lineal (Figura 2) muestra una interacción positiva entre los porcentajes de NT y la concentración de Cd extractable debido, probablemente, a que al haber un mayor contenido de nitrógeno, se disminuye la relación C/N y se aumenta la mineralización de la MO propiciando, con ello, una mayor liberación de Cd. En relación con este mismo elemento se encontró, además, una interacción negativa ya que, a mayor porcentaje de arena en el suelo, se detecta claramente una disminución del Cd extractable.

Cadmio total. Fluctuó de 2.76 a 5.52 con un promedio de 4.14 mg kg⁻¹ (Cuadro 3). Las cantidades de Cd que aparecen en el Cuadro 3 y, sobre todo, las de los Sitios 1, 2, 4, 12, 13, 14, 15 y 16 son superiores a las que señala Tamariz (1996), las cuales son del orden de 0.18 mg kg⁻¹ en suelos de Atlixco regados con agua

residual; pero, son muy parecidas a los valores indicados por Flores *et al.* (1992), quienes mencionan concentraciones que varían de 3.90 a 7.90 mg kg⁻¹ en varios suelos del valle del Mezquital, Hidalgo.

La cantidad de Cd total detectada en varios sitios de muestreo del ejido Flores Magón (Cuadro 3) rebasa el límite de fitotoxicidad de 3.0 mg kg⁻¹, indicado por El-Bassam y Tietjen (1977), Kloke (1979) y Kabata-Pendias y Pendias (1992). Estas cantidades se ubican en la categoría de fitotóxicas de acuerdo con los criterios de la Comunidad Económica Europea (CEE), que considera como niveles tóxicos cantidades de Cd de 1.0 y 1.6 mg kg⁻¹ [mencionados por Finney y Pearce (1986) y Page *et al.* (1988)], en suelos donde se emplean aguas residuales para riego.

La presencia de cantidades considerablemente altas de Cd en los suelos agrícolas, aun cuando sea en forma total (Cuadro 3), de acuerdo con Sposito (1994), constituye un llamado de alerta, ya que es uno de los metales pesados con mayor grado de solubilidad, que podría asimilarse por las plantas y lixiviarse hacia los acuíferos si las condiciones son propicias.

Manganeso extractable. Varió de 43.22 a 121.72 mg kg⁻¹, con un valor promedio de 85.08 mg kg⁻¹ (Cuadro 2). No obstante que es considerado un oligoelemento esencial para las plantas, llaman la atención las concentraciones de Mn extractable mayores que 100 mg kg⁻¹ de suelo detectadas en los Sitios 3, 5, 7, 9, 11 y 12 (Cuadro 2). Las altas concentraciones de Mn extractable pueden afectar la penetración de las raíces en el subsuelo (Bohn *et al.* 1993; Sposito, 1994), afectando drásticamente su desarrollo, sobre todo en los suelos que se inundan donde existen condiciones reductoras. En este sentido, las concentraciones altas de Mn extractable en la zona de estudio podrían representar un riesgo particularmente en aquellos sitios cercanos a los canales de riego que con frecuencia se inundan. La curva de regresión lineal mostró una interacción positiva entre los porcentajes de MO y NT y la concentración de Mn extractable, lo que hace considerar su adsorción a estos componentes del suelo (Figura 2).

Las concentraciones de Mn extractable detectadas en estos suelos (Cuadro 2) superan enormemente las cantidades de Mn extractable encontradas por Tamariz (1996) y Méndez *et al.* (1997) en suelos de Atlixco y Tecamachalco, regados con agua del río Atoyac contaminada con agua residual, en donde los valores

promedio en el suelo fueron de 16.13 y 15.32 mg kg⁻¹, respectivamente. Los valores de Mn obtenidos en el presente trabajo superan, también, las cantidades de 14 y 24 mg kg⁻¹ extraídas con DTPA en suelos de Tlaminulpa y Xochitlán en el valle del Mezquital, Hidalgo (Cajuste *et al.*, 1991; Carrillo *et al.*, 1992, respectivamente). Finalmente, los valores de Mn que aparecen en el Cuadro 2 coinciden con Hue y Subasinghe (1994) quienes mencionan concentraciones de Mn de 5.30 a 172 mg kg⁻¹ en suelos de Hawaii, donde se han aplicado lodos residuales como mejoradores.

Manganeso total. Los valores fluctuaron de 225.42 a 433.16 mg kg⁻¹ con un valor promedio de 303.60 mg kg⁻¹ (Cuadro 3). Tanto los valores de Mn extractable como los de Mn total superan a los valores encontrados por Tamariz (1996), ya que menciona valores promedio de Mn total de 181.30 mg kg⁻¹ en suelos de Atlixco, regados con agua residual del río Atoyac. Por otra parte, las cantidades de Mn total en los suelos del ejido Flores Magón son similares a los valores indicados por Cajuste *et al.* (1991) y Carrillo *et al.* (1992), los cuales van del orden de 466, 320, 362 y de 189 a 485 mg kg⁻¹ en suelos de Tlaminulpa, Xochitlán, Arenal y Xochitlán, estado de Hidalgo, respectivamente. Son inferiores a los detectados por Flores *et al.* (1992), quienes mencionan valores de 575 a 775 mg kg⁻¹ para suelos superficiales del valle del Mezquital, Hidalgo.

Finalmente, los valores de Mn total, detectados en los suelos del ejido Flores Magón (Cuadro 3), quedan dentro de los intervalos indicados como normales, ya que están muy por debajo de los niveles considerados como fitotóxicos (de 1500 a 3000 mg kg⁻¹) determinados por Kovalskiy (1974) y Linzon (1978).

Hierro extractable. Las cantidades detectadas fluctuaron de 38.17 a 176.50 mg kg⁻¹ de suelo, con un valor promedio de 68.63 mg kg⁻¹ (Cuadro 2). Como en el caso del Mn, estas cantidades superan enormemente las concentraciones que, como oligoelemento, requieren las plantas; Viets y Lindsay (1973) mencionan que deben ser aproximadamente de 4.5 mg kg⁻¹. Estos valores son, además, similares a las cantidades detectadas por Tamariz (1996) que, en promedio, es de 57.5 mg kg⁻¹ en suelos de Atlixco regados con agua residual del río Atoyac. Sin embargo, son mucho mayores que los valores promedio de Fe detectados por Méndez *et al.* (1997) en suelos del DDR 030 de Tecamachalco, donde detectaron valores promedio del

orden de 15.32 mg kg^{-1} . Aunque se emplea el mismo tipo de agua residual procedente del río Atoyac, las diferencias se deben, fundamentalmente, a la frecuencia del riego, ya que en Tecamachalco son de auxilio (uno o dos al año), mientras que en Atlixco el riego es durante todo el año; además, los suelos de Atlixco son más arcillosos, con mayor cantidad de MO y carbonatos insolubles. Estas dos últimas variables favorecen la acumulación de metales pesados, como el Mn y el Fe (Bohn *et al.*, 1993), lo cual representa un riesgo potencial para los cultivos. El Fe y el Mn son iones que pueden ser muy tóxicos, sobre todo en climas húmedos, donde el intemperismo de los minerales ígneos, ricos en estos elementos, puede incrementar estos iones los cuales, aún adsorbidos en los coloides del suelo, representan un riesgo de toxicidad latente para los cultivos (Mortvedt *et al.*, 1983).

Las concentraciones de Fe extractable resaltan en los Sitios 1, 4 y 6 que corresponden a parcelas regadas con agua residual de los canales que, a su vez, se alimentan con agua del río Atoyac y Nexapa, y en el Sitio 13, que corresponde a una parcela que se ubica fuera del ejido Flores Magón, donde el agua que se emplea para riego, aunque es también residual, no proviene del río Atoyac sino del Nexapa, que es un río más limpio. Resalta, además, el Sitio 16, correspondiente a una muestra de sedimento del río, por tener las mayores concentraciones de Fe extractable (Cuadro 2). Por otra parte, se observa que los valores de Fe extractable (Cuadro 2) superan a los valores indicados por Mendoza (1981) y Cajuste *et al.* (1991) en suelos del valle del Mezquital regados con agua residual del Gran Canal de Desagüe de la ciudad de México, ya que los valores promedio de estos autores fueron de 25.93 y 10.70 mg kg^{-1} de Fe extractable, detectados en suelos de Tlahuelilpan y Tlaminulpa, respectivamente. La diferencia, en cuanto a las concentraciones de Fe extractable entre estas dos zonas, se debe, probablemente, a que los suelos del valle del Mezquital presentan un mejor drenaje que los de Atlixco; este hecho quizá, explica que, en la zona de estudio, los metales y particularmente el Fe y el Mn se encuentran en altas cantidades. Sin embargo, debido a las condiciones de alcalinidad de la zona, sería muy poco probable que se presentaran problemas de toxicidad ya que, para ello, tendría que ocurrir un cambio muy drástico hacia la acidez, o que predominaran las condiciones de anaerobiosis debido a inundaciones prolongadas. Además, el Fe es un oligoelemento

importante para las plantas y no existen criterios claros sobre límites de fitotoxicidad por este elemento.

Hierro total. Las concentraciones fluctuaron de 1040 a 2260 mg kg^{-1} de suelo, con un valor promedio de $1451.25 \text{ mg kg}^{-1}$ (Cuadro 3). Estas cantidades superan las 844 mg kg^{-1} detectadas por Tamariz (1996) en suelos de Atlixco, regados con agua residual del río Atoyac. Aunque las concentraciones de Fe extractable y total, encontradas en la zona de estudio, son importantes, éstas no representan aún ningún problema para los cultivos (Cuadros 2 y 3). Respecto al Fe total, las concentraciones más bajas se detectaron en los Sitios 16 y 14, que corresponden a muestras de sedimento y el testigo, respectivamente. Las cantidades más altas se detectaron en el Sitio 15, correspondiente a un suelo arenoso de un predio ubicado en las inmediaciones del río Atoyac que, con frecuencia, es inundado por el desbordamiento del río; este hecho justifica las cantidades detectadas de este elemento (Cuadro 3).

CONCLUSIONES

El monitoreo realizado en la zona de estudio permitió concluir lo siguiente:

El agua del río Atoyac, durante la mayor parte del recorrido y particularmente en la época de estiaje, se caracteriza por ser alcalina debido a la concentración elevada de sales solubles que recibe con las descargas de aguas residuales, principalmente, de las zonas industriales de San Martín Texmelucan, Moyotzingo y la ciudad de Puebla. Los metales pesados solubles, con excepción del Mn en todo el trayecto del río, y del Cr y el Cd únicamente en los últimos dos sitios del monitoreo, se encuentran en bajas concentraciones. Sin embargo, aun cuando no rebasan los límites máximos permisibles para agua destinada al riego, su acumulación en los suelos significa un riesgo potencial para los cultivos que forman parte de la cadena trófica.

Paralelamente al beneficio que aporta el agua residual al suelo, al incorporarse a éste materia orgánica, nitrógeno y fósforo, están los efectos negativos, como la salinidad y la acumulación de metales pesados, que se acentúan más en los suelos arcillosos.

Respecto a los metales pesados extractables, aunque no hay criterios sobre su toxicidad en los cultivos, llama la atención las cantidades de éstos, sobre todo de Pb y Cd, en la mayoría de los sitios,

donde se les relaciona con los contenidos más altos de arcilla, limos y materia orgánica del suelo.

Respecto a los metales pesados totales, de acuerdo con los criterios de varios autores, el Cr total se detectó en cantidades fitotóxicas en todos los sitios. El cadmio se encontró excedido en los Sitios 1, 4, 12, 13, 14 (testigo) y 15; mientras el Pb se presentó en cantidades más altas que las permisibles en los Sitios 9, 13 y 14 (testigo), lo cual se relaciona probablemente también, en ambos casos, con el uso intensivo de fertilizantes químicos fosfatados.

La problemática que se presenta actualmente en la zona de estudio por el riego con aguas residuales es semejante a lo que ha venido sucediendo en el valle del Mezquital, Hidalgo, donde, al igual que en esta zona, el pH alcalino de los suelos ha estado favoreciendo la precipitación de los metales pesados, como el Cd, Pb y Cr. Sin embargo, el riesgo de que dichos metales se solubilicen podrá disminuir en la medida en que se conserve la alcalinidad en los suelos.

AGRADECIMIENTOS

Al Biól. Raúl López Bravo, a la Quím. Irma Aguilera Ortiz y al pasante de Ing. Armando Vázquez M., por su apoyo analítico y logístico. A la Sra. Magdalena Alcayde, por su colaboración en la redacción del summary, y al M en C. Faustino Juárez, por la revisión del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Adriano, D.C. 1992. Biogeochemistry of trace metals. Lewis Publisher.
- APHA-AWWA-WPCF. 1992. Standard methods for examination of water and wastewater. Amer. Pub. Health Assoc. Washington, D.C.
- Archer, F.C. e I.H. Hodgson. 1987. Total and extractable trace element contents of soil in England and Wales. *Soil Sci.* 38: 421-431.
- Baran, E.J. 1994. Química bioinorgánica. McGraw-Hill, México.
- Bohn, H., B. McNeal y G. O'Connor. 1993. Química del suelo. Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores, México.
- Cajuste, L.J., R. Carrillo G., G. Cota y R.J. Laird. 1991. The distribution of metals from wastewater in the Mexican Valley of Mezquital. *Water, Air, Soil Pollution* 57-58: 763-771.
- Carrillo G., R., L.J. Cajuste y L. Hernández H. 1992. Acumulación de metales pesados en un suelo regado con aguas residuales. *Terra* 10: 166-173.
- Cordova A., U., G. Guzmán, D. Martínez y P. Morales. 1991. La contaminación de productos agrícolas en el CADER Atlixco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx.
- El-Bassam, N. y C. Tietjen. 1977. Municipal sludge as organic fertilizer with special reference to the heavy metals constituents in soil organic matter studies. IAEA, Viena 2: 25-32.
- El-Hassanin, A.S., T.M. Labib y A.T. Dabal. 1993. Potential Pb, Cd, Zn and B contamination of sandy soils after different irrigation periods with sewage effluent. *Water, Air, Soil Pollution* 66: 239-249.
- Finney, E.E. y K.K. Pearce. 1986. Land contamination and reclamation in understanding our environment. Royal Soc. Chemistry, London. pp. 329-337.
- Flores D., L., G. Hernández S., R. Alcalá M. y V.M. Maples. 1992. Total contents of Cd, Cu, Mn and Zn in agricultural soil irrigated with wastewater from Hidalgo, Mexico. *Contaminación Ambiental* 8: 37-46.
- Hernández S., G., L. Flores D., V.M. Maples, G. Solorio M. y R. Alcalá M. 1994. Riesgo de acumulación de Cd, Pb, Cr y Co en tres series de suelos del DR 03, Estado de Hidalgo, México. *Ciencias Geológicas* 11: 53-61.
- Hue, N.V. y A.R. Subasinghe. 1994. Sewage sludge in Hawaii: Chemical composition and reactions with soils and plants. *Water, Air, Soil Pollution* 72: 265-282.
- Kabata-Pendias, D. y H. Pendias. 1992. Trace elements in soil and plants. Vol. 1. CCR Press, Inc. Boca Ratón, Florida, USA.
- Kloke, A. 1979. Content of As, Cd, Cr, Fe, Pb, Hg and Ni in plant grown on contaminated soil. pp. 178-186. *In: Symp. on effects of airborne pollution on vegetation.* CCE. Warsaw.
- Kovalskiy, V.V. 1974. Geochemical environment, health and diseases. Vol. 8. *In: Trace substance. Environmental Health.* Hemphill, D.D. University of Missouri, Colombia.
- Lindsay, W.L. y W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil zinc, iron, manganese and copper. *J. Am. Soil Sci.* 42: 421-428.
- Linzon, S.N. 1978. Phytotoxicology excessive levels for contaminants in soil and vegetation. Ministry of the Environment, Ontario, Canada.
- Méndez G., T., A. Flores R. y S. Palacios M. 1995. Presencia de Pb, Cr, Co y Cd en suelos regados con aguas residuales en el Distrito de Riego 030, Tecamachalco, Edo. de Puebla. pp. 36. *In: Memorias del XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* Cd. Victoria, Tamps.
- Méndez G., T., A. Flores R. y S. Palacios M. 1997. Disponibilidad de Cd, Fe, Mn y Pb en suelos agrícolas de Tecamachalco, Edo. de Puebla. pp. 60. *In: Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* Villahermosa, Tabasco.
- Mendoza M., H. 1981. A viable solution for management of wastewater in the Metropolitan Area of the Valley of Mexico. *In: Municipal Wastewater in Agriculture.* Academic Press, NY.
- Moreno, A.M. et al. 1991. Relaciones entre contenidos totales de Zn, Pb, Cu y Cd en suelos y plantas. *Suelo y Planta.*
- Mortvedt, J.J., P.M. Giordano y W.L. Lindsay. 1983. Micronutrientes en la agricultura. AGT Editor, S.A. México.
- NOM-CCA-032-ECOL/91. Diario Oficial de la Federación, 24 de Sept. 1991.

- NOM-CCA-032-ECOL/93. Diario Oficial de la Federación, 18 de Oct. 1993.
- Page, A.L., A.C. Chans y D.C. Adriano. 1988. Land application of municipal sewage sludge, guidelines-trace elements. pp. 154. *In: Proc. 2nd Int. Symp. Land Application. Sewage Sludge, Assoc. Utilization s.s. Tokyo.*
- Paredes M., C.S. 1992. La región de Atlixco, Huaquechula y Tochimilco. pp. 107-111. *In: La sociedad y la agricultura en el siglo XVI. Colección Puebla. G.E. de PESAS, FCE, México*
- Pérez L., C. 1997. Análisis estadístico con statgraphics. Madrid, España.
- Rodríguez D., L. y T. Méndez G. 1995. Disponibilidad de Fe, Mn, Zn, Pb, Cr y Cd en los cultivos más comunes en el municipio de Atlixco. Puebla. pp. 33. *In: Memorias del XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamps.*
- Rodríguez D., L., T. Méndez G. y A. Salás C. 1995. Contaminación de los suelos del Ejido Flores Magón, municipio de Atlixco por Fe, Mn, Zn y Pb por el uso de aguas residuales del Río Atoyac. pp. 34. *In: Memorias. XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamps.*
- Schwab, A.P., C.E. Owensby y S. Kulyingjong. 1990. Changes in soil chemical properties due to 40 years of fertilization. *Soil Sci.* 149: 35-43.
- Siebe, Ch. 1994. Acumulación y disponibilidad de metales pesados regados con aguas residuales en el DR 03, Tula, Hgo., México. *Contaminación Ambiental* 10: 15-21.
- Siebe, Ch. y E. Cifuentes. 1995. Environmental impact of wastewater irrigation in Central Mexico: an overview. *J. Environ. Health Res.* 5: 161-173.
- Sposito, G. 1994. *Chemical equilibria and kinetics in soil.* Oxford University Press, NY.
- Tamariz F, J.V. 1996. Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados en el municipio de Atlixco, Puebla. Tesis de Maestría en Edafología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- US-EPA. 1974. *Methods for chemical analysis of water and wastes.* Lab. Nat. Env. Res. Cent. Cincinnati, Ohio, USA.
- Vathiyathan, P. y A.L. Ramanathan. 1993. Transport and distribution of heavy metals in Cauvery River. *Water, Air Soil Pollution.* 71: 13-28.
- Viets, F.G. y W.L. Lindsay. 1973. Testing soils for zinc, copper, manganese and iron in soil testing and plant analysis. Walsh and Beaton. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Walsh, L.M. 1971. *Instrumental methods for analysis of soil and plant tissue.* SSSA, Madison, Wisconsin, USA

IDENTIFICACION DE LA DEGRADACION/DESERTIFICACION DE LAS TIERRAS EN SANTA MARIA(Catamarca) A TRAVES DEL PROCESAMIENTO DE IMAGENES RADARSAT¹

Identification of Desertification/Degradation Using Radarsat Image Enhancement in Lands of Santa Maria

Stella Maris Navone² y Esteban Palacín²

RESUMEN

El deterioro ambiental por las actividades humanas no es un fenómeno reciente; sin embargo, la magnitud de la transformación actual del ambiente no tiene precedentes. Algunas regiones son muy susceptibles a la presión antrópica por sus características naturales. El conocimiento de la degradación de las tierras en esos ecosistemas es especialmente necesario para: favorecer el desarrollo regional y alcanzar *in situ* el nivel nutricional que la población requiere. La cuenca del río Santa María, ubicada entre 24° 30' y los 26° 30' latitud sur, tiene una extensión de 17 000 km² y presenta estos problemas. Se pensó en las imágenes de radar como herramienta de diagnóstico para el estudio de un área de la cuenca del río Santa María en la provincia de Catamarca (Argentina). El objetivo de este estudio fue: evaluar la eficiencia de diferentes procesamientos de imágenes SAR/RADARSAT para identificar distintas unidades cartográficas de "tierras" con distintos grados de degradación/desertificación. El piso del valle se encuentra entre 1000 y 1500 m; unido a las diferentes exposiciones de las laderas genera diversos microclimas. Los suelos son sueltos y la flora es la del monte occidental xerofítico. Se procesó una imagen Radarsat standard 7 beam mode de época seca. Se aplicaron los siguientes mejoramientos: realce lineal; realce del contraste, y los filtros Fgamma, Flee, Fmode, Fsharp y Ffrost. En el campo se describieron las unidades de tierras. En el área muestra seleccionada, se identificaron factores ambientales que influyen en la respuesta del radar. Se clasificaron por grados los siguientes procesos de degradación/desertificación de las tierras: deterioro de la cubierta vegetal, erosión hídrica, erosión eólica y

salinización. Se compararon estadísticamente las imágenes originales y las imágenes producto con la realidad de campo. En la imagen radar se pudo diferenciar las siguientes unidades de paisaje: montañas sedimentarias y graníticas, conos aluviales planos aluviales, áreas anegadizas, terrazas bajas con cultivos, bosques, y suelo desnudo. Las unidades bajo anegadizo, cono aluvial, terraza alta con bosque y terraza baja con cultivos se pueden diferenciar muy bien del resto sólo en la IMAGEN CRUDA FILTRADA FGAMMA. Por las características tan similares del suelo desnudo con el plano aluvial, no son fácilmente identificables excepto en la imagen calibrada Beta.

Palabras clave: Radar, valles intermontanos.

SUMMARY

Land degradation surveys are needed to establish conservation practices in the Calchaquies Valleys of Argentina. However, a major barrier to surveying the region is logistical difficulty in obtaining ground data, quickly, cheaply, and accurately. Radar data is a useful tool for this purpose. The objective of this study was to evaluate the efficiency of different algorithms applied to radar in the identification of different land-type units in the Santa Maria River watershed. A management plan for this basin should be made on the basis of a proper description and diagnosis of the different land types in the area. Those activities should be promoted from the point of view of cultural traditions and behavior patterns of the inhabitants. The arid conditions produce scant plant cover, which offers negligible protection against erosion. The high erodability of the soils also enhances the action of the winds and torrential rains from November to March. Relief, soils, vegetation and land management were studied in the field. Different degrees of degradation were studied in the field using the FAO method. Standard 7 beam mode radar images from wet and dry seasons were used.

¹ Proyecto subsidiado por GLOBESAR (Canadá).

² Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.

Recibido: Agosto de 1998.

Aceptado: Noviembre de 2000.

Enhancements and filters (Flee, Fmode, Fsharp, Fgamma, and Ffrost) were applied. Preprocessed images were visually and statistically compared with ground truth. The following map units were easily differentiated only with an Fgamma filter on a pre-processing image: alluvial fan, high terraces with woods, low terraces with crops and wetland. In all cases, the wet season image was more useful than the dry season image in obtaining different land-type units.

Index words: Radar, semiarid intermountain valleys.

INTRODUCCION

La Argentina tiene 80 % de su territorio bajo actividades agrícola-ganaderas y forestales, en la actualidad más de 60 millones de ha del país están sujetas a procesos erosivos de moderados a graves, relacionadas con su posible comportamiento bajo distintos manejos agrícola ganaderos.

Es necesario prevenir, atenuar y/o revertir impactos ambientales; se requiere incursionar en este ámbito atendiendo a los sistemas productivos y condiciones socioeconómicas de cada lugar. La presión antrópica sobre los ecosistemas frágiles lleva al grado máximo de degradación de las tierras, que es la desertificación.

Se entiende como "desertificación" a la expresión general de los procesos económicos y sociales, así como de los naturales e inducidos, que destruyen el equilibrio ambiental" (FAO-UNEP, 1984). Es indispensable el estudio integrado de los aspectos socioeconómicos, humanos, físicos y biológicos.

Entre las regiones con mayor riesgo de degradación/desertificación (FAO-PNUMA, 1984) se encuentran los valles áridos del noroeste argentino.

A partir de los estudios allí realizados (Navone, 1996) se observó que, a escala de reconocimiento, el valle más degradado es el de Fiambalá en la cuenca del río Abaucán y el que menos lo está es la cuenca del río Santa María en las provincias de Catamarca, Salta y Tucumán.

Las características del medio físico y el uso intensivo de los recursos generan un riesgo severo de desertificación dada la fragilidad de las citadas cuencas. Fisiográficamente y climáticamente ambas son similares.

Sin embargo, la cuenca del río Abaucán casi se ha convertido en un extenso desierto, mientras que en la cuenca del río Santa María se observan los primeros

síntomas de deterioro. Debido a la dinámica de los procesos en estas cuencas, es indispensable actuar rápida y eficientemente para evitar que la desertificación llegue a su máxima expresión.

La actividad agrícola de la región se concentra en los oasis bajo riego. Los cultivos predominantes son la vid, nogal, olivo, pimiento, cultivo de especies y alfalfa.

La expansión de la frontera agropecuaria, incentivada por el diferimiento impositivo, ha generado serios procesos de degradación de los recursos naturales, como consecuencia de los desmontes no planificados.

El incremento reciente de la exploración y, en algunos casos, de la explotación minera (con mayor efecto en algunas zonas en particular) plantea una nueva alternativa de desarrollo, pero lleva implícito una amenaza a los recursos naturales (agua, suelo, flora y fauna), la que se deberá minimizar.

Por todo ello, es sumamente importante caracterizar los recursos de la cuenca del río Santa María a través de un diagnóstico rápido y eficiente del estado de degradación/desertificación tierras (Zonneveld, 1979; FAO-PNUMA, 1984).

Para esas situaciones se vuelve indispensable disponer de herramientas que faciliten el diagnóstico, por ello, se pensó en las imágenes radar y su mejoramiento.

El objetivo de este estudio fue: evaluar la eficiencia de diferentes procesamientos de imágenes SAR/RADARSAT para identificar unidades cartográficas de "tierras" con distintos grados de degradación/desertificación (FAO-PNUMA, 1984). Esto facilitará el conocimiento de los recursos naturales para poder implementar prácticas de manejo y conservación de los mismos.

Area Estudiada

El área estudiada está ubicada en la cuenca del río Santa María con una extensión de 2000 km² y presenta problemas de degradación/desertificación de las tierras, principalmente erosión hídrica y cólica.

Las lluvias están concentradas en época estival, frecuentes vientos desecantes y baja humedad atmosférica que ocasiona elevada evapotranspiración (Bianchi, 1981).

Los suelos predominantes son los Torriortentes en los abanicos aluviales y en la parte superior de las terrazas altas. La terraza baja del río Santa María y el plano aluvial están ocupados por los Torrifluventes,

asociados con los Torripsamientos (Navone, 1995). El piso del valle se encuentra entre 1000 y 1500 m, unido a las diferentes exposiciones de las laderas generan diversos microclimas.

La flora típica corresponde al monte occidental xerofítico con abundantes especies medicinales y aromáticas.

MATERIALES Y METODOS

En el campo se describieron las unidades de tierras. Se determinaron los factores ambientales que influyen en la respuesta del radar (Canadian Center of Remote Sensing, 1997). Dichos factores son: rugosidad del paisaje, pendiente, porcentaje de cobertura de la tierra, fisonomía de la vegetación, textura y humedad del suelo.

Se clasificaron por grados los siguientes procesos de degradación/desertificación de las tierras (FAO-PNUMA, 1984): a) deterioro de la cubierta vegetal; b) erosión hídrica; c) erosión eólica; d) salinización; que involucran los factores biofísicos. Los citados procesos se denominan determinativos porque sus efectos están más extendidos y tienen mayor repercusión en la productividad de la tierra y en las condiciones de vida (FAO-PNUMA, 1984).

Para su caracterización se consideró el estado de cada uno de esos procesos o sea la situación actual.

Para las observaciones y mediciones a campo se siguió la metodología FAO-PNUMA (1984) para estado de cada uno de los procesos con algunas adaptaciones para su aplicación en esta zona (Navone, 1995).

Para erosión eólica se midieron superficie total cubierta por formas eólicas, en porcentaje, cubiertas de deflación, altura de montículos, caracterización de médanos, vegetación descalzada o tapada, pavimento de erosión, y descripción del relieve.

Para erosión hídrica se definieron: pendiente, tipo de proceso dominante: laminar, surcos o cárcavas, densidad de surcos y/o cárcavas, presencia de plantas descalzadas.

En lo que a la desertificación se refiere sólo interesa la salinidad antropogénica "(FAO-PNUMA, 1984); en ese caso la acumulación de sales se asocia a los problemas de tierras regadas.

Se delimitaron en las imágenes radar las unidades cartográficas de tierras presentes en la región. Se procesaron dos imágenes Radarsat standard 7 beam mode de época seca y húmeda. Se empleó

para ello el software de PCI, principalmente el XPACE, Image Works y GCPs.

Se aplicaron en las imágenes radar realces y filtros.

Los realces son los siguientes:

	Sin tratamiento	Realce 1	Realce 2
Imagen sin calibrar	*	min x = 7 máx x = 68	min x = 2 máx x = 102
Imagen calibrada	*	min x = 74 máx x = 204	min x = 38 máx x = 223

Excluye todos los valores por debajo de 7.

Los filtros probados fueron Flee, Fmode, Fsharp y Fgamma.

De la imagen calibrada y de cada uno de los tratamientos se extrajeron los valores estadísticos correspondientes a la media y desvío estándar de las poblaciones de pixeles de cada unidad cartográfica previamente definidas. Se aplicó la fórmula de Swain y Davis (1978) para el cálculo de separabilidad entre las diferentes unidades cartográficas dentro de cada tratamiento. Los valores de separabilidad obtenidos se ubicaron en una matriz de 8 x 8; comparando cada unidad cartográfica con todas las restantes e indicando el índice de separabilidad para cada una de las combinaciones posibles. Para cada tratamiento se realizó una matriz.

Los valores de separabilidad obtenidos se agruparon, luego de su estudio, en intervalos a fin de facilitar la interpretación de los mismos. En el Cuadro 1 se presentan las categorías así definidas.

A partir de las citadas matrices se hizo un promedio de los valores de separabilidad calculados entre cada unidad cartográficas y las restantes, a fin de obtener la utilidad de los distintos tratamientos.

Por último se compararon los resultados en las dos épocas.

Cuadro 1. Categoría de separabilidad según rango de valores.

Orden	Intervalo de valores de separabilidad	Categoría
0	$X = 0$	Nula
1	$0 < X \leq 0.5$	Baja
2	$0.5 < X \leq 0.89$	Media
3	$0.89 < X \leq 1.9$	Alta
4	$X > 2$	Muy alta

Cuadro 2. Características de las distintas tierras.

Unidad cartográfica de tierras	Vegetación		Suelos		Rugosidad del paisaje	Pendiente %
	Fisonomía	Cobertura	Textura superficial	% Humedad		
Bajo anegadizo o "ciénago"	Pastizal, vega, pajonal	100	Franco-limoso	100	Medio	0
Plano aluvial	Pastizal/arbustal ralo	2	Areno-franco	19	Baja	0.5
Terraza baja	Cultivos	60 a 80	Franco-arenoso a areno franco	15 a 20	Alta	1 a 2
Terraza alta	Bosque de algarrobo degradado	20 a 40	Areno-franco	10 a 14	Alta	1 a 2
Conos aluviales	Estepa arbustiva	30	Pedregosa	1	Alta	5 a 10
Montaña ígnea	Pastizal	5 a 10	Roca	-	Muy alta	30
Montaña sedimentaria	Pastizal	5 a 10	Roca	-	Muy alta	30
Suelo desnudo	Ninguno	0	Arenoso, franco-arenoso	0-5	Baja	Variable

El valor de rugosidad es un valor relativo entre unidades cartográficas y se refiere al paisaje.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el campo se identificaron y se describieron las unidades cartográficas de tierras caracterizadas en el Cuadro 2.

En el Cuadro 3 se presentan los grados de deterioro de la cubierta vegetal, erosión eólica, hídrica y salinización de las distintas unidades de tierras descritas en el campo.

En las terrazas se diferenció la subunidad con suelo desnudo.

A través del análisis visual de las imágenes de radar de época seca (agosto) y húmeda (enero), se pudieron diferenciar las siguientes unidades de tierras: montañas sedimentarias y graníticas, conos aluviales, planos aluviales, áreas anegadizas, terrazas bajas con cultivos, bosques y suelo desnudo (Cuadro 3). Dichas tierras presentan distintos grados de deterioro de la cubierta vegetal, erosión eólica, erosión hídrica y

salinización (Cuadro 3). Aunque se probaron todos los filtros disponibles en el PCI sólo se muestran en este cuadro aquéllos que permitieron separar unidades cartográficas entre sí.

Análisis estadístico de los citados reales y filtros: Los valores de separabilidad obtenidos para cada una de las combinaciones posibles de unidades de paisaje se presentan en una matriz de 8 x 8; comparando cada unidad cartográfica con las siete restantes. A modo de ejemplo se presentan en el Cuadro 4 dos de las matrices obtenidas.

En el Cuadro 5 se observan los valores de separabilidad medios calculados de la época seca, de cada unidad cartográfica en relación con todas las demás, a fin de obtener un estimador estadístico de la utilidad de los distintos tratamientos. De este cuadro se desprende que las unidades bajo inundable, cono aluvial, terraza alta con bosque y terraza baja con cultivos se pueden diferenciar muy bien del resto sólo

Cuadro 3. Grados de degradación por unidad de tierras.

Unidad cartográfica de tierras	Deterioro de la cubierta vegetal	Erosión eólica (FAO, 1984)	Erosión hídrica (FAO, 1984)	Salinización (FAO, 1984)
Bajo anegadizo o "ciénago"	Nulo	Nula	Nula	Moderada
Plano aluvial	Grave	Muy Grave	Nula a ligera	Nula
Terraza baja	Moderado	Grave	Ligera	Nula a ligera
Terraza alta	Con bosque <i>Prosopis</i> sp.	Ligero a moderado	Ligera	Nula
	Sin bosque o muy alterado	Muy grave	Grave a muy grave	Nula
Conos aluviales	Moderado a grave	Moderada	Moderada a grave	Nula
Montaña ígnea	Nulo	Nula	Ligera a moderada	Nula
Montaña sedimentaria	Nulo	Moderada	Muy grave	Nula
Suelo desnudo de terraza baja	Muy grave	Grave	Ligera	Ligera a moderada

Cuadro 4. Valores de separabilidad entre unidades cartográficas para la imagen sin calibrar.

a) Estación seca

	Bajo inundable	Cono	Montaña ígnea	Bosque (terrazza alta)	Suelo	Cultivo (terrazza baja)	Plano aluvial	Montaña sedimentaria
Bajo Inundable	0.000	0.894	0.451	0.870	0.862	0.369	1.290	0.910
Cono	0.894	0.000	0.058	0.019	1.624	0.496	1.994	0.170
Montaña ígnea	0.451	0.058	0.000	0.069	0.823	0.241	0.978	0.167
Bosque (Terraza alta)	0.870	0.019	0.069	0.000	1.553	0.493	1.893	1.148
Suelo	0.862	1.624	0.823	1.553	0.000	1.128	0.380	1.474
Cultivo (Terraza baja)	0.369	0.496	0.241	0.493	1.128	0.000	1.501	0.586
Plano aluvial	1.290	1.994	0.978	1.893	0.380	1.501	0.000	1.742
Montaña sedimentaria	0.910	0.170	0.167	0.148	1.474	0.586	1.742	0.000
Media	0.8066	0.7507	0.398	0.720	1.120	0.687	1.396	0.742

b) Estación húmeda

	Bajo inundable	Cono	Montaña ígnea	Bosque (terrazza alta)	Suelo	Cultivo (terrazza baja)	Plano aluvial	Montaña sedimentaria
Bajo inundable	0.000	0.359	0.157	0.440	0.785	0.304	1.089	0.507
Cono	0.359	0.000	0.057	0.118	1.143	0.019	1.438	0.206
Montaña ígnea	0.157	0.057	0.000	0.128	0.586	0.041	0.741	0.186
Bosque (terrazza alta)	0.440	0.118	0.128	0.000	1.130	0.125	1.384	0.089
Suelo	0.785	1.143	0.586	1.130	0.000	0.996	0.332	1.144
Cultivo (terrazza baja)	0.304	0.019	0.041	0.125	0.996	0.000	1.253	0.206
Plano aluvial	1.089	1.438	0.741	1.384	0.332	1.253	0.000	1.375
Montaña sedimentaria	0.507	0.206	0.186	0.089	1.144	0.206	1.375	0.000
Media	0.520	0.477	0.270	0.487	0.873	0.420	1.087	0.530

Según el rango presentado en el Cuadro 1 se califica la separabilidad de cada unidad cartográfica dentro de cada tratamiento en alta, media y baja.

en la imagen sin calibrar filtrada F_{γ} . La imagen no calibrada posee originalmente un proceso de escalado que, por los resultados obtenidos, favorece la discriminación de los patrones a través de los cuales se identifican los paisajes. El filtro Gamma produjo una mejor separación entre las unidades de paisaje, posiblemente debido a que este presupone a los datos distribuidos con un diseño no gaussiano sino gamma, lo cual se identifica mejor con la realidad. En el Cuadro 6 se observan los valores de separabilidad medios calculados de cada unidad cartográficas en relación con las demás, a fin de obtener la utilidad de los distintos tratamientos en la imagen de la época húmeda.

Los índices de separabilidad nos indican la mayor o menor capacidad de discriminación entre unidades de paisaje, producto de aplicación de los diferentes tratamiento a las imágenes radar.

Los procesos de degradación evaluados en el área se relacionaron con las diferentes unidades de paisaje descriptas (Navone *et al.*, 1998). Por lo tanto, con la separación de los diferentes paisajes se están identificando las áreas en donde se produce cada proceso de degradación/desertificación.

En la Figura 1 se graficaron los resultados del Cuadro 5 que representan la separabilidad de las diferentes unidades de tierras con distintos grados de erosión en función de los mejoramientos empleados en la imagen radar, para la época seca.

En la Figura 1 se ve que la unidad montaña sedimentaria se identifica fácilmente en todos los tratamientos, pero ocurre exactamente lo opuesto en la montaña ígnea, lo que sugiere que la combinación de material original y porcentaje de cobertura determinan la respuesta.

Cuadro 5. Valores promedio de separabilidad de cada unidad cartográfica dentro de cada tratamiento para la época seca.

Unidad cartográfica	Bajo inundable	Cono	Montaña ignea	Bosque (terrazza alta)	Suelo	Cultivo (terrazza baja)	Plano aluvial	Montaña sedimentaria
Tratamiento								
1) Imagen sin calibrar	0.806 media/alta	0.750 media	0.398 baja	0.720 media	1.120 alta	0.687 media	1.390 alta	0.742 media
2) Imagen calibrada (Beta°)	0.745 media	0.749 media	0.473 baja	0.689 media	1.040 alta	0.614 media	1.340 alta	0.760 media
3) Sin calibrar realizada 1	0.836 media	0.827 media	0.548 media	0.794 media	1.242 alta	0.689 media	1.589 alta	0.895 alta
4) Sin calibrar realizada 2	0.815 media	0.761 media	0.472 baja	0.731 media	1.147 alta	0.687 media	1.435 media	0.776 media
5) Calibrada realizada 1	0.748 media	0.787 media	0.503 media	0.716 media	1.069 alta	0.608 media	1.330 alta	0.850 alta
6) Calibrada realizada 2	0.750 media	0.767 media	0.490 baja	0.705 media	1.053 alta	0.623 media	1.375 alta	0.820 media
7) Cruda filtrada Fgamma	1.073 alta	1.038 alta	0.450 baja	0.953 alta	1.443 alta	0.883 media	1.881 alta	0.944 alta
8) Cruda filtrada Fsharp	0.564 media	0.512 media	0.318 baja	0.509 media	0.803 media	0.486 baja	0.994 alta	0.529 media
9) Calibrada filtrada Fgamma	0.848 media	0.856 alta	0.528 media	0.791 media	1.176 alta	0.701 media	1.517 alta	0.917 alta
10) Calibrada filtrada Fsharp	0.622 media	0.627 media	0.405 baja	0.567 media	0.872 alta	0.515 media	1.118 alta	0.668 media

Cuadro 6. Valores promedio de separabilidad de cada unidad cartográfica (con relación a las otras siete) dentro de cada tratamiento en época húmeda.

Unidad cartográfica	Bajo inundable	Cono	Montaña ignea	Bosque (terrazza alta)	Suelo	Cultivo (terrazza baja)	Plano aluvial	Montaña sedimentaria
Tratamiento								
1) Imagen sin calibrar	0.520 media	0.477 media	0.271 baja	0.487 media	0.873 alta	0.420 media	1.087 alta	0.530 media
2) Imagen calibrada (Beta°)	0.527 media	0.479 media	0.272 baja	0.492 media	0.873 alta	0.423 media	1.087 alta	0.527 media
3) Imagen sin calibrar realizada 1	0.511 media	0.508 media	0.378 media	0.521 media	0.922 alta	0.457 media	1.163 alta	0.588 media
4) Imagen sin calibrar realizada 2	0.517 media	0.484 media	0.318 baja	0.495 media	0.884 alta	0.427 media	1.103 media	0.546 media
5) Imagen calibrada realizada 1	0.530 media	0.512 media	0.390 media	0.517 media	0.935 alta	0.488 media	1.178 alta	0.574 media
6) Imagen calibrada realizada 2	0.525 media	0.486 media	0.319 baja	0.500 media	0.884 alta	0.430 media	1.103 alta	0.543 media
7) Imagen sin calibrar filtrada Fgamma	0.670 alta	0.641 alta	0.309 baja	0.609 media	1.107 alta	0.528 media	1.350 alta	0.662 media
8) Imagen sin calibrar filtrada Fsharp	0.369 media	0.331 media	0.217 baja	0.352 media	0.631 media	0.304 baja	0.802 media	0.382 media
9) Imagen calibrada filtrada Fgamma	0.656 media	0.627 media	0.309 media	0.604 media	1.070 alta	0.521 media	1.309 alta	0.645 media
10) Imagen calibrada filtrada Fsharp	0.373 media	0.332 media	0.217 baja	0.354 media	0.629 media	0.305 media	0.801 alta	0.379 media

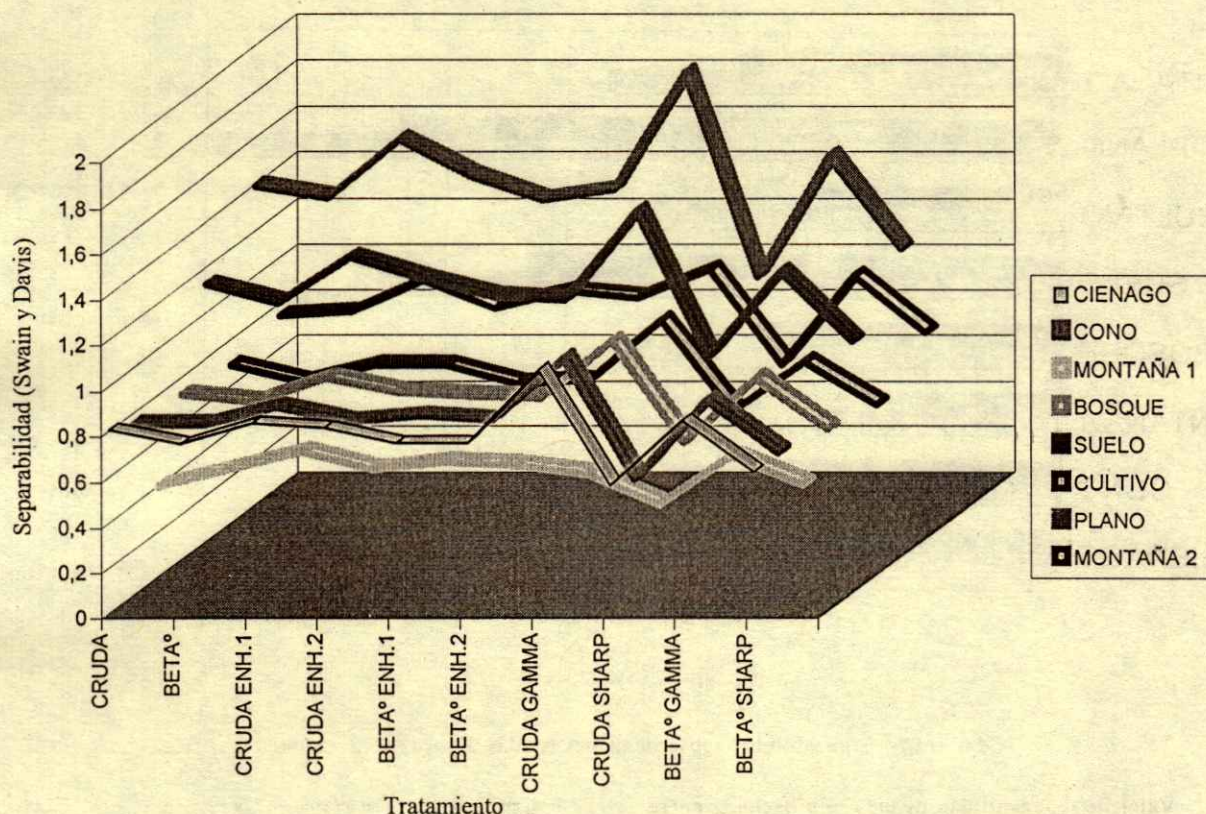


Figura 1. Separabilidad de las diferentes unidades de paisaje en función de los diferentes tratamientos (época seca).

Por las características fisiográficas tan similares del suelo desnudo y el plano aluvial y por presentar el mismo grado de erosión, son identificables fácilmente del resto de las unidades de tierras pero no lo son entre sí.

Se observa claramente en la Figura 2 que al comparar la imagen radar de época seca con la de época húmeda, en todos los casos se identifican mejor las distintas unidades cartográficas en la época seca, estadísticamente a través de los valores de separabilidad. Del análisis del Cuadro 7 surge que, en todos los tratamientos, las siguientes combinaciones **plano aluvial** (erosión eólica grave, erosión hídrica nula a ligera, salinización nula y deterioro de la cubierta vegetal grave) **con montaña 2** sedimentaria (erosión eólica moderada, erosión hídrica muy grave, salinización nula y deterioro de la cubierta vegetal nulo); **plano aluvial** (erosión eólica grave, erosión hídrica nula a ligera, salinización nula y deterioro de la cubierta vegetal grave); **con cono aluvial** (erosión eólica moderada, erosión hídrica moderada a grave, salinización nula y deterioro de la cubierta vegetal moderado); **suelo agrícola desnudo** (erosión eólica grave, erosión hídrica ligera a moderada, salinización

ligera a moderada y deterioro de la cubierta vegetal muy grave) **con cono aluvial** (erosión eólica moderada, erosión hídrica moderada a grave, salinización nula y deterioro de la cubierta vegetal moderado) y **suelo agrícola desnudo** (erosión eólica grave, erosión hídrica ligera a moderada, salinización ligera a moderada y deterioro de la cubierta vegetal muy grave) **con bosque sobre terraza alta** (erosión eólica moderada, erosión hídrica moderada, salinización nula y deterioro de la cubierta vegetal moderado), tienen siempre valor de **separabilidad alta en la época seca**, situación semejante a la que ocurre en la época húmeda.

CONCLUSIONES

Al comparar la imagen SAR Standard 7 beam mode con distintos procesamientos con la realidad de campo, surgen diferentes niveles de coincidencia por unidad cartográfica en las épocas seca y húmeda.

A pesar de las diferencias en las características naturales del bosque y de la montaña sedimentaria, las medias son similares con un desvío estándar alto en la

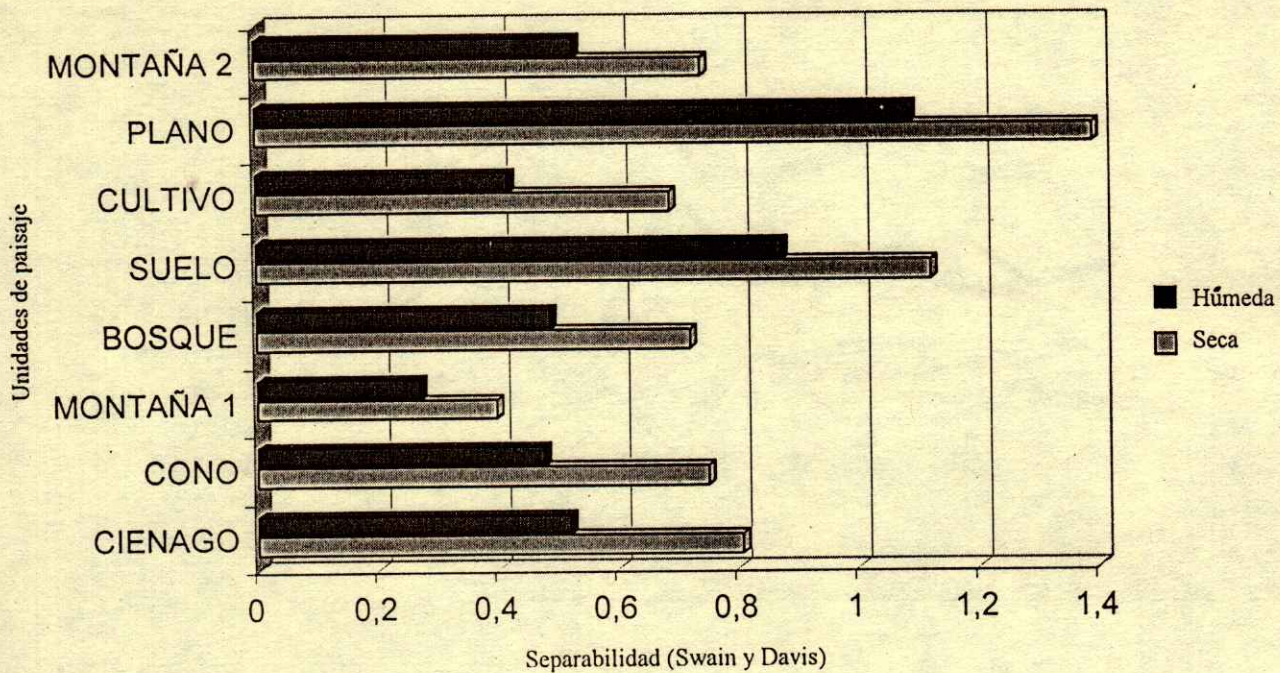


Figura 2. Separabilidad sobre imágenes crudas. Epocas seca y húmeda.

Cuadro 7. Valor de separabilidad de las combinaciones entre unidades cartográficas con separabilidades mayores que 1 (alta y muy alta); para cada tratamiento individualmente de época seca.

Combinación			
Sin calibrar	Plano / cono	1.994	
	Plano / montaña 2	1.742	
	Suelo / cono	1.624	
	Suelo / bosque	1.553	
	Plano / bosque	1.501	
	Montaña 2 / bosque	1.474	
	Plano / ciénago	1.290	
	Suelo / cultivo	1.128	
	Imagen calibrada (Beta)	Plano / cono	1.879
		Plano / montaña 2	1.820
Plano / bosque		1.747	
Suelo / cono		1.519	
Suelo / montaña 2		1.486	
Suelo / bosque		1.400	
Plano / suelo		1.269	
Plano / montaña 1		1.159	
Imagen cruda realzada 1	Plano / ciénago	1.113	
	Plano / montaña 2	2.266	
	Plano / cono	2.221	
	Plano / bosque	2.112	
	Montaña 2 / cono	1.823	
	Suelo / cono	1.760	
	Suelo / bosque	1.687	
	Plano / cultivo	1.554	
	Plano / montaña 1	1.327	
	Plano / ciénago	1.229	
	Suelo / cultivo	1.149	
	Suelo / montaña 1	1.053	
Montaña 2 / ciénago	1.024		

Imagen cruda	Plano / cono	2.002
	Plano / bosque	1.901
	Plano / montaña 2	1.826
	Suelo / cono	1.627
	Suelo / bosque	1.557
	Suelo / montaña 2	1.534
	Plano / cultivo	1.502
	Plano / ciénago	1.291
	Plano / montaña 1	1.145
	Suelo / cultivo	1.128
Imagen calibrada realzada 1	Plano / montaña 2	1.975
	Suelo / cono	1.968
	Suelo / bosque	1.794
	Suelo / montaña 2	1.636
	Suelo / cono	1.605
	Suelo / bosque	1.466
	Plano / cultivo	1.185
Imagen calibrada realzada 2	Plano / montaña 1	1.156
	Montaña 2 / ciénago	1.020
	Plano / ciénago	1.013
	Plano / cono	1.930
	Plano / montaña 2	1.911
Imagen calibrada filtrada Gamma	Plano / bosque	1.792
	Suelo / montaña 2	1.540
	Suelo / cono	1.529
	Suelo / bosque	1.411
	Plano / cultivo	1.288
	Plano / montaña 1	1.190
	Plano / cono	2.765
	Plano / bosque	2.514
Imagen cruda	Suelo / cono	2.230
	Plano / montaña 2	2.197
	Suelo / bosque	2.045
	Plano / cultivo	1.919
	Suelo / montaña 2	1.856
	Plano / ciénago	1.731

	Suelo / cultivo	1.439
	Ciénago / cono	1.277
	Ciénago / montaña 2	1.181
	Ciénago / bosque	1.176
	Suelo / ciénago	1.147
	Plano / montaña 1	1.084
Imagen cruda filtrada Sharp	Plano / cono	1.355
	Plano / bosque	1.327
	Plano / montaña 2	1.253
	Suelo / cono	1.112
	Suelo / bosque	1.099
Imagen calibrada filtrada Gamma	Plano / cono	2.119
	Plano / montaña 2	2.102
	Plano / bosque	1.985
	Suelo / montaña 2	1.722
	Suelo / cono	1.707
	Suelo / bosque	1.583
	Plano / cultivo	1.432
	Plano / bosque	1.285
	Plano / ciénago	1.253
	Ciénago / montaña 2	1.126
	Ciénago / cono	1.051
	Suelo / cultivo	1.017
Imagen calibrada filtrada Sharp	Plano / cono	1.565
	Plano / montaña 2	1.542
	Suelo / montaña 2	1.270
	Suelo / cono	1.269
	Suelo / bosque	1.149
	Plano / cultivo	1.053
	Promedio	1.308

imagen realizada, por lo tanto, se superponen las respuestas y no son separables.

Por análisis estadístico surge que la imagen no calibrada filtrada Fgamma es en la que se diferencian muy bien el mayor número de unidades cartográficas con distinto grado de degradación/desertificación.

Las distintas unidades cartográficas de tierras se separan mejor en la imagen radar de la época seca.

LITERATURA CITADA

- Bianchi, A.R. 1981. Las precipitaciones en el noroeste Argentino. Informe interno EERA Salta.INTA.
- Canadian Center of Remote Sensing. 1997. Planilla para la recopilación de información de campo, inédita.
- FAO-PNUMA. 1984. Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertización. Roma.
- Navone, S.M. 1995. Evaluación de la degradación a través de imágenes satelitarias en el N.E. de Jujuy. Thesis Magister Sciantae: Inédito. Biblioteca de la Escuela de Graduados de la FAUBA. Argentina.
- Navone, S.M., E.A. Palacin y E. Rienzi. 1998. Radar: una herramienta para la cartografía de las tierras en los valles calchaquies (Argentina). Avances en el Manejo del Suelo y Agua en la Ingeniería Rural Latinoamericana-2-9.
- Swain, P. y S. Davis. 1978. Remote sensing: The quantitative approach. McGraw Hill, NY.
- Zonneveld, I.S. 1979. Land evaluation and landscape science. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences VII 4: 127.

NUTRICION MINERAL EN LA CAIDA DE YEMAS FLORALES DE CHABACANO SELECCION 17-10

Effect of Mineral Nutrition on Bud Flower Drop of Apricot 17-10 Selection

Ramón Armas Reyes¹, Gabriel Alcántar González² y Jorge Rodríguez Alcázar²

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue investigar el efecto de la fertilización mineral al suelo con la fórmula 40-20-20 de N-P-K en árboles de chabacano (*Prunus armeniaca* L.) de cuatro años de la selección 17-10 sobre floración, amarre de frutos y caída de yemas florales. Se realizaron tres aplicaciones con la fórmula indicada, una en julio (postcosecha), la segunda en octubre de 1996 y la tercera en febrero (inicio de brotación) de 1997, obteniéndose con tres y dos aplicaciones los mejores resultados estadísticamente en amarre de frutos con 18.3 y 10.8%, respectivamente, en comparación con una aplicación y con el testigo. Los resultados de los análisis en contenido de N, P, K y B en yemas florales de la selección 17-10, con tratamientos de fertilización no fueron diferentes que los obtenidos para la selección CP 90-1. El contenido de B fue de niveles normales con 52 mg kg⁻¹ en la selección 17-10 y 56 mg kg⁻¹ en CP 90-1, sin embargo, en la variedad Donra, los niveles de este micronutriente fueron claramente deficientes con 35 mg kg⁻¹. Los resultados obtenidos indican que la fertilización fraccionada puede ayudar a una mayor floración, la cual se presentó principalmente (23.3%) en ramas delgadas (≥ 3.0 mm de diámetro) en comparación (8.0%) con ramas mayores que 8.0 mm de diámetro. Lo contrario ocurrió con la caída de yemas florales, la cual fue significativamente mayor en ramas gruesas (91.9%) que en ramas delgadas (76.7%).

Palabras clave: Nutrición NPK, *Prunus armeniaca* L., floración.

¹ Universidad de Sonora, Unidad Regional Norte, Caborca, Son. Tel. 01 (637) 25626.

² Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Estado de México
alcantar@colpos.colpos.mx

Recibido: Agosto de 1997.
Aceptado: Enero de 2001.

SUMMARY

The purpose of this research was to investigate the effect of mineral nutrition with the formulae 40-20-20 (N-P-K) on four-year old apricot trees (*Prunus armeniaca* L.) 17-10 selection on flower bud and fruit set. Three doses of the indicated formulae, applied in July (postharvest), October and February (bud break initiation), improved significantly fruit set with 18.3 and 10.8% in relation to one dose and the control, two dosages and three dosages, respectively. The results of the plant analysis showed that the contents of N, P, K, and B in flower buds were not different from those obtained in apricot CP 90-1. The B content indicated a relation between fruit set in the order from better to worst with varieties that differ in their ability to flower bud and fruit set; CP 90-1 (56 mg kg⁻¹), 17-10 (52 mg kg⁻¹) and 'Donra' variety (35 mg kg⁻¹). The results indicate that nutrition can improve flowering, which was mainly concentrated on thin branches (23.3%) (≥ 3.0 mm diameter) compared to thicker branches (8.0%) of 8.0 mm diameter; in contrast, the bud flower drop was statistically higher (91.9%) in thick branches compared to 76.7% in thin branches.

Index words: NPK nutrition, *Prunus armeniaca* L., flowering.

INTRODUCCION

El buen estado nutrimental de los frutales al entrar en letargo, pudiera ser importante para una mejor defensa de las yemas florales a condiciones adversas. En pistacho (*Pistacia vera* L.) se ha determinado que el fenómeno de la caída de yemas florales no es afectado por factores ambientales, sino por nutrimentos, particularmente por competencia de carbohidratos (Crane y Nelson, 1971; Crane *et al.*, 1973; 1976). La alta concentración de azúcar reduce el punto de congelación y previene la formación de hielo en la vacuola, protegiendo por lo tanto a los árboles del

daño por frío. El almendro, chabacano, cerezo dulce, durazno y ciruelo europeo tienen requerimientos de reposo completamente diferentes, pero los análisis de sus tallos indican que su contenido mínimo de almidón a mediados de invierno ocurre casi al mismo tiempo. Consecuentemente, la reconversión de azúcares a almidón a mediados del invierno no parece ser una señal de terminación del letargo (Ryugo, 1993). La edad fisiológica del tejido es probablemente el factor más importante que afecta la composición mineral de una especie dada (Smith, 1962). Durante la brotación en la primavera, cuando la actividad en la raíz es aún mínima, algunos elementos que han estado almacenados en los tejidos del tallo o de la raíz se vuelven disponibles para el desarrollo rápido de las yemas. Mucho del N, P, Zn y quizá K necesarios para el desarrollo de yemas provienen de los tejidos de almacenamiento y son redistribuidos a los puntos de crecimiento. Cuando la actividad de la raíz se incrementa, el N así como todos los elementos esenciales son absorbidos del suelo (Uriu, 1981a; 1981b). Las concentraciones de N, P y Zn expresadas con base en peso seco de la hoja, son muy altas al inicio de la estación de crecimiento y declinan rápidamente, acercándose a un nivel estable a mediados de la estación, para luego disminuir próximo a la caída de las hojas (Valenzuela, 1988). En durazno se encontró que las concentraciones de N, P, K, Cu y Zn son más altas en tejidos jóvenes que en los viejos, mientras que lo contrario ocurre con Ca, Mg, Mn, Fe, Al, y B (Batjer y Westwood, 1958; McCluing y Lott, 1956).

En manzano aplicaciones de N en verano incrementaron la longevidad de los óvulos hasta 12 a 13 días, mientras que con aplicaciones en primavera la viabilidad de los óvulos fue de siete a nueve días (Williams, 1965). Los suelos suelen ser más deficientes en N que en cualquier otro elemento, aunque la deficiencia de fósforo también es común. Fertilizaciones nitrogenadas en chabacano son usadas en algunas áreas de Hungría a finales de verano y otoño, no obstante que la absorción del N tiende a reducirse de mayo a septiembre (Bojic y Paunovic, 1988).

Las raíces de árboles de manzano absorben P cuando la solución del suelo contiene concentraciones entre 0.5 y 10 μM . Las raíces son incapaces de absorber P si sus valores de concentración en la solución son entre 0.25 y 0.50 μM . Hay pocos reportes

en la literatura que indiquen una respuesta definitiva en chabacanos a la fertilización con fosfato, pero se sabe que el contenido de P en chabacano puede ser afectado por el contenido de humedad en el suelo, encontrándose en un periodo de 10 años que el contenido de P varió directamente con la humedad del suelo (Branton *et al.*, 1961). Entre los beneficios del P para las plantas se pueden mencionar sus interacciones con otros elementos al favorecer su absorción. En trigo (*Triticum aestivum* L.) aplicaciones de P incrementaron la absorción y concentración de Mg y Ca en las hojas de esta especie (Reinbott y Blevins, 1994).

En general, concentraciones de K entre 1.5 y 1.8% en la materia seca son consideradas adecuadas para muchos árboles en las hojas muestreadas en la parte media del brote a finales de junio. Los síntomas de deficiencias de K son visibles únicamente cuando las concentraciones de peso seco en hojas están por abajo de 0.7%. Niveles de 1.0% de K en hojas no muestran síntomas de deficiencias, pero los frutos no colorean normalmente (Cain, citado por Faust, 1989). El desarrollo de color en manzana ocurre cuando cantidades considerables de azúcares están presentes en el fruto (Faust, 1965). El K es un soluto importante en la expansión celular y el crecimiento es muy sensible a deficiencias de K. La extensión celular implica la formación de una gran vacuola central que, especialmente en células de frutos, puede ocupar 90% o más del volumen celular. El potasio presenta interacciones en sus funciones con otros elementos, por ejemplo niveles milimolares de Mg no quelatado disminuyen el contenido de K en el estroma del cloroplasto, lo cual algunas veces estimula una acidificación del estroma y esta acidificación resulta directamente en la inhibición de la fotosíntesis (Wu *et al.*, 1991). Por otra parte, altas concentraciones de K en el suelo pueden afectar la absorción de otros cationes e inducir síntomas de deficiencias de estos elementos, lo más comúnmente observado son deficiencias de Mg, aunque Mn y Zn también pueden ser reducidos a niveles deficientes por exceso de K (Shear y Faust, 1980). Hartmann y Brown (1953) encontraron que en olivo valores altos de Ca y Mg estaban asociados con bajos niveles de K, mientras que una alta concentración de K se asociaba con una baja concentración de Ca y Mg.

Un micronutriente esencial requerido para el crecimiento de plantas es el boro (B). Se cree que es importante para la división celular y síntesis de pared

celular, síntesis de proteínas, función de membranas y translocación de azúcares (Gupta *et al.*, 1985). El B mejora el amarre de flores y frutos así como el crecimiento del tubo polínico. Esta mejoría se atribuye a la formación de complejos azúcar-boro, los cuales son translocados a través de las membranas protoplásmicas más fácilmente que las azúcares sin boro (Ryugo, 1993). En la mayoría de las especies frutales se requiere de una cierta cantidad de B en la planta antes de la floración para un buen amarre de frutos, por lo que se estima que los requerimientos de B para floración y amarre son más altos que los requerimientos para crecimiento vegetativo (Hansen *et al.*, 1985), aunque estos requerimientos son variables entre especies, rangos entre 85 y 110 mg kg⁻¹ pueden ser adecuados para *Prunus* pero deficientes para pistacho (*Pistacia vera* L.) y nogal (*Juglans regia* L.) (varios autores citados por Brown, 1994).

La concentración óptima de B para chabacano es de 45 mg kg⁻¹ (Faust, 1989), aunque este contenido es reportado en hojas y determinado 110 días después de floración, y los contenidos de B varían entre órganos, entre cultivares de la misma especie y entre especies (Woodbridge *et al.*, 1971). En yemas florales de manzano y más específicamente en cada parte de la flor los contenidos de B son diferentes, encontrándose que los estilos tuvieron el más alto nivel. En aguacate no hay variaciones en el contenido de B en las inflorescencias y en las hojas a través del año, pero el contenido es mayor en hojas que en inflorescencias (Castillo, 1997). Comparaciones entre especies resultaron que las más bajas acumulaciones de B en flores fueron en manzano y cerezo y las más altas en flores de peral, estimándose que flores de manzano y cerezo requieren menos B (Thompson y Batjer, 1950), o por diferencias en la habilidad de los diferentes cultivares para extraer B del suelo o por utilizarlo en lugar de almacenarlo en otros tejidos del árbol. Las variaciones anuales en los contenidos de B en flores pueden ser causados por diferencias de temperaturas, densidad de floración, y por condiciones de acumulación en los años previos (frutos de chabacano son fuertes acumuladores de B, por lo que el tallo quizá no acumule suficientes reservas en años de alta producción). Especies de *Prunus* (durazno, almendro, y ciruela) no tienden a acumular B en el follaje, mientras que nogal, pistacho y kiwi acumulan grandes cantidades de B en las hojas cuando los niveles de este nutrimento son altos en el suelo o en el agua de riego

(Brown, 1994). El higo parece ser también acumulador de B al igual que pistacho y nogal. El chabacano se considera de alta tolerancia al exceso de B (Benson *et al.*, citados por Faust, 1989). La absorción de elementos minerales se produce a lo largo del periodo vegetativo, con más intensidad en las épocas de máximo crecimiento, y depende mucho de la carga de frutos que lleven los árboles, por lo que el aporte fraccionado de elementos minerales a lo largo del ciclo, siempre será más recomendable que un abonado inicial abundante como tradicionalmente se hace. En el presente trabajo se tuvo como objetivo estudiar el efecto del número de aplicaciones de la fórmula de fertilización 40-20-20, sobre el estado nutricional en cuanto a N, P, K y B de las yemas florales antes de la brotación y relacionar estos contenidos con la caída de yemas florales en esta especie frutal.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se llevó a cabo en la huerta "San José" del Colegio de Postgraduados (CP), ubicada a 2241 msnm, con temperaturas medias anuales de 15 °C y precipitación pluvial de 643.7 mm, según información de la estación agroclimática del mismo CP. El suelo es de textura franco arenoso a franco arcilloso; esta última principalmente en las capas inferiores. El pH varía de 5.2 a 7.6 y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 7.3 a 10.4 cmol₍₊₎ kg⁻¹, muy pobres en N y P, y altos en K., la conductividad eléctrica (CE) varía de 0.11 a 0.33 dS m⁻¹.

Se utilizaron árboles de chabacano selección '17-10', de cuatro años, y establecidos bajo condiciones de riego en un marco de plantación rectangular con distancias de 2.0 m entre árboles y 4.0 m entre hileras, los cuales se fertilizaron con la fórmula 40-20-20 (117.6 g de 17-17-17 y 43.5 g de urea) de N, P y K, respectivamente. El fertilizante se incorporó en forma circular al nivel de la orilla de la sombra de la copa y enterrado de 5 a 10 cm; se utilizaron cuatro árboles por tratamiento y tres de testigo. El diseño experimental fue completo al azar.

Descripción de los tratamientos:

Tratamiento A = tres aplicaciones (1 de julio, 1 de octubre de 1996 y 30 de enero de 1997).

Tratamiento B = dos aplicaciones (1 de julio y 1 de octubre de 1996).

Tratamiento C = una aplicación (30 de enero de 1997).

En los tres tratamientos se colectaron yemas florales en dos fechas (30 de noviembre de 1996 y 28 de febrero de 1997) para determinar la concentración de N, P, K y B, este último elemento únicamente en las muestras del 28 de febrero. Para mejor referencia en el contenido de B, éste también se analizó en chabacano Donra (presenta alta caída de yemas florales) y CP-90-1 (no presenta caída de yemas florales).

En la determinación de nitrógeno se utilizó el método kjeldahl, para fósforo el de vanadato-molibdato amarillo, para potasio el de emisión de llama y el boro se determinó por el método de azometina-H, descrito por Enriquez (1989). En campo se evaluaron el número de brotes y flores por rama y frutos por árbol.

Número de brotes y flores por rama. En tres árboles por tratamiento se marcaron cuatro ramas por árbol y a cada rama se le contó el total de yemas antes de la brotación, y se contabilizó el número de flores y brotes vegetativos en la brotación de cada rama, restándose éstas del total para considerar a las faltantes como muertas o caídas.

Frutos amarrados por árbol. A los árboles de cada tratamiento, se les contó el total de sus frutos amarrados lo cual fue hasta que éstos perdieron los restos de sépalos completamente.

Caída de yemas florales. Se marcaron dos ramas de diámetro promedio de 3.0 mm y dos ramas de diámetro mayor que 8.0 mm por árbol y por tratamiento. A cada rama se le contó el total de yemas antes de la brotación, y se contabilizó el número de flores y brotes vegetativos en la brotación de cada rama, restándose éstas del total para considerar a las faltantes como muertas o caídas. Para la interpretación de esta variable se utilizó un diseño de bloques al azar, en las que además se analizó la caída de yemas florales con base en el diámetro de rama.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados coinciden plenamente con lo mencionado en la literatura en cuanto a que la concentración de N, P y K en yemas de manzano y durazno disminuye al final de la temporada de crecimiento. Según Rogers *et al.* (1953) a 200 días después de plena floración la reducción en N y K fue de 3-4% a 1.5% para ambos elementos y con tendencia descendente, y en P que tiene el mismo comportamiento descendente con valores de 0.3 a menores que 0.1%, 200 días después de plena floración. Sin embargo, los contenidos de P en este trabajo se mantuvieron en niveles altos tanto en las yemas florales de la selección '17-10', como en CP-90-1 en las dos fechas muestreadas, con intervalo de dos meses entre muestreo, durante el letargo, el cual se estableció en el intervalo de entre 0.186 y 0.23% y considerando que los valores arriba de 0.1% son óptimos para este elemento. Según Faust (1989), este valor es alto en la presente investigación, mientras que el N y K fueron deficientes particularmente este último, el cual registró en todos los análisis valores inferiores a 1.0% (Cuadro 1), cuando el óptimo reportado es de 2.8% (Faust, 1989). Las deficiencias como los excesos de nutrimentos minerales causan alteraciones en las plantas, y por los altos contenidos de P en yemas florales detectados en este trabajo es de mencionarse las interacciones de este nutrimento con otros minerales, particularmente con el zinc, del cual se reduce su aprovechamiento por interacción con fósforo y con hierro (Bingham y Garber, 1960). Un factor metabólico relacionado con la deficiencia de Zn, es que excesivas concentraciones de P interfieren con las funciones del Zn en ciertos sitios del interior de las células vegetales (Lindsay, 1972). La función fisiológica del Zn en la planta es entre otras, formar

Cuadro 1. Concentración en porcentaje de N, P, K, y en V mg kg⁻¹ de B en yemas florales de selecciones de chabacano '17-10' y CP-90-1, y variedad Donra en dos fechas muestreadas durante el letargo.

Elementos analizados	Selección 17-10		Selección CP 90-1		Var. Donra 30 enero
	30 nov.	30 enero	30 nov	30 enero	
N	1.07	1.14	1.05	1.4	
P	0.23	0.23	0.27	0.18	
K	0.95	0.76	0.74	0.58	
B	No determinado	52	No determinado	56	35

parte de diversas enzimas, como la anhidrasa carbónica, la cual descompone el ácido carbónico en anhídrido carbónico, agua y enzimas de oxidación, además impide la destrucción de auxinas, por eso, la carencia de Zn se traduce en una reducción de entrenudos (Trocme y Gras, 1972), lo cual se observó en los chabacanos estudiados. Los contenidos de B en las yemas florales se mantuvieron en niveles normales en los chabacanos 17-10 y CP-90-1, aunque en Donra este micronutriente registró niveles altamente deficientes con 35 mg kg^{-1} durante el inicio de brotación, época en que se realizaron los análisis de este trabajo. El contenido normal de B en hojas de chabacano es de 45 a 60 mg kg^{-1} (Faust, 1989), sin embargo, aun cuando las determinaciones de B en este trabajo fueron en yemas florales y no encontrando diferencias entre árboles fertilizados con la fórmula 40-20-20 y testigos y con el mejor cultivar de chabacano (CP 90-1) bajo las condiciones de Montecillo, se considera que los bajos rendimientos y la mayor caída de yemas en 17-10 pudieron estar asociados al pobre contenido de N y K como reserva al inicio de la brotación y aunque CP 90-I fue igualmente deficiente en N y K, éste tiene otros mecanismos de adaptación fisiológica que le favorecen en su producción y nula caída de yemas florales. Para Donra no se determinaron N, P y K únicamente B, el cual por su bajo nivel pudiera estar involucrado con su nula fructificación. Los contenidos encontrados de N, P, K y B en yemas florales de chabacanos, en dos épocas de muestreo durante el invierno se presentan en el Cuadro 1.

En cuanto a la respuesta a tratamientos en la brotación, floración y frutos por árbol, el Tratamiento A, tuvo mejor brotación vegetativa y similar floración y fructificación que los Tratamientos B y C, habiendo diferencias en brotación vegetativa y de floración con los testigos y hay diferencias estadísticas en números de frutos. El Tratamiento A fue más alto con 70.5 frutos por árbol en comparación con el resto de los tratamientos y de los testigos (Cuadro 2).

No se encontraron diferencias en caída de yemas florales entre tratamientos, pero el análisis para diferente diámetro de rama indica que ramas delgadas presentan más floración y menor caída de yemas (Cuadro 3).

Cuadro 2. Efecto de tres tratamientos de fertilización sobre algunos indicadores de la producción en chabacanos '17-10'. (1997).

Tratamiento	Brotos rama ⁻¹	Flores rama ⁻¹	Frutos árbol ⁻¹
A (tres aplicaciones de 40-20-20)	62.2 a	15.2 ab	70.5 a
B (dos aplicaciones de 40-20-20)	47.7 ab	21.2 a	36.7 ab
C (una aplicación de 40-20-20)	28.7 bc	18.7 a	24.7 b
Testigo	9.2 c	2.3 c	26.5 b

Medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales. Tukey (0.05)

Cuadro 3. Influencia del diámetro de rama en la floración y caída de yemas florales de chabacano '17-10'.

Diámetro de rama	Floración	Caída de yemas florales
mm	-----	% -----
3.0	23.3 a	76.7 b
8.0	8.0 b	91.9 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales Tukey (0.05).

CONCLUSIONES

Fertilizaciones con N, P y K mejoraron significativamente el amarre inicial de frutos por árbol y la brotación vegetativa, sin embargo, las deficiencias de N y K no están relacionadas con la caída de yemas florales en este frutal, debido a que tales deficiencias se presentaron también en CP-90-1, que no presenta el fenómeno. Los niveles de boro en los análisis de yemas florales tanto en chabacanos que presentan caída de yemas (Selección 17-10), como en CP 90-I que no presenta el fenómeno, fueron normales (de 45 a 60 mg kg^{-1}), a excepción de Donra con 35 mg kg^{-1} de B y que es una variedad que presenta una abundante caída de yemas florales. La caída de yemas florales es significativamente mayor en ramas de 8.0 mm de diámetro en promedio, en comparación con ramas de 3.0 mm de diámetro, así mismo la floración es significativamente mayor en ramas delgadas que en ramas gruesas.

LITERATURA CITADA

- Batjer, L.P. y M.N. Westood. 1958. Seasonal trend of several nutrient elements in leaves and fruits of Elberta peach. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 71: 116-126.
- Bingham, T.F. y M.J. Garber. 1960. Solubility and availability of micronutrients in relation to phosphorus fertilization. Soil Sci. Soc. Proc. 24: 209-213.

- Bojic, M. y S.A. Paunovic. 1988. The effect of inter-rootscks on the content and seasonal changes of major elements N, P, K, Ca and Mg in the leaves of apricot of "Hungarian Best". *Acta Hort.* 209: 131-140.
- Branton, D., O. Lilleland, K. Uriu y L. Werenfels. 1961. The effect of soil moisture on apricot leaf composition. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 77: 90-96.
- Brown, P.H. 1994. Seasonal variations in fig (*Ficus carica* L.) leaf nutrient concentrations. *HortScience* 29(8): 871-873.
- Castillo, G.A. 1997. Variación anual de boro en aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Colin V-33. pp. 100. *In: Memoria del VII Congreso Nacional de Horticultura*. Culiacán, Sin.
- Crane, J.C. y M.N. Nelson. 1971. The unusual mechanism of alternate bearing in the pistachio. *HortScience* 6: 489-490.
- Crane, J.C., I. Al-Shalan y R.M. Carlson. 1973. Abscission of pistachio inflorescence buds as affected by leaf area and number of nuts. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98(6): 591-592.
- Crane, J.C., P.B. Catlin e I. Al-Shalan. 1976. Carbohydrate levels in the pistachio as related to alternate bearing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101(4): 371-374.
- Enriquez R., S.A. 1989. Análisis de boro en suelos y plantas mediante el método de Azometina-H. *Terra* 7: 13-20.
- Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. John Wiley & Sons.
- Faust, M. 1965. Physiology of anthocyanin development in McIntosh Apple. II. Relationship between protein synthesis and anthocyanin development. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 87: 10-20.
- Gupta, U.C., Y.W. Jame, C.A. Campbell, A.J. Leyshon y W. Nichlaichuk. 1985. Boron toxicity and deficiency: A review. *Can. J. Soil Sci.* 65: 381-409.
- Hansen, E.J., M.H. Chaplin y P.J. Breen. 1985. Movement of foliar boron out of leaves and accumulation in flower buds and flower parts of 'Italian' prune. *HortScience* 20: 747-748.
- Hartmann, H.T. y J.G. Brown. 1953. The effect of certain mineral deficiencies on the growth, leaf appearance, and mineral content of young olive trees. *Hilgardia* 22: 119-130.
- Hunter, W.J., C.J. Fahrung, S.R. Olsen y L.K. Porter. 1982. Location of nitrate reduction in different soybean cultivars. *Crop Science* 22: 944-948.
- Klepper, L. y R.H. Hageman. 1969. The occurrence of nitrate reductase in apple leaves. *Plant Physiol.* 44: 110-114.
- Leece, D.R., D.R. Dilley y A.L. Kenworthy. 1972. The occurrence of nitrate reductase in leaves of *Prunus* species. *Plant Physiol.* 49: 725-728.
- Lindsay, W.L. 1972. Zinc in soils and plant nutrition. *Adv. Agron.* 24: 147-186.
- McCluing, A.C. y W.L. Lott. 1956. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 67: 113-120.
- Reilly, C.C. y J.W. Edwards. 1986. Isolation, distribution, and characterization of peach seedling nitrate reductase. *J. Plant Nutrition* 9: 1323-1334.
- Reinbott, T.M. y D.G. Blevins. 1994. Soils. Phosphorus and temperature effects on Magnesium, Calcium, and Potassium in wheat and tall fescue leaves. *Agron. J.* 86: 523-529.
- Reed, H.S. 1947. A physiological study of boron deficiency in plants. *Hilgardia* 17(11): 377-409.
- Rogers, B.L., L.P. Batjer y A.H. Thompson. 1953. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 61: 1-5.
- Ryugo, K. 1993. *Fruticultura. Ciencia y Arte*. AGT. pp. 109-113.
- Shear, C.B. y M. Faust. 1980. Nutritional ranges in deciduous tree fruits and nuts. *Hort. reviews* 2: 142-163.
- Smith, P.F. 1962. Mineral analysis of plant tissues. *Ann. Review of Plant Physiol.* 13: 81-109.
- Thompson, A.H. y L.P. Batjer. 1950. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 56: 227-229.
- Trocme, S. y R. Gras. 1972. *Suelo y fertilización en fruticultura*. Mundi-Prensa. Madrid. pp 257-264.
- Uriu, K. 1981a. Soil and plant analysis and symptomology for diagnosis of mineral deficiencies and toxicities. pp. 89-97. *In: D.E. Ramos (ed.). Prune orchard management*. Special Publication 3269. Division of Agr. Sci. Univ. Calif. Berkeley.
- Uriu, K. 1981b. Soil and plant analysis and symptomology for diagnosis of mineral deficiencies and toxicities. pp. 89-96. *In: W. Mücke and D. Kester (eds.). Almond orchard Management*. Priced Publication 4092. Division of Agr. Sci. Univ. Calif. Berkeley.
- Valenzuela, S.C. 1988. Evaluación del estado nutrimental del ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.) "Ciruelo de mayo" en el área del plan Puebla, mediante el método DRIS. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Williams, R.R. 1965. The effect of summer nitrogen applications on the quality of apple blossom. *J. Hort. Sci.* 40: 31-41.
- Woodbridge, C.G., A. Venegas y P.C. Crandall. 1971. The boron content of developing pear, apple and cherry flower buds. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96(5): 613-615.
- Wu, W., J. Peters y G.A. Berkowitz. 1991. Surface charge-mediated effects of Mg^{2+} on K^+ flux across the chloroplast envelope are associated with regulation of stromal pH and photosynthesis. *Plant Physiol.* 97: 580-587.

DESARROLLO DE LA ALMENDRA Y GERMINACION DEL FRUTO DEL NOGAL PECANERO BAJO CUATRO CALENDARIOS DE RIEGO

Kernel Growth and Nut Germination under Four Irrigation Schedules in Pecans

Claudio Godoy Avila¹ e Isaías López Montoya¹

RESUMEN

En el nogal pecanero, el agua es el principal factor de manejo que permite alcanzar una alta eficiencia fotosintética de las hojas y, en consecuencia, una mayor calidad de nuez. Si durante el llenado de la almendra la disponibilidad del agua no es adecuada, se provocan germinación y falta de llenado de la nuez. Con relación a lo anterior, durante 1999, se realizó un estudio cuyo objetivo principal fue estudiar diferentes calendarios de riego durante el crecimiento de la almendra para conocer su efecto en la calidad de la nuez. Se estudiaron cuatro tratamientos que consistieron en aplicar uno, dos, tres y cuatro riegos, a intervalos de 14 días entre ellos. Se utilizó una plantación comercial de nogal pecanero cultivar 'Western' de 16 años de edad. Cada cuatro días se tomaron muestras de 30 nueces, se les separó en cáscara y almendra para obtener su peso seco en una estufa de aire forzado. En esta misma muestra se efectuaron observaciones para definir el inicio del estado acuoso, endurecimiento de la cáscara, porcentaje de rueznos abiertos y nueces germinadas. Se encontró, que la alta disponibilidad de agua en el suelo, que se proporciona con la aplicación de cuatro o tres riegos durante este período, permitió obtener una almendra con peso y calidad excelente y, al mismo tiempo, promovió una apertura normal del ruezno, disminuyéndose significativamente la germinación de la nuez.

Palabras clave: Ruezno, peso seco, estado acuoso, endurecimiento de cáscara.

SUMMARY

In pecans, water is the main factor that allows leaves to reach high photosynthetic efficiency and,

¹ CIFAP-Comarca Lagunera, INIFAP, Apartado Postal 247, 27000 Torreón, Coah. Tel. (176) 20202 al 20205. Ferti@halcon.laguna.ual.mx

Recibido: Junio de 2000.
Aceptado: Septiembre de 2000.

consequently, a better nut quality. If sufficient water is not available during nut filling, the nuts germinate and do not fill. During 1999 a study was conducted to study different irrigation scheduling schemes during kernel growth and their effect on nut quality. Four treatments were studied: applications of one, two, three, and four irrigations at intervals of 14 days. A commercial plantation with 16-year-old pecan trees cv 'Western' was used. Every four days 30 nuts were sampled and the kernel was separated from the shell and dried in a forced air stove to obtain its dry weight. The same samples were used for observations to define the beginning of watery stage, shell hardening, percentage of open schuck and germinated nuts. It was found that high availability of water in the soil, three or four irrigation applications during nut filling, resulted in kernels with excellent weight and quality and, at the same time, promoted normal schuck opening, which significantly diminished nut germination.

Index words: Schuck, dry weight, watery stage, shell hardening.

INTRODUCCION

En México, las zonas productoras de nuez se localizan en los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango y Sonora. La superficie establecida con este cultivo es de aproximadamente 60 mil hectáreas, de las cuales 97% es regada con agua del subsuelo por el método superficial. Para las condiciones de clima de estas zonas productoras de nuez, un rendimiento promedio de 2 a 2.2 toneladas por hectárea es más cercano al límite superior que el árbol puede producir con una almendra aceptable; por arriba de ese valor, el porcentaje de almendra y el tamaño de la nuez invariablemente disminuyen, incrementando significativamente la presencia de nuez germinada y ruezno pegado (Sparks *et al.*, 1995; Sparks, 1996; Godoy *et al.*, 1999).

En una evaluación realizada en huertas de nogal en la Comarca Lagunera, se detectó que en 100% de éstas existen problemas por falta de llenado del fruto

y, al mismo tiempo, en 68% se presentó germinación de la nuez hasta en 15%. Estos problemas se asociaron con la presencia de deficiencias de agua durante el llenado de la almendra, que ocurre durante agosto y parte de septiembre (Medina, 1998).

Para producir nueces de calidad, a través de los años, es importante tener una relación adecuada hojas:fruto (6 hojas fruto⁻¹) y sostener una alta eficiencia fotosintética de estas hojas, para abastecer de carbohidratos a los frutos que se desarrollan durante el año, y almacenar una cantidad adecuada de éstos, que sostendrán la producción del siguiente año (Worthington *et al.*, 1992; Sparks, 1996; Worley y Mullinix, 1996; Godoy *et al.*, 1999). El agua es el principal factor de manejo, que permite alcanzar una alta eficiencia fotosintética de las hojas y, en consecuencia, una alta calidad y producción de nuez. La disponibilidad del agua para el nogal está en función de la cantidad y oportunidad con la que se suministra al suelo. La producción de nuez es excelente cuando predominan condiciones óptimas de humedad aprovechable en el suelo durante el desarrollo de la almendra (Stein *et al.*, 1989; Herrera, 1990; Godoy y Huitrón, 1998).

Así mismo, es importante que exista un nivel adecuado de humedad en el suelo después de la maduración del fruto, para que el pericarpio (ruezn) abra correctamente, ya que puede existir suficiente humedad para el desarrollo de la almendra, pero si no existe después de que el período crítico del desarrollo de la almendra ha finalizado, se estimula la germinación prematura de la nuez (Smith *et al.*, 1993; Sparks *et al.*, 1995; Godoy, 1996). Durante 1999, se realizó un estudio cuyo objetivo principal fue estudiar diferentes calendarios de riego y su efecto en el desarrollo de la almendra y en la germinación de la nuez del nogal pecanero.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se efectuó, durante 1999, en las instalaciones del Campo Experimental la Laguna, ubicado en Matamoros, Coahuila, México. Se utilizó una plantación comercial de nogal pecanero, cultivar 'Western'. El sistema de plantación es marco real con distancia entre árboles de 12 x 12 m. Los árboles eran de tamaño uniforme y tenían 16 años de edad. La huerta se irrigó mediante el método superficial con agua proveniente del subsuelo, la cual tiene valores de conductividad eléctrica (CE) de 1.2 dS m⁻¹ y pH de 7.5.

Desde el inicio de la brotación hasta antes del inicio en el llenado de la almendra (tercera semana de marzo a primera semana de agosto), todo el lote experimental se manejó con un criterio de riego uniforme que consistió en aplicar los riegos a una profundidad de 0 a 100 cm, cuando el contenido de agua en el suelo alcanzaba 50% de la humedad disponible. Durante este periodo, se aplicaron cuatro riegos en las fechas de marzo 22, mayo 5, junio 5 y julio 11.

Del inicio del llenado de la almendra, al inicio en la apertura del ruezno (primera semana de agosto a mediados de septiembre), se aplicaron uno, dos, tres y cuatro riegos, a intervalos de cada 14 días entre ellos. En el Cuadro 1 se muestran las fechas de aplicación de los riegos al lote experimental.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones y se consideró cada árbol como una unidad experimental. Estos cinco árboles se seleccionaron con base en el diámetro del tronco y con características semejantes de vigor. Durante el ciclo del cultivo se registraron algunos datos fenológicos como: brotación; inicio en la receptividad del estigma, que es cuando aparece un líquido viscoso que cubre la superficie de éste y retiene los granos de polen liberados por la flor masculina; estado acuoso, que ocurre cuando el endospermo es líquido; endurecimiento de la cáscara; engrosamiento de los cotiledones (llenado de la almendra) y apertura del ruezno.

Un poco antes del inicio en el llenado de la almendra, se etiquetaron 25 brotes fructíferos por punto cardinal, en total 100 brotes por árbol, con longitud (10±3 cm) y número de hojas similar y con tres frutos por racimo. Para conocer la dinámica de acumulación de peso seco de la nuez, cada 72 h se tomaron, en estos brotes, muestras de 30 frutos por tratamiento, a las cuales se les separó el pericarpio (ruezn) y a la nuez, la cáscara y almendra, para luego colocarlas en una estufa de aire forzado a una

Cuadro 1. Fechas de aplicación de los riegos en nogal pecanero durante el llenado de la almendra para cada tratamiento.

Tratamiento	Fecha de aplicación del riego			
T ₁	12 Ago.			
T ₂	12 Ago.	26 Ago.		
T ₃	12 Ago.	26 Ago.	9 Sept.	
T ₄	12 Ago.	26 Ago.	9 Sept.	23 Sept.

temperatura de 65 °C por 72 h, posteriormente, se pesaron para obtener el peso seco. En esta misma muestra se determinó la dinámica de apertura del ruezno, para lo cual se contó el número de éstas con ruezno abierto. Los valores anteriores se relacionaron con el número total de nueces, para así determinar el porcentaje de rueznos abiertos.

Los datos de peso seco de la almendra se ajustaron a un modelo logístico, cuya ecuación es la siguiente (Rodríguez, 1989):

$$Y = \frac{K * \beta}{\beta + e^{-(bX)}}$$

Donde:

Y = Peso seco de la almendra (g)

K = Valor máximo de peso seco de la almendra (g)

e = Base del logaritmo natural (2.7183)

b = Pendiente o constante específica de peso seco

β = Constante

Donde:

$\beta = e^a$

Donde:

a = Intersección en el eje Y

Para establecer las diferencias en las tasas de acumulación de peso seco entre tratamientos, se realizó una prueba de homogeneidad de varianzas.

Al momento de realizar la cosecha, en cada uno de los tratamientos se tomaron cinco muestras de un kilogramo de nueces, para estimar el porcentaje de almendra y de frutos germinados.

RESULTADOS Y DISCUSION

Peso Seco del Ruezno

La acumulación del peso seco del ruezno se ajustó a una curva doble sigmoide (Dozier y Amling, 1974; Matthews *et al.*, 1987; Coombe, 1992; Godoy *et al.*, 1999), donde las Fases I y III están separadas por una Fase II, conocida como retraso del desarrollo del ruezno (Figura 1). Durante la Fase I, que abarca 79 días, la velocidad de acumulación de peso seco fue lenta. En la Fase II, que abarca un período de 14 días, la velocidad de acumulación se disminuyó significativamente. En la Fase III, que tiene una duración de 56 días, y está comprendida desde el inicio en el endurecimiento de la cáscara hasta la finalización del llenado de la almendra, la velocidad

de acumulación de peso seco es muy rápida. El inicio de esta Fase III coincide con el inicio en el llenado de la almendra que fue precisamente cuando los tratamientos de riego se aplicaron.

Se encontró, que la tasa de acumulación de peso seco del ruezno se afectó por los tratamientos de riego, ya que el 4, 3 y 2 fueron estadísticamente iguales entre sí y superiores a T₁. La tasa de acumulación para el T₄, T₃ y T₂ fue de 0.08, 0.07 y 0.08 g día⁻¹ de materia seca, valores que superaron en aproximadamente 60% al encontrado para T₁ que fue de 0.042 g día⁻¹. Los valores finales del peso seco del ruezno para los Tratamientos 4, 3 y 2 fueron de 4.0, 3.7 y 3.8 g, respectivamente, mientras que en T₁ fue de 3.49 g (Figura 1).

Peso Seco de la Almendra

Independientemente del tratamiento de riego, el llenado de la almendra requirió 56 días. Se inició en agosto 1°, que correspondió a 93 días después de la receptividad del estigma (DDRE) y finalizó en septiembre 26, que correspondió a 149 DDRE (Figura 2).

La tasa de acumulación de materia seca en la almendra presentó dos períodos bien definidos, cada uno de 28 días: durante el primero, que comprendió desde el inicio en el endurecimiento de la cáscara hasta 121 DDRE, la tasa de acumulación fue lenta, ya que sólo se alcanzó a acumular 26% del peso seco total de la almendra.

En el segundo período, que fue desde 122 DDRE hasta la fecha en que se alcanzó el valor máximo de almendra (149 DDRE), la tasa de acumulación fue rápida, ya que en este segundo período se acumuló 74% del peso final. Durante el primer y segundo período, los Tratamientos 4, 3 y 2 alcanzaron valores similares de peso seco de la almendra, siendo éstos de 1.23 y 3.4 g en el primer y segundo período, respectivamente; sin embargo, estos tratamientos fueron superiores al Tratamiento 1, el cual alcanzó valores de 1.01 y 2.6 g, en los dos períodos ya mencionados.

Se detectaron diferencias en la tasa de acumulación del peso seco de la almendra, provocadas por los tratamientos de riego aplicados. Los Tratamientos 3 y 4 fueron estadísticamente iguales entre sí y superiores a los Tratamientos 1 y 2; T₂, a su vez, fue diferente y superior al Tratamiento 1. La tasa de acumulación para el T₁, T₂, T₃ y T₄ fue de 0.067, 0.113, 0.155 y 0.164 g día⁻¹ de materia seca,

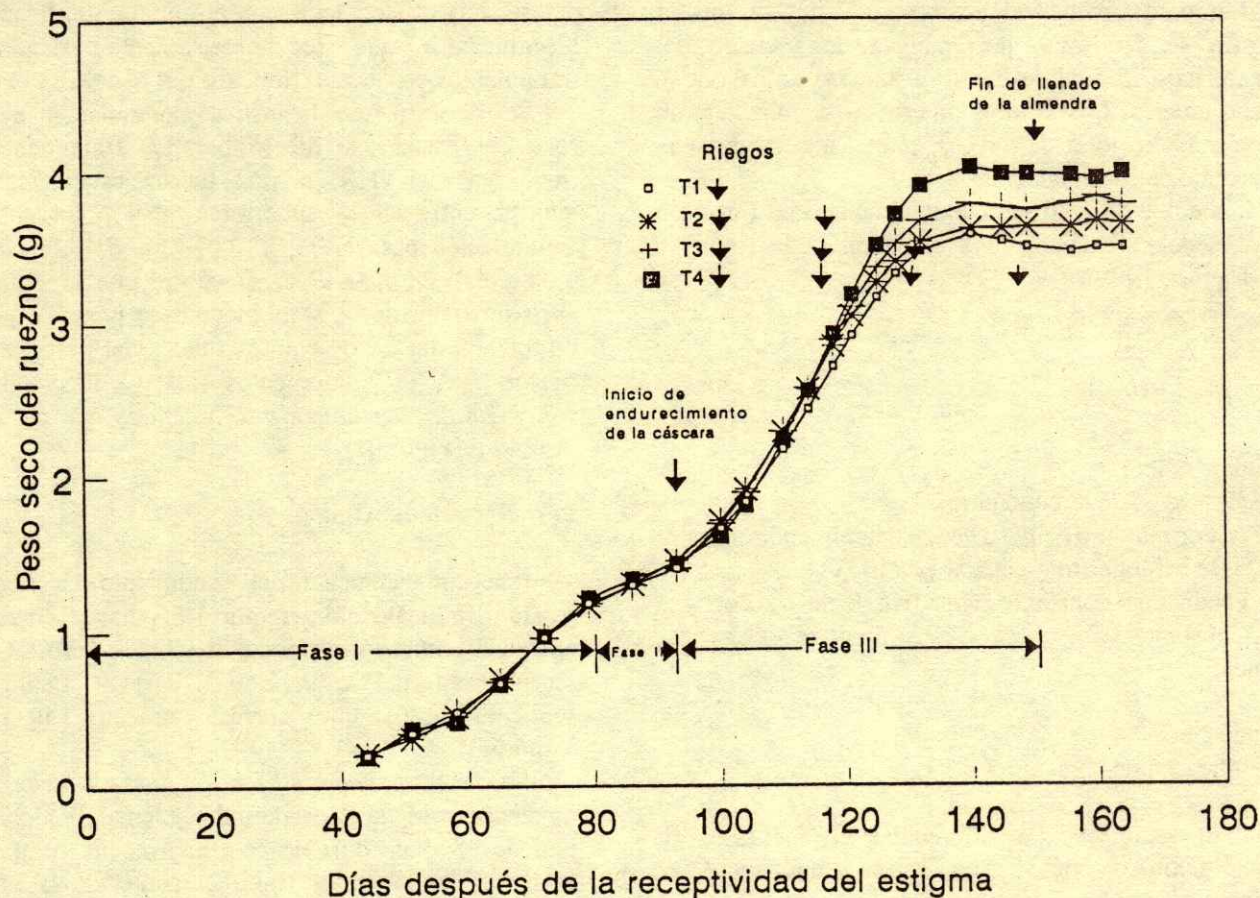


Figura 1. Dinámica de acumulación de peso seco del ruezno de nuez pecanera cv. 'Western' bajo cuatro tratamientos de riego.

respectivamente. Lo anterior indica que T₄ y T₃ superaron 30 y 57% a la tasa de acumulación del T₂ y T₁, respectivamente. Al mismo tiempo, la tasa de acumulación de T₂ superó 40% a T₁. En los Tratamientos 4 y 3, el valor final de peso seco de la almendra fue de 4.8 g, mientras que en T₂ y T₁ fue de 4.6 y 3.7 g, respectivamente.

Los resultados anteriores confirman lo encontrado por Miyamoto (1983), Sparks (1995) y Godoy y López (1997), en el sentido de que el crecimiento de la almendra es la fase fenológica de mayor demanda de agua, ya que en esta etapa se consume 50% del total anual. Así mismo, Worthington *et al.* (1992) y Godoy y Huitrón (1998) mencionan que durante esta etapa los fotoasimilados, elaborados por las hojas, son movilizados en solución con el agua a los frutos y otras partes de la planta para su almacenamiento, por lo que esta etapa no sólo necesita un buen suministro

de nutrientes sino también de agua para tener condiciones favorables para su transporte, así como para la fotosíntesis. Por otro lado, Stein *et al.* (1989) confirman que durante el desarrollo de la almendra, el nogal requiere de suficiente agua disponible en el suelo para evitar problemas de llenado de la almendra y minimizar problemas de germinación de la nuez y de ruezno pegado.

Apertura del Ruezno

Esta fase abarcó un periodo de 19 días y la primera observación de la apertura del ruezno fue el 17 de septiembre y finalizó el 6 de octubre. En la primera fecha de evaluación los Tratamientos 4 y 3 alcanzaron 60% de rueznos abiertos, mientras que en T₂ y T₁ los porcentajes fueron de 40 y 0%, respectivamente (Figura 3). Nueve días después de

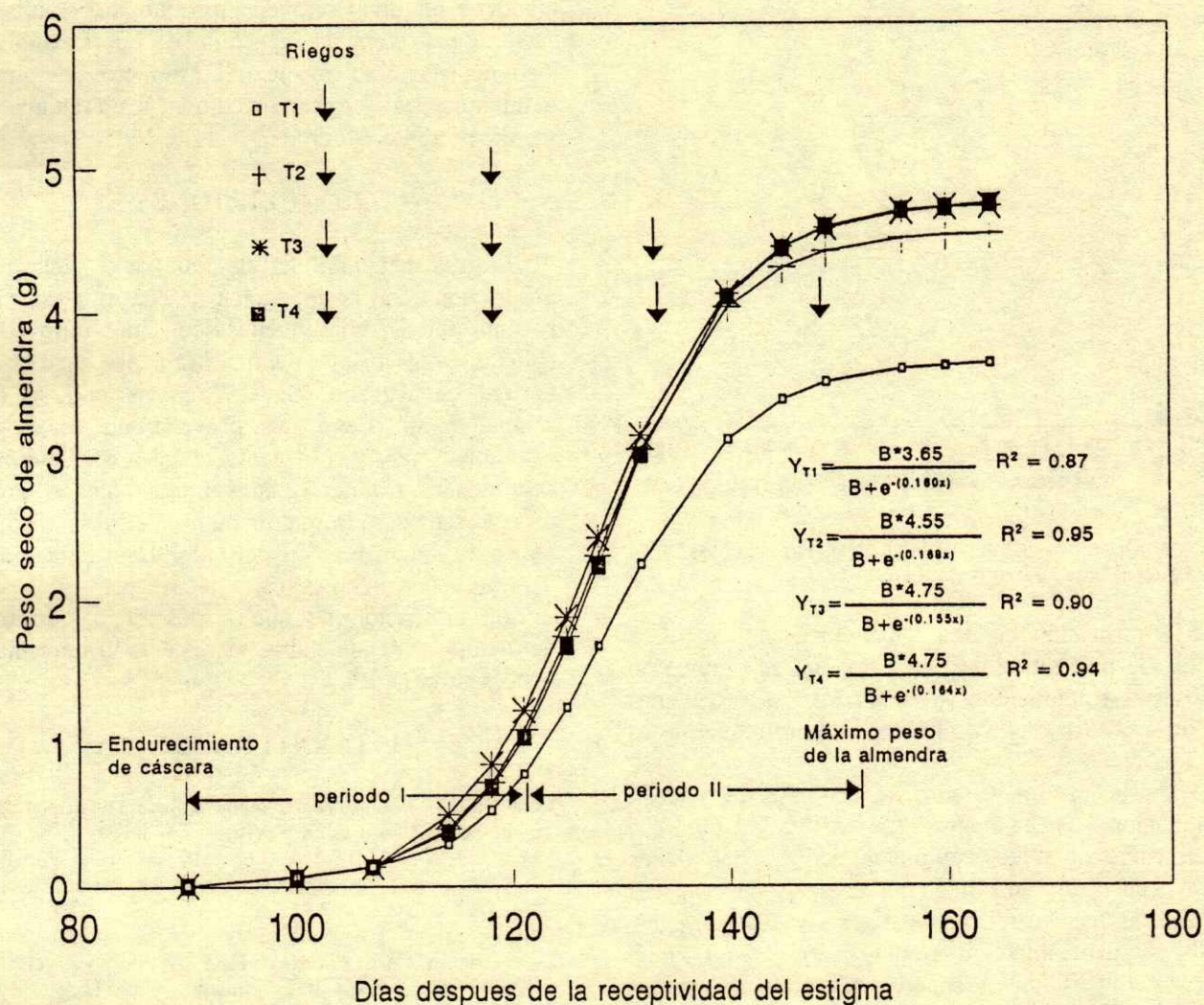


Figura 2. Dinámica de acumulación de peso seco de la almendra de nuez pecanera cv. 'Western' con cuatro tratamientos de riego.

esta evaluación, los tratamientos con un mayor número de riegos alcanzaron 100% de apertura. T₂ y T₁ requirieron de 16 y 19 días más para alcanzar el valor de 100%. En relación con lo anterior, Sparks (1989), Herrera (1990), Sparks y Yates (1995), Sparks *et al.* (1995) y Godoy (1996) han encontrado evidencias que coinciden con los resultados obtenidos en el presente estudio, en el sentido de que una vez que el fruto ha alcanzado su madurez fisiológica, el factor principal que controla la apertura del ruego es la disponibilidad de agua en el suelo. También, estos autores sugieren mantener un nivel de 50% de la humedad aprovechable del suelo para acelerar la apertura y disminuir notablemente el número de nueces germinadas.

Germinación y Calidad de la Nuez

En el Cuadro 2, se muestran el peso y porcentaje de almendra y de nueces germinadas bajo los cuatro tratamientos de riego.

Con relación al peso y porcentaje de almendra, se encontró que los Tratamientos 4, 3 y 2 fueron estadísticamente iguales y superiores a T₁, es decir, a medida que se incrementa el número de riegos durante este período se aumenta la calidad de ésta. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Herrera (1990), Worthington *et al.* (1992), Sparks (1995) y Godoy *et al.* (1999), quienes señalan que durante el engrosamiento de los cotiledones (llenado de la almendra) se debe de aplicar cuando menos tres riegos

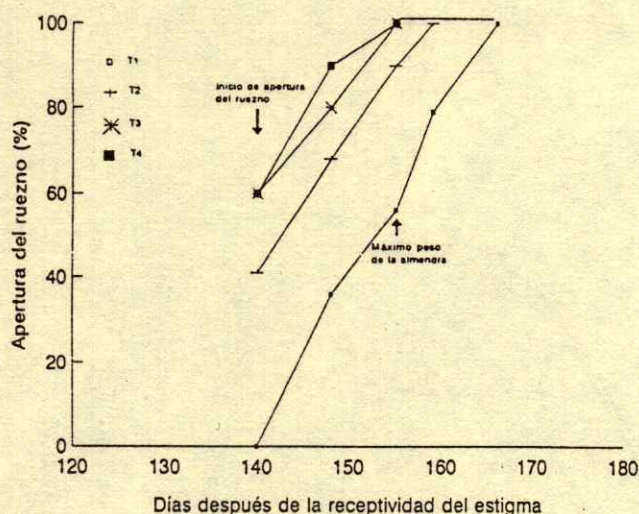


Figura 3. Dinámica de apertura del ruezno en nogal pecanero cv. 'Western' bajo cuatro tratamientos de riego.

para la formación de una almendra bien llena. Los valores de porcentaje de almendra que se obtuvieron en los tres tratamientos ya señalados, son excelentes ya que a nivel comercial el valor mínimo requerido es de 53 a 55%.

En este mismo Cuadro 2, se muestra que la germinación de la nuez fue afectada por los tratamientos de riego estudiados. Uno y dos riegos promueven un mayor porcentaje de nueces germinadas que la aplicación de tres y cuatro riegos. T₁ fue estadísticamente diferente y superior a T₂, que, a su vez, fue diferente y superior a T₃ y T₄, los cuales, a su vez, fueron iguales entre sí. Estos resultados demuestran que una vez que el fruto ha alcanzado su madurez fisiológica, el factor, que controla la apertura del pericarpio, es la disponibilidad del agua en el suelo. Se han encontrado evidencias (Sparks, 1993; Sparks *et al.*, 1995; Godoy, 1999), que cuando se

Cuadro 2. Distribución de peso seco en el fruto, porcentaje de almendra y nueces germinadas en el nogal pecanero bajo cuatro tratamientos de riego.

Tratamiento	Peso seco almendra g	Almendra %	Nueces germinadas
T ₁	3.7 b ¹	51 b	19 a
T ₂	4.6 a	56 a	12 b
T ₃	4.8 a	58 a	4 c
T ₄	4.8 a	58 a	4 c

¹ Valores con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales (P>0.05).

mantiene un nivel alto de humedad disponible en el suelo, se acelera la apertura del pericarpio y se disminuye notablemente el número de nueces germinadas, tal y como sucedió en los Tratamientos 4 y 3 del presente estudio.

CONCLUSIONES

La alta disponibilidad de agua en el suelo, que se proporciona con la aplicación de cuatro o tres riegos, permite obtener una almendra con buen peso y buena calidad, y al mismo tiempo promueve una apertura normal del ruezno. Si en este periodo se aplica solamente un riego, se provoca un estrés y se disminuye significativamente el peso y el porcentaje de almendra. Cuando se aplican dos riegos, se provoca un estrés moderado que disminuye el peso seco de la almendra solamente 5% del valor final obtenido para los tratamientos con cuatro y tres riegos.

La aplicación de uno o dos riegos, durante el desarrollo de la almendra, incrementa el porcentaje de nueces germinadas.

LITERATURA CITADA

- Coombe, B.G. 1992. Research on development and ripening of the grape berry. *Am. J. Enol. Vitic.* 43: 101-110.
- Dozier, N.A. y H.J. Amling. 1974. Fruit growth and embryological development of the Stuart Pecan. *Auburn Agr. Exp. Sta. Bull.* 27: 7-9.
- Godoy A., C. 1996. Crecimiento y desarrollo del fruto del pecanero (*Carya illinoensis* K.) cv. Western y su relación con unidades calor, evapotranspiración y días. *ITEA* 92: 49-57.
- Godoy A., C. 1999. Problemas asociados con la disponibilidad del agua. pp. 43-48. *In: Tecnología de riego en nogal pecanero. Libro Científico No. 1. Primera Edición. SAGAR. INIFAP. CIFAP-Comarca Lagunera.*
- Godoy A., C. y M.V. Huitrón R. 1998. Relaciones hídricas de hojas y frutos de nogal pecanero durante el crecimiento y desarrollo de la nuez. *Agrociencia* 32: 331-337.
- Godoy A., C. y J.C. López Ch. 1997. Patrón de extracción y requerimientos de agua en diferentes etapas fenológicas en el nogal. *Terra* 15: 1-6.
- Godoy A., C., I. Reyes J y M.V. Huitrón R. 1999. Respuesta del nogal a la disponibilidad del agua. pp. 35-42. *In: Tecnología de riego en nogal pecanero. Libro Científico No. 1. Primera Edición. SAGAR. INIFAP. CIFAP-Comarca Lagunera.*
- Herrera, E. 1990. Fruit growth and development of Ideal and Western pecans. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115: 915-923.
- Matthews, M.A., M.M. Anderson y H.R. Schultz. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficit in Cabernet Franc. *Vitis* 25: 147-160.
- Medina M., Ma. del C. 1998. Marco de referencia regional del cultivo del nogal en la Comarca Lagunera. Informe de Investigación del Nogal. CIFAP-Comarca Lagunera. INIFAP.
- Miyamoto, S. 1983. Consumptive water use of irrigated pecans. *J. Am. Hort. Sci.* 108: 676-681.

- Rodríguez A., J. 1989. Modelos matemáticos aplicados a la agricultura. Libro Técnico. Confederación de Asociaciones Agrícolas del Estado de Sinaloa. Culiacán, Sin., México.
- Smith, M.W., W. Reid, B. Carroll y B. Cheary. 1993. Mechanical fruit thinning influences fruit quality, yield, return fruit set, and cold injury of pecan. *HortScience* 28: 1081-1086.
- Sparks, D. 1989. Physiology – site, growth, flowering, fruiting and nutrition. pp. 211-239. *In*: R.A. Jaynes (ed.). Nut tree culture in North America. The Northern Nut Growers Association, Inc. Hamden, Connecticut.
- Sparks, D. 1993. Growing pecans at low elevation in a hot climate. *Annu. Rep. Northern Nut Growers Assn.* 85: 103-112.
- Sparks, D. 1995. Water, water, water, especially in September. *Pecan South* 28: 4-5.
- 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 schuck abscission in "desirable" pecan. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 120: 790-797.
- Sparks, O., W. Reid, I.E. Yates, M.W. Smith y T.G. Stevenson. 1995. Fruiting stress induces schuck decline and premature germination in pecan. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 120: 43-53.
- Stein, L.A., G.R. McEachern y J.B. Storey. 1989. Summer and fall moisture stress and irrigation scheduling influence pecan growth and production. *HortScience* 24: 607-611.
- Worley, R.E. y B.G. Mullinix. 1996. Fertigation and leaf analysis reduce nitrogen requirements of pecans. *Hort. Technology* 6: 401-405.
- Worthington, J.W., J. Lasswell, L.A. Stein y M.J. McFariand. 1992. Now that you've decided to irrigate ... How?... How Much?... When?... *Pecan South* 22: 6-14.

CRECIMIENTO Y DISTRIBUCION DE BIOMASA EN GIRASOL EN FUNCION DEL NITROGENO Y DENSIDAD DE POBLACION EN CLIMA CALIDO

Effect of Nitrogen Application and Population Density on Sunflower Growth and Biomass Distribution in Hot Climates

Víctor Manuel Olalde Gutiérrez¹, José Alberto Escalante Estrada¹, Prometeo Sánchez García², Leonardo Tijerina Chávez³, Angel Agustín Mastache Lagunas⁴ y Evaristo Carreño Román⁴

RESUMEN

En condiciones de clima cálido subhúmedo (A_{w0}) se estableció un experimento en Cocula, Guerrero, durante el temporal de 1998, con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación, antes de la siembra, de tres niveles de nitrógeno (0, 10 y 20 g m⁻²) y tres densidades de población (5, 7.5 y 10 pl m⁻²), sobre el número de hojas verdes por m², índice de área foliar y distribución de materia seca en los órganos de la planta de girasol (*Helianthus annuus* L.). El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo en parcelas divididas y cuatro repeticiones. En general se observaron incrementos en el número de hojas e índice del área foliar con la aplicación de nitrógeno y el aumento en densidad de población. La distribución de materia seca en los órganos de la planta durante el ciclo del cultivo y a la cosecha también se afectó positivamente con estos tratamientos. Durante el desarrollo del cultivo, la mayor acumulación de biomasa ocurrió en el tallo, seguido del capítulo, semilla y hoja. A la cosecha, la mayor proporción de materia seca se asignó en forma decreciente en tallo, semilla, receptáculo y hoja. Por otra parte, el nitrógeno incrementó la materia seca de las semillas en el capítulo, pero ésta se redujo al aumentar la densidad de población. Bajo estas condiciones ambientales, con la combinación de 10 g de N m⁻² (100 kg de N ha⁻¹) y 10 pl m⁻² (100 mil plantas por hectárea), se produjo el mayor ingreso neto.

Palabras clave: Fenología, área foliar, rendimiento, rentabilidad del cultivo, *Helianthus annuus* L.

¹ Especialidad de Botánica, ² Especialidad de Edafología, ³ Especialidad de Hidrociencias, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Estado de México. ⁴ Centro de Estudios Profesionales, CSAEGRO, Cocula, Gro.

Recibido: Enero de 2000.
Aceptado: Diciembre de 2000.

SUMMARY

An experiment was set up under subhumid climate conditions in Cocula, Guerrero State, during the rainy season of 1998, with the purpose of assessing the effect of application before sowing of three nitrogen levels (0, 10, and 20 g m⁻²) and three plant densities (5, 7.5 and 10 pl m⁻²) on the number of green leaves per m² (NGL), leaf area index (LAI), and distribution of dry weight in the organs of sunflower (*Helianthus annuus* L.). The experiment consisted of blocks placed in random arrangements in split plot design with four replicates. In general, increases were observed in NGL and LAI with the application of nitrogen and with the increase in plant density. The dry matter distribution in the plant's organs during the cultivation cycle and at harvest was also positively affected with these treatments. During growth, the major biomass accumulation occurred in the stem, followed by the head, seed, and leaf. At harvest the greatest proportion of biomass was allotted, in a decreasing scale, in the stem, seed, receptacle, and leaf. Moreover, nitrogen increased the dry weight of seed in the head, though this was decreased by the increase of plant density. With 10 g of N m⁻² (100 kg N ha⁻¹) and 10 plants m⁻² (100 thousand plants ha⁻¹) the highest net income was produced.

Index words: Phenology, leaf area, yield, *Helianthus annuus* L.

INTRODUCCION

El girasol (*Helianthus annuus* L.) se ubica entre los cultivos productores de aceite más importantes en el mundo, debido a su aceite de alta calidad, contenido de proteína alto, utilización de todas las partes de la planta y a moderados requerimientos de producción (Skoric, 1992). En México, el cultivo y la producción de esta oleaginosa se redujeron drásticamente en años

recientes, a tal grado que se importaron grandes volúmenes de semilla para su industrialización (INEGI, 1996), por lo que es necesario generar información sobre el manejo del cultivo y su comportamiento en diferentes condiciones ambientales que promuevan su siembra y producción. Glifford *et al.* (1984) señalan que dentro de las bases fotosintéticas para incrementar el rendimiento a la cosecha, se debe contemplar una mayor distribución de materia seca hacia la estructura del rendimiento agronómico (en este caso semilla). El conocimiento de los mecanismos que regulan la distribución de materia seca es limitado (Connor y Sadras, 1992). Algunos modelos de repartición de fotoasimilados en girasol se deducen de varios estudios (Hocking y Steer, 1983; Steer y Hocking, 1984; Trapani *et al.*, 1994; Villalobos *et al.*, 1994). Al respecto se indica que antes del inicio de floración, la biomasa del girasol se distribuye entre tallos, hojas y raíces y, posteriormente, en la inflorescencia y los órganos reproductivos. Varios estudios han señalado la influencia de la densidad de población y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de girasol (Sarmah *et al.*, 1994; Escalante, 1995), indicando que el nitrógeno conduce a una mayor acumulación de materia seca en la planta (Steer y Hocking, 1984; Gimenez *et al.*, 1994; Escalante, 1995) generando una mayor proporción de materia seca en la semilla y un incremento en el índice de cosecha (Vega, 1999). Varios investigadores, entre ellos Escalante (1992), han encontrado que la producción de biomasa en girasol se incrementa en respuesta al nitrógeno y que la dinámica de producción de dicha biomasa mostró una tendencia similar en los niveles de N evaluados (0 y 300 kg ha⁻¹), con incrementos a medida que avanza la estación de crecimiento hasta alcanzar su máximo entre los 70 y 80 días después de la emergencia. La mayor asignación de materia seca ocurre en el tallo, seguido del receptáculo, semilla y hojas (Vega, 1999), lo cual se relaciona con una mayor área foliar inducida por el nitrógeno, aunque el número de hojas no es afectado (Escalante, 1992). Por otra parte, al aumentar la densidad de población la acumulación de materia seca por m² es mayor en cada estructura de la planta (Escalante, 1995; Vega, 1999), incrementando la producción de biomasa, el índice de cosecha y el rendimiento de semilla (Vega, 1999). Connor y Sadras (1992) sugieren que la magnitud de la distribución de materia seca dependerá del genotipo y de los factores

ambientales. En girasol, los estudios sobre la distribución de materia seca en función del manejo del cultivo son limitados. El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia del nitrógeno y la densidad de población sobre el crecimiento, la distribución de biomasa y el índice de cosecha del girasol en condiciones de clima cálido.

MATERIALES Y METODOS

Se estableció un experimento de campo durante el temporal de 1998 en Cocola, Guerrero, localizado a 18°19' de latitud norte, 99°39' de longitud oeste y a una altitud de 640 m, con clima cálido subhúmedo (Aw₀). El suelo es de textura arcillosa, con alta capacidad de retención de humedad, bajo en materia orgánica y nitrógeno total, pH ligeramente alcalino, con efectos despreciables de salinidad y fósforo de medio a alto (Olalde *et al.*, 2000). La siembra del girasol cv. Victoria se realizó el primero de junio bajo tres densidades de población: 5, 7.5 y 10 plantas m⁻² (D₅, D_{7.5} y D₁₀, respectivamente) y con 0, 10 y 20 g de N m⁻² (N₀, N₁₀ y N₂₀, respectivamente), aplicados al momento de la siembra como sulfato de amonio, además de 10 g de P₂O₅ por m⁻² como superfosfato triple a todo el experimento. Los tratamientos se distribuyeron en el campo en un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental constó de cuatro surcos de 6 m de longitud. Durante el desarrollo del experimento se midió la precipitación y temperaturas máximas y mínimas diarias, así como los días a inicio de emergencia (Ve), inicio de antesis (R5.1) y madurez fisiológica (R9) (Schneiter y Miller, 1981). Para evaluar el crecimiento del girasol se hicieron muestreos destructivos de tres plantas dentro de la parcela útil, a los 18, 40, 54 y 77 días después de la siembra (DDS) y se midió el número de hojas verdes por m² (NHV), índice de área foliar (IAF) y la acumulación de materia seca de cada órgano de la planta (AMS), en g m⁻². El IAF se calculó a través de la siguiente relación:

$$\text{IAF} = (\text{AF}/\text{NP}) * \text{DP} / 10,000 \text{ cm}^2$$

Donde:

AF = área foliar (cm²)

NP = número de plantas muestreadas

DP = número de plantas por m²

Las tasas de crecimiento en el NHV se calcularon a partir de los modelos de regresión de mejor ajuste, maximizando a través de derivación y obteniendo sus incrementos y decrementos por unidad de tiempo. La materia seca se determinó después de someter las muestras a secado a 80 °C en una estufa de circulación de aire forzado hasta peso constante. A la cosecha se determinó la biomasa total (materia seca), que es la suma del peso seco de cada órgano de la planta sin considerar la raíz, además de calcular las proporciones (%) de materia seca de cada órgano con respecto a biomasa total y de la semilla y receptáculo con respecto al peso seco del capítulo. Las variables estudiadas se sometieron a un análisis de varianza y aquéllas que resultaron estadísticamente diferentes, se les aplicó la prueba de Tukey a 5% de probabilidad y prueba de tendencias. Adicionalmente, se aplicó un análisis económico discreto a la variable rendimiento de semilla para obtener la dosis óptima económica (mayor ingreso neto), utilizando la siguiente relación (Volke, 1982):

$$IN = YPy - (\sum XiPi + CF)$$

Donde:

IN = ingreso neto

Y = rendimiento (kg ha⁻¹)

Py = precio por kg de semilla (precio en el mercado descontando costos de cosecha, transporte y desgrane)

$\sum XiPi$ = suma de costos variables (incluye costos del mercado, 10% de interés, transporte y aplicación para el caso del nitrógeno, y para densidad involucra costo de semilla y siembra)

CF = costo fijo (incluye costos de preparación del terreno, deshierbe, control de plagas y enfermedades, y la aplicación de 100 kg de N ha⁻¹).

RESULTADOS Y DISCUSION

Clima

Durante la siembra del experimento se registraron las temperaturas máximas (T_{máx}) y mínimas (T_{mín}) más altas (40 y 22.5 °C), posteriormente las T_{máx} disminuyeron alcanzando 34 °C al inicio de antesis (R5.1) y 33.5 °C a la madurez fisiológica (R9), en tanto que la T_{mín} presentó poca fluctuación, con promedio de 21.5 °C durante el experimento. La lluvia estacional acumulada (PP) fue de 1156 mm, de la cual

63% ocurrió durante el desarrollo del cultivo (725 mm). En la época de floración y llenado de grano incidieron 529 mm que representa 73% de la ocurrida durante el ciclo del cultivo.

Fenología

La fenología del girasol fue similar entre los tratamientos aplicados. La emergencia (Ve) ocurrió a los cuatro días después de la siembra (DDS), el inicio de antesis (R5.1) a los 54 DDS y la madurez fisiológica (R9) a los 77 DDS. Respuestas similares encontró Vega (1999) en Montecillo, estado de México (clima semiárido), ya que la fenología del cv. Victoria no se afectó por los cambios en nitrógeno y densidad de población. Sin embargo, se observaron diferencias en las etapas fenológicas donde la emergencia del girasol ocurrió a los siete DDS, y el inicio y final de floración a los 77 y 93 DDS (R5.1 y R5.9). Este contraste en la fenología del cultivo se debe a las diferentes condiciones ambientales donde se desarrollaron los experimentos (36 vs 24.6 °C de T_{máx}, 21.5 vs 9.4 °C de T_{mín}, entre Cocula, Gro. y Montecillo, Méx., respectivamente).

Número de Hojas Verdes e Índice de Área Foliar

El NHV e IAF mostraron cambios significativos por efecto del nitrógeno y densidad de población (Cuadro 1). El NHV aumentó desde los 18 DDS hasta alcanzar su máximo a los 46, 52 y 54 DDS, con 182, 183 y 187 hojas m⁻² para N₂₀, N₁₀ y N₀, respectivamente; y con tasas de incremento de 15.33, 12.59 y 9.05 hojas m⁻² d⁻¹ (Figura 1A). Bennett *et al.* (1989) y Escalante (1992) no encontraron diferencias significativas en la producción de hojas por m² en

Cuadro 1. Número de hojas verdes por m² e índice de área foliar en función del nitrógeno y densidad de población durante el desarrollo del cultivo de girasol cv. Victoria. Cocula, Guerrero. Temporal 1998.

F.V.	Número de hojas verdes			Índice del área foliar	
DDS	18	40	54	40	54
Prob. F:					
N	NS	*	NS	**	NS
D	**	**	**	**	**
N*D	NS	NS	NS	NS	NS

* = P ≤ 0.05, ** = P ≤ 0.01, NS = Diferencias no significativas a P ≤ 0.05.

DDS = Días después de la siembra.

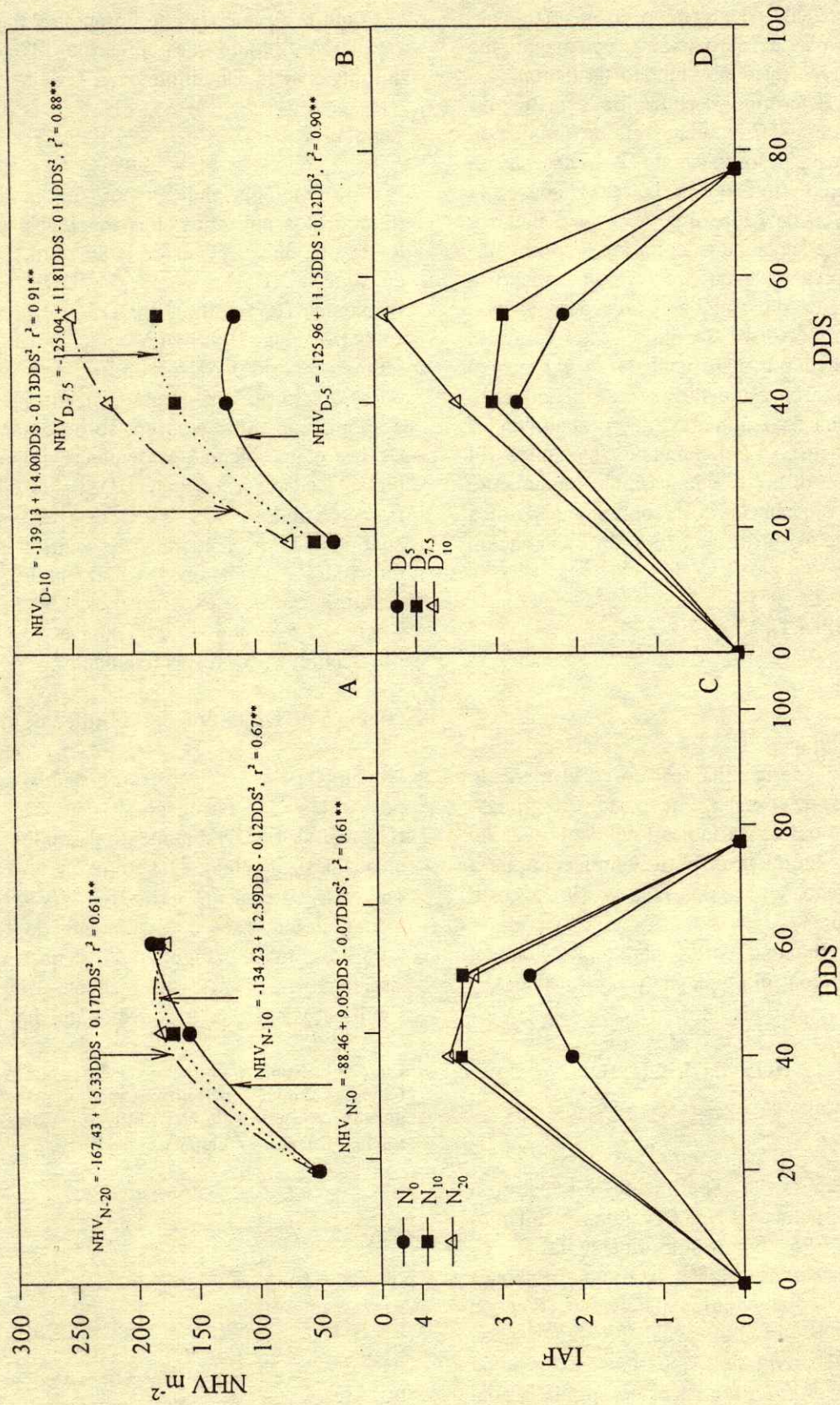


Figura 1. Número de hojas verdes por m² (A y B) e índice de área foliar (C y D) en función de la fertilización nitrogenada y densidad de población, durante el desarrollo del cultivo de girasol cv. Victoria. Coocula, Guerrero. Temporal 1998.

NHV = número de hojas verdes, IAF = índice de área foliar. N₀ = 0, N₁₀ = 10, N₂₀ = 20 g m⁻², D₅ = 5, D_{7.5} = 7.5 y D₁₀ = 10 pl m⁻². DDS = días después de la siembra.

girasol con niveles crecientes de N. En tanto que Steer y Hocking (1983) establecieron, que el nivel de producción de hojas se incrementó con aumentos en la aplicación de nitrógeno. Con N₂₀ en un periodo más corto se logró su máxima producción de hojas, ocasionando una prematura tasa de senescencia (0.17 hojas d⁻¹), seguida de N₁₀ (0.12 hojas d⁻¹). Esta prematura senescencia foliar puede estar relacionada con una mayor demanda de nitrógeno y otros nutrimentos por capítulos de mayor tamaño generados por aplicaciones altas de nitrógeno.

El efecto más marcado sobre el NHV fue provocado por cambios en la densidad de población (Figura 1B). El NHV se incrementó en las tres densidades a partir de los 18 DDS hasta alcanzar su máximo a los 45 DDS (125 hojas m⁻² para D₅) y a los 54 DDS (179 y 249 hojas m⁻² para D_{7.5} y D₁₀, respectivamente). Con la densidad más baja (D₅) ocurrió una máxima producción de hojas, en un periodo más corto, después disminuyó por efecto de senescencia. Las plantas a D₁₀ produjeron 40 y 50% más hojas por unidad de superficie (m²) que D_{7.5} y D₅ a los 54 DDS.

Los máximos IAF se obtuvieron a los 40 DDS con N₂₀ y N₁₀ con 3.63 y 3.48, respectivamente, y fueron 42 y 39% mayores que N₀ con 2.10 (Figura 1C). Al respecto, Fichtner y Schulze (1992) encontraron que con aumentos en la aplicación de nitrógeno se incrementó el área foliar por planta. Con N₁₀ y N₂₀ el IAF disminuyó en 0.52 y 0.02 de los 40 a 54 DDS, en tanto que con N₀ el IAF tendió a aumentar. Esto puede estar relacionado con la senescencia prematura de hojas ocurrida con niveles altos de N. Resultados similares encontró Escalante (1992), al observar que en los genotipos de girasol fertilizados con nitrógeno, 100 días después de la emergencia (DDE), el IAF mostró un drástico declive debido a la senescencia foliar.

Por otra parte, en las densidades de población D₅ y D_{7.5} el máximo IAF se encontró a los 40 DDS con 2.72 y 3.03, respectivamente. En D₁₀ esto ocurrió a los 54 DDS para la D₁₀ con 4.37 (Figura 1D). Después de los 40 DDS la senescencia de hojas ocurridas en plantas sembradas a D₅ y D_{7.5} redujeron el IAF a 0.58 y 0.14, respectivamente.

Distribución de Biomasa en los Organos de la Planta

La aplicación de nitrógeno (N₁₀ y N₂₀) ocasionó cambios significativos en la biomasa total por m² y se encontró a la madurez fisiológica (77 DDS) la producción más alta (1326 y 1322 g m⁻², respectivamente) que fue superior en 62% a N₀ (817 g m⁻²) (Cuadro 2). Tendencias similares en girasol reportaron Gimenez *et al.* (1994) y Escalante (1995) bajo condiciones de clima mediterráneo. En relación con la distribución de materia seca en esta etapa, en los tres niveles de N, el tallo acumuló la mayor cantidad en relación con hojas, receptáculo y semilla (Cuadros 3 y 4). La mayor producción de materia seca en este órgano ocurrió a los 77 DDS con N₁₀ (592 g m⁻²), la cual fue superior en 43 y 7% a N₀ y N₂₀ (340 y 551 g m⁻², respectivamente). Steer y Hocking (1984) encontraron que el tallo también mostró la mayor acumulación de materia seca en relación con el resto de los órganos de la planta durante las diferentes etapas fenológicas evaluadas.

Aunque en hojas la AMS en general no mostró cambios significativos por el nitrógeno (Cuadro 3), se observó que ésta mostró tendencia a aumentar en relación con el nivel de N. Tendencias similares fueron encontradas por Fichtner y Schulze (1992).

Cuadro 2. Biomasa total (BT) en función de la fertilización con nitrógeno y densidad de población durante el desarrollo del cultivo de girasol cv. Victoria, Cocula, Guerrero. Temporal 1998.

Factor	Biomasa total (g m ⁻²)			
	18	40	54	77
N-0	6.98 a	236.81 b	471.62 b	817.13 b
N-10	8.00 a	336.93 a	658.34 a	1326.44 a
N-20	8.15 a	331.09 a	656.16 a	1322.34 a
DSH _{0.05}	3.44	69.52	110.43	391.06
D-5	5.06 c	227.90 c	408.48 c	951.00 c
D-7.5	7.66 b	315.14 b	610.40 b	1141.85 b
D-10	10.41 a	361.78 a	767.23 a	1373.07 a
DSH _{0.05}	2.00	42.48	92.225	171.99

[†] Valores promedio para dosis de nitrógeno (promedio de densidades).

[‡] Valores promedio de densidades de población (promedio de nitrógeno).

DDS = Días después de la siembra. DSH = Diferencia significativa honesta, 0.05 = 5% de probabilidad.

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey 0.05).

Cuadro 3. Materia seca de hojas y tallos en función de la fertilización con nitrógeno y densidad de población durante el desarrollo del cultivo en girasol cv. Victoria, Cocula, Guerrero. Temporal 1998.

Factor	Materia seca de hojas (g m ⁻²)				Materia seca de tallos (g m ⁻²)			
	18	40	54	77	18	40	54	77
DDS								
[†] N-0	5.3 a	87.9 b	120.4 a	85.2 a	1.6 a	146.3 a	314.3 b	340.2 a
N-10	6.2 a	152.6 a	148.5 a	98.8 a	1.8 a	179.3 a	450.9 a	592.3 a
N-20	6.3 a	158.8 a	163.8 a	105.4 a	1.8 a	168.3 a	440.9 a	551.2 a
DSH _{0.05}	2.6	48.7	46.5	69.1	0.9	45.3	79.1	280.9
[‡] D-5	3.9 c	108.8 b	82.9 c	86.4 a	1.1 c	116.4 b	293.3 c	409.8 b
D-7.5	5.9 b	132.3 a	149.2 b	100.3 a	1.7 b	178.4 a	409.6 b	503.7 ab
D-10	7.9 a	158.2 a	200.6 a	102.8 a	2.5 a	199.1 a	503.2 a	570.1 a
DSH _{0.05}	1.6	26.8	33.2	25.0	0.5	31.5	64.2	105.0

[†] Valores promedio para dosis nitrógeno (promedio de densidad).

[‡] Valores promedio para densidades de población (promedio de nitrógeno).

DDS = Días después de la siembra, DSH = Diferencia significativa honesta, 0.05 = 5% de probabilidad.

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey 0.05).

La mayor acumulación de materia seca en hojas se encontró a los 54 DDS con 120, 148 y 163 g m⁻² para N₀, N₁₀ y N₂₀, respectivamente. Después de esta fecha la AMS en hojas disminuyó por causa de su senescencia, alcanzando valores a la cosecha de 85, 99 y 105 g m⁻², para los niveles de N, respectivamente.

El capítulo (receptáculo más semilla) fue uno de los órganos que mayor AMS presentó a los 77 DDS. En N₁₀ y N₂₀ (666 y 635 g m⁻²) la AMS en capítulo fue estadísticamente superior a N₀ (392 g m⁻²) (Cuadro 4). El mayor incremento de materia seca en el capítulo en los tres niveles de N ocurrió entre los 54 y 77 DDS. El incremento en la materia seca del capítulo y la disminución de la materia seca en hojas conforme

avanzó la estación de crecimiento puede estar relacionado entre otras cosas con una mayor demanda de nutrientes para la formación y llenado de semillas, provocando así la translocación de materia seca de hojas a capítulo y, en consecuencia, la senescencia foliar.

Respecto a la AMS en la semilla a la madurez fisiológica (77 DDS), los tratamientos con N presentaron los valores más altos con 427.8 (N₂₀) y 393.77 (N₁₀) g m⁻², que fueron superiores en 51 y 47%, respectivamente, a N₀ (208.67 g m⁻²). Asimismo, el índice de cosecha (IC) se incrementó con la fertilización nitrogenada (Cuadro 4). Estos resultados sugieren que con la fertilización nitrogenada

Cuadro 4. Materia seca de capítulos, receptáculos, semillas e índice de cosecha en función de la fertilización con nitrógeno y densidad de población durante el desarrollo del cultivo de girasol cv. Victoria, Cocula, Guerrero. Temporal 1998.

Factor	Materia seca de capítulos (g m ⁻²)			Materia seca de receptáculos (g m ⁻²)	Materia seca de semillas (g m ⁻²)	Índice de cosecha (IC)
	40	54	77	77	77	77
DDS						
[†] N-0	2.61 a	36.9 a	391.69 b	183.01 b	208.67 b	0.26 b
N-10	5.10 a	59.0 a	635.33 a	241.60 a	393.77 a	0.30 b
N-20	3.92 a	51.3 a	665.71 a	237.91 a	427.80 a	0.32 a
DSH _{0.05}	2.99	22.14	102.52	51.78	78.28	0.059
[‡] D-5	2.72 a	32.25 b	454.75 b	173.51 b	281.28 b	0.30 a
D-7.5	4.44 a	51.56 ab	537.81 b	197.84 b	339.97 b	0.30 a
D-10	4.47 a	63.43 a	700.17 a	291.17 a	409.00 a	0.30 a
DSH _{0.05}	2.35	23.15	92.69	48.18	63.88	0.029

[†] Valores promedio para dosis de nitrógeno.

[‡] Valores promedio para densidades de población.

DDS = Días después de la siembra, DSH = Diferencia significativa honesta, 0.05 = 5% de probabilidad.

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey 0.05).

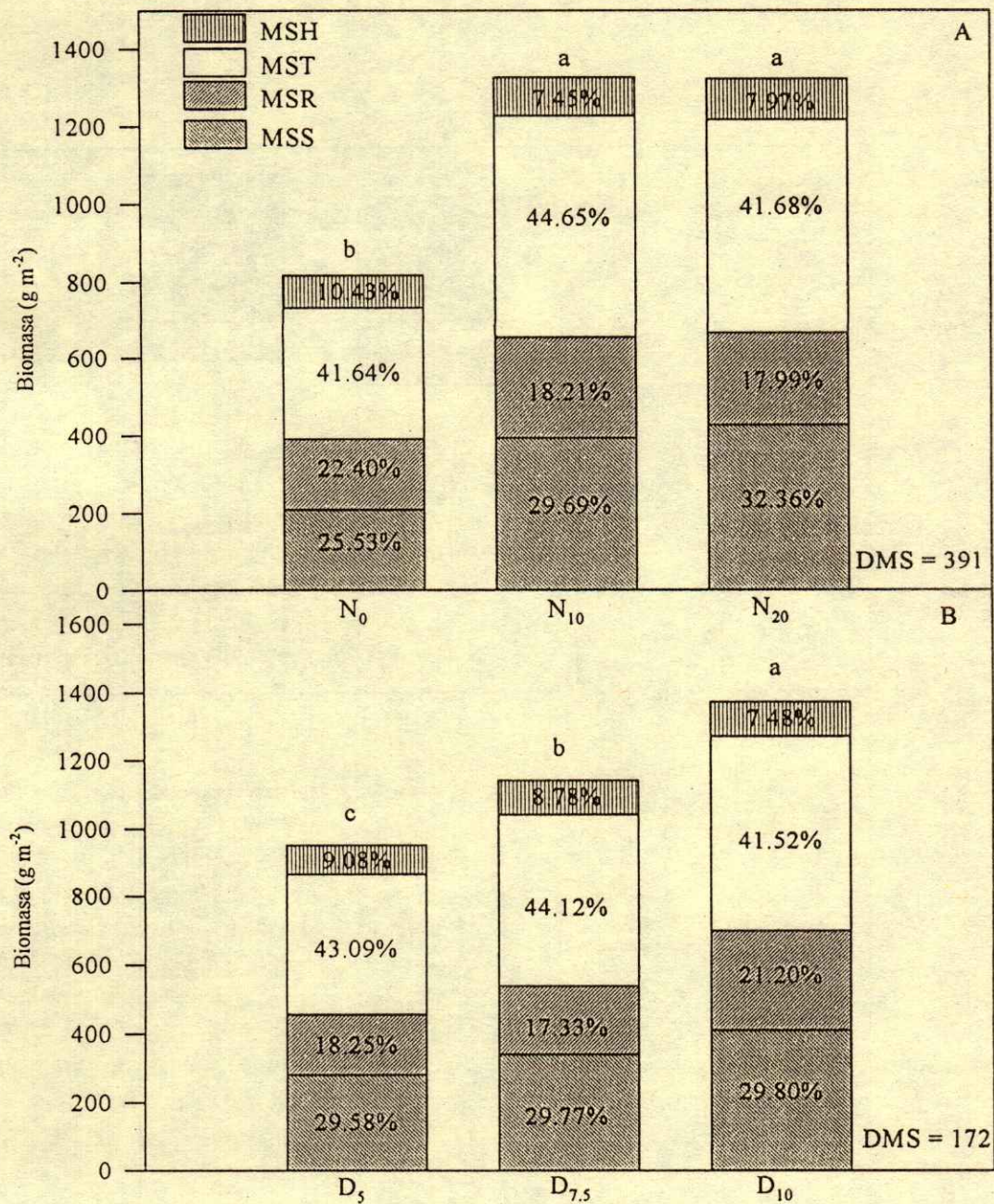


Figura 2. Distribución de biomasa (%) de los órganos de la planta de girasol cv. Victoria a la madurez fisiológica en función de la fertilización con nitrógeno (A) y densidad de población (B). Cocula, Guerrero.

MSH = materia seca de hoja. MST = materia seca de tallo. MSR = materia seca del receptáculo. MSS = materia seca de semilla. N₀ = 0, N₁₀ = 10 y N₂₀ = 20 g N m⁻². D₅ = 5, D_{7.5} = 7.5 y D₁₀ = 10 pl m⁻². DMS = diferencia mínima significativa al 5% de probabilidad.

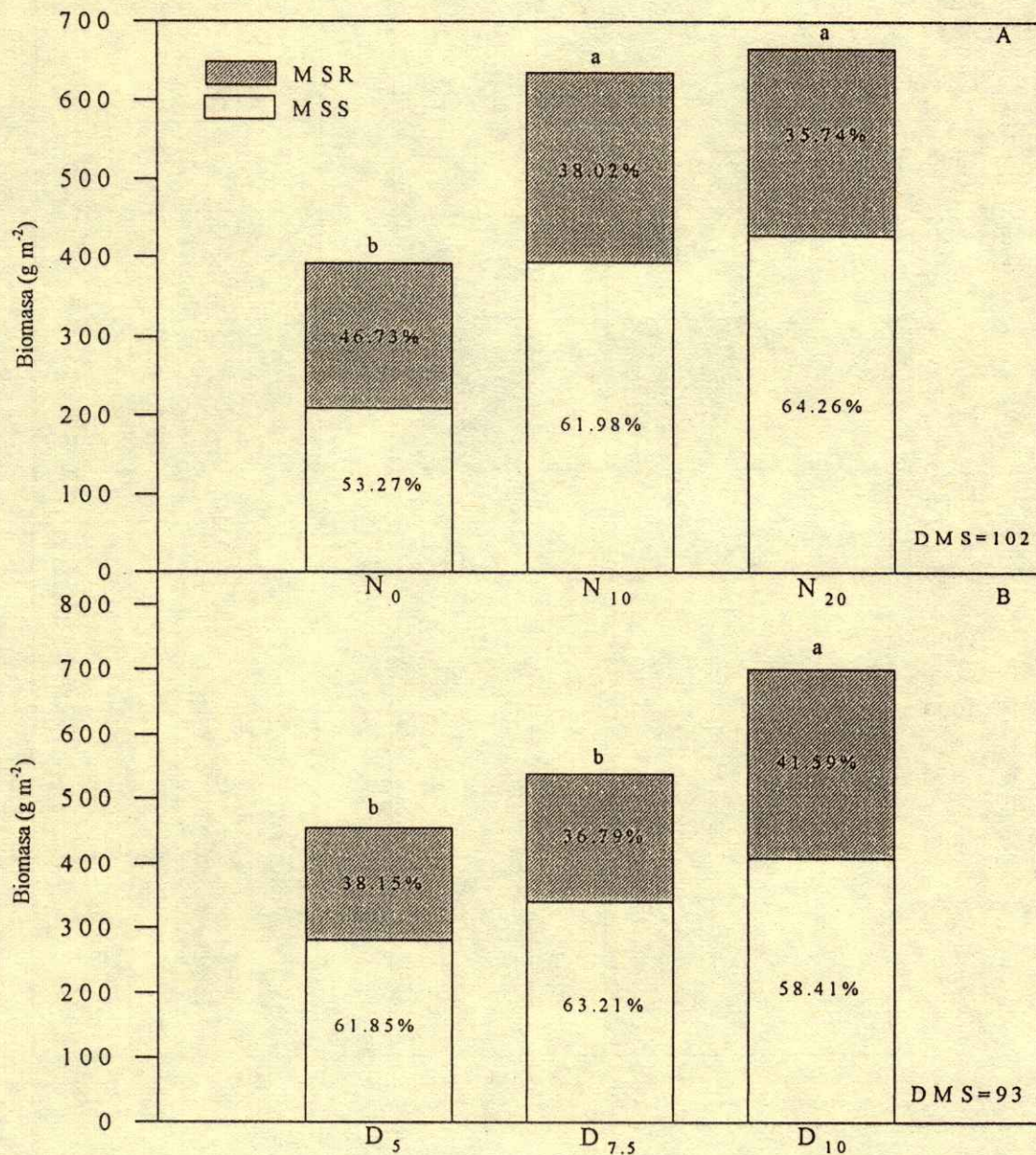


Figura 3. Distribución de biomasa (%) de los órganos reproductivos de la planta de girasol cv. Victoria con relación al capítulo a la madurez fisiológica en función de la fertilización con nitrógeno (A) y densidad de población (B). Cocula, Guerrero.
MSR = materia seca del receptáculo. MSS = materia seca de semilla. N₀ = 0, N₁₀ = 10 y N₂₀ = 20 g N m⁻².
D₅ = 5, D_{7.5} = 7.5 y D₁₀ = 10 pl m⁻². DMS = diferencia mínima significativa al 5% de probabilidad.

se puede lograr una mayor producción de materia seca generada por un mayor tamaño del dosel vegetal (IAF). Asimismo, el N, al generar una mayor demanda de fotoasimilados (mayor tamaño de capítulo y mayor número de semillas) (Olalde *et al.*, 2000), condujo a una mayor asignación de materia seca en la semilla.

Respecto a la proporción de materia seca de los órganos de la planta con relación a biomasa total, la aplicación de nitrógeno ocasionó que el mayor porcentaje de materia seca se acumulara en tallos, seguido de semillas, receptáculos y hojas (Figura 2). Al respecto, Vega (1999) encontró que con fertilización nitrogenada la mayor cantidad de biomasa fue asignada al tallo y la menor a la hoja, sin embargo, una mayor proporción se concentró en receptáculo que en semilla, lo cual difirió con los resultados encontrados en este estudio. Esta diferente respuesta del cultivo puede estar relacionada con las diferencias tan contrastantes en los climas donde se realizó el estudio.

En relación con la proporción de materia seca en los órganos reproductivos, al aplicar nitrógeno se logró obtener una acumulación de materia seca mayor de 10% en la semilla respecto al receptáculo (Figura 3).

Por otra parte, la producción de materia seca por m^2 se incrementó al aumentar la densidad de población (Cuadro 2). La mayor producción de biomasa se encontró con D_{10} (1373 g m^{-2}) seguida de $D_{7.5}$ (1142 g m^{-2}) y D_5 (951 g m^{-2}). Resultados similares encontró Escalante (1995) al incrementar la producción de biomasa con aumentos en la densidad de población en clima templado.

En el Cuadro 3 que muestra la dinámica de acumulación de materia seca de cada órgano de la planta en función de la densidad de población, se observa que de manera similar a la fertilización con nitrógeno, el tallo fue el órgano de mayor AMS. A la madurez fisiológica (77 DDS) se encontró la máxima acumulación de materia seca. La densidad de 10 plantas por m^2 mostró la mayor AMS con 570 g m^{-2} , la cual fue 12 y 28% superior a $D_{7.5}$ (504) y D_5 (410 g m^{-2}), respectivamente.

La mayor AMS en hojas ocurrió primeramente en la D_5 a los 40 DDS con 108 g m^{-2} , y 14 días después (54 DDS) se presentó en $D_{7.5}$ y D_{10} con 149 y 200 g m^{-2} . La mayor AMS en las hojas a densidades bajas puede estar relacionada con un mayor espacio

disponible entre plantas, ocasionando una mayor disponibilidad de luz, agua y nutrimentos. En D_{50} , una temprana senescencia de hojas ocurrió a partir de los 45 DDS.

En los tres niveles de densidad se observó un notable incremento en la AMS en el capítulo a partir de los 54 DDS (Cuadro 4). La mayor AMS ocurrió a los 77 DDS (madurez fisiológica). D_{10} mostró la AMS más alta con 700 g m^{-2} y fue superior en 35 y 23%, a D_5 y $D_{7.5}$, respectivamente. El aumento en la AMS en el capítulo y disminución de la misma en las hojas concuerdan con lo reportado en girasol por Villalobos *et al.* (1994) bajo condiciones de riego.

Respecto a la AMS en la semilla a la madurez fisiológica (77 DDS), no obstante que el IC fue similar, D_{10} fue la que produjo el mayor peso de semillas con 409 g m^{-2} , y fue superior en 31 y 17% a D_5 y $D_{7.5}$ (Cuadro 4). La importancia de la variación en la repartición de fotoasimilados entre los órganos de la planta tiene principal atención en el IC como un criterio específico de selección de genotipos con potencial de producción alto (Glifford *et al.*, 1984), pero que además puede ser modificado por el manejo del cultivo.

Al igual que con la fertilización nitrogenada, en las tres densidades, la mayor proporción de materia seca (%), respecto a biomasa total, se generó en tallo, seguido de semilla, receptáculo y hoja (Figura 2). El aumento en la densidad generó una menor proporción de materia seca en tallos y hojas, y un ligero aumento en la capítulo (MSR y MSS). No obstante, se indujo a una ligera disminución en la proporción de la semilla en el capítulo (Figura 3). Esto último pudo estar relacionado con una mayor competencia entre plantas generando capítulos más pequeños y menor número de semillas por capítulo (Olalde *et al.*, 2000).

Rentabilidad Económica del Girasol al Nitrógeno y Densidad

En el Cuadro 5 se presenta el análisis económico para el rendimiento de semilla de los tratamientos evaluados en el experimento. El tratamiento $N_{20}D_{10}$ fue el que generó el mayor rendimiento (5030 kg ha^{-1}), sin embargo, mostró los costos variables y totales más altos y un ingreso neto más bajo comparativamente con el tratamiento $N_{10}D_{10}$ (4830 kg ha^{-1}), el cual generó el mayor ingreso neto. Así, con la aplicación de

Cuadro 5. Rendimiento, ingresos totales, costos fijos, variables y totales, e ingresos netos para girasol de temporal en función del nitrógeno y densidad de población. Cocula, Guerrero. Temporal 1998.

Tratamiento	Rendimiento kg ha ⁻¹	Ingreso total	Costo fijo	Costo variable \$	Costo total	Ingreso neto
N ₀ D ₅	1770	4301	2390	289	2679	1622
N ₀ D _{7.5}	2080	5054	2390	433	2823	2231
N ₀ D ₁₀	2410	5856	2390	577	2967	2889
N ₁₀ D ₅	3310	8043	2390	1059	3449	4594
N ₁₀ D _{7.5}	3670	8918	2390	1203	3593	5325
N ₁₀ D ₁₀	4830	11737	2390	1347	3737	8000
N ₂₀ D ₅	3360	8165	2390	1829	4219	3946
N ₂₀ D _{7.5}	4440	10789	2390	1973	4363	6426
N ₂₀ D ₁₀	5030	12223	2390	2117	4507	7716

N₀ = 0, N₁₀ = 10, N₂₀ = 20 g de N m⁻² (equivalente a 0, 100 y 200 kg de N ha⁻¹).

D₅ = 5, D_{7.5} = 7.5, D₁₀ = 10 plantas por m² (equivalente a 50, 75 y 100 mil plantas ha⁻¹).

Ingreso total = Rendimiento * precio por kg de semilla de girasol (estimado en \$2.43 kg⁻¹). Costo fijo = Incluye costos de preparación del terreno, deshierbe, control de plagas y enfermedades, y la aplicación de 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹. Costo variable = Incluye costo de nitrógeno (\$ 7.70 kg⁻¹), costo de densidad (\$ 57.76 por mil plantas). Costo total = Costo fijo + Costo variable. Ingreso neto = Ingreso total - Costo total.

10 g de N m⁻² y 10 pl m⁻² (100 kg de N ha⁻¹ y 100 mil plantas ha⁻¹) el girasol cv. Victoria mostró la mayor rentabilidad económica.

CONCLUSIONES

En ambiente cálido subhúmedo:

- La fertilización nitrogenada no afectó el número de hojas por m² pero incrementó el índice de área foliar, la producción de materia seca y el rendimiento.
- A la madurez fisiológica el girasol con fertilizante nitrogenado mostró un índice de cosecha más alto y mayor distribución de materia seca en receptáculo, y menor en hoja.
- El aumento en la densidad de población de 5 a 10 pl m⁻² incrementó el número de hojas por m², el índice de área foliar, la producción de biomasa y el rendimiento.
- El aumento en densidad de población no afectó el índice de cosecha.
- La aplicación de 10 g de nitrógeno (100 kg de N ha⁻¹) y una densidad de población de 10 pl m⁻² (100 000 pl ha⁻¹) de girasol cv. Victoria generó alto beneficio económico.

LITERATURA CITADA

- Bennett, J.M., L.S.M. Mutti, P.S.C. Rao y J.W. Jones. 1989. Interactive effects of nitrogen and water stresses on biomass accumulation, nitrogen uptake, and seed yield of maize. *Field Crops Res.* 19: 297-311.
- Connor, D.J. y V.O. Sadras. 1992. Physiology of yield expression in sunflower. *Field Crops Res.* 30: 333-389.
- Escalante E., J.A. 1992. Interacción entre el nitrógeno y la densidad de siembra en el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) bajo suministro limitado de agua. Tesis doctoral. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad de Córdoba, España.
- Escalante E., J.A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. pp. 28-32. *In: Agroproductividad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx.*
- Fichtner, K. y E.D. Schulze. 1992. The effect of nitrogen nutrition on growth and biomass partitioning of annual plants originating from habitats of different nitrogen availability. *Oecologia* 92: 236-241.
- Gimenez, C., D.J. Connor y F. Rueda. 1994. Canopy development, photosynthesis and radiation use efficiency in sunflower in response to nitrogen. *Field Crops Res.* 38: 15-27.
- Glifford, R.M., J.H. Thorne, W.D. Hitz y R.T. Giaquinta. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science* 225: 801-808.
- Hocking, P.J. y B.T. Steer. 1983. Uptake and partitioning of selected mineral elements in sunflower (*Helianthus annuus* L.) during growth. *Field Crops Res.* 6: 93-107.

- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1996. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. México, DF.
- Olalde G., V.M., J. A. Escalante E., P. Sánchez G., L. Tijerina Ch., E.M. Engleman C. y A.A. Mastache L. 2000. Eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno, y rendimiento del girasol, en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálida. *Terra* 18: 51-59.
- Sarmah, P.C., S.K. Katyal y A.S. Faroda. 1994. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars to fertility level and plant population. *Indian J. Agron.* 39(1):76-78.
- Schneiter, A.A. y J.F. Miller. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.* 21: 901-903.
- Skoric, D. 1992. Achievements and future directions of sunflower breeding. *Field Crops Res.* 30: 231-270.
- Steer, B.T. y P.J. Hocking. 1983. Leaf and floret production in sunflower (*Helianthus annuus* L.) as affected by nitrogen supply. *Ann. Bot.* 52:267-277.
- Steer, B.T. y P.J. Hocking. 1984. Nitrogen nutrition of sunflower (*Helianthus annuus* L.): Acquisition and partitioning of dry matter and nitrogen by vegetative organs and their relationships to seed yield. *Field Crops Res.* 9: 237-251.
- Trapani N., A.J. Hall y F.J. Villalobos. 1994. Pre-anthesis partitioning of dry matter in sunflower (*Helianthus annuus* L.) crops. *Field Crops Res.* 37: 235-246.
- Vega, R.M. 1999. Crecimiento y rendimiento de girasol (*Helianthus annuus* L.) en función del nitrógeno, densidad de población y época de aclareo. Tesis de Maestría en Ciencias. Especialidad de Botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx.
- Villalobos F.J., V.O. Sadras, A. Soriano y E. Fereres. 1994. Planting density effects on dry matter partitioning and productivity of sunflower hybrids. *Field Crops Res.* 36: 1-11.
- Volke H., V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.

PERSISTENCIA DE ESPORAS DE *Bacillus thuringiensis* EN HOJAS DE MAÍZ, DE FRIJOL Y EN EL SUELO

Persistence of *Bacillus thuringiensis* Spores on Soil and Maize and Bean Leaves

J.M. Sánchez-Yáñez¹ y J.J. Peña-Cabriales²

RESUMEN

La ecología de *Bacillus thuringiensis* (*B. th*) es un aspecto poco investigado, aunque su conocimiento permitiría un uso más inteligente como bioinsecticida. Basado en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la persistencia de las esporas de *B. th* en las hojas de maíz, de frijol y en el suelo. Con este propósito se diseñaron experimentos para asperjar esporas de *B. th-JM* aislada de un suelo agrícola, al igual que las esporas de *B. th* subespecie *kurstaki* HD-1 del producto comercial Dipel^{MR} (Shell, Co.) en las hojas de maíz y de frijol en invernadero, incluso en un suelo agrícola esterilizado y sin esterilizar. Los resultados mostraron una limitada persistencia de las esporas de *B. th-JM* y HD-1 en las hojas del maíz y del frijol, que fluctuó entre 48 a 72 h, después de su aspersión debido a la sensibilidad de sus esporas a la radiación solar y la desecación. En el suelo no esterilizado, como en el suelo esterilizado, las esporas de *B. th-JM* y HD-1 tampoco fueron viables 48 h después de su introducción, lo que indica que la materia orgánica del suelo esterilizado no favoreció la persistencia de las esporas, mientras que en el suelo no esterilizado, la competencia y depredación nativa causaron la rápida pérdida de viabilidad de las esporas. Lo anterior indica que, al menos en las condiciones experimentales empleadas, las hojas del maíz y del frijol y el suelo no son nichos apropiados para la persistencia de las esporas de *B. th*.

Palabras clave: Control biológico, bioinsecticida, bacterias del suelo.

¹ Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ed. B-1 C.U., 58030 Morelia, Mich., México.

² Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados. IPN. Unidad Irapuato, Apartado Postal 650, Irapuato, Gto.

Recibido: Agosto de 1995.

Aceptado: Junio de 2000.

SUMMARY

Little is known about the ecology of *Bacillus thuringiensis* (*B. th*). However, this aspect could have a positive impact on its use as a biopesticide. The aim of this study was to analyze the persistence of *B. th* spores on maize and bean leaves and on soil. An experiment was designed in which *B. th-JM* spores isolated from an agricultural soil and *B. th* spores of the subspecies *kurstaki* HD-1 from the commercial product Dipel^{MR} (Shell, Co.) were sprayed on leaves of maize and bean growing in a greenhouse, and also on sterilized and non-sterilized soil. Results showed limited persistence of both *B. th* spores on maize and common bean leaves, less than three days after application, due to their sensitivity to solar radiation and drying. In non-sterilized soil, as in sterilized soil, the *B. th* spores were not viable 48 h after inoculation, indicating that the organic matter of the sterilized soil did not favor spore persistence, while in the non-sterilized soil, competition and depredation from native organisms caused rapid loss of spore viability. This suggests that, at least under these experimental conditions, maize and bean leaves and the soil are not appropriate niches for the persistence of *B. th* spores.

Index words: Biological control, biopesticide, soil bacteria.

INTRODUCCION

La bacteria Gram positiva *Bacillus thuringiensis* (*B. th*) produce, simultáneamente con la espora, un cristal de proteína llamado delta endotoxina o complejo espora-cristal (cuerpo para-esporal), tóxico para insectos de los órdenes: *Coleoptera* (Dulmage y Aizawa, 1982; Chiang *et al.*, 1986), *Lepidoptera* (Brock y Madigan, 1988) y *Diptera* (Lambert y Perferoen, 1992; García-Yáñez *et al.*, 2000), vectores de enfermedades humanas.

En lo que se refiere a su ecología, escasa información existe sobre el comportamiento de sus células vegetativas y esporas en hojas de plantas (Last y Deighton, 1965; Kangenscn y Kapooria, 1979;

Sánchez-Yáñez y Peña-Cabriales, 1995), en específico en relación con la persistencia de sus esporas (Pinnock *et al.*, 1971; Grison *et al.*, 1976; Smith y Couche, 1991; Leal *et al.*, 1995), como tampoco sobre la estabilidad de su cristal en la naturaleza (Sthaly *et al.*, 1978; West, 1984); aunque información reportada en hojas de pinos señala que las esporas persisten más de siete meses (Grison *et al.*, 1976; Yoshimura, 1982; Reardon y Hassig, 1984). Sin embargo, la experiencia con la aspersión de las esporas y cristales en hojas de plantas no forestales muestra una limitada viabilidad de esas esporas (Pinnock *et al.*, 1971; Pinnock, 1982), principalmente por la acción germicida de la luz visible y UV (Sztejnberg y Blakeman, 1973; Griego y Spence, 1978; Ignoffo y García, 1978; Benoit *et al.*, 1990).

La sensibilidad de las esporas de *B. th* a la radiación solar y desecación está asociada con los plásmidos que codifican para la síntesis de la delta endotoxina, los que causan cambios en la composición química de la cubierta de las esporas y que reducen su tolerancia a estos factores físicos del ambiente (Germanine y Murrell, 1973; Korolik, 1980; Mason y Setlow, 1986; Setlow, 1988; Shuster *et al.*, 1989). Esta sensibilidad a la luz de las esporas de *B. th* contrasta con la resistencia de estas estructuras en otros miembros de género *Bacillus*, como *B. licheniformes* (Brock y Madigan, 1988); *B. subtilis* (Paul y Clark, 1989) o *B. cereus* (Schuster *et al.*, 1989), especies en las cuales sus esporas persisten sobre las hojas de plantas, por períodos de tiempo prolongados (Blakeman, 1991a,b; Moar *et al.*, 1994). Otro factor que contribuye a la limitada persistencia de las esporas de *B. th* es el tipo de hoja y sus exudados que contienen inhibidores de la germinación de las esporas de *B. th* (Bulla *et al.*, 1980; Alekseev *et al.*, 1982; Singh *et al.*, 1984; Blakeman, 1991b). Esta persistencia de las esporas de *B. th* también depende de la depredación por los microorganismos epifíticos autóctonos (Ercolani, 1978; Leong *et al.*, 1980; Blakeman, 1991a; Beattie y Lindow, 1994a,b). A pesar de lo expuesto, se considera que las esporas de *B. th* son responsables de su distribución cosmopolita (Goodfellow, 1968; Lambert y Perferoen, 1992). Principalmente en el suelo (De Lucca *et al.*, 1981; Martin y Travers, 1989; Luna-Olvera y Peña-Cabriales, 1993), en donde esporas de otras especies de *Bacillus* persisten e incluso germinan sin problema (Pruett *et al.*, 1980; West *et al.*, 1985).

En general, la experiencia en la aspersión de productos comerciales sobre la base de esporas de

variedades de *B. th*, introducidas en suelos esterilizados, muestran una viabilidad irregular, sin que se haya demostrado una relación directa entre la persistencia de esas esporas, el valor pH, el tipo y la concentración de materia orgánica en esos suelos (Akiba *et al.*, 1977, 1979, 1980; Sekijima *et al.*, 1977). En suelos no esterilizados, las esporas de *B. th* pierden rápidamente su viabilidad por la actividad competitiva y depredadora de los microorganismos nativos (Saleh *et al.*, 1970; West *et al.*, 1984, 1985; Petras y Casida, 1985; Luna-Olvera y Peña-Cabriales, 1993). Estos reportes causan controversia, la pregunta obligada es: ¿Es el suelo para las esporas de *B. th* un reservorio o su principal nicho? Ya que, en otros ambientes, existen reportes de que las células vegetativas de las especies de *Bacillus* colonizan sin problema el filoplano de plantas, por ello, se les considera nativas de hojas (Goodfellow, 1968; Goodfellow y Dawson, 1978; Baumann *et al.*, 1984). Con base en lo expuesto, el propósito de este trabajo fue analizar la persistencia de esporas *B. th* en las hojas de maíz, de frijol y en el suelo.

MATERIALES Y METODOS

Origen de las Esporas de *B. th*

Se colectaron 60 muestras de suelo de una zona agrícola del municipio de Irapuato, Guanajuato. Para obtener las esporas de *B. th*, se suspendieron 10 g de cada suelo en un matraz de 250 mL con 90 mL de solución salina estéril y se pasteurizaron a 65 °C por 13 min. De esta suspensión, se sembraron 0.2 mL en agar nutritivo e se incubaron a 30 °C durante 72 h, y se buscaron las colonias características de la bacteria, en las que microscópicamente se detectaron células vegetativas con esporas y cristales o sólo esporas y cristales (García-Yáñez *et al.*, 2000). Al aislamiento más frecuente se le denominó *B. th-JM*. Esta técnica también se utilizó para recuperar las esporas de *B. th* subespecie *kurstaki* HD-1 del producto comercial Dipel^{MR} (Shell, Co.). Ambos aislados se sometieron a un análisis de plásmidos para corroborar su presencia con la producción de cristales (Moar *et al.*, 1994) en el laboratorio de Microbiología del IIQB-UMSNH. Las esporas de *B. th* HD-1 y *B. th-JM* se conservaron en suelo esterilizado calor seco 180 °C x 3 h, para posteriormente mezclar 10 x 10⁸ UFC/g de suelo (15 °C), y en agar triptosa fosfato en refrigeración.

Selección de *B. th* Resistentes a Penicilina

Para determinar la persistencia de las esporas de *B. th-JM* y *B. th* HD-1 en las hojas de maíz y de frijol, incluso en suelo no esterilizado, y evitar interferencias con los microorganismos autóctonos, se seleccionó un aislado *B. th-JM* resistente a 50 mg mL⁻¹ de penicilina (P) que se adicionó al agar nutritivo (ANP). Mientras que se usaron 60 mg mL⁻¹ de P en AN para recuperar las esporas de *B. th* HD-1 (Akiba *et al.*, 1977; Travers *et al.*, 1987).

Aspersión de Esporas de *B. th* en Hojas de Plantas

Semillas sin desinfectar de maíz (*Zea mays* L.) y de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se germinaron y crecieron en macetas con tres plantas maceta⁻¹ (con 3 kg de capacidad y con 2.5 kg de arena estéril 121 °C/1 h/3 dds). Cuando las plantas se desarrollaron (se dejaron dos plantas maceta⁻¹) el segundo par de hojas verdaderas, a la mitad de las macetas se les aplicaron esporas y cristales de cultivos de 30 h, ambos *B. th*, a una relación 1:1, con un spray se realizaron cuatro aspersiones (cada aspersión equivale a 1.5 X 10⁵ esporas de *B. th* en 0.12 mL) según modificaciones de la técnica descrita por Ercolani (1978) y Haefele y Lindow (1987). Luego, las plantas se cubrieron con bolsas de polietileno y se colocaron en invernadero a 24 °C. Las plantas se alimentaron con solución nutritiva de White (Beattie y Lindow, 1994a). El número de esporas asperjadas, al inicio del experimento, y su persistencia en las hojas se determinaron por la técnica de las hojas agitadas (Smith y Couche, 1991) en donde secciones de cuatro hojas planta⁻¹, de 5 X 6 mm se suspendieron en matraces Erlenmeyer de 250 mL, con 20 mL de solución salina estéril, se agitaron a 250 rpm por 30 min para realizar una doble siembra en ANP e incubaron a 30 °C por cuatro días. La primera siembra por inoculación directa de la suspensión de las hojas, para obtener la población total de las células vegetativas y esporuladas, y la segunda después de pasteurizar las suspensiones a 65 °C por 13 min y sembrar en ANP, para determinar exclusivamente el número de esporas viables en las hojas de cada planta. Este procedimiento se usó durante 10 días hasta no detectar esporas viables de *B. th* en el ANP, de donde se tomaron 10 colonias al azar y se observaron al microscopio con una tinción simple (cristal violeta 0.1%, 20 s) para confirmar la presencia de bacilos con

esporas y cristales. Este experimento se realizó por triplicado.

Persistencia de Esporas de *B. th* en el Suelo

Se inocularon 1.0 x 10⁴ mL esporas de *B. th-JM* y *B. th* HD-1 g⁻¹ en recipientes de aluminio de 200 g en 100 g de un suelo agrícola con textura arcillosa, con 2.44% de materia orgánica, nitrógeno (0.8%) y pH (6 a 9). Otros 100 g del mismo suelo se esterilizaron en autoclave a 121 °C durante 10 días; a intervalos de 24 h se determinó el número de esporas viables: se tomaron 10 g de cada suelo, se suspendieron en 90 mL de solución salina, se realizaron diluciones desde 10⁻¹ hasta 10⁻⁶ en tubos de 18 x 150 y se sembraron directamente en ANP para obtener el número total (células vegetativas y esporuladas de *B. th*); luego esta suspensión se pasteurizó (65 °C, 13 min) y se sembró en ANP para obtener el número de esporas viables de cada *B. th* y, por diferencia entre el número total de *B. th* y el número de esporas viables, después de pasteurizar, determinar la cantidad de esporas viables de *B. th* en el suelo agrícola no esterilizado y esterilizado. Este ensayo se repitió tres veces.

RESULTADOS Y DISCUSION

Persistencia de Esporas *B. th* en Hojas de Maíz y Frijol

La Figura 1 muestra la pobre persistencia de las esporas de *B. th-JM*, lo que prueba que las esporas no responden a las sustancias de los exudados foliares, a diferencia de la respuesta de crecimiento observado en las bacterias Gram negativas autóctonas epifitas, como *Pseudomonas syringae* que coloniza hojas de maíz y de frijol (Dickenson y Preece, 1976; Ercolani, 1978; Blakeman, 1991 a,b).

Otra posible causa de la breve persistencia de esporas de *B. th-JM* fue su sensibilidad a la desecación (Aronson *et al.*, 1982; O'Brien *et al.*, 1991) y a la exposición a la radiación solar (Donnellan y Stafford, 1968; Germanine y Murrell, 1973; Griego y Spence, 1978). La demostración de plasmido de *B. th-JM* y *B. th* HD-1, que codifica para la síntesis del cristal y que no permite la acumulación del ácido dipiconílico (Bulla *et al.*, 1980; Aronson *et al.*, 1982; Baumann *et al.*, 1984) ni de las proteínas solubles en ácido (Mason y Setlow, 1986) en la

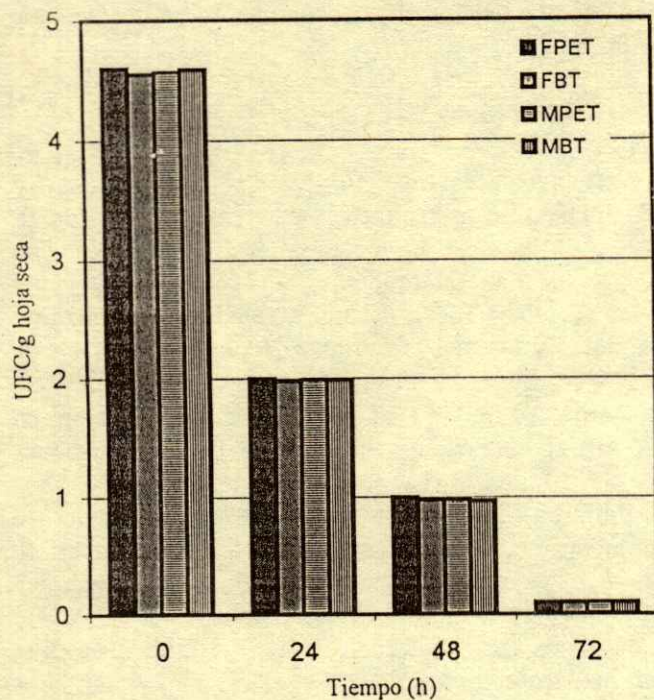


Figura 1. Persistencia de esporas de *Bacillus thuringiensis* cepa *B. th*-JM en hojas de maíz (*Zea mays* L.) y de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

FPET = Frijol población esporulada total. FBT = Frijol esporas de *B. th*. MPET = Maíz población esporulada total. MBT = Maíz esporas de *B. th*. Todos los valores son el promedio de tres repeticiones.

cubierta de las esporas, por lo que la disminución de estos compuestos necesarios para la protección de las esporas causaron la pérdida de la tolerancia a la luz y la desecación; en consecuencia, las esporas de *B. th* perdieron rápidamente su viabilidad.

La Figura 2 muestra que la persistencia de las esporas de *B. th* HD-1 fue breve, en principio por su incapacidad para responder a los exudados foliares del maíz y del frijol (Last y Deighton, 1965; Dickenson y Preece, 1976; Singh *et al.*, 1984; Blakeman, 1991b). Lo anterior sugiere que la germinación de las esporas de *B. th* HD-1, en términos nutricionales, es más compleja de lo que existe en los exudados foliares (Pinnock *et al.*, 1971; Kangensen y Kapporia, 1979; O'Brien *et al.*, 1991), probablemente por su asociación con los insectos *Pectinophora gossypiella* y *Anagasta kuehniella* (Dulmage y Aizawa, 1982) de donde originalmente se aisló. En contraste, se sabe que otras especies de *Bacillus* como: *B. larvae* y *B. popillae* son dependientes bioquímicamente de los insectos que parasitan; por ello, son nutricionalmente más exigentes que otras subespecies de *B. th* (Chiang *et al.*, 1986; Cano *et al.*, 1994). Esto, a su vez, explica

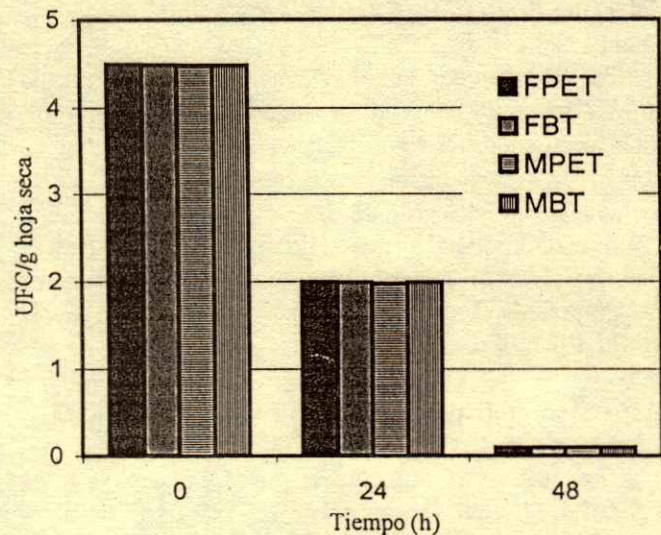


Figura 2. Persistencia de esporas de *Bacillus thuringiensis* var. *krustaki* HD-1 en hojas de maíz (*Zea mays* L.) y de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

FPET = Frijol población esporulada total. FBT = Frijol esporas de *B. th*. MPET = Maíz población esporulada total. MBT = Maíz esporas de *B. th*. Todos los valores son el promedio de tres repeticiones.

porque la aspersión del bioinsecticida sobre la base de esporas y cristales de *B. th* debe realizarse puntualmente sobre las hojas, ya que este complejo espора- cristal tiene un período de actividad tóxica relativamente limitado. Por lo tanto, su consumo por el insecto blanco debe coincidir con los primeros estadios de crecimiento larvario del insecto-plaga, para que, de esta forma, se asegure un éxito relativo en el control del daño insecto-plaga (Lambert y Perferoen, 1992; Moar *et al.*, 1994), dado que el complejo espора- cristal actúa exclusivamente como veneno intestinal, sólo es eficaz, si el insecto plaga lo ingiere rápidamente en dosis relativamente elevadas (Grison *et al.*, 1976; Dulmage y Aizawa, 1982; Chiang *et al.*, 1986).

Persistencia de Esporas *B. th* en Suelo

La Figura 3 presenta que tanto las esporas de *B. th*-JM como las de *B. th* HD-1 persistieron en el suelo esterilizado por dos días y aunque esta esterilización añadió más nutrientes al suelo (West, 1984; West *et al.*, 1984), esta adición de carbono orgánico no prolongó la viabilidad de sus esporas. Esta limitada persistencia de las esporas en el suelo estéril indica la presencia en este suelo agrícola de sustancias inhibitoras de la germinación de las esporas (Sekijima, *et al.*, 1977; Korolik, 1980;

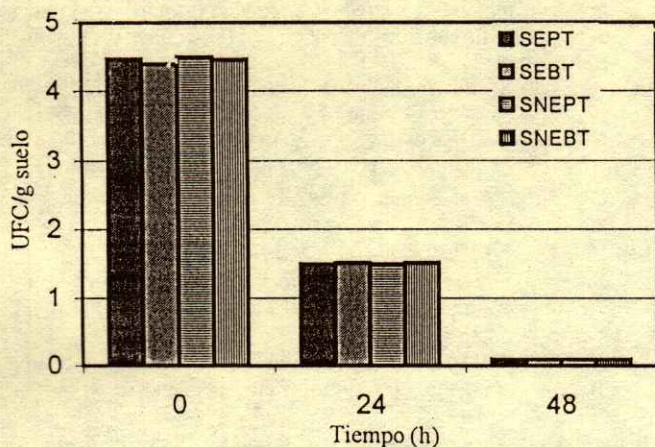


Figura 3. Persistencia de esporas de *Bacillus thuringiensis* cepas *B. th-JM* y *B. th HD-1* en suelo agrícola esterilizado y no esterilizado.

SEPT = Suelo esterilizado población esporulada total. SEBT = Suelo esterilizado esporas de *B. th-JM*. SNEPT = Suelo no esterilizado población esporulada total. SNEBT = Suelo no esterilizado esporas de *B. th HD-1*. Todos los valores son el promedio de tres repeticiones.

Alekseev *et al.*, 1982), como lo demostraron West *et al.* (1985). Estos resultados sugieren que el suelo fue un reservorio y no un hábitat para las esporas de *B. th-JM* y HD-1; la rápida pérdida de viabilidad de las esporas de ambas cepas apoya la hipótesis de que estas estructuras de resistencia en algunas subespecies como *B. th* requieren, para sobrevivir, de una asociación con organismos superiores como los insectos (Bulla *et al.*, 1980; Cano *et al.*, 1994).

Las esporas de *B. th*, inoculadas en los suelos no esterilizados, perdieron su viabilidad rápidamente a causa de la competencia y depredación de los microorganismos autóctonos de este hábitat (Korolik, 1980; Petras y Casida, 1985; West *et al.*, 1985; Galán-Wong *et al.*, 1993), lo cual justifica porque los productos comerciales con base en las esporas y cristales de *B. th HD-1* (Lambert y Perferoen, 1992), no reporten efectos residuales de las esporas en el suelo para intoxicar y causar epizootias en insectos plaga de este hábitat e indican que las esporas de *B. th-JM* no son nativas del suelo.

Con base en estos resultados, este trabajo exploratorio sugiere que es necesario investigar más sobre la persistencia de las esporas de las variedades de *B. th* en la naturaleza o en los sitios de aplicación en el ambiente, que permita seleccionar y explotar aquellas con mayor adaptación a ambientes agrícolas en el control biológico de insectos plaga.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a la memoria del Dr. Howard Taylor Dulmage, científico visionario, positivo, humanista y entusiasta promotor de *B. thuringiensis* en México.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Investigación Científica de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FCB), por el apoyo económico para la realización parcial de esta investigación, al CONACYT (registro 5156-N9407) por financiar la segunda parte y su conclusión. A la CIC proyecto 2.7 (2000) de la UMSNH por las facilidades para su publicación. A Mónica García L., Angélica María Torres L. y, en especial, a Ma. Angeles Juárez L. por su paciencia y entusiasmo.

LITERATURA CITADA

- Akiba, Y., Y. Sekijima, K. Aizawa y N. Fujoroshi. 1977. Microbial studies of *Bacillus thuringiensis*. II Dynamics of *Bacillus thuringiensis* in sterilized soil. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 21: 41-46.
- Akiba, Y., Y. Sekijima, K. Aizawa y N. Fujoroshi. 1979. Microbial studies of *Bacillus thuringiensis*. III Effect of pH on the growth of *Bacillus thuringiensis* in soil extract. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 23: 220-223.
- Akiba, Y., Y. Sekijima, K. Aizawa y N. Fujoroshi. 1980. Microbial studies of *Bacillus thuringiensis*. IV The growth of *Bacillus thuringiensis* in soil of mulberry plantations. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 24: 13-17.
- Alekseev, A.N., L.N. Karabanova y V.V. Shevtsov. 1982. Initiators and inhibitors of *Bacillus thuringiensis* spore germination. *Mikrobiologiya* 51:780-783.
- Aronson, A.I., D.J. Tyrell, P.C. Fitz-James y L.A. Bulla Jr. 1982. Relationship of the synthesis of spore coat protein and parasporal crystal protein in *Bacillus thuringiensis*. *J. Bacteriol.* 151: 399-410.
- Baumann, L., K. Okmoto, B.M. Onterman, M.J. Lynch y P. Baumann. 1984. Phenotypic characterization of *Bacillus thuringiensis* and *Bacillus cerus*. *J. Invertebr. Pathol.* 44: 329-341.
- Beattie, A.G. y S.E. Lindow. 1994a. Survival, growth, and localization of epiphytic fitness mutants of *Pseudomonas syringae* on leave. *Appl. Environ. Microbiol.* 60: 3790-3798.
- Beattie, A.G. y S.E. Lindow. 1994b. Comparison of the behavior of epiphytic fitness mutants of *Pseudomonas syringae* under controlled and field conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 60: 3799-3808.
- Benoit, T.G., G.R. Wilson, D.L. Bull y A.I. Aronson. 1990. Plasmid-associated sensitivity of *Bacillus thuringiensis* to UV light. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 2282-2286.
- Blakeman, J.P. 1991a. Foliar bacterial pathogens: Epiphytic growth and interactions on leaves. *J. Appl. Bacteriol. Symp. Suppl.* 70: 49S-59S.

- Blakeman, J.P. 1991b. Antimicrobial substance associated with the aerial surfaces of plants. pp: 245-263. In: J.P. Blakeman (ed.). Microbial ecology of the phylloplane. Academic Press, New York.
- Brock, T.D. y T. Madigan. 1988. Biology of microorganisms. 5th ed. Prentice-Hall. Englewood, Cliffs. New Jersey. pp. 229-245.
- Bulla Jr., L.A., D.B. Bechtel, K.J. Kramer, Y.I. Shethna y P.C. Fitz-James. 1980. Ultrastructure, physiology and biochemistry of *Bacillus thuringiensis*. Crit. Rev. Microbiol. 8: 399-410.
- Cano, R.J., M.K. Boruck, M.H. Schweitzer, H.N. Poinar, G.O. Poinar Jr. y K.J. Pollad. 1994. *Bacillus* DNA in fossil bees: An ancient symbiosis. Appl. Environ. Microbiol. 60: 2164-2167.
- Chiang, A.S., D.F. Yen y W.K. Peng. 1986. Germination and proliferation of *Bacillus thuringiensis*, in the gut of rice moth larva *Corcyca cephalica*. J. Invertebr. Pathol. 48: 96-99.
- De Lucca, H.A., J.G. Simonson y A.D. Larson. 1981. *Bacillus thuringiensis* distribution in soils of the United States. Can. J. Microbiol. 27: 865-870.
- Dickenson, C.H. y T.F. Preece. 1976. Microbiology of aerial plant surface. Academic Press, New York.
- Donnellan, J.E. y R.S. Stafford. 1968. The ultraviolet photochemistry and photobiology of vegetative cells and spore of *Bacillus megaterium*. Biophys. J. 8: 17-27.
- Dulmage, H.T. y K. Aizawa. 1982. Distribution of *Bacillus thuringiensis* in nature. pp. 209-237. In: B. Kurstaki M.D. (ed.). Microbial and viral pesticide. New York.
- Ercolani, G.L. 1978. *Pseudomonas savastanoi* and other bacteria colonizing the surfaces of olive leaves in the field. J. Gen. Microbiol. 109: 245-257.
- Haefele, D.M. y S.E. Lindow. 1987. Flagellar motility confers epiphytic fitness advantages upon *Pseudomonas syringae*. Appl. Environ. Microbiol. 53: 2528-2533.
- Galán-Wong, L.J., C. Rodríguez-Padilla, R. Tamez-Guerra, M. Espinoza-Mead y H.A. Luna-Olvera. 1993. Antagonismo microbiano en el suelo contra *Bacillus thuringiensis*. Rev. Lat. Am. Microbiol. 35: 391-398.
- García-Yáñez, J., J.M. Sánchez-Yáñez y E.C. López Barbosa. 2000. Producción de bioinsecticida a base de *Bacillus thuringiensis*: Minirevisión. Cuatro Vientos 14: 29-35.
- Germanine, G.R. y W.G. Murrell. 1973. Effect of dipicolinic acid on the ultraviolet radiation resistance of *Bacillus cereus* spores. Photochem. Photobiol. 17: 145-154.
- Goodfellow, M. 1968. Properties and composition of the bacterial flora of a pine forest soil. Soil Sci. 19: 154-157.
- Goodfellow, M. y D. Dawson. 1978. Qualitative and quantitative studies of bacteria colonizing *Picea sitchensis*. Soil Biol. Biochem. 10: 303-307.
- Griego, V.M. y K.D. Spence. 1978. Inactivation of *Bacillus thuringiensis* spores by ultraviolet and visible light. Appl. Environ. Microbiol. 35: 906-910.
- Grison, P., D. Martouret, B. Servais y M. Devrient. 1976. Pesticides microbiens et environnement. Ann. Zool. Amin. 8: 133-160.
- Ignoffo, C.M. y C. García. 1978. UV Photoreactivation of cell and spores of *Bacillus thuringiensis* effects of peroxidase of inactivation. Environ. Entomol. 7: 270-272.
- Kangensen, L.N. y R.G. Kapooria. 1979. Studies on the succession of phylloplane of developing leaves of *Hevea rubber*. Trop. Ecol. 20: 41-47.
- Korolik, V.V. 1980. Properties of strains of *E. coli*, *Samonella typhimurium* and *C. perfringens* isolated from soil containing a bacterial insecticide based on *B. thuringiensis*. Gigena Snitariya 4: 77-78.
- Lambert, B. y M. Perferoen. 1992. Insecticide promise of *Bacillus thuringiensis*. Facts and mysteries about a successful biopesticide. Bioscience 42: 112-122.
- Last, F.T. y F.C. Deighton. 1965. The non-parasitic microflora on the surfaces of living leaves. Trans. Br. Mycol. Soc. 48: 83-89.
- Leal C., M., J.J. Peña-Cabrales y J.M. Sánchez-Yáñez. 1995. Survival and activity of *Bacillus thuringiensis* in natural environment against mosquito. First International Microbial Ecology Meeting. Mexico.
- Leong, K.I.R., R.J. Cano y A.M. Kubinski. 1980. Factors affecting *Bacillus thuringiensis* total field persistence. Environ. Entomol. 9: 593-599.
- Luna-Olvera, H.A. y J.J. Peña-Cabrales. 1993. Ecología de *Bacillus thuringiensis*. pp. 179-185. In: L.J. Galán et al. Bioinsecticidas. FCB-UANL-UNAM. México.
- Martin, P.A.W. y R.S. Travers. 1989. Worldwide abundance and distribution of *Bacillus thuringiensis* isolates. Appl. Environ. Microbiol. 52: 2437-2442.
- Mason, J.M. y P. Sctlow. 1986. Essential role of small acid soluble spore protein in resistance of *Bacillus subtilis* spores to ultraviolet light. J. Bacteriol. 167: 174-178.
- Moar, W.J., J.T. Trumble, R.H. Hice y P.A. Backman. 1994. Insecticidal activity of the Cry IIA protein from the NRD-12 isolate of *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* and in a leaf-colonizing strain of *Bacillus cereus*. Appl. Environ. Microbiol. 60: 896-902.
- O'Brien, R.D., K.N. Jochimsen y A.H.C. van Bruggen. 1991. Lack of survival of *Rhizomonas suberifacies* on the lettuce and barely leaves. Plant Dis. 75: 954-957.
- Paul, E.A. y F.E. Clark (eds.). 1989. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press, New York.
- Petras, S.F. y L.E. Casida Jr. 1985. Survival of *Bacillus thuringiensis* spore in soil. Appl. Environ. Microbiol. 50: 1496-1501.
- Pinnock, D.E. 1982. The persistence of *Bacillus thuringiensis* on leaf surfaces. In: Invertebrate pathology and microbial control. Proceedings Int. Colloquium Invertebr. Pathol. Brighton 3: 313-318.
- Pinnock, D.E., R.J. Brand y J.E. Milstead. 1971. The field persistence of *Bacillus thuringiensis* spore. J. Invertebr. Pathol. 18: 405-411.
- Pruett, C.J., H.D. Burges y C.H. Wyborn. 1980. Effect of exposure to soil on the potency and spore viability of *Bacillus thuringiensis*. J. Invertebr. Pathol. 35: 166-174.
- Reardon, R.C. y K. Hassig. 1984. Efficacy and field persistence of *Bacillus thuringiensis* after ground application to balsam fire and white spruce in Wisconsin. Can. Entomol. 116: 153-158.
- Saleh, S.M., R.F. Harris, R.S. y O.N. Alen. 1970. Fate of *Bacillus thuringiensis* in soil: Effect of pH and organic amendment. Can. J. Microbiol. 16: 677-680.
- Sánchez-Yáñez, J.M. y J.J. Peña-Cabrales. 1995. Sobrevivencia de esporas de *Bacillus thuringiensis* en el filoplano de maíz, de frijol y en el suelo. Int. Microbiol Ecology Meeting. México.
- Schuster, W., M. Geiser y D. Mathé. 1989. Efficient transformation of *Bacillus thuringiensis* and *B. cereus* via electroporation: Transformation of a crystalliferous strain

- with a cloned delta-endotoxin gene. *Mol. Gen. Genet.* 218: 177-187.
- Sekijima, Y., Y. Akiba, K. Ono, K. Aizawa y N. Fujoroshi. 1977. Microbial ecological studies of *Bacillus thuringiensis* in soil of mulberry field. *Jpn. J. Appl. Ent. Zool.* 21: 35-40.
- Setlow, P. 1988. Small, acid-soluble proteins of *Bacillus* species synthesis, genetics, function, and degradation. *Annu. Rev. Microbiol.* 42: 319-338.
- Singh, N., P.S. Randhawa y B. Kumar. 1984. Quantitative and qualitative bacterial flora of two cotton cultivars in relation to age of the crop and environmental conditions. *Indian J. Ecol.* 11: 127-133.
- Smith, R.A. y G.A. Couche. 1991. The phylloplane as a source of *Bacillus thuringiensis*. *Appl. Environ. Microbiol.* 57: 311-315.
- Sthaly, D.P., D.W. Dingman, L.A. Bulla Jr. y A.I. Aronson. 1978. Possible origin and function of the parasporal crystal in *Bacillus thuringiensis*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 84: 581-588.
- Sztejnberg, A. y J.P. Blakeman. 1973. Ultraviolet-induced changes in populations of epiphytic bacteria on beetroot leaves and their effect on germination of *Botrytis cinerea* spores. *Physiol. Plant Pathol.* 3: 33-41.
- Travers, R.S., P.A.W. Martin y C.F. Reichelderfer. 1987. Selective process for efficient isolation of soil *Bacillus* spp. *Appl. Environ. Microbiol.* 53: 1263-1266.
- West, A.W. 1984. Fate of the insecticidal proteinaceous parasporal crystal of *Bacillus thuringiensis* in soil. *Soil Biol. Biochem.* 16: 357-360.
- West, A.W., H.D. Burges y C.H. Wyborn. 1984. Effect of incubation in natural and autoclaved soil upon potency and viability of *Bacillus thuringiensis*. *J. Invertebr. Pathol.* 44: 121-127.
- West, A.W., H.D. Burges y C.H. Wyborn. 1985. Survival of *Bacillus thuringiensis* and *Bacillus cereus* spore inocula in soil effects of pH moisture nutrient availability and indigenous microorganisms. *Soil Biochem.* 17: 657-665.
- Yoshimura, F. 1982. Phylloplane bacteria in a pine forest. *Can. J. Microbiol.* 28: 580-592.

SOBREVIVENCIA DE CELULAS VEGETATIVAS DE *Bacillus thuringiensis* EN LA ESPERMOSFERA/RIZOSFERA DE FRIJOL

Survival of Vegetative Cells of *Bacillus thuringiensis* in the Spermosphere-Rhizosphere of Common Bean

M.A. Medrano-González¹, H.A. Luna-Olvera¹, J.J. Peña-Cabriales² y J.M. Sánchez-Yáñez³

RESUMEN

El control biológico con *Bacillus thuringiensis* (*B. th*) de plagas que atacan el sistema radical de las plantas es de interés, porque disminuye la aplicación de pesticidas que pueden causar contaminación ambiental, aunque es necesario conocer el comportamiento de las células vegetativas de la bacteria en la espermósfera-rizósfera de las plantas. El objetivo de este trabajo fue analizar la sobrevivencia de células vegetativas de *B. th* cepa GM-2 subespecie *coahuilense* en la espermósfera-rizósfera de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad Negro Jamapa, sembrado en diferentes suelos; para lo cual se enumeraron sus células vegetativas sobrevivientes con la técnica de inmunofluorescencia directa en cuatro etapas fisiológicas: germinación, plántula, floración y senectud. Las plantas se sembraron en suelo agrícola esterilizado y no esterilizado. Se incluyó la inoculación de las células vegetativas en un suelo virgen sin y con esterilización. Los resultados mostraron que 15 días después de la siembra en la espermósfera-rizósfera del frijol, en el suelo agrícola esterilizado, las células vegetativas disminuyeron en 38%, lo que indicó que los exudados de la raíz no estimularon su crecimiento, aunque sobrevivieron más de 30 días. En el mismo período en la rizósfera de frijol, sembrado en el suelo agrícola no esterilizado, las células vegetativas de *B. th* decrecieron en 49%, debido a la competencia y depredación de los microorganismos autóctonos del suelo. En contraste, en el suelo virgen esterilizado y sin raíces, las células

vegetativas de *B. th* disminuyeron en 93% a causa de su incapacidad para utilizar, como fuente de carbono y energía, a la materia orgánica del suelo; mientras que en el mismo suelo sin esterilizar, las células no se detectaron después de 48 h, debido a su falta de competencia y por la depredación de los microorganismos nativos del suelo. Lo anterior se opone a la idea de considerar a *B. th* como un miembro activo de la comunidad del suelo.

Palabras clave: Suelo, persistencia, bacteria esporulada entomotóxica.

SUMMARY

Biological pest control with *Bacillus thuringiensis* (*B. th*) is of interest in the search for ways to reduce the use of pesticides that can pollute the environment. However, it is necessary to study the behavior of the vegetative cells of the bacteria in the plant's spermosphere-rhizosphere. The objective of this study was to analyze the survival of the vegetative cells of *B. th*, strain GM-2 var. *coahuilense*, in the spermosphere-rhizosphere of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), cv 'Negro Jamapa,' sown in different soils. Surviving vegetative *B. th* cells were enumerated with the technique of direct immunofluorescence in four physiological stages: germination, seedling, flowering and senescence. The plants were grown in sterilized and non-sterilized agricultural soil. Also, virgin soil with and without sterilization was inoculated with vegetative cells. Results showed that 15 days after sowing in the sterilized agricultural soil, the vegetative cells decreased 38% in the spermosphere-rhizosphere of the beans. This indicated that root exudates did not stimulate *B. th* growth, even though the vegetative cells survived for more than 30 days. In the same period in the bean rhizosphere, in non-sterilized agricultural soil, the vegetative cells of *B. th* decreased 49%, due to competition and depredation by native soil organisms. In contrast, in sterilized, root-free virgin soil, the vegetative cells of *B. th* decreased 93%

¹ Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Apartado Postal 414, 64000 San Nicolás de las Garza, N.L.

² CINVESTAV-IPN, Unidad Irapuato, Apartado Postal 629, 35600 Irapuato, Gto., México.

³ Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ed B-1, 58060 Morelia, Mich., México.

Recibido: Agosto de 1995.

Aceptado: Diciembre de 2000.

because of their inability to use organic matter as their source of carbon and energy. However, in the same soil without sterilization, *B. th* cells could not be detected after 48 h, due to competition and depredation of native microorganisms in the soil. This evidence counters the idea of considering *B. th* as an active member of the soil community.

Index words: Soil, persistence, entomotoxic sporulated bacteria.

INTRODUCCION

La espermósfera es una zona de influencia de la semilla en germinación que produce exudados estimulantes o inhibidores de la actividad y/o crecimiento (Bowen y Rovira, 1976; Chanway *et al.*, 1991) de las poblaciones autóctonas del suelo (Newman, 1985; García *et al.*, 1995). Luego, cuando la planta desarrolla el sistema radical (rizósfera), continúa con la producción de sustancias para mantener las interacciones con la población microbiana que originalmente colonizó la semilla al germinar (Curl y Truelove, 1986; Heijnen y Van Veen, 1991) como en la simbiosis *Rhizobium*-leguminosas (Newman, 1985; Halverson y Stacy, 1986).

En general, las investigaciones sobre *B. th* se han dirigido a establecer la presencia y/o persistencia de sus esporas (West, 1984; West *et al.*, 1984, 1985); Petras y Cassida, 1985) en el suelo alejado de las raíces, pero poco en relación con la persistencia de sus células vegetativas en la rizósfera de leguminosas. Existen reportes de que los exudados de la rizósfera de soya estimulan la germinación de esporas y el crecimiento de células vegetativas de *Bacillus* spp. para competir con fitopatógenos de las raíces (Liu y Sinclair, 1988; Handelsman *et al.*, 1988, 1990; Halverson y Handelsman, 1991). Estos reportes hacen suponer que *B. th* podría usarse en el control de plagas de la rizósfera, al considerarse como un habitante nativo del suelo (Dulmage y Aizawa, 1982).

Los objetivos de este trabajo fueron analizar: a) el comportamiento de células vegetativas de *B. th* cepa GM-2 en la rizósfera de frijol, cultivado en un suelo agrícola esterilizado y no esterilizado, y b) la persistencia de sus células vegetativas en un suelo virgen sin raíces, esterilizado y no esterilizado.

MATERIALES Y METODOS

Origen de la Bacteria

La cepa de *Bacillus thuringiensis* GM-2, variedad *coahuilense*, utilizada en este trabajo, pertenece a la colección microbiana del Laboratorio Howard T. Dulmage de Microbiología Industrial y del Suelo de la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) en San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

Detección de Células Vegetativas de *B. th*

El procedimiento se realizó como sigue: a) Se obtuvo el antígeno "H" de *B. th*. b) Se preparó el anticuerpo contra el antígeno flagelar "H" de la bacteria. c) Se titularon los anticuerpos anti-*B. th*. d) Se purificó la inmunoglobulina IgG anti-*B. th*. e) Se montaron las preparaciones para la observación de células de *B. th* en un microscopio de epifluorescencia, según Bohlool y Schmidt (1973) y Campbell *et al.* (1983).

Colecta de Muestras

Se colectaron 20 kg de suelo agrícola de diferentes parcelas de la ex-Hacienda "El Canadá", Escobedo, Nuevo León; el suelo virgen se colectó en la misma zona. Ambos a una profundidad de 20 cm. Las muestras de suelo se secaron al aire y luego se tamizaron con una malla del número 20.

Propagación de *B. th*

De un cultivo stock en agar triptosa fosfato (Merck) de *B. th*, se tomó una asada para inocular 20 mL de caldo nutritivo (Merck), en un matraz de 125 mL, que se usó como preinóculo para escalar en otro de 500 mL, con 200 mL del mismo caldo, el cual se agitó a 200 rpm por 24 h. Posteriormente, el cultivo de *B. th* se centrifugó a 300 rpm y la pastilla bacteriana se lavó y se resuspendió en solución salina.

Persistencia de Células Vegetativas de *B. th* en Rizósfera de Frijol

Semillas de frijol de la variedad Negro Jamapa se sembraron en macetas con 3.5 kg de suelo agrícola esterilizado y no esterilizado, incluyendo el suelo virgen esterilizado y sin esterilizar. Cada semilla se

inoculó con 2×10^5 células vegetativas mL^{-1} . El efecto de la espermósfera-rizósfera del frijol sobre *B. th* se midió en muestras de 0.5 a 1.0 g de la semilla o de las raíces en germinación, plántula, floración y senectud, 0, 15, 30 y 45 días después de la siembra, respectivamente. En cada fecha de muestreo, se tomaron 10 g de suelo de cada tratamiento, se resuspendieron en 90 mL de CaCl_2 al 1% (p/p) y se agregaron 20 gotas de tween 80 (Merck), para liberar las bacterias de las partículas del suelo. Se agitaron durante 30 min y se dejaron reposar 15 min para sedimentar las partículas del suelo; del sobrenadante, se tomaron 5 mL y se centrifugaron en 15 mL de sacarosa (1.33 de densidad) a 1000 rpm por 15 min. De la banda formada en el gradiente de sacarosa se recuperó un mililitro con jeringa estéril de 2.0 mL, para filtrarse en membrana milipore de Gelman^{MR} (0.22 micras de diámetro de poro), previo tratamiento, con una gota de tween 80 diluido (una gota de tween 80 en 20 mL de agua destilada), y 0.02 mL de seroalbúmina bovina al 2% (p/v) en una solución salina amortiguadora de fosfatos 0.1M, pH 7.5. Para fijar la muestra, la membrana se secó a 60 °C por 15 min en amortiguador de citratos, pH 7.0. Entonces, se le agregó el conjugado de fluorescena y proteína a la membrana y se lavó con amortiguador de fosfatos pH 9.2; para eliminar el exceso de agua, se sumergieron en etanol al 30, 50, 70 y 95%, sucesivamente, para transparentar la membrana, primero en propanol-xilol 1:1 y luego en xilol 2 min, para, posteriormente, observar al microscopio de epifluorescencia. Las células fluorescentes fueron contadas en 50 campos por el método de Bread, según describen Kingsley y Bohlool (1981) y West *et al.* (1984).

RESULTADOS Y DISCUSION

La Figura 1 muestra que los exudados de la espermósfera/rizósfera, liberados en las diferentes etapas fisiológicas del frijol, cultivado en el suelo agrícola esterilizado, no estimularon el crecimiento de las células vegetativas *B. th* GM-2, ya que la población se redujo en 38%, lo que indica que las necesidades nutricionales de estas células son más complejas, como lo señalan Bulla *et al.* (1980), y en otras bacterias bien conocidas de la rizósfera como: *Rhizobium* o *Azospirillum* (Curl y Truelove, 1986; Chanway *et al.*, 1991), reportadas así por su dependencia bioquímica para utilizar, como fuente de carbono y energía, los compuestos orgánicos

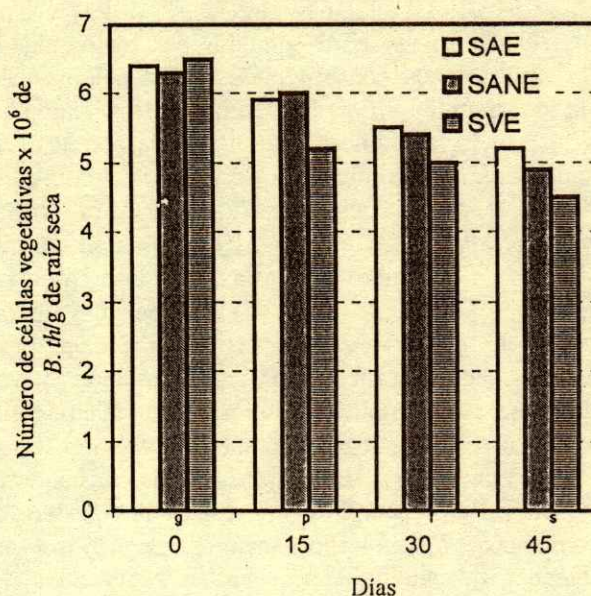


Figura 1. Persistencia de células vegetativas de *Bacillus thuringiensis* cepa GM-2 inoculada en la espermósfera-rizósfera de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Negro Jamapa, sembrado en diferentes condiciones de suelos.

SAE = Suelo agrícola esterilizado. SANE = Suelo agrícola no esterilizado. SVE = Suelo virgen esterilizado. g = germinación, p = plántula, f = floración, s = senectud.

Todos los valores son el promedio de 50 campos al microscopio de epifluorescencia.

derivados de la espermósfera-rizósfera de plantas (Bowen y Rovira, 1976; Newman, 1985). Esto hace suponer que *B. th* no es una verdadera rizobacteria como *Rhizobium* (García *et al.*, 1995), ya que ésta normalmente crece al colonizar las raíces de las plantas con las que se asocian. Aunque las células vegetativas de *B.* en las raíces de frijol no cambiaron su morfología, en esa condición estas células aparentemente no iniciaron el proceso de esporulación, lo que sugiere que el mecanismo de inducción de la esporulación de *B. th* es distinta a las especies comunes del género *Bacillus* en la naturaleza, como lo señalan Bulla *et al.* (1980), Dulmage y Aizawa (1982) y Petras y Cassida (1985). La detección de esporas de las especies de *Bacillus* spp. es relativamente sencilla al microscopio, especialmente con una técnica de fluorescencia (West *et al.*, 1984). En la Figura 1 se observa que, durante el mismo período de tiempo en la espermósfera-rizósfera del frijol, sembrado en el suelo no esterilizado, la reducción de la población de las células vegetativas de la GM-2 fue de 49%, debido, en parte, a la depredación por microorganismos nativos del suelo como los protozoarios (Ramírez y Alexander, 1980;

West *et al.*, 1985; Galán-Wong *et al.*, 1993) y a la incapacidad de *B. th* para competir por los exudados de las raíces y, en consecuencia, por la colonización de la rizósfera de frijol. Sin embargo, los exudados radicales de la leguminosa estimularon la actividad de los microorganismos autóctonos antagonistas a la cepa GM-2 de *B. th* (Alexander, 1977; West *et al.*, 1985; Luna-Olvera y Peña-Cabrales, 1993). A pesar de que se detectó en las microfotografías, la adhesión de las células vegetativas de *B. th* a la superficie de las raíces, lo cual posiblemente prolongó su sobrevivencia, al proporcionarles protección contra factores negativos bióticos y abióticos del suelo, como lo reportan Bohlool y Schmidt (1973) y Coronado *et al.* (1995) para *Rhizobium* y otro tipo de rizobacterias (Heijnen y Van Veen, 1991), pues, en la rizósfera de las plantas, los microorganismos encuentran un ambiente adecuado para su sobrevivencia y crecimiento (Bowen y Rovira, 1976; Newman, 1985; Curl y Truelove, 1986; Chanway *et al.*, 1991). Ello justifica porque colocar por ingeniería genética el plasmido de *B. th*, que codifica para el cristal entomotóxico en *Rhizobium*, para que, simultáneamente con la nodulación, también se exprese el cristal en nódulos y en las raíces. Con este procedimiento se han tenido resultados prometedores en el control de insectos plaga de la raíz (Nambiar *et al.*, 1990; Skot *et al.*, 1990), pero no han sido definitivos, pues poco se conoce sobre el comportamiento de microorganismos modificados por ingeniería genética en la naturaleza, en especial en la espermósfera-rizósfera de plantas. En el caso de la incorporación del plasmido de *B. th* en plantas, Lambert y Perferoen (1992) reportan que tabaco transgénico, parcialmente controló la primera generación de un insecto plaga de este cultivo, pero en la siguiente generación de insectos, la selección genética, provocada por el cristal en ellos, permitió que los sobrevivientes así ya no fueron susceptibles al cristal de *B. th*. No obstante, en el sitio de siembra del tabaco, los cristales, liberados por los exudados radicales, fueron atrapados por las arcillas y, posteriormente, bioacumulados. Esto indica que, probablemente, insectos benéficos, desconocidos de ese ambiente, pueden ser potencialmente susceptibles a esta toxina, de tal forma que al consumirla se vean seriamente afectados y, en consecuencia, se causaría un desequilibrio natural de efectos no previstos, como lo señalan Venkateswerlu y Stotzky (1992), Stotzky *et al.* (1993), Koskella y Stotzky (1994, 1997), Palm *et al.* (1994), Tapp *et al.* (1994) y Tapp y Stotzky (1995).

Finalmente, en la Figura 1 se muestra que las células vegetativas de *B. th* disminuyeron en 93%, debido a su incapacidad para utilizar la materia orgánica del suelo virgen esterilizado y sin raíces, mientras que, en el mismo suelo sin esterilizar, las células no sobrevivieron más de tres días; similares resultados se observaron en un suelo agrícola esterilizado y sin esterilizar. El comportamiento de las células vegetativas de *B. th* en estos experimentos indica que la bacteria no posee las características fisiológicas de los microorganismos autóctonos de este ambiente, en el cual son capaces de sobrevivir a diferentes factores físico-químicos del suelo, de manera que, cuando existen esas condiciones (Alexander, 1977), como la adición de materia orgánica y otros nutrimentos esenciales, se pueden reproducir. Con base en estos resultados *B. th* no debería considerarse como parte de la flora nativa del suelo, ni de la rizósfera de frijol. En conclusión, se propone que se investigue más sobre la persistencia de las células vegetativas de *B. th*, para establecer con certeza cuál es su verdadero hábitat; trabajo en progreso intenta reforzar estas observaciones.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Luis J. Galán Wong por las facilidades del laboratorio de Microbiología Ind. y Suelo de la FCB-UANL. Al CONACYT (registro 5156-N9407) por el apoyo financiero para su continuación y conclusión. A la CIC/UMSNH, proyecto 2.7 (2000) por las facilidades para su publicación. A Beatriz Noriega Gamboa por su trabajo secretarial.

LITERATURA CITADA

- Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. John Wiley, NY.
- Bohlool, B.B. y E.L. Schmidt. 1973. Persistence and competitive aspect of *Rhizobium japonicum* observed in soil by immunofluorescence microscopy. Soil Sci. Soc. Am. J. 37: 561-564.
- Bowen, G.D. y A.D. Rovira. 1976. Microbial colonization of plant roots. Ann. Rev. Phytopatol. 14: 121-144.
- Bulla Jr., A., D.B. Bechtel, K.J. Kremer, Y.I. Shetna, A.L. Aronson y P.C. Fitz-James. 1980. Ultrastructure physiology and biochemistry of *Bacillus thuringiensis*. Cr. Rev. Microbiol. 8: 147-204.
- Campbell, L., E.J. Carpenter y V.J. Iacono. 1983. Identification and enumeration of marine chroocoid cyanobacteria by immunofluorescence. Appl. Environ. Microbiol. 46: 549-553.
- Coronado, P.R., J.M. Sánchez-Yañez, J.J. Peña-Cabrales y P.E. Moreno-Zacarías. 1995. Colonización de raíces de frijol

- (*Phaseolus vulgaris* L.) por *Rhizobium leguminosarum*, var. *phaseolii*. *Terra* 13: 60-69.
- Curl, E.A. y B. Truelove. 1986. The rhizosphere. Springer Verlag, Berlin.
- Chanway, C.P., R. Turnkington y F.B. Holl. 1991. Ecological implications of specificity between plants and rhizosphere microorganisms. *Adv. Ecol. Res.* 21: 121-169.
- Dulmage, H. y K. Aizawa. 1982. Distribution of *Bacillus thuringiensis* in Nature. pp.35-40. In: E. Kurstaki (ed.). Microbial and viral insecticides. M. Dekker, New York, USA.
- Galan-Wong, L.J., C. Rodríguez-Padilla, R. Tamez-Guerra, M. Espinoza-Mead y H.A. Luna-Olvera. 1993. Antagonismo microbiano en el suelo contra *Bacillus thuringiensis*. *Rev. Lat.-Amer. Microbiol.* 35: 391-398.
- García G., M.L., J.M. Sánchez-Yáñez, J.J. Peña-Cabriales y P. Moreno Z. 1995. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno. *Terra* 17: 71-80.
- Halverson, L. y J. Handelsman. 1991. Enhancement of soybean nodulation by *Bacillus cereus* UW85 in the field and in a growth chamber. *Phytopathol.* 57: 2667-2770.
- Halverson, L.J. y G. Stacy. 1986. Signal exchange in plant microbe interactions. *Microbiol. Rev.* 50: 193-225.
- Handelsman, J., S. Raffel, E.H. Mester, L. Wunderlich y C.R. Grau. 1990. Biological control of damping of alfalfa seeding with *Bacillus cereus*. UW85. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 713-718.
- Handelsman, J., E.H. Mester y S. Raffel. 1988. Mechanism of biocontrol of *Phytophthora* by *Bacillus cereus* UW85. pp. 303-310. In: R. Palacios y D.P.S. Verna (eds.). Molecular genetics of plant-microbe interactions. A.P. St. Paul, Minn., USA.
- Heijnen, C.E. y J.A. van Veen. 1991. A determination of protective microhabitats for bacteria introduced in soil. *FEMS. Microbiol. Eco.* 85: 73-80.
- Kingsley, M.T. y B.B. Bohlool. 1981. Release of *Rhizobium* spp. from tropical soil and recovery for immunofluorescence. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 240-244.
- Koskella, J. y G. Stotzky. 1994. Resistance of the toxins from *Bacillus thuringiensis* to biodegradation when bound on clay minerals. Abst-0-71 p. In: Abstracts of the 94th General Meeting of the American Society for Microbiology. Washington, DC.
- Koskella, J. y G. Stotzky. 1997. Microbial utilization of free and clay-bound insecticide toxins from *Bacillus thuringiensis* and their retention of insecticide activity after incubation with microbes. *Appl. Environ. Microbiol.* 63: 3561-3568.
- Lambert, B. y M. Perferoen. 1992. Insecticide promise of *Bacillus thuringiensis*. Facts and mysteries about a successful biopesticide. *Bioscience* 42: 112-122.
- Liu, Z.L. y J.B. Sinclair 1988. Population dynamics of *Bacillus megaterium* B153-2-2 in rhizosphere of soybean. *Phytopathol.* 82: 1297-1301.
- Luna-Olvera, H.A. y J.J. Peña-Cabriales. 1993. Ecología de *Bacillus thuringiensis*. pp. 179-185. In: L.J. Galán-Wong et al. (eds.). Bioinsecticidas. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L. México.
- Nambiar, P.T.C., S.W. Ma y V.N. Iyer. 1990. Limiting and insect infestation of nitrogen-fixing root nodules of the pigeon pea (*Cajanus cajan*) by engineering the root nodules. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 2866-2869.
- Newman, E.I. 1985. The rhizosphere: carbon sources and microbial populations. pp. 107-122. In: H. Fitter (ed.). Ecological interactions in soil plants, microbes and animals. Blackwell Scientific Publ., Oxford, UK.
- Palm, C.J., K. Donegan, D. Harris y R.J. Seidler. 1994. Quantification in soil of *Bacillus thuringiensis* var. kurstaki endotoxin from transgenic plants. *Mol. Ecol.* 3: 145-151.
- Petras, S.F. y L.E. Cassida Jr. 1985. Survival of *Bacillus thuringiensis* spores in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 50: 1496-1505.
- Ramírez, C. y M. Alexander. 1980. Evidence suggesting protozoan predation on *Rhizobium* associated with germination seeds and in the rhizosphere of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Appl. Environ. Microbiol.* 45: 492-499.
- Skot, L., S.P. Harrison, A. Nath, L.R. Mytton y B.C. Clifford. 1990. Expression of insecticidal activity in *Rhizobium* containing the d-endotoxin gene cloned from *Bacillus thuringiensis* subsp. *tenebrionis*. *Plant Soil* 127: 285-295.
- Stotzky, G.M., W. Broder, J.D. Doyle y R.A. Jones. 1993. Selected methods for the detection and assessment of ecological effects resulting from the release of genetically engineered microorganisms to the terrestrial environment. *Adv. Appl. Microbiol.* 38: 1-98.
- Tapp, H. y G. Stotzky. 1995. Dot blot enzyme-linked immunosorbent assay for monitoring the fate of insecticidal toxins from *Bacillus thuringiensis* in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 602-609.
- Tapp, H., L. Calamai y G. Stotzky. 1994. Adsorption and binding of the insecticidal proteins of *Bacillus thuringiensis* subsp. *tenebrionis* on clay minerals. *Soil Biol. Biochem.* 26: 663-679.
- Venkateswerlu, G. y G. Stotzky. 1992. Binding of the protoxin and toxin proteins of *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* on clay minerals. *Curr. Microbiol.* 25: 1-9.
- West, A.W. 1984. Fate of the insecticidal proteinaceous parasporal crystal of *Bacillus thuringiensis* in soil. *Soil Biol. Biochem.* 16: 357-360.
- West, A.W., H.D. Burges y C.H. Wyborn. 1984. Effect of incubation in natural and autoclaved soil upon potency and viability of *Bacillus thuringiensis*. *J. Invertebr. Pathol.* 44: 121-127.
- West, A.W., H.D. Burges y C.H. Wyborn. 1985. Survival of *Bacillus thuringiensis* and *Bacillus cereus* spore inocula in soil effect of pH, moisture, nutrient availability and indigenous microorganisms. *Soil Biochem.* 17: 657-665.

EFFECTO DE LA FERTILIZACION FOLIAR EN EL ESTADO NUTRIMENTAL, LA FOTOSINTESIS, LA CONCENTRACION DE CARBOHIDRATOS Y EL RENDIMIENTO EN NARANJO 'VALENCIA LATE'

Effect of Foliar Fertilization on the Nutritional Status, Photosynthesis, Carbohydrate Content, and Yield of Orange 'Valencia Late' Trees

Onorato Olarte-Ortiz¹, Gustavo Almaguer-Vargas² y José Refugio Espinoza Espinoza²

RESUMEN

En México, la zona norte de Veracruz es el área productora más importante de naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck). Sin embargo, existen factores que limitan el incremento de la producción de este cítrico. Uno de estos factores es el inadecuado manejo de la nutrición de los árboles. Esto se agrava debido al constante incremento en el costo de los fertilizantes. El objetivo de este estudio fue evaluar el estado nutricional, la fotosíntesis, la concentración foliar de carbohidratos y la producción de fruta de árboles de naranja 'Valencia Late' (*Citrus sinensis* L. Osbeck), asperjados con fertilización foliar. El experimento se realizó en Tecolutla, estado de Veracruz. Se utilizaron árboles de naranja 'Valencia Late' injertados sobre *Citrus aurantium* L. Los tratamientos fueron: fertilización al suelo, aspersión foliar con urea comercial al 4%, aspersión foliar de fertilizante completo, la combinación de estos dos últimos, y el testigo. Los árboles con los tratamientos con mejores resultados recibieron la aplicación foliar de 4% de urea y el combinado. Este último tratamiento promovió 40% más frutos que el testigo y un incremento en la concentración foliar de carbohidratos. Sin embargo, el balance nutricional de los árboles de todos los tratamientos, evaluados a través de Kenworthy, fue similar. La tasa de fotosíntesis se incrementó durante el desarrollo de fruto.

Palabras clave: *Citrus sinensis* L. Osbeck, urea foliar, fertilizantes.

¹ IREGEP, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Edo. de México.

² Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carr. México-Texcoco. 56230 Chapingo, Edo. de México. (almaguer@taurus1.chapingo.mx)

Recibido: Abril de 2000.
Aceptado: Enero de 2001.

SUMMARY

In Mexico, the northern area of the State of Veracruz is the most important orange-producer region. However, there are several problems limiting yields. One of these problems is the inadequate management of tree nutrition. It is becoming worse because of a constant rise in fertilizer cost. The objective of this study was to evaluate the nutritional state, photosynthesis, carbohydrates, and fruit production of 'Valencia Late' orange trees (*Citrus sinensis* L. Osbeck) treated with foliar fertilization. The experiment was set up in Tecolutla, Veracruz. Orchards of 'Valencia Late' orange trees grafted onto *Citrus aurantium* L. were used. The treatments were soil fertilization, commercial foliar urea at 4%; complete fertilizer and combined (1+2). The treatments with the best results were commercial urea at 4% and combined. The latter promoted 40% more fruits per tree than did the control. The combined treatment increased the foliar concentration of carbohydrates. However, the nutritional balance of the trees of all treatments, evaluated by means of the Kenworthy technique, showed no difference. Photosynthesis increased during fruit growth.

Index words: *Citrus sinensis* L. Osbeck, foliar urea, fertilizer.

INTRODUCCION

El naranjo se cultiva en más de 25 estados de la República, pero en la zona norte de Veracruz, que incluye los municipios de Alamo y Martínez de la Torre, se cultiva 56.5% de la superficie nacional [SARH, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1993)]. Esta zona presenta un potencial productivo de 30 a 45 t ha⁻¹, pero éste no se alcanza debido a que no se aplican adecuadamente las técnicas de manejo necesarias en las huertas. La fertilización es una práctica cultural que recibe poca atención, en gran

parte, producto del bajo margen de ganancias que reciben los citricultores. Con ello, se limita la adquisición de fertilizantes, cuyo costo es alto, lo que, a su vez, trae como consecuencia, en el mejor de los casos, aplicaciones de dosis inferiores a las requeridas; situación que, generalmente, implica menor rendimiento y, por ende, menor ganancia. En pocas ocasiones se aplica la dosis recomendada para la zona (Curti *et al.*, 1993), que corresponde a 940 g de nitrógeno, más 420 g de fósforo, más 225 g de potasio por árbol de más de 10 años de edad, por año. Por lo anterior, es necesario buscar opciones de fertilización, que puedan incrementar el rendimiento de frutos.

La fertilización química al suelo es la forma comúnmente utilizada para abastecer de nutrimentos a los cultivos. Pero existen características químicas, físicas y biológicas que pueden limitar la disponibilidad de dichos nutrimentos en la solución del suelo. Bajo estas condiciones, la fertilización foliar es particularmente útil (Mengel y Kirby, 1982). Al respecto, Tisdale y Nelson (1988) mencionan que la fertilización foliar debe utilizarse no sólo en aquéllos casos en los que la disponibilidad nutrimental en el suelo es un problema, sino también en casos donde se necesita subsanar problemas de deficiencias en los cultivos, sobre todo porque mediante esta técnica los nutrimentos se asimilan en forma más rápida (Faust, 1989). Es conocido que la nutrición vía foliar resulta más barata que la fertilización al suelo, por las bajas cantidades de producto utilizado, por su mayor aprovechamiento (Eibner, 1985). Al respecto, Gómez *et al.* (1994) observaron, en la zona norte de Veracruz, una respuesta muy satisfactoria de algunos cítricos a las aplicaciones foliares de nutrimentos, como complemento a la del suelo.

Embleton *et al.* (1973) mencionan que la urea aplicada foliarmente fue tan efectiva como la aplicada al suelo para incrementar la producción de frutos, aunque se necesitan tres, seis o más aplicaciones foliares para sustituir una sola al suelo, lo que, a su vez, puede ocasionar compactación del suelo al haber más tránsito de maquinaria con equipo de aspersión por la huerta. Por otra parte, Anwar y Lovatt (1994), al aplicar urea al follaje a una dosis de 0.16 kg de nitrógeno por árbol sobre naranja 'Washington Navel', encontraron que las aplicaciones a mediados de enero y mediados de febrero, incrementaron en 25% el número de frutos por árbol con relación al testigo durante tres años consecutivos, y el número de frutos con un diámetro de 6.1 a 8.0 cm se incrementó, mientras que la aplicación foliar de urea no incrementó significativamente el

nitrógeno total del follaje, al final de los tres años del experimento.

Por otra parte, Becerril y Rodríguez (1989) indicaron que la aplicación de nitrógeno aumentó la tasa de fotosíntesis, lo que permitió la acumulación de carbohidratos y un aumento en la diferenciación floral, lo que permitió tener mayor rendimiento. Cuando la concentración foliar de nitrógeno es baja, la asimilación neta de CO₂ se incrementa al adicionar nitrógeno (Syvertsen, 1986, 1987; Evans, 1989).

Romero y Syvertsen (1996) encontraron que, con tres aplicaciones de urea (11.2 g L⁻¹), se incrementó en 60 y 50% la concentración de nitrógeno y la asimilación de CO₂ respectivamente, en hojas de toronja 'Duncan' (*Citrus paradisi* Macf) y naranja 'Valencia', deficientes en nitrógeno.

Maksoud *et al.* (1994) aplicaron MgSO₄, tanto al suelo (1.0 a 1.5 kg) como al follaje (1.0 a 1.5% en 6 L por árbol) en naranja 'Washington Navel' en las siguientes fechas: a) principios de abril; b) mediados de abril; c) mediados de mayo; d) abril y mayo; y e) mediados de junio. Estos autores observaron que se incrementó la concentración foliar de Mg, P, Fe, Mn, Zn, la clorofila total y el contenido de carbohidratos, y se obtuvo mejor rendimiento con la fertilización foliar que cuando se aplicó al suelo, en abril.

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como finalidad evaluar el efecto de la fertilización foliar en naranja 'Valencia Late' en el rendimiento, contenido nutrimental, el intercambio gaseoso y la concentración foliar de carbohidratos, para ofrecer a los productores una mejor alternativa a la fertilización recomendada para la zona.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo de campo se inició el 19 de mayo de 1996 y culminó el 5 de febrero de 1998. Se trabajó en un huerto comercial de naranjos 'Valencia Late' de ocho años de edad, plantados en marco real a 6 x 6 m, e injertados sobre naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.). El terreno presenta una pendiente de aproximadamente 75%. El experimento se ubicó en el municipio de Tecolutla, Veracruz, a una altitud de 3 m, latitud norte 20°30' y longitud oeste 97°01'. Presenta una temperatura media anual de 23.8 °C con lluvias abundantes en verano, con presencia de canícula y precipitación media anual de 1706.6 mm (García, 1981). El suelo es un Regosol con las siguientes características: pH 7.5, que es ligeramente alcalino (Moreno, 1978); 0.127% de nitrógeno, que es un nivel

mediano (Tavera, 1985); 3.32 mg kg⁻¹ de fósforo (método Olsen), que se considera nivel bajo (CSTPA, 1980); 230 mg kg⁻¹ de potasio, que es un nivel mediano; 860 mg kg⁻¹ de calcio, que es un nivel pobre; 158 mg kg⁻¹ de magnesio, que es un nivel mediano (Moreno, 1978) y 2.28% de materia orgánica, que es un contenido medio (Moreno, 1978). El manejo, que recibieron los árboles del experimento, fue el típico para las huertas de la zona, no se aplicaron fungicidas ni insecticidas durante el experimento. Se controlaron las malezas manualmente, combinado con dos aplicaciones de glifosato a una dosis de 2 L ha⁻¹ año⁻¹.

Los tratamientos fueron: a) árboles que no recibieron ninguna fertilización, situación que se presenta en la mayoría de los huertos de la zona (testigo); b) fertilización al suelo (940 g de nitrógeno + 420 g de fósforo + 225 g de potasio por árbol) recomendada por INIFAP para la zona (Curti *et al.*, 1993); c) aplicación foliar de urea normal (comercial) al 4%; d) aplicación foliar de fertilizante completo (1% de urea; 0.3% de fosfoacel; 0.3% de nitrato de potasio, 0.05% de boro, 0.1% de sulfato de hierro; 0.15 de sulfato de zinc; 0.1% de sulfato de magnesio; 0.1% de sulfato de cobre, y 0.2% de carbonato de calcio); e) combinado de (c) + (d) (dos aplicaciones de fertilizantes completos más cuatro aplicaciones de urea al 4% al año). Las aplicaciones foliares se efectuaron bimestralmente hasta punto de goteo, con una bomba de motor, durante 20 meses. El gasto por árbol fue de aproximadamente 2.5 L. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con ocho repeticiones y un árbol como unidad experimental. Los árboles seleccionados fueron de tamaño y vigor similares; se procuró incluir árboles con un diámetro de tronco de 20 a 22 cm, medido 10 cm arriba de la unión del injerto.

Se evaluó el número de frutos totales por árbol en dos ocasiones; el 13 de septiembre de 1997 (ciclo 1996-1997) y el 28 de julio de 1998, considerando que ya no iba haber caídas significativas de fruto (ciclo 1997-1998), y se contaron todos los frutos presentes por árbol. Posteriormente, se obtuvo el promedio de las ocho repeticiones.

La tasa de fotosíntesis aparente se cuantificó por medio de un sistema portátil de análisis de gases "IRGA" (modelo LI-6200). Las evaluaciones de la tasa de fotosíntesis neta se realizaron durante la fructificación porque es cuando hay más demanda y antes de la floración, porque es muy reducida la demanda. Se hicieron en una hoja por árbol y se tomaron al azar tres árboles por tratamiento (tres

repeticiones). Las hojas seleccionadas fueron similares en tamaño, completamente maduras y aparentemente sanas y situadas cerca del ápice de ramas del último flujo de crecimiento, de la parte oriental del árbol. Las evaluaciones se hicieron de las 9 a las 12 h. En el segundo año se presentó alternancia de la producción.

Para la determinación de macro y micronutrientes, se obtuvieron 60 hojas sanas por tratamiento, de tamaño similar y colocadas en la quinta posición, de ramas vegetativas sin frutos del último flujo de crecimiento, colocadas a una altura aproximada de 1.70 m del nivel del suelo, que hubieran estado recibiendo total iluminación y distribuidas en los cuatro puntos cardinales del árbol. Las muestras se transportaron al laboratorio en una hielera portátil; se procedió a lavar el material vegetal con jabón neutro y se enjuagó con agua destilada. Se eliminó el exceso de agua con papel absorbente. El material vegetal se secó en estufa a 70 °C durante 72 h; después se molieron hasta que pasaron una malla número 60.

La determinación de nitrógeno se realizó por el método de microkjeldahl (Bremner, 1965). Después de la digestión húmeda del tejido vegetal, el P se determinó por el método del complejo amarillo de vanamolibdato (Jackson, 1964). El potasio se determinó en el espectrofotómetro de flama (Isaac y Kerber, 1971). El Ca, el Mg y los micronutrientes se evaluaron de acuerdo con Bradfield y Spencer (1965) y luego con espectrofotometría de plasma, en el Colegio de Postgraduados. Los resultados se interpretaron mediante la técnica Kenworthy (1961), para lo cual se utilizó el paquete computacional 'DIAGFOL', el cual fue adaptado para cítricos (Corona *et al.*, 2000); se utilizaron estándares y coeficientes de variación generados para naranjos en el estado de Veracruz (Maldonado y Vergara, 1993).

El contenido foliar de azúcares totales se determinó con el método descrito por Witham *et al.* (1971) y el contenido foliar de almidón por el método de Ortega y Rodríguez (1979).

Para evaluar el rendimiento, se consideró el peso promedio de una naranja (0.2648 kg), el número de árboles por hectárea (277) y el número de frutos totales por árbol para cada año. El peso promedio de la naranja se obtuvo de 40 naranjas distribuidas en los cuatro puntos cardinales del árbol. Se tomaran cuatro árboles por tratamiento para contar los frutos, lo que se consideró como muestra representativa.

Se realizaron un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias DSH (diferencia significativa honesta), según el procedimiento de Tukey, ambas con $P = 0.05$, a través del paquete computacional Statistical Analysis System (SAS Institute, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSION

Número de Frutos Totales por Arbol

En el primer ciclo de producción, los árboles asperjados con urea al 4%, con fertilizante completo o con tratamiento combinado (dos aplicaciones de fertilizante completo más cuatro de urea al 4%), produjeron mayor número de frutos con relación al testigo y fertilización al suelo (Cuadro 1). En estos tres tratamientos se incluyó como fertilizante principal la urea foliar, misma que, asperjada al follaje, es rápidamente absorbida y metabolizada en el tejido de la hoja, siendo una eficiente vía de abastecimiento de nitrógeno, por lo que pudo contribuir a incrementar el rendimiento, como lo señalan Cahoon y Danoho (1982). En el segundo ciclo de producción, los árboles tratados con urea 4%, con fertilizante al suelo, y el tratamiento combinado, presentaron los mayores valores para el número de frutos. Esos tratamientos contenían urea en una cantidad mayor que el tratamiento completo, en el cual el número de frutos fue menor que el tratamiento con urea al 4%, lo que respalda la suposición de que este compuesto incrementó el amarre. Tales resultados de incremento en el número de frutos por árbol concuerdan con Anwar y Lovatt (1994), quienes aplicaron urea foliarmente en naranja 'Washington Navel' durante el invierno por tres años consecutivos, y lograron aumentar el número de frutos por árbol en 25%.

Tasa de Fotosíntesis Neta

Los tratamientos de fertilización no ejercieron un efecto significativo en la tasa de fotosíntesis neta en los dos ciclos de evaluación; sin embargo, en la primera fecha (16 de septiembre de 1997), los naranjos tenían frutos en crecimiento y tuvieron mayor fotosíntesis, en relación con la segunda fecha (6 de febrero de 1998), cuando los árboles se encontraban sin frutos (prefloración) y la fotosíntesis neta se redujo de 60 a 70% del valor observado en la primera fecha (Cuadro 1), lo que coincide con Lenz (1978), quien encontró que árboles de *Citrus madurensis* al frutificar presentaron valores más altos de fotosíntesis ($4.8 \text{ mL CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ a 2% de CO_2), que aquéllos que no tenían frutos ($2.01 \text{ mL CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$), debido a que la presencia de los frutos estimula la fotosíntesis.

Balance Nutrimental

En el primer año de evaluación, se mejoró, en buena parte, la concentración foliar de zinc en las hojas de los árboles asperjados con fertilizante completo, ya que en la composición de dicho fertilizante, incluía 0.1% de sulfato de zinc (Cuadro 2). En el segundo año de evaluación, las hojas de los árboles del tratamiento combinado tenían valores bajos de potasio. En este último caso, la deficiencia de Zn pudo deberse a que la mayoría de las aplicaciones eran de urea al 4%, llevando sólo dos aplicaciones de fertilizante completo. Por otra parte, las aplicaciones de fertilizante completo mejoraron el nivel nutrimental de las hojas de los árboles tratados, ya que se presentó un efecto positivo en la absorción foliar de hierro, cobre y zinc (Cuadro 3).

Cuadro 1. Número de frutos totales por árbol y tasa de fotosíntesis neta en hojas de naranjo 'Valencia Late' sometidos a varios tratamientos de fertilización. Tecolutla, Ver.

Tratamiento	Número de frutos por árbol		Tasa de asimilación de CO_2	
	13 septiembre 1997	28 julio 1998	Fructificación	Prefloración
	----- $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ -----			
Testigo (T1)	145.62 b [†]	81.25 c	10.35 a	3.39 a
Fert. suelo (T2)	134.34 b	205.37 ab	13.75 a	4.03 a
Urea 4% (T3)	274.37 a	273.37 a	12.89 a	3.60 a
Completo (T4)	272.25 a	131.37 bc	11.51 a	4.37 a
Combinado (T5)	337.62 a	188.12 ab	13.47 a	4.66 a

[†] Medias con la misma letra entre columnas son estadísticamente iguales. (Tukey $P = 0.05$).

Cuadro 2. Concentración e índices de balance nutrimental de hojas de árboles de naranjo 'Valencia Late' sometidos a varios tratamientos de fertilización. Tecolutla, Ver. (30 de septiembre de 1996).

Tratamiento ¹		Concentración mineral									Orden nutrimental
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	
		%									
		µg·g ⁻¹									
1	CN ¹	2.4	0.13	0.4	10.5	0.2	42.9	65.1	0.4	17.8	Zn > K > Mn > Fe > P >
	IB ²	98.4	90.9	52.8	193.2	93.1	71.4	226.8	58.4	49.5	Mg > N > Ca > Cu
	C ³	N	N	BN	EX	N	BN	EX	BN	ES	
2	CN	2.5	0.13	0.5	12.3	0.2	55.9	47.8	0.6	18.7	Zn > K > Mn > Fe > Mg >
	IB	101	95	55	220	88	77	187	58	50	P > N > Cu > Ca
	C	N	N	BN	EX	N	BN	EX	BN	BN	
3	CN	2.2	0.12	0.4	8.9	0.13	16.5	46.3	13.5	9.5	Zn > K > Fe > Mn > Mg >
	IB	90.3	90.3	50.4	168.9	68.1	59.2	183.6	66.7	40.2	N > P > Ca > Cu
	C	N	N	BN	EX	BN	BN	EX	BN	ES	
4	CN	2.3	0.12	0.5	24.9	0.2	54.7	35.3	7.9	37.4	K > Mn > Zn > Fe > P >
	IB	92.8	88.8	55.2	415.4	90.6	76.8	158.3	63.2	71.7	Mg > N > Cu > Ca
	C	N	N	BN	EX	N	BN	EX	BN	BN	
5	CN	2.2	0.09	0.4	12.3	0.17	43.6	69.9	29.7	16.3	Zn > K > Fe > Mn > Mg >
	IB	90.3	80.6	50.4	220.4	79.7	71.7	237.9	77.1	47.8	P > N > Ca > Cu
	C	N	BN	BN	EX	BN	BN	EX	BN	ES	

¹ Tratamiento: 1 = Testigo, 2 = Fertilizante al suelo, 3 = Urea foliar al 4%, 4 = Fertilizante completo, 5 = Fertilizante combinado.

² CN = Composición nutrimental; ³ IB = Índice de balance de Kenworthy; ⁴ Condición: ES = Escasez, BN = Debajo del normal, N = Normal, AN = Arriba del normal, EX = Exceso.

En el tercer año de evaluación, las hojas de los árboles tratados con fertilizante al suelo, urea al 4%, fertilizante completo y combinado, mejoraron sus niveles de nitrógeno, y fósforo. La concentración foliar de magnesio no se vio tan favorecida en los árboles

asperjados con fertilizante completo y con el tratamiento combinado (Cuadro 4).

Para los tres años de evaluación, la deficiencia de zinc en el follaje se explica por la deficiente traslocación que presenta el portainjerto (naranjo agrio)

Cuadro 3. Concentración e índices de balance nutrimental de hojas de árboles de naranjo 'Valencia Late' sometidos a varios tratamientos de fertilización. Tecolutla, Ver. (16 de septiembre de 1997).

Tratamiento ¹		Concentración mineral									Orden nutrimental
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	
		%									
		µg·g ⁻¹									
1	CN ¹	2.1	0.1	0.6	15.2	0.2	37.2	33.5	0.8	30.3	Mn > K > Zn > Fe > N > P
	IB ²	88	92	61	265	98	68	154	58	63	Mg > Cu > Ca
	C ³	N	N	BN	EX	N	BN	EX	BN	BN	
2	CN	2.3	0.1	0.5	20.7	0.2	43.7	75.9	18.9	15.5	Zn > K > Mn > Fe > Mg > P
	IB	94	84	54	350	82	71	251	70	46	N > Cu > Ca
	C	N	N	BN	EX	BN	BN	EX	BN	ES	
3	CN	2.6	0.1	0.5	15.7	0.19	57.7	37.2	23.7	22.1	K > Zn > Mn > Fe > P > Mg
	IB	105	82	53	273	86	78	162	73	54	N > Cu > Ca
	C	N	BN	BN	EX	N	BN	EX	BN	BN	
4	CN	2.1	0.1	0.6	24.3	0.2	83.6	26.5	14.2	52.9	K > Mn > N > Zn > Fe > M
	IB	86	93	59	405	91	90	137	67	89	> P > Cu > Ca
	C	N	N	BN	EX	N	N	AN	BN	N	
5	CN	2.3	0.1	0.4	9.6	0.1	36.0	35.2	11.3	20.5	K > Zn > Mn > Fe > Mg > P
	IB	93	79	48	179	72	68	158	65	52	N > Cu > Ca
	C	N	BN	ES	EX	BN	BN	EX	BN	BN	

¹ Tratamiento: 1 = Testigo, 2 = Fertilización al suelo, 3 = Urea foliar al 4%, 4 = Fertilizante completo, 5 = Fertilizante combinado.

² CN = Composición nutrimental, ³ IB = Índice de balance de Kenworthy; ⁴ Condición: ES = Escasez, BN = Debajo del normal, N = Normal, AN = Arriba del normal, EX = Exceso.

Cuadro 4. Concentración e índices de balance nutrimental de hojas de árboles de naranjo 'Valencia Late' sometidos a varios tratamientos de fertilización. Tecolutla, Veracruz (5 de febrero de 1998).

Tratamiento ¹		Concentración mineral									Orden nutrimental
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	
		%			$\mu\text{g g}^{-1}$						
1	CN ¹	1.8	0.1	0.46	22	0.2	45	50	68	27	K > Zn > Fe > N > P > Mg Mn > Cu > Ca
	IB ²	77	82	53	382	83	72	192	101	59	
	C ³	BN	BN	BN	EX	N	BN	EX	N	BN	
2	CN	2.3	0.1	0.4	14	0.2	52	42	82	18	Zn > K > Fe > Mg > P > N > Mn > Cu > Ca
	IB	95	86	50	250	83	75	174	111	49	
	C	N	N	BN	EX	N	BN	EX	N	ES	
3	CN	2.5	0.1	0.5	15	0.2	67	43	45	15	Zn > K > Fe > Mn > Mg > P > N > Cu > Ca
	IB	101	100	54	260.3	89	82	177	86	47	
	C	N	N	BN	EX	N	BN	EX	N	ES	
4	CN	2.4	0.1	0.3	14	0.2	44	42	35	14	Zn > K > Fe > Mg > Mn > P > N > Cu > Ca
	IB	97	89	48	252	77	72	175	81	45	
	C	N	N	ES	EX	BN	BN	EX	BN	ES	
5	CN	2.3	0.1	0.4	22	0.2	45	37	0.6	14	Zn > P > Mn > Fe > Mg > P > N > Cu > Ca
	IB	95	89	52	357	78	72	164	58	46	
	C	N	N	BN	EX	BN	BN	EX	BN	ES	

¹ Tratamiento: 1 = Testigo, 2 = Fertilización al suelo, 3 = Urea foliar al 4%, 4 = Fertilizante completo, 5 = Fertilizante combinado.

² CN = Composición nutrimental. ³ IB = Índice de balance de Kenworthy. ⁴ Condición: ES = Escasez, BN = Debajo del normal, N = Normal, AN = Arriba del normal, EX = Exceso.

con relación a este elemento. De acuerdo con los Cuadros 2, 3 y 4, la concentración de nitrógeno en el follaje fue normal para las tres fechas: La concentración de nitrógeno en el suelo fue intermedia.

Las aspersiones foliares de urea al 4% y combinado (completo y urea al 4%) no incrementaron significativamente el nitrógeno total del follaje de los árboles al final de los dos años de evaluación (Cuadros 3 y 4). La urea normal aplicada al follaje posiblemente se canalizó más para frutos, que para hojas y ramas (Papanikolaou *et al.*, 1988).

El orden nutrimental se afectó poco con los tratamientos aplicados.

Concentración Foliar de Carbohidratos

En la primera y la segunda fecha de evaluación, las hojas de los árboles con el tratamiento combinado presentaron mayor cantidad de azúcares totales. Para la tercera fecha, la concentración foliar de azúcar fue alta para los árboles tratados con fertilización al suelo y urea al 4% (Cuadro 5). Para el caso del almidón foliar, en la primera fecha de evaluación, la concentración fue mayor para los árboles que recibieron los tratamientos del fertilizante completo y combinado (Cuadro 5). En esta fecha (30 de septiembre de 1996), los árboles no presentaban mucha carga de naranja (datos no presentados); sin embargo, los árboles de estos dos

Cuadro 5. Concentración foliar de carbohidratos de árboles de naranjo 'Valencia Late' sometidos a varios tratamientos de fertilización en tres fechas de evaluación. Tecolutla, Ver.

Tratamiento	Carbohidratos					
	30 septiembre 1996		16 septiembre 1997		5 febrero 1998	
	Azúcar	Almidón	Azúcar	Almidón	Azúcar	Almidón
$\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco						
Testigo	62.9 ab	7.8 a [†]	85.5 a	28.2 a	29.03 a	20.83 a
Fertilización suelo	9.8 b	1.6 a	111.1 a	26.1 a	135.92 b	20.60 a
Urea 4%	71.9 ab	15.3 a	111.1 a	29.4 a	160.24 b	21.56 a
Completo	78.9 ab	44.6 b	85.5 a	24.4 a	72.55 a	16.83 a
Combinado	245.4 c	46.0 b	155.8 b	37.76 b	36.06 a	12.75 a

[†] Medias con la misma letra entre columnas son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.01).

tratamientos presentaron un alto número de frutos por árbol para el año de 1997. Schaffer *et al.* (1985) reportaron incrementos de carbohidratos en algunas partes del árbol previo al año de alta producción. Por su parte, Maksoud *et al.* (1994), al aplicar al follaje $MgSO_4$ al 1% sobre naranja 'Navel', incrementaron la concentración foliar de carbohidratos. Finalmente, en la tercera fecha no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de almidón.

Rendimiento Estimado

Para el primer ciclo de evaluación, el mejor rendimiento corresponde a los árboles que recibieron el tratamiento combinado, con un rendimiento estimado de 24.76 t ha^{-1} , mientras que el testigo obtuvo un rendimiento de 10.68 t ha^{-1} . Para este mismo ciclo, los árboles asperjados con urea al 4% alcanzaron un rendimiento de 20.12 t ha^{-1} y para el segundo 20.05 t ha^{-1} y, si se considera que el testigo alcanzó un rendimiento de 5.95 t ha^{-1} , puede concluirse que se mejoró el rendimiento con las aplicaciones de urea al follaje, sobre todo por que se eliminó la alternancia, que, como puede observarse en el testigo, se tuvo una reducción de casi la mitad de la producción para el segundo ciclo de producción. Otro tratamiento, que también indujo una reducción de la alternancia, fue la aplicación de fertilizante al suelo. En este caso, no

hubo mucha respuesta de los árboles a la fertilización del primer año, pero al segundo se observó un incremento en el rendimiento, debido posiblemente a que el suelo tenía niveles bajos de fósforo y medianos de nitrógeno y potasio, debido a que, en general, los experimentos de aplicación de fertilizantes en México, no tienen adecuada respuesta en el primer año de evaluación, ya que su metabolismo es más lento que las plantas anuales. Cabe mencionar que los niveles foliares de N y P fueron normales durante todo el periodo del experimento, aunque los de K fueron bajos y, a pesar de que se aplicó al suelo en un tratamiento, no se incrementó su concentración.

Análisis Financiero

Se realizó una evaluación económica de los tratamientos, haciendo referencia únicamente al costo de los fertilizantes y su aplicación. Puede observarse que el tratamiento que, en promedio, proporciona mayor ingreso al productor, es la aplicación de urea al follaje (Cuadro 6).

Ingreso. Se calculó con base en el promedio de los dos ciclos de producción evaluados, considerando un precio de venta de \$575.00 por tonelada. Al valor obtenido se le restó el costo de los fertilizantes, incluida la mano de obra.

Cuadro 6. Rendimiento, ingreso y costos de la aplicación de tratamientos de fertilizantes en naranja. Tecolutla, Ver.

Tratamiento	Número de jornales utilizados ¹	Costo de jornales ²	Costo del fertilizante ³	Costo total	Rendimiento en el primer ciclo	Rendimiento en el segundo ciclo	Ingreso
							promedio para los dos ciclos de producción
							\$
Testigo	-	-	-	-	10.68 b [#]	5.95 c	4781.12
Fertilización al suelo	6	300	1673.49	1973.00	9.85 b	15.06 ab	5188.62
Urea al 4% foliar	21	1050	277.05	1327.00	20.12 a	20.05 a	10221.87
Fertilización completo	21	1050	350.10	1400.10	19.96 a	9.63 bc	7107.02
Fertilización combinado	21	1050	298.15	1348.15	24.76 a	13.79 ab	9734.97

¹ Número de jornales. Se calculó considerando que se aplicaron 2.5 L de solución por árbol, se tuvieron 277 árboles y en un jornal se aplican 200 l. de solución.

² El costo de un jornal se consideró de \$50.00.

³ Costo del fertilizante: urea, \$1669; superfosfato de calcio triple, \$2280.00; y cloruro de potasio, \$1472.00. En el caso de la aplicación de fertilizante al suelo, el costo del fertilizante nitrogenado fue de \$944 ha^{-1} ; para fósforo fue de \$576.6 ha^{-1} y potasio de \$152.89, lo que en total da \$1673.49 ha^{-1} . En la fertilización foliar, se aplicaron aproximadamente 700 L ha^{-1} , por lo que se ocuparon 3.5 jornales, y fueron seis aplicaciones por año, en total se utilizaron 21 jornales ha^{-1} año⁻¹.

[#] Medias con la misma letra entre columnas son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05).

CONCLUSIONES

- En el primer ciclo de evaluación, los árboles, que recibieron el tratamiento combinado, incrementaron el rendimiento, en relación con el testigo y con los árboles fertilizados al suelo, con la dosis recomendada para la zona. En el segundo ciclo, los árboles tratados con urea al 4% incrementaron su rendimiento.
- La aplicación foliar del tratamiento combinado incrementó la concentración de carbohidratos en hojas de naranjo en las primeras dos fechas de evaluación.
- El nitrógeno total no se incrementó por las aplicaciones foliares de urea normal al 4%. Los elementos más requeridos por los árboles fueron: Zn, K, Mn y Fe.
- La tasa fotosintética neta se vio favorecida cuando el árbol se encontraba en fructificación.
- La aplicación foliar de urea al 4% incremento en 100% los ingresos.

LITERATURA CITADA

- Anwar, G.A. y J.C. Lovatt. 1994. Winter application of low-biuret urea to the foliage of 'Washington Navel' orange increased yield. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 119: 1144-1150.
- Becerril R., A.E. y J. Rodríguez A. 1989. Producción forzada en frutales de clima templado. pp. 3-6. *In: Memorias del Simposium Producción Forzada en Frutales*. Centro de Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Bradfield, E.G. y D. Spencer. 1965. Leaf analysis as a guide to the nutrition of fruit crops: Determination of magnesium, zinc, and copper by atomic absorption spectroscopy. *J. Sci. Food Agr.* 16: 33-38.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. pp. 1149-1178. *In: C.A. Black (ed.). Methods of soil analysis, part 2*. Agronomy 9. ASA. Madison, WI.
- Cahoon, G.A. y C.W. Danoho Jr. 1982. The influence of urea sprays, mulch and pruning on apple tree decline. *Res. Circ. Ohio Agr. Res. and Devel. Center* 272: 16-19.
- Corona, S.T., G. Almaguer V. y R. Maldonado T. 2000. Sistema computarizado experto en diagnóstico nutrimental en cítricos. Terra. En revisión.
- CSTPA. 1980. Handbook on reference methods for soil testing. Council on Soil Testing and Plant Analysis. USA.
- Curti D., S.A., M. Orozco S., U. Diaz Z., X. Loreda, R. Rodríguez M., R.A. Parra Q. y J.A. Sandoval R. 1993. Manual de producción de los cítricos en Veracruz. Folleto para productores Núm. 5. Centro de Investigación Regional del Golfo Centro. INIFAP. SAGAR. Papanla, Ver., México.
- Eibner, R. 1985. Foliar fertilization importance on prospects in crop production. pp. 412. *In: Proc. First Int. Symp. Foliar Fert.* Berlin, Germany.
- Embleton, T.W., W.W. Jones, C.K. Labanuscas y W. Reuther. 1973. Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilization. pp. 183-210. *In: W. Reuther (ed.). Citrus Industry*. University of California. U.S.A.
- Evans, J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. *Oecologia* 74: 9-19.
- Faust, M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. John Wiley, USA.
- García M., E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Gómez C., M.A., R. Schwentesius y G. Alberto B. 1994. Naranja triste. Competitividad de la naranja de Veracruz, México frente a la de Florida, EUA y la de Sao Paulo, Brasil. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Isaac, R.D. y J.D. Kerber. 1971. Atomic absorption and flamephotometry: Techniques and uses in soil, plant and water analysis. pp. 125-253. *In: L.M. Walsh (ed.). Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue*. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Jackson, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Omega. Barcelona, España.
- Kenworthy, A.L. 1961. Interpreting the balance of nutrient in leaves of fruit trees. pp. 65-93. *In: W. Reuther (ed.). Plant analysis and fertilizer problems*. Publication 8. American Institute of Biological Science. USA.
- Lenz, F. 1978. Photosynthesis and respiration of citrus as dependent upon fruit load. pp. 70-71. *In: Proc. Int. Soc. Citriculture*.
- Maksoud, M.A., L.F. Haggag y L.W. Khalil. 1994. The nutrient status and yield of Washington navel orange trees grown in sandy soil as affected by magnesium sulfate fertilizer. *Ann. Agric. Sci.* 39: 365-377.
- Maldonado, T.R. y M.A. Vergara S. 1993. Diagnóstico nutrimental de naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck), en varias regiones cítricas de México. pp. 111-121. *In: Memorias Simp. Int. Sist. Prod. Cítricos*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Mengel, K. y E.A. Kirby 1982. Principles of plant nutrition. pp. 295-491. International Potash Institute. Switzerland.
- Moreno D., R. 1978. Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrimentos asimilables. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, DF.
- Ortega D., M.L. y C. Rodríguez. 1979. Estudio de carbohidratos en cultivares mexicanos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L.). *Agrociencia* 37: 33-49.
- Papanikolaou, E.O., V. Sharlou, M. Laupassaki y C. Nobelic. 1988. Fertilizer efficiency studies in citrus tree using isotopically labelled nitrogen. *Adv. Hort. Sci.* 2(1): 3-7.
- Romero, A.R. y J.P. Syvertsen. 1996. The influence of foliar applied urea nitrogen and saline solution on gas exchange of citrus leaves. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121: 501-506.
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1993. Sistema ejecutivo de datos básicos. Subsecretaría de Planeación. Avances varios. México, DF.
- SAS Institute. 1988. SAS Stat user's guide. Release 6.03. SAS Institute. USA.
- Schaffer, A.A., E.E. Goldschmidt, R. Goren y D. Galili. 1985. Fruit set and carbohydrate status in alternate and nonalternate bearing citrus cultivars. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 111: 574-578.
- Syvertsen, J.P. 1986. CO₂ assimilation and water use efficiency of young expanding citrus leaves. *Acta Hort.* 171: 229-236.
- Syvertsen, J.P. 1987. Nitrogen content and CO₂ assimilation characteristics of citrus leaves. *HortScience* 22: 289-291.

- Tavera, S.G. 1985. Criterios para la interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para las áreas de asistencia técnica. Publicación 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Delegación La Laguna. Matamoros, México.
- Tisdale, S.L. y L.N. Werner. 1988. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Primera ed. español. Traducido por Jorge Balasch y C. Poña. UTEHA. México, D.F.
- Witham, F.H., D.F. Blaydes y R.M. Devlin. 1971. Experiments in plant physiology. Van Nostrand Reinhold. USA.

MID-TERM EFFECTS OF TILLAGE ON MICROBIAL BIOMASS AND NUTRIENT DISTRIBUTION IN VERTISOLS AND ANDISOLS UNDER RAIN-FED CORN PRODUCTION

Efecto a Mediano Plazo de Labranza en la Distribución de la Biomasa Microbiana y Nutrientos en Vertisoles y Andosoles bajo Producción de Maíz de Temporal

J.R. Salinas-García², J. de J. Velázquez-García¹, E. Rosales-Robles², A.D. Báez-González¹, M. Tiscareño-López¹, and S. Uribe-Gómez¹

SUMMARY

Quantifying how tillage systems affect soil microbial biomass and nutrient distribution by manipulating crop residue placement is important for understanding how production systems can be managed to sustain soil productivity. The objectives were to characterize soil microbial biomass, N mineralization and nutrient distribution in soils (Vertisols and Andisols) under rain-fed corn production for six years with three tillage management systems in Michoacán, Mexico. Treatments include three tillage systems: conventional tillage (CT), minimum tillage (MT) and no tillage (NT). Soil samples were collected at the three locations, at depths of 0 to 50, 50 to 100, and 100 to 200 mm one week before corn planting. Conservation tillage treatments (minimum, and no tillage) significantly increased crop residue accumulation on the soil surface. Soil organic C, microbial biomass C and N, N mineralization, total N, and extractable P were higher for all treatments at the 0 to 50 mm depth. These parameters were highest in the surface layer of no tillage and decreased with depth. Soil organic C, microbial biomass C and N, total N and extractable P of plowed soil were generally more evenly distributed over the 0 to 200 mm depth. Nitrogen mineralization

was closely associated with microbial biomass and organic C. Higher levels of soil organic C, microbial biomass C and N, N mineralization, total N, extractable P were directly related to surface accumulation of crop residues promoted by conservation tillage management. No tillage corn grain yield was higher or equal to CT. The sustainability of the soils under rain-fed corn production appeared to be enhanced with conservation tillage management.

Index words: Mid-term tillage, surface crop residues, soil organic carbon, microbial biomass C and N, total and inorganic N.

RESUMEN

Cuantificar el efecto de los sistemas de labranza en la distribución de la biomasa microbiana y los nutrientes, al manipular los residuos de cosecha, es importante para el entendimiento de cómo los sistemas de producción pueden ser manejados para lograr la sostenibilidad de la producción del suelo. Los objetivos de esta investigación fueron: caracterizar la biomasa microbiana, la mineralización de N y la distribución de nutrientes en suelos (Vertisoles y Andosoles) con producción de maíz de temporal en tres experimentos a mediano plazo (seis años) en Michoacán, México. Los tratamientos incluyeron tres sistemas de labranza: labranza convencional (CT), labranza mínima (MT) y labranza cero (NT). Se tomaron muestras de suelo en las tres localidades una semana antes de la siembra, a profundidades de 0 a 50, 50 a 100 y 100 a 200 mm. Los tratamientos de labranza de conservación (mínima y cero) incrementaron significativamente la acumulación de residuos de cosecha sobre la superficie del suelo. El contenido de carbono orgánico, carbono y nitrógeno de biomasa microbiana, la mineralización de nitrógeno, el nitrógeno total, y el fósforo asimilable fueron mayores en todos los

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENAPROS, Aramen 11, Col. Felix Ireta, 58070 Morelia, Michoacán.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noreste, Apartado Postal 172, 88900 Río Bravo, Tamaulipas. Tel: (893) 4-10-45 and (893) 4-10-46. (salinasj@cirne.inifap.conacyt.mx and jrs050@yahoo.com)

tratamientos en la profundidad de 0 a 50 mm. Estos parámetros fueron los más altos en la capa superficial del suelo en el tratamiento de labranza cero y decrecieron al aumentar la profundidad. El contenido de carbono orgánico, carbono y nitrógeno de biomasa microbiana, nitrógeno total y fósforo asimilable en los suelos barbechados se distribuyó uniformemente en la capa arable de 0 a 200 mm. La mineralización de nitrógeno se asoció estrechamente con el contenido de biomasa microbiana y de carbono orgánico. Los mayores niveles de carbono orgánico, de carbono y nitrógeno de biomasa microbiana, la mineralización de nitrógeno, el nitrógeno total y el fósforo asimilable se relacionaron directamente con la acumulación de residuos de cosecha promovido por el manejo de labranza de conservación. El rendimiento de grano de maíz con cero labranza fue superior o igual al de labranza convencional. La labranza de conservación puede ayudar a incrementar la sostenibilidad de estos suelos para la producción de maíz de temporal.

Palabras clave: Labranza a mediano plazo, residuos de cosecha, carbono orgánico, C y N de biomasa microbiana, nitrógeno total e inorgánico.

INTRODUCTION

Heightened interest in the sustainability of agriculture has occurred in recent years in Mexico. Sustainable crop production requires that the soil be in good biological, physical, and chemical condition. According to the 1993 'Censo Agrícola y Ganadero', crop management strategies in Mexico differ depending on environmental and socioeconomic conditions and affect the choice of crop, crop sequence, crop residue utilization, tillage systems and fertilization (INEGI, 1993). Conventional tillage (intensive tillage), crop residue removal and the continuous growing of corn, as are widely practiced in Mexico, generally increase productivity by temporarily improving soil physical conditions (soil-air-water relations) necessary for optimal plant growth. However, these management systems are known to increase the loss of soil organic matter (SOM) as a result of mixing of the soil and crop residues, disruption of aggregates, and increased aeration. The loss of SOM and the destruction of soil aggregates promote deterioration of physical, chemical, and biological conditions over the

long-term. This deterioration often leads to decreased soil fertility, increased soil erosion, potential and water stress of rain-fed crops through reduced water infiltration and storage, decreased quality of surface water, and, thus, to diminished sustainability of agriculture (Blevins *et al.*, 1977).

This situation has required the development and implementation of tillage systems that improve biological, chemical and physical properties of soil necessary to maintain sustainable crop production. Alteration of soil conditions by tillage can significantly affect productivity and sustainability through influences on depth distribution, SOM, microbial activity, and nutrient dynamics (Doran and Smith, 1987; Follett and Peterson, 1988; Mahboubi *et al.*, 1993). Numerous reports in the past decade have found greater organic carbon and microbial activity in the soil surface layer of NT soil compared to CT soil in response to crop residue accumulation on the soil surface (Dalal *et al.*, 1991; Bauer and Black, 1994; Franzluebbers *et al.*, 1995a).

Crop residues retained on the soil surface by no tillage has been shown to reduce soil erosion, increase soil organic matter, and reduce requirements of labor and fuel under cereal grain and row crop culture (Claverán *et al.*, 1997; Salinas-García *et al.*, 1997a). However, questions emerged about the conservation tillage system that should be used to obtain these benefits. Considering these factors, a field experiment was designed to identify an appropriate conservation tillage system. The objective was to determine the effects of six years of conservation tillage on selected soil properties important to the productivity and sustainability of an Andisol and a Vertisol used for rain-fed corn production in Michoacán, Mexico.

MATERIALS AND METHODS

Three mid-term rain-fed field experiments with three tillage treatments were established in 1992 in Apatzingán (19° 00' N, 102° 13' E), Casas Blancas (19° 25' N, 101° 36' E), and Morelia (19° 48' N, 101° 03' E), in Michoacán, Mexico. Climatic and soil characteristics of experimental sites are presented in Table 1. The crop sequence in the three sites was continuous fallow-corn. Tillage treatments included conventional tillage (CT-disking stalks after harvest, followed by disk plowing and disking, then bedding);

Table 1. Climatic and soil characteristics of experimental sites.

Characteristics	Casas Blancas	Morelia	Apatzingán
Altitude (m)	2400	1822	330
Climate	Subhumid temperate	Temperate	Dry tropical
Annual precipitation (mm)	1100	698	650
Annual temperature (°C)	15	17	27
Soil type	Andisol	Vertisol	Vertisol
Particle distribution [†] (%)	13 - 42 - 45	15 - 29 - 56	20 - 30 - 50
Organic matter (%)	5.8	2.3	1.2
CEC (cmol kg ⁻¹ soil)	7.1	19.8	53
pH (1:2)	6.1	7.4	8.2

[†] Silt, sand, and clay.

no tillage (NT-shredding stalks) and minimum tillage (MT-shredding stalks and disking, then bedding). Conservation tillage treatments (NT and MT) were sprayed before planting with paraquat (0.4 kg ha⁻¹) and glyphosate (0.72 kg ha⁻¹) as needed for weed control. All tillage treatments were fertilized with INIFAP recommended doses for each region: 150-90-00 for Apatzingán, 120-90-00 for Casas Blancas, and 120-60-00 for Morelia. Fertilization was applied at planting. Corn was sown in June at Apatzingán and Morelia and in April at Casas Blancas in 160-cm beds. A randomized, complete block design was used with treatments replicated three times. Tillage plots measured 3.20 by 10 m, and harvested plots measured 1.6 by 5 m. Row spacing was 80 cm.

Surface crop residue was collected one week before planting from two midrow to midrow 1 m² areas that were representative of each tillage treatment, stored in a warm and dry environment for four days to allow them to air dry and then weighed (Steiner *et al.*, 1994).

Soil samples were collected prior to the 1998 corn growing season one week before planting. Soil samples from each plot for chemical and biological analysis consisted of two composite sub-samples that were taken with a narrow spade and divided into segments of 0 to 50, 50 to 100, and 100 to 200 mm, placed on plastic bags and brought to laboratory for preparation. Soil samples were air-dried during a 2-day period and sieved (5-mm screen); visible pieces of crop residues and roots were removed and then samples were stored in plastic bags at room temperature until analyses.

Soil microbial biomass C and N were estimated using chloroform fumigation-incubation method (Jenkinson and Powlson, 1976) with the following modifications. Approximately 35 g air dry soil was placed in 50-mL beakers, brought to a water potential

of approximately field capacity with deionized water, preincubated for five days to stabilize soil microbial biomass following disturbance caused by drying and rewetting (Franzluebbers *et al.*, 1996). Fumigated and unfumigated soil samples were incubated in 1-L airtight canning jars in presence of 10 mL of 1 M KOH at 25 °C during 10 days. The amount of CO₂-C trapped in the alkali was determined by titration (Anderson, 1982). Soil microbial biomass C (SMBC) was determined using the following equation:

$$\text{SMBC} = (\text{mg CO}_2\text{-C kg}^{-1} \text{ soil } 10 \text{ days}^{-1})_{\text{fumigated}} - (\text{mg CO}_2\text{-C kg}^{-1} \text{ soil } 10 \text{ days}^{-1})_{\text{unfumigated}} / K_c \quad (1)$$

Where $K_c = 0.41$ (Voroney and Paul, 1984)

Unfumigated and fumigated soils were incubated during 10 d, dried at 60 °C for 24 h and sieved to pass a 2 mm screen (Franzluebbers *et al.*, 1995b; Franzluebbers, 1999). A 7 g portion was extracted in 28 mL of 2 M KCl for 30 min on a reciprocating shaker. The soil extract was analyzed for NH₄⁺-N using spectrophotometer techniques (Plenecassagne *et al.*, 1997). Soil microbial biomass N (SMBN) was determined using following equation:

$$\text{SMBN} = [(\text{mg NH}_4^+\text{-N kg}^{-1} \text{ soil } 10 \text{ days}^{-1})_{\text{fumigated}} - (\text{mg NH}_4^+\text{-N kg}^{-1} \text{ soil})_{\text{unfumigated}}] / K_N \quad (2)$$

Where $K_N = 0.41$ (Carter and Rennie, 1982).

Potential nitrogen mineralization was estimated from the quantities of NH₄⁺-N and NO₃⁻-N that were mineralized from unfumigated samples (incubated for 0, 5, 10, and 15 days at 25 °C and a soil water potential of -0.03 MPa) (Campbell *et al.*, 1991) using spectrophotometer techniques with indophenol blue method (Plenecassagne *et al.*, 1997) and Cd

reduction method (Mulvaney, 1996), respectively. Day 0 represents the *in situ* inorganic soil N concentration.

Another portion of soil was used for chemical analyses, it was grounded to pass a 0.5-mm sieve. Total Kjeldahl N (TKN) was determined by digestion in H_2SO_4 (Nelson and Sommers, 1980), followed by analysis of NH_4^+ -N using a spectrophotometer (Plenecassagne *et al.*, 1997). Total soil organic C was determined by the Walkley-Black method (Nelson and Sommers, 1982). Extractable P was removed with 0.5 M $NaHCO_3$, pH 8.5 and determined using a colorimetric molybdate blue method (Olsen *et al.*, 1954) for alkaline and neutral soils. While for acid soil, extractable P was removed with 0.025 N HCl in 0.03 N NH_4F and determined using a colorimetric ascorbic acid method (Bray and Kurtz, 1945). Soil bulk density was calculated from dry weight ($105^\circ C$, 48 h) and the volume of samples taken with a hammer-driven core sampler (132.88 cm^3) and was used to convert soil chemical and biological properties from a mass to a volume basis (Blake, 1965). Corn was harvested by hand and threshed by machine from 16 m^2 area. Grain weights were determined and the resulting weights were adjusted to 14% moisture basis, then converted to $kg\text{ ha}^{-1}$.

Differences in soil chemical and biological parameters attributed to tillage treatments were analyzed by ANOVA (SAS Institute Inc., 1985). Duncan's multiple-range test was used to separate significant differences in response parameters due to tillage (Steel and Torrie, 1980). Unless otherwise indicated, significance is indicated at $p \leq 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

Surface Crop Residue

Surface crop residue was significantly affected by tillage at Casas Blancas, Morelia, and Apatzingán (Figure 1). Surface crop residue was highest from soils under no tillage at the three sites, while soils receiving disk plowing exhibited the least residue. Quantity of residue from MT treatment was intermediate to those two extremes. The use of NT and MT resulted in increases in surface crop residues of 97, 94, and 90% at Casas Blancas, Morelia, and Apatzingán, respectively, compared to CT. Accretion of surface crop residues can be expected with tillage systems (i.e., NT and MT) which do not completely incorporate crop residues. Holland and Coleman

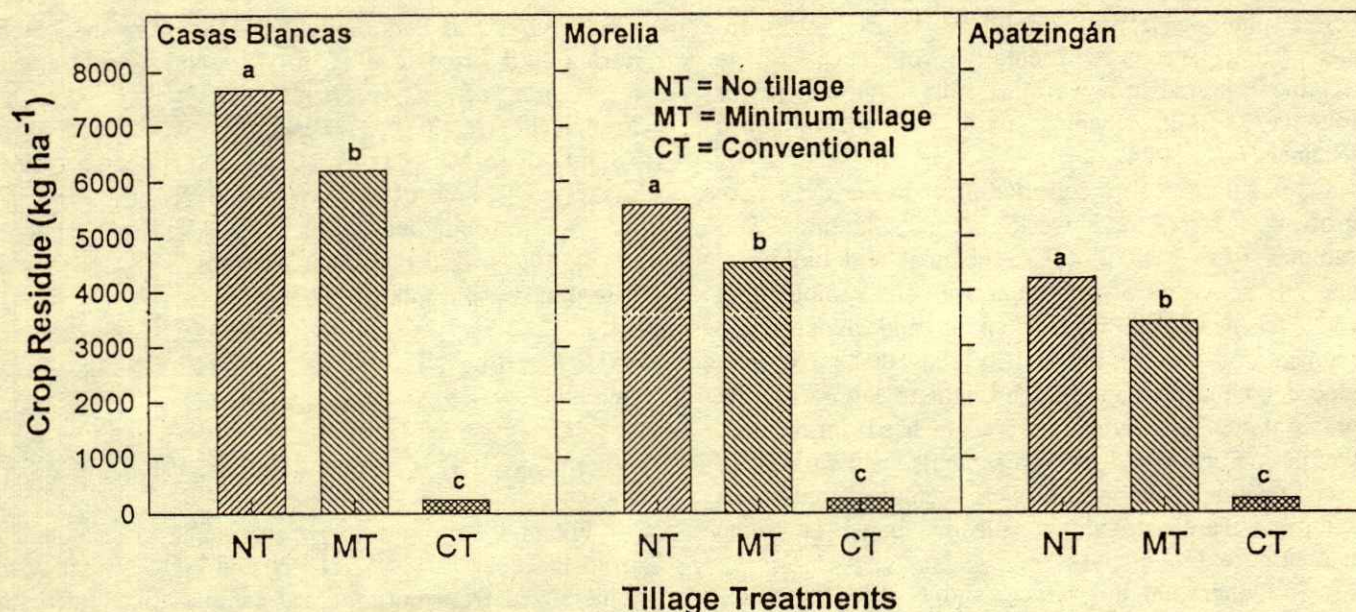


Figure 1. Crop residue on the soil surface as affected by tillage at three locations in Michoacán. Means within tillage treatments followed by the same letter are not significantly different (Duncan's $P \leq 0.05$).

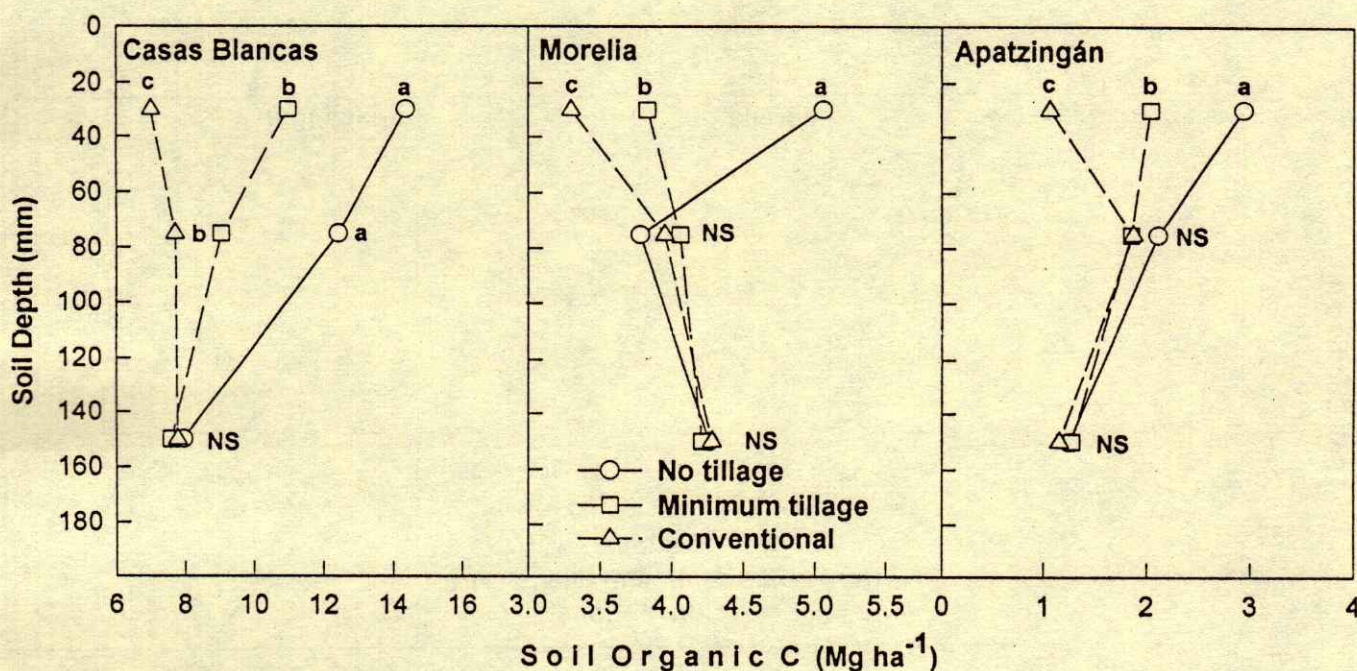


Figure 2. Depth distribution of soil organic carbon as affected by tillage at three locations in Michoacán. Means within depth followed by the same letter are not significantly different (Duncan's $P \leq 0.05$). NS indicates non-significant.

(1987) reported higher crop residue over the soil surface with no tillage compared with plowing because buried residue generally decomposes faster than crop residues left on the surface. Increased surface residues may be especially important in decreasing soil water loss by evaporation in the dry tropical region of Apatzingán, and reducing erosion on the steep-slop Andisols of the subhumid temperate region of Casas Blancas (Tiscareño-López *et al.*, 1999).

Soil Organic Carbon (SOC)

Soil organic C was significantly affected by tillage and generally decreased with soil depth at all locations (Figure 2). In the surface layer (0 to 50 mm), SOC average content was 10.8, 4.1, and 2.1 t ha⁻¹ at Casas Blancas, Morelia, and Apatzingán respectively; this difference is attributed to the higher initial organic matter content of Casas Blancas and Morelia, than Apatzingán. In the surface, SOC was 46, 36, and 57% greater with conservation tillage treatments (NT and MT) than with conventional tillage, at Casas Blancas, Morelia and Apatzingán, respectively. Those results occurred because tillage mixes crop residue throughout the tillage zone, whereas residues are concentrated on the soil surface with NT. Reduced contact between soil microorganisms and crop

residues resulting in slower organic matter decomposition is probably the main reason for SOC accumulation in NT. Brown and Dickery (1970) showed that percentage dry matter loss from wheat straw remaining on the soil surface or exposed above the soil during an 18-month period ranged from 22 to 40%. Losses of 93 to 98%, however, were observed for wheat straw incorporated into the soil. Below the surface at the three locations, SOC decreased with NT and MT, but tended to remain constant or actually increased in CT. Incorporation of crop residues with disk plow may account for this effect.

Soil organic C in the 0 to 200-mm layer was lowest with disk plowing because crop residues were incorporated resulting in higher organic matter decomposition. Differences in SOC concentrations between tillage systems were similar to those reported by Alvares *et al.* (1995). Those authors stated that after 15 years, SOC content in the surface 0 to 50 mm was 42 to 50% greater in NT than in plowed soils.

Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen

Soil microbial biomass C and N were significantly affected by tillage, only at the soil surface 0 to 50 mm, and followed a pattern similar to SOC with depth at Casas Blancas, Morelia, and Apatzingán

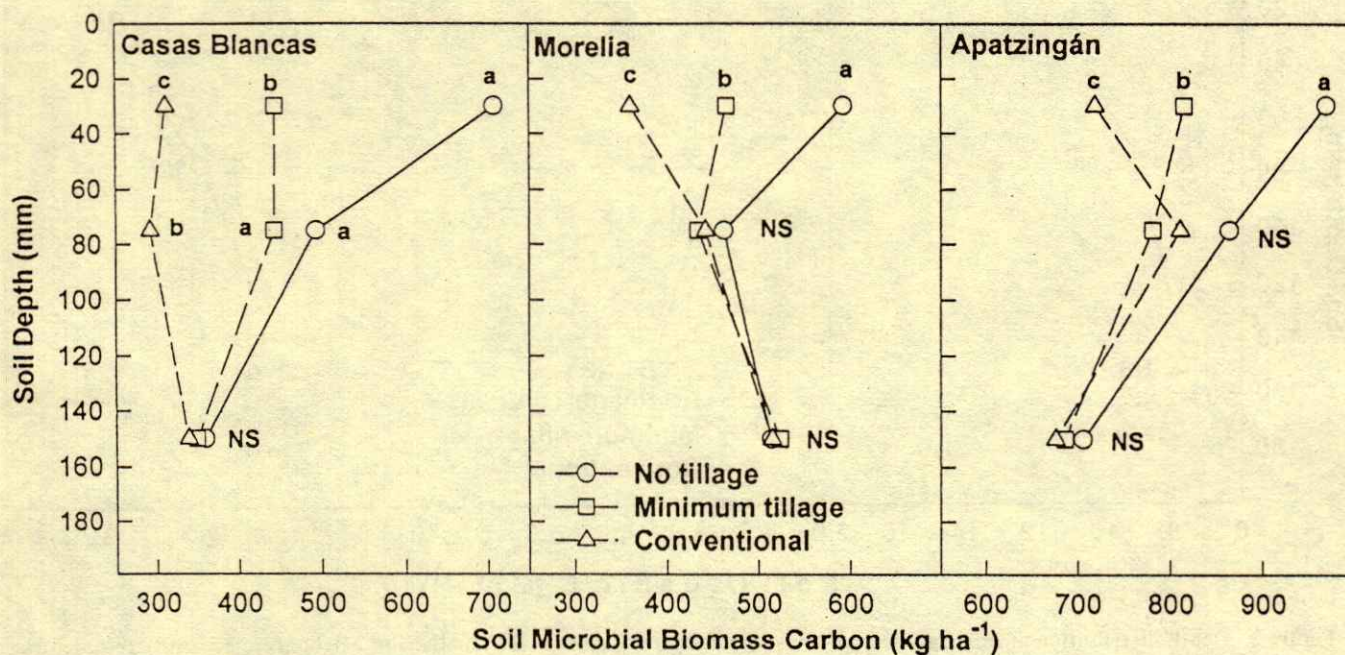


Figure 3. Depth distribution of soil microbial biomass carbon as affected by tillage at three locations in Michoacán. Means within depth followed by the same letter are not significantly different (Duncan's $P \leq 0.05$). NS indicates non-significant.

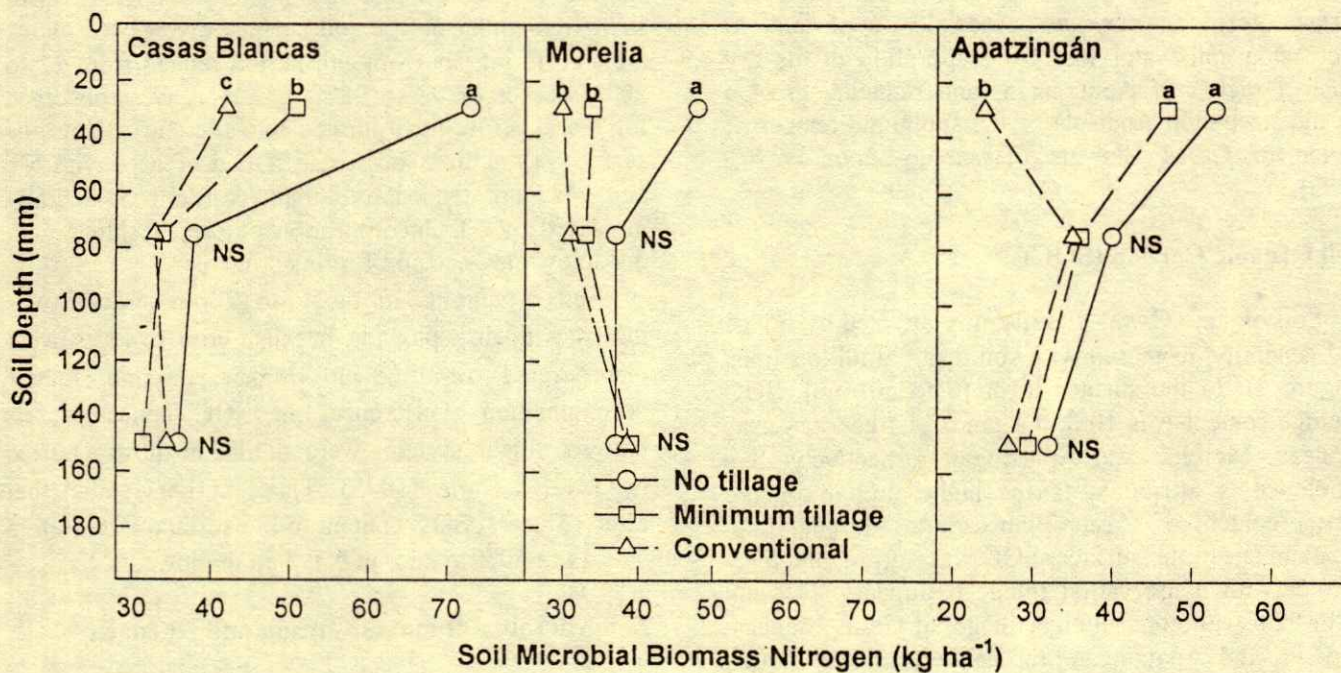


Figure 4. Depth distribution of soil microbial biomass nitrogen as affected by tillage at three locations in Michoacán. Means within depth followed by the same letter are not significantly different (Duncan's $P \leq 0.05$). NS indicates non-significant.

(Figures 3 and 4). In the surface layer (0 to 50 mm) of Morelia and Apatzingán Vertisols, soil microbial biomass C and N fluctuated from 360 to 968 kg ha⁻¹ and from 24 to 53 kg ha⁻¹, respectively. While in Casas Blancas Andisols soil microbial biomass C and N fluctuated from 311 to 707 kg ha⁻¹ and from 42 to 73 kg ha⁻¹, respectively, with the different tillage treatments. Soil microbial biomass C and N in the surface layer were 25 to 50% greater with the NT and MT treatments than with CT. At higher depths, soil microbial biomass C and N were generally not significantly different and decreased in all tillage treatments. However, this decrease was least evident in plowed soils and it probably resulted from the incorporation and mixing of crop residues. In contrast, higher soil microbial biomass concentrations with NT and MT may be due to accumulation of crop residues at soil surface. Doran (1987) evaluated long-term tillage effects on soils at several sites in the USA and found that microbial biomass in surface layer of NT soils averaged 54% higher than plowed soils. He also reported that microbial biomass was closely associated with distributions of SOC and moisture content as influenced by tillage. The lower soil microbial biomass C and N observed with plowing indicates that this tillage system may not be sustainable, especially in soils with low initial

concentrations of soil organic matter. The observed decrease in microbial biomass with plowing is similar to that reported by Follett and Schimel (1989) who found that microbial biomass decreased in the order of sod>NT>stubble mulch>plow.

Potential Nitrogen Mineralization

Potential N mineralization one week before planting was significantly affected by tillage, and followed closely the pattern observed for soil microbial biomass C and N at Casas Blancas, Morelia, and Apatzingán (Figure 5). In plowing layer (0 to 200 mm) of Morelia and Apatzingán Vertisols potential nitrogen mineralization fluctuated from 4.1 to 17.7 kg ha d⁻¹. While in Casas Blancas Andisol potential nitrogen mineralization N fluctuated from 2.7 to 6.2 kg ha d⁻¹, respectively, with the different tillage treatments. No tillage showed the highest average nitrogen mineralization rate (10.3 kg ha d⁻¹), and MT showed intermediate mineralization rate (7.6 kg ha d⁻¹), while CT showed the lowest mineralization rate (6.1 kg ha d⁻¹) at the three locations. Potential nitrogen mineralization increased as crop residues accumulated with NT treatments. Franzluebbers *et al.* (1994) reported an increase in potential nitrogen mineralization with tillage systems, which do not

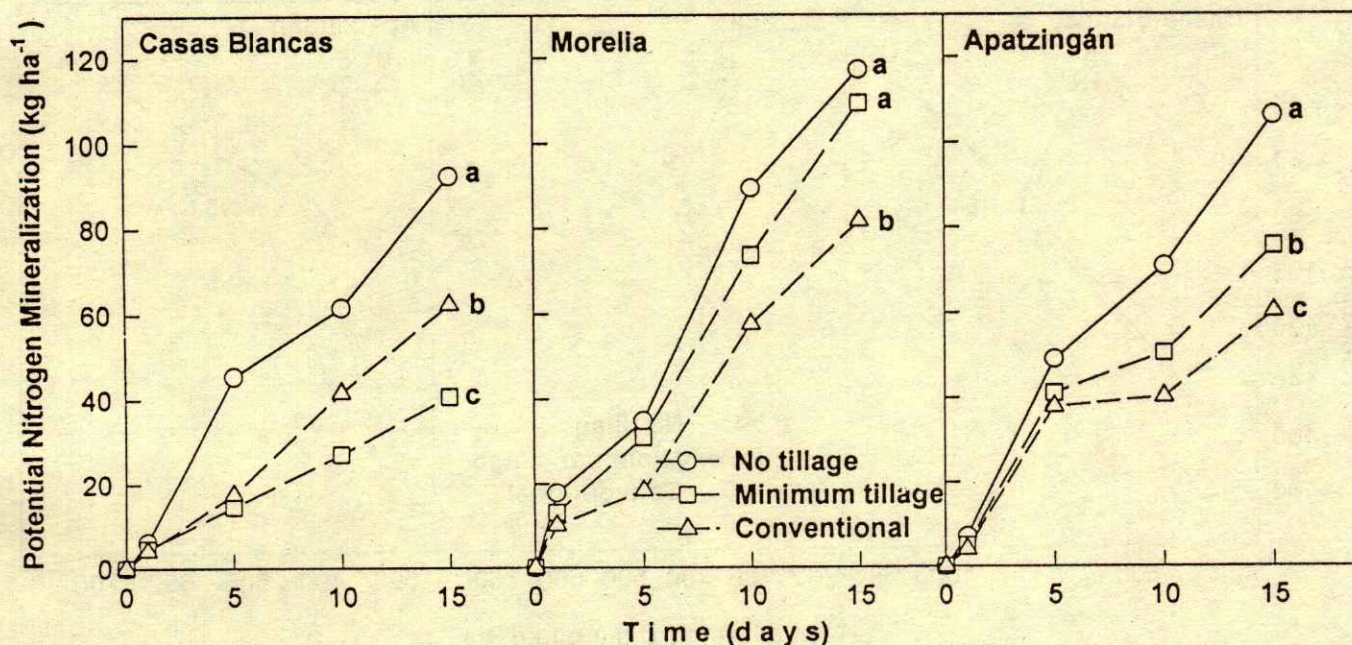


Figure 5. Potential nitrogen mineralization to a depth of 200 mm as affected by tillage at three locations in Michoacán. Means within tillage treatments followed by the same letter are not significantly different (Duncan's $P \leq 0.05$).

incorporate crop residues. Higher N mineralization rates in no-till soils than in plowed soils have also been detected in other laboratory incubations (Follett and Schimel, 1989). The lower N mineralization rates observed one week before planting in plowed soils indicates that incorporation of crop residues with disk plow speeds organic matter mineralization during the fallow period and planting of the next crop. Differences in organic matter decomposition and N mineralization are related to crop residue distribution within the plowing layer (Douglas *et al.*, 1980; Salinas-García *et al.*, 1997b).

Total Kjeldahl Soil Nitrogen

Total soil N followed a pattern similar to SOC and was significantly affected by tillage only in the upper 0 to 50-mm soil layer at all locations (Figure 6). In the surface layer (0 to 50 mm) of the Morelia and Apatzingán Vertisols total N fluctuated from 312.9 to 736.0 kg ha⁻¹, while in Casas Blancas Andisol total nitrogen fluctuated from 691.3 to 1090.5 kg ha⁻¹, with the different tillage treatments. NT showed the highest average total nitrogen concentration (834.4 kg ha⁻¹), and MT showed intermediate concentration (498.9 kg ha⁻¹), while disk plowing showed the lowest concentration (444.4 kg ha⁻¹) at the three locations. Total N at higher depths decreased in all tillage

treatments, especially with NT. This tendency was less evident with plowing. Increased total N apparently resulted from the increased accumulation of crop residues near the soil surface with conservation tillage systems (NT and MT). Total nitrogen is known to be enhanced by increasing soil organic matter content (Blevins *et al.*, 1977; Elliott *et al.*, 1987). Greater total N near the soil surface with conservation tillage systems is consistent with results reported by other researchers at various locations (Blevins *et al.*, 1977; Hooker and Schepers, 1984; Follett and Peterson, 1988; Unger, 1991). These authors also indicated that total N in NT soils sharply declined below 50 mm from the soil surface. The decline was closely associated with decreasing organic matter content with soil depth.

Extractable Soil Phosphorus

Extractable soil P followed a pattern similar to SOC, and was significantly affected by tillage, at the three soil sampling depths on Casas Blancas, Morelia, and Apatzingán (Figure 7). In the surface (0 to 50 mm) of the Morelia and Apatzingán Vertisols extractable P fluctuated from 3.06 to 36.70 kg ha⁻¹, while in Casas Blancas Andisol extractable P fluctuated from 0.10 to 0.32 kg ha⁻¹ with the different tillage treatments. In the surface soil layer,

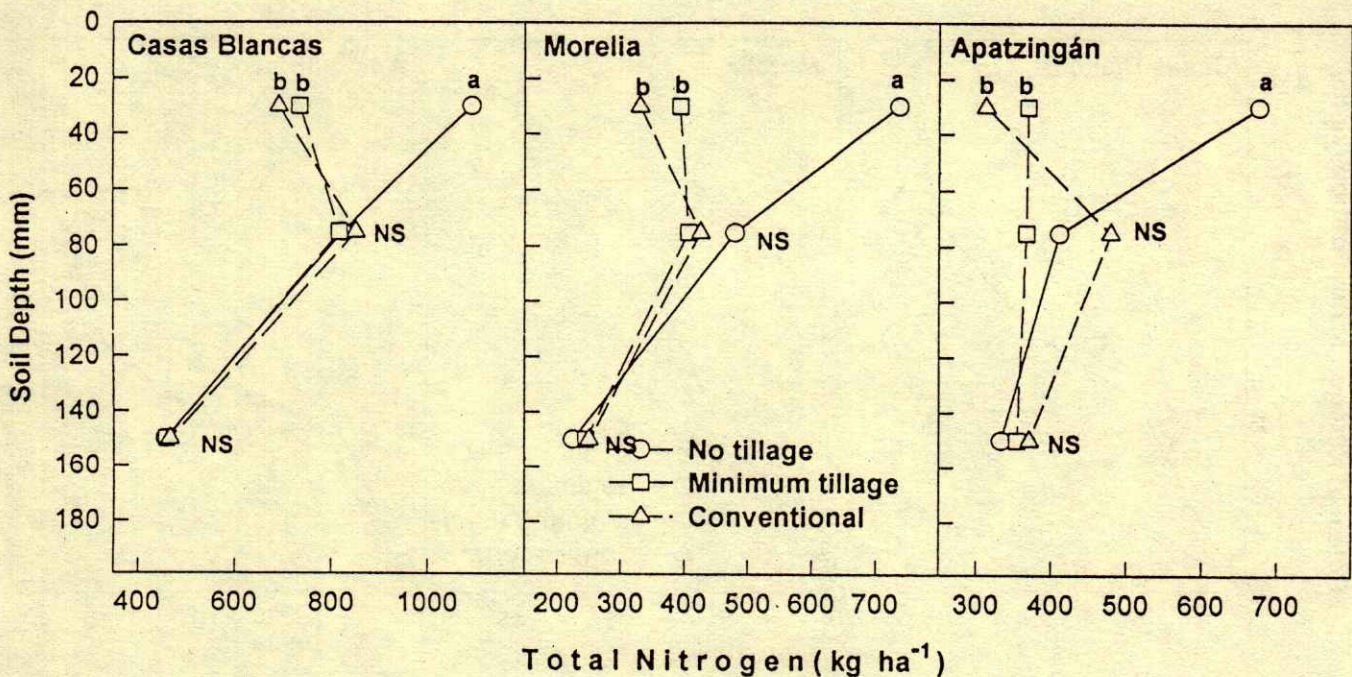


Figure 6. Depth distribution of total nitrogen as affected by tillage at three locations in Michoacán. Means within depth followed by the same letter are not significantly different (Duncan's $P \leq 0.05$). NS indicates non-significant.

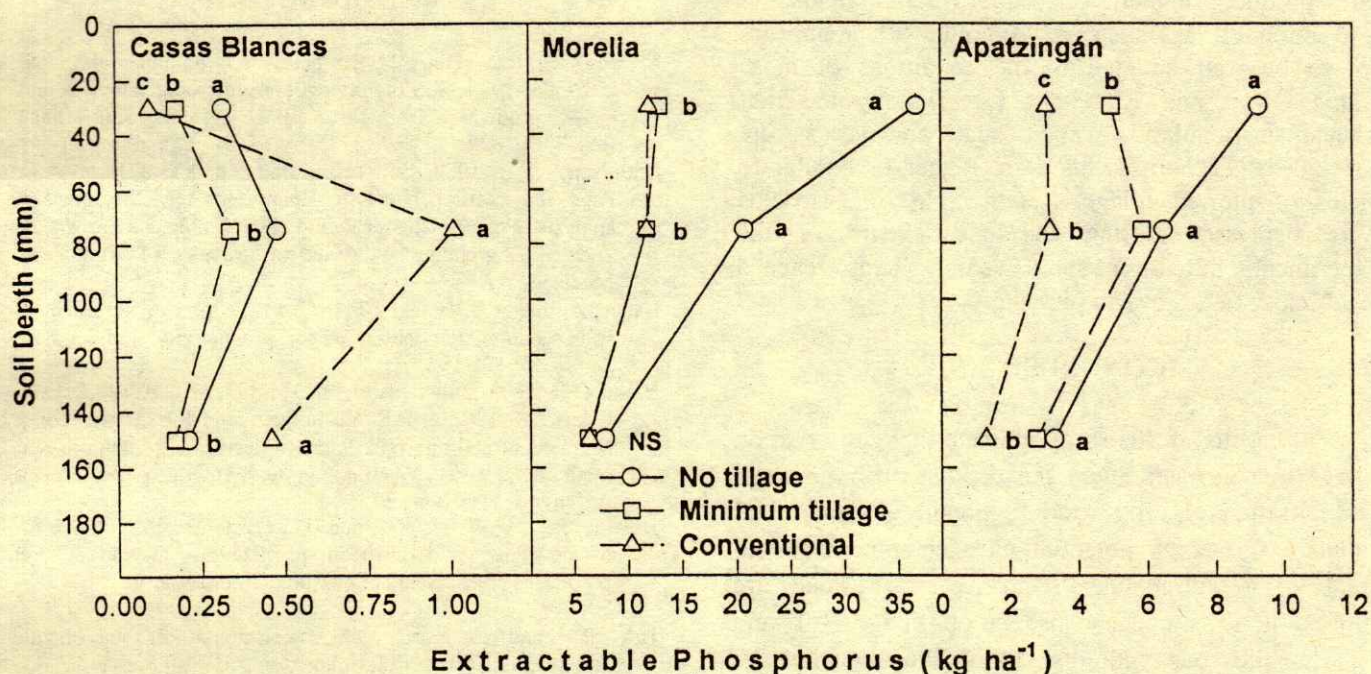


Figure 7. Depth distribution of extractable phosphorus as affected by tillage at three locations in Michoacán. Means within depth followed by the same letter are not significantly different (Duncan's $P \leq 0.05$). NS indicates non-significant.

extractable P concentration was approximately 50% greater with NT and MT than with plowing; however, this difference decreased with soil depth especially at Morelia and Apatzingán. In the 100 to 200 mm soil depth, disk plow resulted in the highest extractable soil P at Casas Blancas. Deep incorporation of crop residues and fertilizer with mid-term plowing may account for this effect. Similar results have been previously reported (García, 2000). Increased extractable P with NT in Morelia and Apatzingán alkaline soils apparently resulted from the increased concentration of organic residues near the soil surface and the slight decrease in soil pH associated with this treatment. Phosphorus solubility is known to be enhanced by increasing soil organic matter and decreasing pH in alkaline soils (El-Baruni and Olsen, 1979). Organic matter accumulation in surface layer of NT soils has also been shown to influence P distribution (Follett and Peterson, 1988). Unger (1991) reported that for a wheat-sorghum-fallow system, extractable P was greater in the upper 200 mm of NT soil than in stubble-mulch and plowed soil, and declined below this depth. The decline was closely associated with decreasing organic matter with depth.

Corn Grain Yield

Distribution of precipitation during growing season in 1998 was favorable for rain-fed corn production and grain yields were high. Corn grain yield was significantly affected by tillage at Casas Blancas, Morelia, and Apatzingán (Table 2). Corn grain yield was significantly higher under no tillage at Casas Blancas, while at Morelia and Apatzingán no significant difference was observed as compared to conventional tillage. Minimum tillage resulted in the lowest grain yield at the three sites. The apparent reason was an adequate plant stand and good biological and chemical soil conditions in NT. This may indicate that NT systems, as used in this study,

Table 2. Mid-term tillage effects on rain-fed corn yields. 1998.

Tillage treatments	Casas Blancas	Morelia	Apatzingán
	----- kg ha ⁻¹ -----		
No tillage	6232.0 a [†]	9175.0 a	4975.8 a
Minimum tillage	3994.8 b	7766.0 b	4093.0 b
Conventional	4398.1 b	9398.0 a	5182.0 a
C.V.	18.72	14.31	18.86

[†] Means within a column followed by same letter are not significantly different.

can produce higher or equal corn yields to conventional tillage systems. Minimum tillage appears not to be well adapted to the conditions of those regions. Vyn and Raimbaut (1993) indicated that when plant population was adequate and weeds were controlled, NT corn yields were higher or similar to yields of plowed tillage systems. No tillage yields were depressed during the early years of the experiment, but after some years, yields reached levels close to those with plowing.

CONCLUSIONS

The results of this study indicate that conservation tillage management alters the depth distribution and concentration of crop residue, organic C, microbial biomass C and N, potential nitrogen mineralization, total N, and extractable P. Surface crop residues are highest in soils under conservation tillage (NT and MT), while soils with disk plow tillage exhibit the lowest values. Conservation tillage systems (NT and MT) promoted accumulation of crop residues and offered the best opportunity to increase C sequestration, soil microbial biomass, and nutrient cycling. Higher levels of soil organic C, microbial biomass C and N, total N, and extractable P are directly related to surface accumulation of crop residues which is promoted by conservation tillage management. Organic matter enhancement, with all its beneficial effects, is probably the most important change in those soils with conservation tillage. Regardless soil type (Vertisol or Andisol) or tillage system (NT, MT or CT) organic matter content decreased with increasing annual temperature. The long-term quality and productivity of the Casas Blancas, Morelia, and Apatzingán soils can be maintained or improved with the use of conservation tillage.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for providing financial support to project 127328-B "Impacto de la labranza de conservación en la calidad del suelo: Determinación de la fauna microbiana y mineralización de carbono y nitrógeno".

REFERENCES

- Alvares, R., R.A. Diaz, N. Barbetto, J.O. Santanatoglia, and L. Blotta. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil Tillage Res.* 33: 17-28.
- Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. pp. 837-871. *In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeny (eds.) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, 2nd ed. Agronomy 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.*
- Bauer, A. and A.L. Black. 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 185-193.
- Blake, G.R. 1965. Bulk density. pp. 374-390. *In: C.A. Black, D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger, and F.E. Clark (eds.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods, 1st ed. Agronomy, 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.*
- Blevins, R.L., G.W. Thomas, and P.L. Cornelius. 1977. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. *Agron. J.* 69: 383-396.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Brown, P.L. and D.D. Dickery. 1970. Losses of wheat straw residue under simulated field conditions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 118-121.
- Campbell, C.A., V.O. Biederbeck, R.P. Zenter, and G.P. Lafond. 1991. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem. *Can. J. Soil Sci.* 71: 363-376.
- Carter, M.R. and D.A. Rennie. 1982. Changes in soil quality under zero tillage farming systems: Distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. *Can. J. Soil Sci.* 62: 587-597.
- Claverán, A.R., J. Velázquez G., J.A. Muñoz V., M. Tiscareño L., J.R. Salinas G., and M.B. Najera R. (eds.). 1997. Avances de la investigación en labranza de conservación. Libro Técnico 1. Michoacán, México.
- Dalal, R.C., P.A. Henderson, and J.M. Grasby. 1991. Organic matter and microbial biomass in a vertisol after 20 years of zero-tillage. *Soil Biol. Biochem.* 23: 435-441.
- Doran, J.W. 1987. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distribution in no-tillage and plowed soils. *Biol. Fertil. Soils* 5: 68-75.
- Doran, J.W. and M.S. Smith. 1987. Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients. pp. 53-72. *In: R.F. Follett, J.W.B. Steward, and C.V. Cole (eds.) Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 19. Madison, WI.*
- Douglas, C.L., Jr. R.R. Allmaras, P.E. Rasmussen, R.E. Raming, and N.C. Roager Jr. 1980. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 833-837.
- El-Baruni, B. and S.R. Olsen. 1979. Effects of manure on solubility of phosphorus in calcareous soils. *Soil Sci.* 112: 219-225.

- Elliott, L.F., R.I. Papendick, and D.F. Bezdicek. 1987. Cropping practices using legumes with conservation tillage and soil benefits. pp. 812-889. *In: J.F. Power (ed.). The role of legumes in conservation tillage systems.* Soil Conserv. Soc. Am., Ankeny, IA.
- Follett, R.F. and D.S. Schimel. 1989. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1091-1096.
- Follett, R.F. and G.A. Peterson. 1988. Surface soil nutrient distribution as affected by wheat-fallow tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 141-146.
- Franzluebbers, A.J. 1999. Potential C and N mineralization and microbial biomass from intact and increasingly disturbed soils of varying texture. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1083-1090.
- Franzluebbers, A.J., F.M. Hons, and D.A. Zuberer. 1994. Seasonal changes in soil microbial biomass and mineralizable C and N in wheat management systems. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1469-1475.
- Franzluebbers, A.J., F.M. Hons, and D.A. Zuberer. 1995a. Tillage-induced seasonal changes in soil physical properties affecting CO₂ evolution under intensive cropping. *Soil Tillage Res.* 34: 41-60.
- Franzluebbers, A.J., F.M. Hons, and D.A. Zuberer. 1995b. Tillage and crop effects on seasonal soil carbon and nitrogen dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1618-1624.
- Franzluebbers, A.J., R.L. Hancy, F.M. Hons, and D.A. Zuberer. 1996. Determination of microbial biomass and nitrogen mineralization following rewetting of dried soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1133-1139.
- García T. L. 2000. Efecto de métodos de labranza en la calidad del suelo en cultivo de maíz de temporal en tres regiones agroclimáticas de Michoacán. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.
- Holland, E.A. and D.C. Coleman. 1987. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. *Ecology* 68: 425-433.
- Hooker, M.L. and J.S. Schepers. 1984. Effect of residue removal vs. incorporation on nitrogen uptake and growth of winter wheat. pp. 207. *In: Agronomy Abstracts.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1993. Las estadísticas agropecuarias. Disco Compacto. Aguascalientes, Ags., México.
- Jenkinson, D.S. and D.S. Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.
- Mahboubi, A.A., R. Lal, and N.R. Faussey. 1993. Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 506-512.
- Mulvaney, C.S. 1996. Nitrogen-inorganic forms. pp. 1155-1159. *In: D.L. Sparks (ed.). Method of soil analysis. Part 3.* SSSA Book Ser. No. 5 SSSA, Madison, WI.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1980. Total nitrogen analysis of soil and plant tissues. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 63: 770-778.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. pp. 539-594. *In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.). Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA circular. 939: 1-19.
- Plenecassagne, A., E. Romero F., and C. López B. 1997. Manual de laboratorio "Análisis de suelos, aguas y plantas". Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento. Gómez Palacio, Durango, México.
- Salinas-García, J.R., F.M. Hons, and J.E. Matocha. 1997a. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 152-159.
- Salinas-García, J.R., J.E. Matocha, and F.M. Hons. 1997b. Long-term tillage and nitrogen fertilization effects on soil properties of an Alfisol under dryland corn/cotton production. *Soil Tillage Res.* 42: 79-93.
- SAS Institute, Inc. 1985. SAS user's guide: Statistics, version 5 ed. Cary, NC.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.
- Steiner, J.L., H.H. Schomberg, and J.E. Morrison Jr. 1994. Measuring surface residue and calculating losses from decomposition and redistribution. pp. 21-29. *In: B.A. Stewart and W.C. Moldenhauer (eds.). Crop residue management to reduce erosion and improve soil quality.* Conservation Research Report 37. US Department of Agriculture. Washington, DC.
- Tiscareño-López, M., A.D. Báez-González, M. Velázquez-Valle, K.N. Potter, J.J. Stone, M. Tapia-Vargas, and R. Claverán-Alonso. 1999. Agricultural research for watershed restoration in Central Mexico. *J. Soil Water Conserv.* 54: 686-692.
- Unger, P.W. 1991. Organic matter, nutrient, and pH distribution in no- and conventional-tillage semiarid soils. *Agron. J.* 83: 186-192.
- Voroney, R.P. and E.A. Paul. 1984. Determination of K_C and K_N *in situ* for calibration of the chloroform fumigation-incubation method. *Soil Biol. Biochem.* 16: 9-14.
- Vyn, T.J. and B.A. Raimbaut. 1993. Long-term effect of five tillage systems on corn response and soil structure. *Agron. J.* 85: 1074-1079.

ROCA FOSFORICA Y *Glomus* sp. EN EL CRECIMIENTO DE NARANJO AGRIO

Rock Phosphate and *Glomus* sp. on Sour Orange Growth

M.C. González Chávez¹ y R. Ferrera-Cerrato^{1,2}

RESUMEN

Se estudió el efecto de la adición de roca fosfórica en cuatro dosis (0, 30, 60 y 90 mg de P_2O_5 kg^{-1} de suelo) y de la inoculación con *Glomus* sp. Zac-19 en el crecimiento de tres portainjertos: naranjo agrio, naranjo agrio Australiano y naranjo agrio Brazilian. La inoculación incrementó el crecimiento de las plántulas a partir de los 105 días después del trasplante (DDT), pero fueron estadísticamente significativos hasta los 135 DDT. La altura de plantas inoculadas fue tres veces mayor que la altura de plantas testigo. No se observó interacción entre los diferentes dosis de fertilización y la inoculación en los parámetros de crecimiento evaluados en los portainjertos naranjo agrio y naranjo agrio Brazilian, pero en el caso de naranjo agrio Australiano se observó interacción negativa a los 105 y 135 DDT cuando se fertilizó con 60 mg de P_2O_5 kg^{-1} . La fertilización no afectó la colonización micorrízica en ninguno de los portainjertos. Se sugieren efectos de la roca fosfórica en suelos de condición más ácida, donde la introducción de hongos arbusculares durante los procesos de propagación de cítricos y su combinación con roca fosfórica de bajo costo, podría ser una metodología atractiva para usarse en los viveros, lo cual repercutiría en la obtención de plantas sanas y vigorosas en menos tiempo y a menor costo.

Palabras clave: Cítricos, micorriza, viveros.

SUMMARY

Rock phosphate fertilization and inoculation with *Glomus* sp. Zac-19 on the growth of three citrus rootstocks sour orange, sour orange Australian, and sour orange Brazilian were studied. Inoculation significantly increased plant growth, which was

evident since 105 days after transplant (DAT), but it was significant until 135 DAT. Height of inoculated plants was more than three times greater than control plants. An interaction was not observed between phosphate rock and inoculation regarding growth parameters in any of the rootstocks, except on sour orange Australian, which presented negative interaction when fertilized with 60 mg de P_2O_5 kg^{-1} . Fertilization did not affect mycorrhizal colonization by *Glomus* sp. Zac-19. It is possible to observe effect of rock phosphate in a more acid soil, where the use of arbuscular fungi in the propagation of citrus plus the rock phosphate low-cost combination, may be an attractive methodology to be used in nurseries, in order to obtain healthy and vigorous plants in a shorter time and at a lower cost.

Index words: *Citrus*, mycorrhiza, nurseries.

INTRODUCCION

La asociación micorrízica arbuscular en cítricos se reportó por primera vez en 1933 (Antunes y Cardoso, 1991) y, en los últimos años, numerosos investigadores han resaltado la importancia de la simbiosis para un adecuado crecimiento de la planta y mayor supervivencia de las plántulas producidas en vivero (Timmer y Leyden, 1980; Botello *et al.*, 1993; González-Chávez *et al.*, 1998). Respecto a la introducción de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), Sieverding (1991) señaló que la inoculación es mucho más factible en plántulas que crecen en los viveros cítricos que en plantas que crecen en campo, por la cantidad de inóculo que se requiere. Dentro de las prácticas de vivero en la producción de plántulas de cítricos, el uso de fertilizantes fosfatados es una práctica común, sobre todo de fertilizantes con P soluble; sin embargo, estos incrementan los costos de producción y casi siempre afectan la eficiencia de los HMA (Timmer y Leyden, 1980; Graham y Timmer, 1984; Barea, 1991; Bolan, 1991). El uso de fertilizantes menos solubles puede presentar ventajas para la simbiosis y conveniencias económicas para los viveristas. Antunes y Cardoso (1991) reportaron que la fertilización con roca fosfórica (RF), junto con

¹Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Texcoco, Edo. de México. (carmeng@colpos.colpos.mx)

²(ronaldf@colpos.colpos.mx)

Recibido: Agosto de 1996.

Aceptado: Enero de 2001.

HMA, puede ser usada como una práctica viable, con ventajas económicas y ecológicas en la producción de cítricos. Kiernan *et al.* (1983) mencionaron que, para programas comerciales de inoculación con HMA, es fundamental realizar una selección de hongos, así como de dosis de P, que favorezcan el óptimo crecimiento de las plantas, sin alterar la efectividad de la simbiosis micorrizica. En algunos trabajos publicados, *Glomus* sp. Zac-19 (especie de origen mexicano) ha mostrado ser un hongo altamente eficiente en promover el crecimiento de cítricos y otros frutales (Ferrera-Cerrato y González-Chávez, 1997, 1998; González-Chávez *et al.*, 1998), por lo que el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de la inoculación con *Glomus* sp. Zac-19 y tres dosis de roca fosfórica en el desarrollo de tres portainjertos de naranjo agrio.

MATERIAL Y METODOS

Obtención de Plántulas

Semillas de tres portainjertos de *Citrus aurantium* (naranjo agrio = NA, naranjo agrio Brazilian = NAB y naranjo agrio Australiano = NAA) se remojaron durante 24 h en agua. Posteriormente se sumergieron en una solución de benomil (20 mg L⁻¹) durante 20 min y se sembraron en tezontle fino esterilizado por 3 h a 18 lb pulg⁻² y se mantuvieron en cámara de crecimiento con luz y temperatura controladas (T = 30 °C y 12/12 horas de fotoperiodo día/noche).

Sustrato

El sustrato empleado consistió de una mezcla de suelo:arena y agrolita en proporciones 3:6:1, que se esterilizó durante 3 h a 18 lb pulg⁻². La concentración de N en el suelo fue 0.7 mg g⁻¹, 12 µg g⁻¹ de P, 0.078 mg g⁻¹ de K y con pH 6.5.

Inoculación y Fertilización

Se inoculó al momento del trasplante, se utilizaron 10 g de inóculo micorrizico (producido en el Colegio de Postgraduados, km 36.5, Montecillo, estado de México), con aproximadamente 100 esporas y raíz de alfalfa colonizada en 72% con *Glomus* sp. Zac-19. La roca fosfórica (de lenta reactividad con 30% de P como P₂O₅), originaria de Baja California Sur (Nuñez y Gavi, 1994), se tamizó y la fracción tamizada por la malla 100 µm se mezcló con el sustrato estéril en

proporciones necesarias para establecer cuatro dosis de fertilización (0, 30, 60 y 90 mg de P₂O₅ kg⁻¹ de suelo). Como recipientes se utilizaron bolsas negras para vivero con capacidad para 3 kg de sustrato estéril.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

El diseño de tratamientos fue un factorial completo, las fuentes de variación fueron inoculación (con y sin) y cuatro dosis de fósforo, cuya fuente fue la roca fosfórica, lo que resultó en un total de ocho tratamientos en NA y NAA. Por contar con pocas plántulas de NAB, sólo se establecieron cuatro tratamientos (0 y 60 mg de P₂O₅ kg⁻¹ de suelo, con y sin inoculación). Todos los tratamientos en los tres portainjertos tuvieron cuatro repeticiones. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza y la prueba de separación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

VARIABLES EVALUADAS

Se consideraron: la altura, el diámetro de tallo y el número de hojas a los 105, 135 y 185 días después del trasplante (DDT). A la cosecha (185 DDT) se determinaron el volumen radical, el área foliar, el peso seco de la parte aérea y la colonización micorrizica en raíces clareadas y teñidas con base en el método de Phillips y Hayman (1970). Adicionalmente, se determinó la concentración de P en tejido vegetal de los portainjertos (Alcántar, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSION

En los tres portainjertos se observó que la inoculación con HMA estimuló en forma notoria el crecimiento de las plantas. Este efecto fue significativo a partir de los 105 días después del trasplante (DDT) en los portainjertos NA y NAA (Figuras 1a y 1b). En contraste, en NAB este efecto se observó hasta los 135 DDT (Figura 1c). Las dosis de RF ensayadas no tuvieron efecto significativo en la altura de los tres portainjertos, en ninguna de las tres fechas evaluadas. La combinación de RF e inoculación no afectaron significativamente la altura del portainjerto NA, en comparación solo con la inoculación. En contraste, en NAA se observó una interacción negativa con 60 y 90 mg P₂O₅ kg⁻¹ de suelo a los 105 y 135 DDT. En cambio, en NAB se observó efecto significativo por adición de RF a los 105 DDT, pero éste fue estadísticamente similar

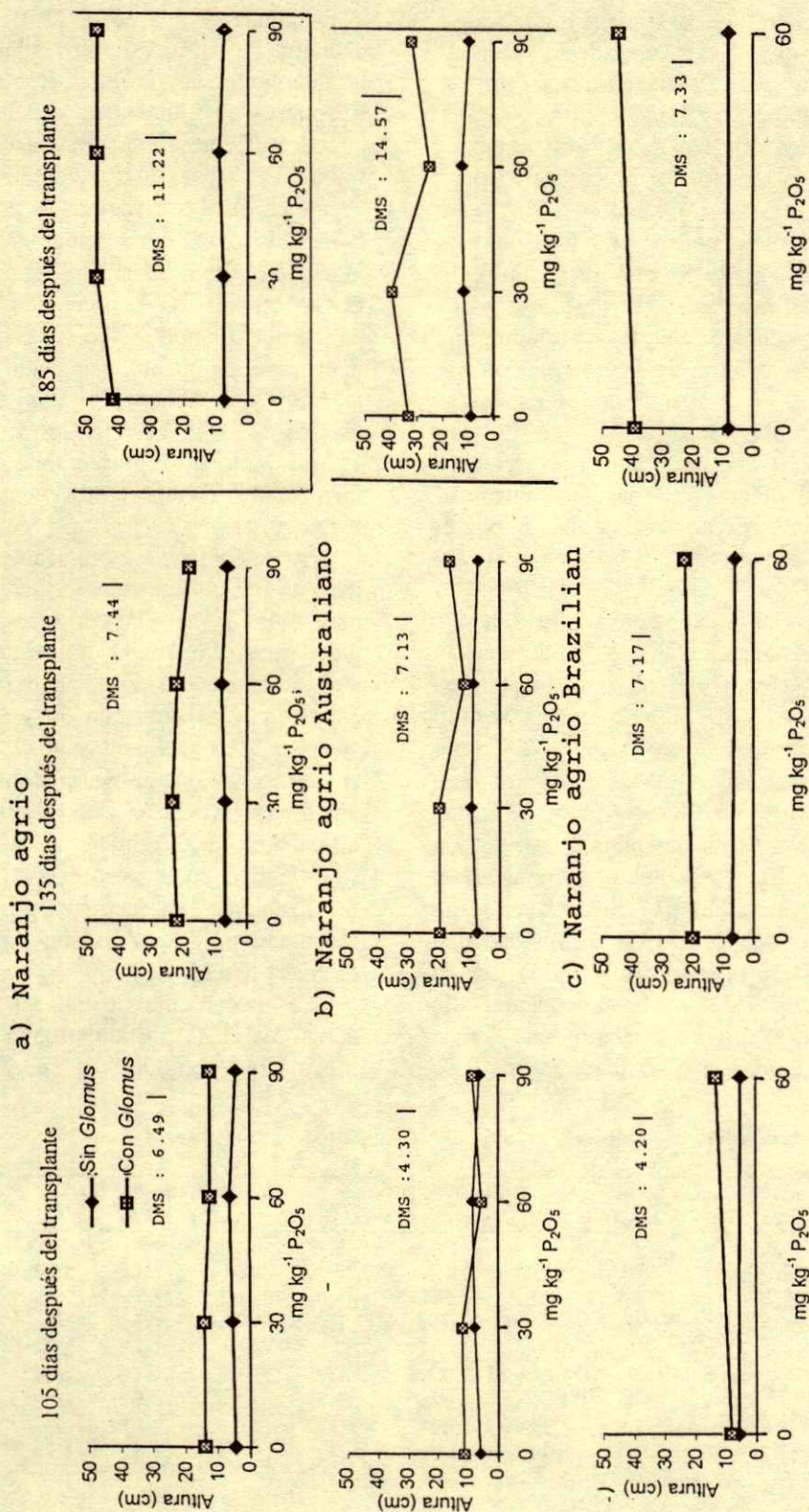


Figura 1. Efecto de la inoculación con *Glomus* sp. Zac-19 y dosis de roca fosfórica en la altura de tres portainjertos de naranjo agrio en tres fechas después del trasplante.

después de los 135 y 185 DDT (Figura 1). Torres *et al.* (1992) reportaron que la fertilización fosfatada en NA tuvo un efecto positivo en la eficiencia del hongo micorrizico. Sin embargo, esta respuesta se debió al uso de un fertilizante con P disponible en forma mineral, lo que influenció el efecto positivo sobre la simbiosis. En este caso, el uso de RF favoreció el crecimiento de NAB al inicio del crecimiento, pero posteriormente, este efecto no continuó. En este estudio, se utilizó un suelo con pH de 6.0, pero es posible inferir que en un suelo con menor pH, la liberación lenta de P favorezca la simbiosis y su efecto sobre el crecimiento de los portainjertos. Menge *et al.* (1978) evaluaron la interacción de *Glomus fasciculatum* y dosis de fertilizantes fosfatados y observaron que, con el uso de 278 mg kg⁻¹ de P (568.2 kg ha⁻¹) se obtuvo el mismo efecto en el desarrollo de las plantas de naranjo agrio, al compararlo con el producido por la inoculación con el hongo endomicorrizico.

El diámetro de tallo se incrementó significativamente por la inoculación a partir de los 105 DDT en los portainjertos NA y NAB, mientras que en NAA este efecto se observó hasta los 135 DDT. A los 105 y 135 DDT, el diámetro de tallo en plantas inoculadas varió entre 2.0 y 2.7 mm, mientras que en plantas testigo fue de 1.1 a 1.8 mm. A los 185 DDT éste varió de 3.8 a 4.4 mm en plantas inoculadas y de 1.6 a 2.0 mm en plantas testigo. La RF no tuvo efecto significativo sobre el incremento en el diámetro de tallo de plántulas inoculadas y no inoculadas de NA y NAA. En NAB se observó una interacción positiva significativa ($\alpha = 0.05$) por la adición de 60 mg de P₂O₅ y la inoculación. Se tuvieron diámetros de tallo de 1.6 mm en plantas testigo, 1.8 mm en plantas no inoculadas y con RF,

3.8 mm en plantas inoculadas y de 4.3 mm en plantas inoculadas y fertilizadas con RF.

Antunes y Cardoso (1991) reportaron que el diámetro de tallo requerido en las plantas para realizar la injertación (5 mm) es después de seis meses del trasplante en plantas inoculadas; en contraste, de nueve a 12 meses en plantas no inoculadas. En este trabajo, se observó un incremento de diámetro muy rápido en plantas inoculadas a partir de los 105 DDT y a los 185 DDT en comparación con las plantas no inoculadas. Esto demuestra, que la simbiosis repercute favorablemente en la obtención de plantas saludables, en menor tiempo y con desarrollo adecuado para injertarlas, como han reportado otros autores (Menge *et al.*, 1978; Vinayak y Bagyaraj, 1990; Antunes y Cardoso, 1991; Ferrera-Cerrato y González-Chávez, 1998), también representando ahorro en el uso de fertilizantes e importantes ventajas económicas para los viveristas.

El área foliar, el peso seco y el volumen radical de los tres portainjertos fueron significativamente mayores en las plantas inoculadas que en las no inoculadas (Cuadro 1). La adición de RF no modificó significativamente el efecto de la inoculación en NA. En NAA fertilizado con 60 y 90 mg de P₂O₅ kg⁻¹ de suelo, a diferencia del volumen radical, el área foliar y el peso seco disminuyeron, aunque esta disminución no fue significativa. En NAB, la fertilización con 60 mg de P₂O₅ kg⁻¹ de suelo tuvo un efecto significativo en el peso seco. En este tratamiento, la fertilización interactuó positivamente con la inoculación, proporcionando mayor producción de biomasa (Cuadro 1).

Se observó mayor concentración de P en la parte aérea de los portainjertos como respuesta a la inoculación con *Glomus* sp. Zac-19, pero no hubo

Cuadro 1. Efecto de la inoculación endomicorrizica sobre el crecimiento del naranjo agrio.

Tratamiento	Area foliar			Peso seco			Volumen radical			Contenido de P		
	NA	NAA	NAB	NA	NAA	NAB	NA	NAA	NAB	NA	NAA	NAB
	cm ²			g			cm ³			%		
Testigo	36.3 b	43.5 b	31.1 b	0.36 b	0.45 c	0.32 c	2.8 b	4.6 b	3.0 b	0.05 b	0.06 b	0.06 b
<i>Glomus</i> ¹	407.5 a	267.2 a	442.5 a	4.02 a	3.67 ab	3.45 b	15.1 a	17.5 a	15.5 a	0.18 a	0.21 a	0.23 a
P ₁	44.9 b	56.6 b	ND	0.40 b	0.62 c	ND	3.7 b	4.3 b	ND	0.06 b	0.06 b	ND
P ₂	38.4 b	57.8 b	36.6 b	0.40 b	0.60 c	0.32 c	3.3 b	3.3 b	2.8 b	0.06 b	0.06 b	0.06 a
P ₃	42.6 b	54.5 b	ND	0.37 b	0.50 c	ND	3.1 b	3.4 b	ND	0.07 b	0.06 b	ND
<i>Glomus</i> +P ₁	561.0 a	432.0 a	ND	4.85 a	3.97 a	ND	16.7 a	16.5 a	ND	0.18 a	0.20 a	ND
<i>Glomus</i> +P ₂	494.3 a	175.6 b	507.8 a	4.25 a	2.02 bc	4.60 a	14.6 a	7.3 b	16.0 a	0.18 a	0.20 a	0.21 a
<i>Glomus</i> +P ₃	467.3 a	218.7 b	ND	3.90 a	3.07 ab	ND	16.1 a	14.5 a	ND	0.19 a	0.21 a	ND

Naranjo agrio (NA), Naranjo agrio Australiano (NAA) y Naranjo agrio Brazilian (NAB).

¹*Glomus* sp. Zac-19, P₁ = 30, P₂ = 60, P₃ = 90 mg de P₂O₅ a partir de roca fosfórica.

Letras idénticas dentro de la misma columna son estadísticamente iguales. ND = No determinado.

respuesta a la adición de RF (Cuadro 1). En el presente estudio, se observó que *Glomus* sp. Zac-19 fue altamente eficiente en promover el crecimiento de los tres portainjertos y que, en la mayoría de los casos, el uso combinado con RF, en esta etapa de crecimiento, fue innecesario (excepto en NAB), ya que no se observaron diferencias estadísticamente significativas en las dosis ensayadas. Sin embargo, en otras etapas fenológicas, cuando las plantas requieran más P, la presencia de fuentes fosfatadas y la actividad de las hifas de los HMA pueden ser importantes. La combinación de HMA y fertilizantes fosfatados poco solubles como la RF ha permitido incrementar los rendimientos en varios cultivos (Pairunan *et al.*, 1980; Graham y Timmer, 1984; Cardoso, 1985; Guzmán-Plazola *et al.*, 1988). Chulan (1991) mencionó que la cantidad de fertilizante necesaria para el máximo crecimiento de las plantas puede reducirse significativamente a través de la simbiosis micorrizica.

El efecto de los HMA, reflejado en un mejor crecimiento de las plantas de NAB en adición con la RF, puede estar basado en que las hifas de los HMA pueden producir y liberar compuestos orgánicos como citrato y oxalato, y enzimas como las fosfatasa, que incrementan la disponibilidad de P en el suelo (Jayachandran *et al.*, 1989; Bolan, 1991; Li *et al.*, 1991), debido a la capacidad de los HMA de formar una zona de abatimiento ('depletion') de P y una zona de pH alterado en el suelo adyacente (Li *et al.*, 1991), lo que puede causar un incremento significativo de dos a 10 veces en la utilización de P, situación que no sucede en raíces no micorrizadas. También se ha observado que las plantas micorrizadas utilizan el N más eficientemente que las no micorrizadas (Smith *et al.*, 1985), fenómeno que tiene como consecuencia la exudación de iones H^+ , tanto por las hifas como por las raíces. Esto podría reducir el pH de la rizosfera y así aumentar la disponibilidad de P proveniente de fuentes lentamente solubles como la RF. Los resultados de este experimento muestran que, a los 185 DDT, no se observaron diferencias significativas en los parámetros de crecimiento estudiados, entre el tratamiento combinado de inoculación y adición de RF con respecto a sólo la inoculación y aunque pueden apreciarse diferencias numéricas con el uso de 30 mg de P_2O_5 en NA y NAA, sólo son significativas en NAB en plantas inoculadas y con 60 mg. Es posible que a mayor tiempo después del trasplante, los efectos de la adición de RF e inoculación pudieran ser significativos con respecto a sólo la inoculación; sin

embargo, es necesario realizar los experimentos correspondientes a mayor edad de las plantas. Cooper (1984) reportó que la respuesta a la inoculación está relacionada con la edad de la planta, especie vegetal, tipo de suelo y hongo micorrizico involucrado. Pero, en general, la inoculación con HMA favorecerá el crecimiento de los cítricos (Timmer y Leyden, 1980; Shanmuyam *et al.*, 1981), pero es importante seleccionar la mejor interacción.

Bolan (1991) encontró que la colonización micorrizica y el incremento en absorción de P varió por el uso de tres fuentes de P. Los mejores resultados se obtuvieron con la fuente de P menos soluble. La más común explicación al incremento de utilización de P es, que los hongos micorrizicos exploran un mayor volumen del suelo, abarcando más sitios con fuente de P, lo que incrementa el grado de utilización por aumento de gradiente de difusión. Bolan (1991) mencionó que una posibilidad lejana sería que las hifas micorrizicas pueden ser capaces de modificar químicamente la utilización de P por secreción de compuestos orgánicos con propiedades mineralizadoras y solubilizadoras, y liberar así el P para la planta. Al respecto, Barrow *et al.* (1977) y Pairunan *et al.* (1980) reportaron que el incremento en utilización de P, a partir de RF, fue el mismo que con un fertilizante soluble.

En los tres portainjertos, la inoculación con HMA incrementó la producción de materia seca. Resultados similares reportó Daft (1991), quien mencionó que la inoculación con *Glomus mosseae* y la fertilización con 190 mg de RF kg^{-1} suelo, incrementaron la producción de materia seca, aunque con el uso de mayores dosis, la eficiencia del HMA se vio afectada.

La colonización micorrizica no se afectó por las diferentes dosis de RF utilizadas (Figura 2). El

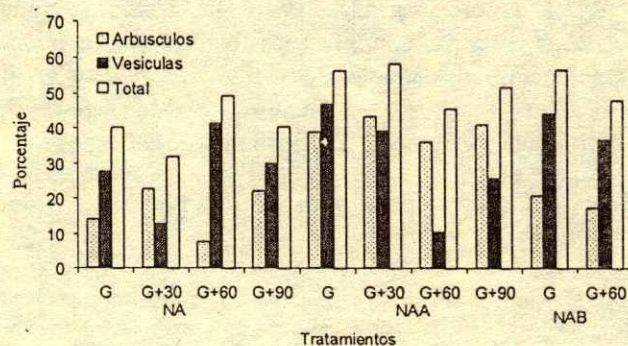


Figura 2. Efecto de la adición de roca fosfórica sobre el porcentaje de colonización endomicorrizica de portainjertos de cítricos. NA = naranjo agrio, NAA = naranjo agrio Australiano, NAB = naranjo agrio Brazilian.

porcentaje de arbusculos fue el que menos varió en todas las dosis de P aplicadas, excepto en naranjo agrio con 60 mg de P. Esta variación no afectó la funcionalidad de la simbiosis y la efectividad del HMA. Lambais y Cardoso (1988) mencionaron que la reducción del porcentaje de colonización, debido a la fertilización con P, es variable de acuerdo con la dosis utilizada, la planta hospedante y el aislado fúngico. Dichos autores establecieron que puede haber un balance iónico especial para combinaciones HMA-hospedante para tener máxima expresión de colonización en la raíz o de habilidad de promover el crecimiento. Daft (1991) y Antunes y Cardoso (1991) concluyeron que la adición de RF puede sustituir el uso de fertilizantes más costosos y su uso puede ser particularmente importante, si se sabe que altas dosis de fosfato soluble deprimen la formación de micorriza y la eficiencia de la simbiosis.

CONCLUSIONES

Las diferencias de respuesta en todas las variables evaluadas en los tres portainjertos muestran que la inoculación con HMA es un método eficiente para la producción de plantas, durante el proceso de propagación de cítricos. Los resultados también sugieren que puede incluirse el uso de RF que es de bajo costo, representando una alternativa ecológica atractiva para el uso intensivo en los viveros; sin embargo, debe considerarse el pH del suelo para obtener mejor respuesta de la simbiosis en la captación de P de la RF y mejoramiento del aprovechamiento del elemento por la planta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Roberto Núñez Escobar el proporcionar la roca fosfórica, la revisión y sugerencias al artículo, y al Dr. Rogelio Carrillo González y M.C. Alejandro Alarcón por sus aportaciones y comentarios para mejorar el escrito.

LITERATURA CITADA

- Alcantar G., G. 1992. Análisis vegetal. pp. 108-125. In: G. Alcántar G., J.D. Etchevers B. y A. Aguilar S. (eds.). Los análisis físicos y químicos, su aplicación en agronomía. Centro de Edafología-Colegio de Postgraduados, México.
- Antunes, V. y E.J.B.N. Cardoso. 1991. Growth and nutrient status of citrus plants as influenced by mycorrhiza and phosphorus application. *Plant Soil* 131: 11-19.
- Barea, J. M. 1991. Vesicular arbuscular mycorrhizae as modifiers soil fertility. pp. 1-39. In: B.A. Stewart (ed.). *Advances in Soil Sci.* Vol. 15. Springer-Verlag. London.
- Barrow, N.J., N. Malajczuk y T. C. Shaw. 1977. A direct test of the ability of vesicular arbuscular mycorrhiza to help plants take up fixed soil phosphate. *New Phytol.* 78: 269-276.
- Bolan, N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil* 134: 189-207.
- Botello G., J.J., R. Ferrera-Cerrato y M.C. González-Chávez. 1993. Respuesta de *Citrus aurantium* a la inoculación de hongos endomicorrizicos utilizando diferentes niveles de inóculo. *Terra* 11: 178-184.
- Cardoso, E.J.B.N. 1985. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza and rock phosphate on the soybean-*Rhizobium* symbiosis. *R. Bras. Ci. Solo* 9: 125-130.
- Chulan, A.H., G.T. Shaki y A.A. Christine. 1990. Interaction of mycorrhizal fungi with root pathogens of cocoa. pp. 78-79. In: B.L. Jalali (ed.). *Current trends in mycorrhizal research.* Proc. of the National Conference on Mycorrhiza. Agricultural University, Hisar, India.
- Cooper, K.M. 1984. Physiology of VA mycorrhizal associations. pp. 155-186. In: C.L. Powell y D.J. Bagyaraj (eds.). *VA mycorrhizal.* CRC Press. Boca Ratón, Florida.
- Daft, M.J. 1991. Influences of genotypes, rock phosphate and plant densities on mycorrhizal development and the growth responses of five different crops. *Agric. Ecosystems Environ.* 35: 151-169.
- Ferrera-Cerrato, R. y MC. González-Chávez. 1997. La biotecnología micorrizica en la producción agrícola, frutícola y hortícola. pp. 325-343. In: *Perspectivas de la Microbiología en México.* Instituto Politécnico Nacional, México.
- Ferrera-Cerrato, R. y MC. González-Chávez. 1998. La simbiosis micorrizica en el manejo del vivero de los cítricos. pp. 7-63. In: R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez Moreno (eds.). *Manejo de agroecosistemas sostenibles.* Textos Universitarios. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- González-Chávez, MC., R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en fruticultura. Universidad Autónoma de Tlaxcala y Colegio de Postgraduados, México.
- Graham, J.H. y L.W. Timmer. 1984. Vesicular arbuscular mycorrhizal development and growth response of rough lemon in soil and soilless media. Effect of phosphorus source. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 109: 118-121.
- Guzmán-Plazola, R., R. Ferrera-Cerrato y J.D. Etchevers. 1988. *Leucaena leucocephala*, a plant of high mycorrhizal dependence in acid soils. *Leucaena Res. Rep.* 9: 69-73.
- Jayachandran, K., A.P. Scwab y B.A.D. Hetrick. 1989. Acacias respond to additions of phosphorus and to inoculation with VA mycorrhizal fungi in soils stockpiled during mineral sand mining. *Plant Soil* 115: 99-108.
- Kiernan, J.M., J.W. Hendrix, L.P. Stoltz y C.M. Maronek. 1983. Characterization of strawberry plants produced by tissue culture and infected with specific mycorrhizal fungi. *HortSci.* 19: 883-885.
- Lambais, M.R. y E.J.B.N. Cardoso. 1988. Spore germination and root colonization of *Stilosanthes guianensis* by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in an acid and dystrophic soil. *R. Bras. Ci. Solo* 12: 249-255.

- Li, S., E. George y H. Marschner. 1991. Phosphorus depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VA mycorrhizal white clover fertilized with ammonium. *New Phytol.* 119: 397-404.
- Menge, J.A., C.K. Labanauskas, E.L. V. Johnson y R.G. Platt. 1978. Partial substitution of mycorrhizal fungi for phosphorus fertilization in the greenhouse culture of citrus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 926-930.
- Núñez, E.R. y R.F. Gavi. 1994. Comportamiento agronómico de roca fosfórica en Baja California en un andosol, un planosol y un aridisol de México. *Terra* 12: 17-22.
- Pairunan, A.K., A.D. Robson y L.K. Abbott. 1980. The effectiveness of vesicular-arbuscular mycorrhizas in increasing growth and phosphorus uptake of subterranean clover from phosphorus sources of different solubilities. *New Phytol.* 84: 327-338.
- Phillips, J.A. y D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Shanmuyam, N., R. Chandra Babu y C. Thalamuthy. 1981. Studies on the response of acid lime (*Citrus aurantifolia* Swing) to vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Curr. Sci.* 50: 772-773.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular arbuscular mycorrhiza in agrosystems. Technical Coop. Germany, GTZ Schborn.
- Smith, S.E., B.J. St. John, F.A. Smith y J.D. Nicholas. 1985. Activity of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in *Trifolium subterraneum* L. and *Allium cepa* L.: Effects of mycorrhizal infection and phosphate nutrition. *New Phytol.* 99: 211-227.
- Timmer, L.W. y R.F. Leyden. 1980. The relationship of mycorrhizal infection to phosphorus-induced copper deficiency in sour seedlings. *New Phytol.* 85: 15-23.
- Torres, A.M., R. Ferrera-Cerrato, J.L. Tirado, M.C. González-Chávez y J.A. Santizo. 1992. Respuesta de la simbiosis naranjo agrío-hongo endomicorrízico al suministro de fósforo. pp. 225. In: J.L. Tovar S. y R. Quintero L. (eds.). 1992. La investigación edafológica en México 1991-1992. XXV Congr. Nac. Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Gro.
- Vinayak, K. y D.J. Bagyaraj. 1990. Vesicular arbuscular mycorrhizal screened for troyer citange. *Biol. Fertil. Soils* 9: 311-314.

SELECCION DE SUSTRATOS DE CRECIMIENTO EN MICROPLANTULAS DE CITRICOS INOCULADAS CON *Glomus* sp. Zac-19

Selection of Growth Substrates in Micropropagated Citrus Inoculated Plants with *Glomus* sp. Zac-19

M.C. González-Chávez¹, R. Ferrera-Cerrato¹, A. Villegas-Monter² y J.L. Oropeza¹

RESUMEN

Se estudió el efecto de siete sustratos y la inoculación con *Glomus* sp. Zac-19 en el crecimiento de cítricos micropropagados (*Poncirus trifoliata* x *Citrus sinensis*: Citrange Carrizo y C. Troyer). Los sustratos influyeron la supervivencia de las microplántulas, crecimiento post-trasplante, concentración de P en follaje y colonización endomicorrízica. Suelo:Germinaza (1:2) y Suelo:Turba:Germinaza (1:1:1) fueron los mejores sustratos para favorecer el crecimiento de las microplántulas. Se observó que Carrizo y Troyer difirieron en su capacidad para su establecimiento, crecimiento y respuesta a la inoculación. La inoculación con *Glomus* sp. Zac-19 afectó positiva y significativamente todas las variables de crecimiento y concentración de P en ambos genotipos. Sin embargo, Troyer fue más dependiente en comparación con Carrizo de la presencia de *Glomus* sp. Zac-19 para expresar su máximo crecimiento. Se observó un aparente efecto de protección a estrés de temperatura, derivado de la capacidad en la retención de agua de los sustratos, lo cual resulta de interés para realizar estudios más profundos. La selección de sustratos es importante para obtener el máximo beneficio de la inoculación con hongos micorrízicos en plantas de cítricos micropropagadas creciendo en el vivero.

Palabras clave: Micropropagación, viveros frutícolas, inoculación micorrízica.

SUMMARY

Effects of seven substrates and inoculation with an arbuscular mycorrhizal fungal consortium *Glomus* sp. Zac-19 on the growth of Citrange Carrizo and C. Troyer (*Poncirus trifoliata* x *Citrus sinensis*)

¹ Instituto de Recursos Naturales (carmeng@colpos.colpos.mx).

² Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Estado de México.

Recibido: Agosto de 1996.

Aceptado: Marzo de 2001.

micropropagated plants were studied. Substrates had different effects on plant survival, post-transplant growth, concentration of P in foliage, and mycorrhizal colonization. Soil:Germinaze (1:2) and Soil:Peat:Germinaze (1:1:1) were the substrates that most favored growth. Troyer and Carrizo had different responses in terms of establishment, post-transplant growth, and inoculation. Inoculation significantly affected plant growth and foliage P concentration. Troyer was more dependent on the presence of the mycorrhizal consortium than Carrizo. Substrate was an important factor in protecting the plant from stress caused by high temperatures, a topic for further studies. The results suggest that substrate selection is necessary to obtain maximum benefits from inoculation in nursery micropropagated citrus plants.

Index words: Micropropagation, tree nursery, mycorrhizal inoculation.

INTRODUCCION

La micropropagación es una técnica importante de propagación de plantas hortícolas, frutícolas, forestales y ornamentales (Chu y Kurtz, 1990; González-Chávez *et al.*, 1998; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). Sin embargo, la transferencia de las plantas micropropagadas al suelo (de condiciones *in vitro* a *in vivo*) normalmente ha sido una etapa difícil (Wang *et al.*, 1993).

La micorriza arbuscular, asociación benéfica de la mayoría de las plantas superiores descritas (>85%) con hongos del orden de los Glomales (Smith y Read, 1997), tiene importante influencia en la aclimatación, establecimiento y crecimiento de plantas micropropagadas (Guillemin *et al.*, 1992; Lovato *et al.*, 1996; Carreón *et al.*, 2000). Algunos estudios consideraron el uso de la micorriza arbuscular en prácticas de fertilización en viveros (Blal *et al.*, 1990; Brazanti *et al.*, 1992; Williams *et al.*, 1992) y en protección contra patógenos del suelo (Guillemin *et al.*, 1994a,b). Sin embargo, el conocimiento que se tiene del efecto de los sustratos en la eficiencia de hongos micorrízicos arbusculares en plantas micropropagadas

es escaso (Carron y Parent, 1987; Ponton *et al.*, 1990). Reyes (2000) mostró que el uso de suelo agrícola favoreció el engrosamiento de plantas de aguacate inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19 en forma más eficiente que el suelo forestal. Este aspecto resulta relevante debido a que en la renovación tecnológica y modernización, los sustratos o medios de crecimiento desarrollan un papel fundamental en los viveros frutícolas, hortícolas, ornamentales y forestales (Pastor *et al.*, 1998). Esto implica el conocimiento del sustrato para optimizar la producción en el vivero, además de disminuir y evitar el agotamiento de los recursos no renovables como el suelo, el cual ha sido el principal sustrato (y probablemente lo siga siendo en algunos lugares) en muchas prácticas viveristas de México.

El objetivo del presente trabajo fue conocer el efecto de siete sustratos en el crecimiento de Troyer y Carrizo obtenidos por cultivo *in vitro* e inoculados con el consorcio micorrizico *Glomus* sp. Zac-19.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron siete sustratos de crecimiento. Como componente base de los sustratos se empleó suelo proveniente de la zona citrícola de Cazonas, Ver. Los sustratos se obtuvieron por combinación de suelo con turba (Peat-Lite Mixe, Geo J. Ball Inc.), germinaza (fibra de coco), arena de río o tierra de monte en diferentes combinaciones (volumen:volumen), a las cuales se les hizo un análisis físico y químico (Cuadro 1). La capacidad de retención de agua en cada sustrato se determinó por el método de Olla y membrana de presión (Richards, 1947). Los sustratos se fumigaron con bromuro de metilo.

Un lote de microplántulas enraizadas y aclimatadas de Citrange Carrizo y C. Troyer (*Poncirus trifoliata* x *Citrus sinensis*) se inoculó con 15 g del consorcio micorrizico *Glomus* sp. Zac-19 (con raíces colonizadas

en 70% y 250 esporas por 100 g de inóculo) al momento del trasplante y otro lote similar no se inoculó (plantas testigo). Se utilizaron bolsas negras de vivero con capacidad de tres kilos. Las plantas crecieron en condiciones de vivero (25 a 30 °C) y fotoperíodo de 8 h luz.

Se establecieron 14 tratamientos en cada uno de los genotipos estudiados. Diez repeticiones se establecieron con un diseño factorial, tomando como factores: sustratos (7) e inoculación (con y sin). Se evaluó el incremento de altura a los 75, 110 y 135 días después de la inoculación. A los 75 días después del trasplante se contó el número de hojas nuevas como una medida de reiniciación de crecimiento de las microplántulas. A los 135 días, las plantas se cosecharon y se evaluaron: diámetro de tallo, número de hojas, área foliar (Li-corr Area Meter Li-6100), peso seco de parte aérea, volumen radical. El contenido de P se analizó por el método colorimétrico vanadato-molibdato y el K intercambiable (acetato:amonio). La colonización micorrizica se realizó en raíces clareadas y teñidas por el método de Koske y Gemma (1989). Los datos generados se analizaron estadísticamente (ANOVA) y se realizó una prueba de comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

Crecimiento Post-trasplante

Se observó que la reiniciación de crecimiento fue muy lenta en ambos genotipos en los primeros 60 días después del trasplante. El número de hojas nuevas se afectó significativamente por el tipo de sustrato de crecimiento. El mayor número de hojas nuevas en Carrizo se observó en el sustrato Suelo:Germinaza con 2.25 hojas nuevas por planta y en Suelo con 2.15. Citrange Troyer establecido en Suelo:Arena produjo

Cuadro 1. Análisis físico y químico de los sustratos utilizados.

Sustrato ¹	pH	MO	N ²	P ³	K ³	Da
		----- % -----		mg kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹	g cm ⁻³
Suelo ¹	7.8	0.67	0.03	4	0.17	1.53
Suelo:Turba (2:1)	7.6	1.34	0.07	7	0.27	1.23
Suelo:Germinaza (1:2)	7.6	2.55	0.13	19	0.98	0.86
Suelo:Arena (1:2)	8.0	0.20	0.01	5	0.23	1.63
Suelo:Turba:Germinaza (1:1:1)	7.6	2.75	0.14	13	0.58	0.95
Suelo:Arena:Germinaza (1:1:1)	7.6	1.54	0.08	10	0.46	1.25
Suelo:Arena:Tierra de Monte (1:1:1)	7.0	3.00	0.15	8	0.19	1.31

¹ Los componentes de los sustratos están mezclados con base en volúmenes.

² Suelo de zona citrícola. MO = Materia orgánica. Da = Densidad aparente.

³ Nitrógeno total, P Olsen y K intercambiable, respectivamente.

2.35 hojas nuevas, mientras que en Suelo:Germinaza fueron 2.15. Este mayor número de hojas correspondió a plantas inoculadas, por lo que la inoculación fue el factor más significativo para promover el crecimiento post-trasplante. En los otros sustratos, el número de hojas nuevas fue menor que 1.

Los resultados demuestran que la naturaleza y las propiedades de los sustratos afectan el establecimiento y comportamiento de los hongos micorrízicos, y el crecimiento de plántulas micropropagadas. Pastor *et al.* (1998) mencionaron que una de las etapas críticas en los viveros de plantas frutícolas, es el trasplante, en el cual el sustrato tiene un papel importante para amortiguar el estrés hídrico de la planta. Este estrés se da por una demanda evapotranspirativa de la atmósfera que no puede ser compensada por la absorción radical, o bien, porque no hay agua o porque el sistema radical no es totalmente funcional. Esta última situación es la que se enfrentan la mayoría de las plantas obtenidas por micropropagación.

Supervivencia de las Plantas

A los 100 días después del trasplante se presentó un fallo accidental del enfriador automático que duró cinco días, lo cual conllevó temperaturas superiores a 40 °C y esto fue la causa de la muerte de numerosas plantas (Figura 1). Se observó un daño diferencial influenciado por el genotipo, sustrato y la inoculación o no de las plantas. Troyer fue más sensible a la alta temperatura y presentó mayor porcentaje de plantas muertas que Carrizo. En plántulas de Troyer, las cuales estuvieron creciendo en los sustratos Suelo:Germinaza y Suelo:Arena:Tierra de Monte, se presentó mayor porcentaje de supervivencia. En plántulas de Carrizo, con los sustratos Suelo:Germinaza, Suelo:Arena, Suelo:Turba:Germinaza y Suelo:Arena:Tierra de Monte no se presentaron plantas muertas. La inoculación con el consorcio *Glomus* sp. Zac-19 incrementó la supervivencia en ambos genotipos. Wang *et al.* (1993) encontraron disminución en la mortalidad de plantas micropropagadas debido a la inoculación con hongos endomicorrízicos. La inoculación con *Glomus* sp. Zac-19 y el tipo de sustrato tuvieron un efecto protector ante esta alta temperatura, especialmente en Troyer, en el cual, en los tratamientos no inoculados, presentaron porcentajes de supervivencia menores que 50%. Esto sugiere que los hongos micorrízicos podrían participar en la protección de la planta hospedante a temperaturas extremas (Killham, 1994). El mayor porcentaje de

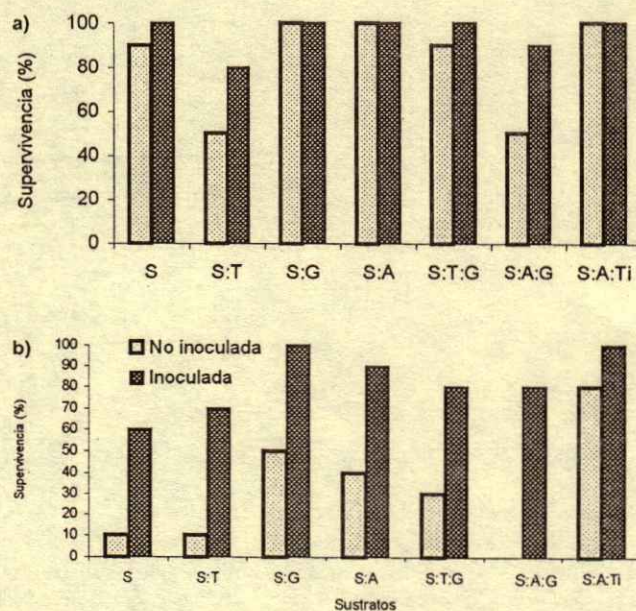


Figura 1. Supervivencia de plántulas micropropagadas de cítricos. a) Carrizo y b) Troyer creciendo en diferentes sustratos.

S = Suelo. S:T = Suelo:Turba 2:1. S:G = Suelo:Germinaza 1:2. S:A = Suelo:Arena 1:2. S:T:G = Suelo:Turba:Germinaza 1:1:1. S:A:G = Suelo:Arena:Germinaza 1:1:1. S:A:Ti = Suelo:Arena:Tierra de Monte 1:1:1.

supervivencia de las plantas inoculadas, desarrollándose en las condiciones de estrés de temperatura, es un hecho que sugiere realizar futuros experimentos para conocer el posible papel de protección del sustrato y de los hongos micorrízicos en condiciones de estrés de temperatura. Wood (1989) mencionó que las altas temperaturas en los suelos a menudo están asociadas con condiciones secas y pueden afectar a las plantas y a los organismos del suelo. Una posible explicación de la diferente capacidad de supervivencia de las plantas en los sustratos utilizados, puede estar basada en que los sustratos estudiados presentaron curvas de retención de humedad diferencial (Figura 2). Suelo:Germinaza y Suelo:Turba:Germinaza presentaron mayor porcentaje de retención de humedad aun en punto de marchitez permanente (15 bar), lo que pudo ser la causa de que las plantas no murieran y pudieran recuperarse al reestablecerse las condiciones de capacidad de campo. Estos resultados muestran la necesidad de considerar la calidad física, química y biológica de los sustratos (Burés, 1998). Saif (1981) reportó que una buena aireación del sustrato es útil para la respiración y actividad del hongo, lo cual repercute en la supervivencia de las plantas.

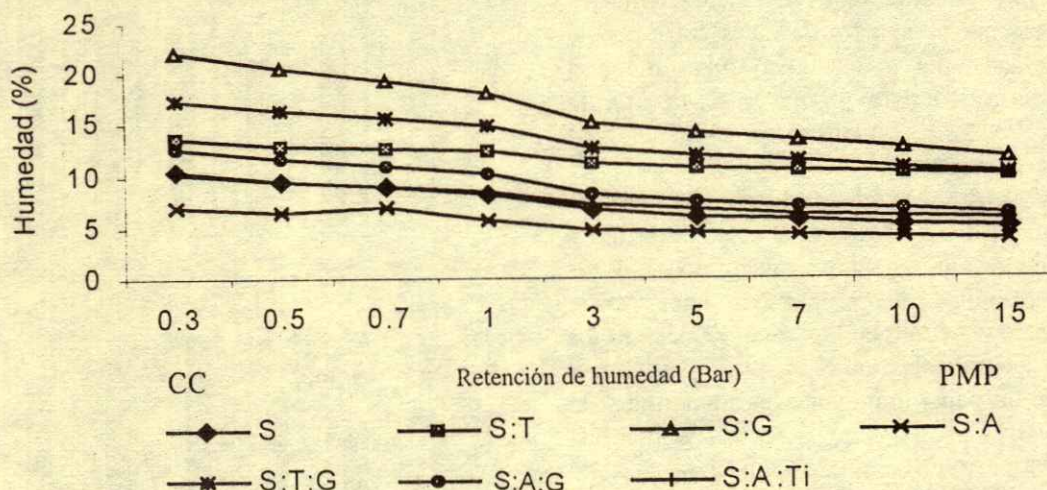


Figura 2. Curva de retención de humedad de los sustratos. CC = Capacidad de campo. PMP = Punto de marchitez permanente. S = Suelo. S:T = Suelo:Turba 2:1. S:G = Suelo:Germinaza 1:2. S:A = Suelo:Arena 1:2. S:T:G = Suelo:Turba:Germinaza 1:1:1. S:A:G = Suelo:Arena:Germinaza 1:1:1. S:A:Ti = Suelo:Arena:Tierra de Monte 1:1:1.

Efecto del Sustrato en el Crecimiento

En los primeros 75 días después del trasplante, la altura de Carrizo (Figura 3a) se afectó significativamente (Tukey $\alpha = 0.05$, DMS = 0.70 cm) por el sustrato empleado. Con el sustrato Suelo:Arena:Tierra de Monte se obtuvo el menor incremento de altura (1.56 cm), mientras que los mayores incrementos se observaron con Suelo:Germinaza, Suelo:Arena, Suelo:Turba:Germinaza y Suelo:Arena:Germinaza (2.34 a 2.74 cm). Sin embargo, en Troyer no se observaron diferencias significativas en esta primera etapa, pero sí a partir de los 110 días después del trasplante (Figura 3b). A los 135 días después del trasplante, los sustratos Suelo, Suelo:Germinaza y Suelo:Turba:Germinaza favorecieron más el crecimiento de Carrizo y para Troyer fueron: Suelo:Germinaza, Suelo:Turba:Germinaza y Suelo:Arena:Tierra de Monte (Figura 3).

En ambos genotipos, el sustrato influyó en el diámetro de tallo, número de hojas, área foliar, peso seco de la parte aérea y volumen radical de las plántulas (Cuadro 2). En Carrizo, el sustrato Suelo:Germinaza propició la mejor respuesta en todas las variables de crecimiento mencionadas, excepto en el peso seco de la parte aérea, el cual fue mayor con el sustrato Suelo:Turba:Germinaza (Cuadro 2). En Troyer, el diámetro de tallo y el número de hojas se incrementaron en Suelo:Arena:Tierra de Monte, el área foliar y peso seco en Suelo:Turba:Germinaza, mientras que el

volumen radical fue mayor en Suelo:Germinaza (Cuadro 2).

Efecto de la Inoculación con *Glomus* en el Crecimiento

La inoculación influyó significativamente ($\alpha = 0.05$) todas las variables de crecimiento estudiadas en ambos genotipos, excepto el incremento de altura a los 75 días después del trasplante (Cuadro 3). Las plantas no inoculadas de ambos genotipos mostraron mínimo incremento en altura a diferencia de las plantas inoculadas (Figura 3). Estos resultados muestran la importancia de la inoculación en este tipo de plantas, las cuales son altamente dependientes de la simbiosis micorrízica para expresar el máximo desarrollo. Por esto se recomienda que sea una tecnología usada para la producción de plantas en vivero, pero especialmente para aquellas provenientes del cultivo *in vitro*, como reportado por otros autores (González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 1994; Lovato *et al.*, 1996; González-Chávez *et al.*, 1998; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999).

Se observó que Carrizo tuvo una menor respuesta a la inoculación que Troyer. Los incrementos debidos a la inoculación a los 135 días después del trasplante fueron significativos con base en el testigo no inoculado. Los incrementos correspondieron a 284, 66, 134, 231, 292 y 94% en altura, diámetro de tallo, número de hojas, área foliar, peso seco de la parte aérea y volumen radical en

Cuadro 2. Efecto de los sustratos sobre el crecimiento de genotipos de cítricos provenientes del cultivo *in vitro*.

Sustrato	Diámetro de tallo		Número de hojas		Área foliar		Peso seco		Volumen radical	
	Carrizo	Troyer	Carrizo	Troyer	Carrizo	Troyer	Carrizo	Troyer	Carrizo	Troyer
	----- mm -----				----- cm ² -----		----- g -----		----- cm ³ -----	
S [†]	2.4 abc	0.5 d	4.8 ab	5.0 b	42.7 ab	20.7 b	0.74 ab	0.23 b	2.5 bcd	0.5 c
S:T	1.7 d	0.7 cd	10.1 c	6.6 b	38.8 ab	34.6 ab	0.57 ab	0.34 ab	1.6 d	0.8 cd
S:G	3.1 a	1.4 ab	15.6 a	10.3 ab	54.1 a	54.4 ab	0.80 ab	0.60 ab	4.1 a	1.8 a
S:A	2.6 ab	1.1 abcd	14.3 abc	9.4 ab	47.9 ab	45.4 ab	0.79 ab	0.47 ab	2.7 bc	1.3 abc
S:T:G	2.6 abc	1.2 abc	14.3 abc	9.6 ab	51.6 ab	74.0 a	0.85 a	0.78 a	3.2 ab	1.5 ab
S:A:G	1.9 cd	0.7 bcd	10.4 bc	6.4 b	35.3 ab	35.8 ab	0.60 ab	0.38 ab	2.0 cd	0.8 bc
S:A:Ti	2.2 bcd	1.5 a	12.9 abc	12.4 a	29.3 b	69.4 a	0.48 b	0.70 a	2.3 bcd	1.6 ab

[†] S = Suelo. S:T = Suelo:Turba 2:1. S:G = Suelo:Germinaza 1:2. S:A = Suelo:Arena 1:2. S:T:G = Suelo:Turba:Germinaza 1:1:1. S:A:G = Suelo:Arena:Germinaza 1:1:1. S:A:Ti = Suelo:Arena:Tierra de Monte 1:1:1.

Letras idénticas dentro de la misma columna no son diferentes estadísticamente (Tukey $\alpha = 0.05$).

Cuadro 3. Efecto de la inoculación con *Glomus* sp. Zac-19 sobre el crecimiento de genotipos de cítricos micropropagados.

Tratamiento	Altura [†]			Diámetro de tallo	Número de hojas	Área foliar	Peso seco	Volumen radical
	1	2	3					
	----- cm -----			mm		cm ²	g	cm ³
Carrizo								
Inoculadas	2.4 a	18.8 a	21.9 a	3.0 a	18.5 a	66.2 a	1.10 a	3.5 a
No inoculadas	2.1 a	5.7 b	5.7 b	1.8 b	7.9 b	20.0 b	0.28 b	1.8 b
Troyer								
Inoculadas	1.3 a	10.9 a	17.4 a	1.6 a	14.7 a	91.1 a	0.93 a	2.0 a
No inoculadas	1.2 a	1.9 b	1.9 b	0.4 b	2.4 b	3.8 b	0.05 b	0.3 b

[†] Incrementos de altura 1 = 75, 2 = 110 y 3 = 135 días después del trasplante.

Letras idénticas dentro de la misma columna entre genotipos no son diferentes estadísticamente (Tukey $\alpha = 0.05$).

Carrizo y de 815, 300, 512, 2297, 1760 y 566%, respectivamente, en Troyer.

Interacción Sustrato-Inoculación en el Crecimiento

En plántulas de Carrizo inoculadas no se observó efecto significativo con respecto a los sustratos ensayados en las variables diámetro de tallo y número

de hojas; sin embargo, en el área foliar y peso seco se observó un efecto negativo con el sustrato Suelo:Arena:Tierra de Monte, así como en el volumen radical con los sustratos Suelo:Turba, Suelo:Arena:Germinaza y Suelo:Arena:Tierra de Monte (Cuadro 4). En resumen, se podría recomendar para el mejor crecimiento de las plántulas de Carrizo inoculadas, los sustratos que permitieron la

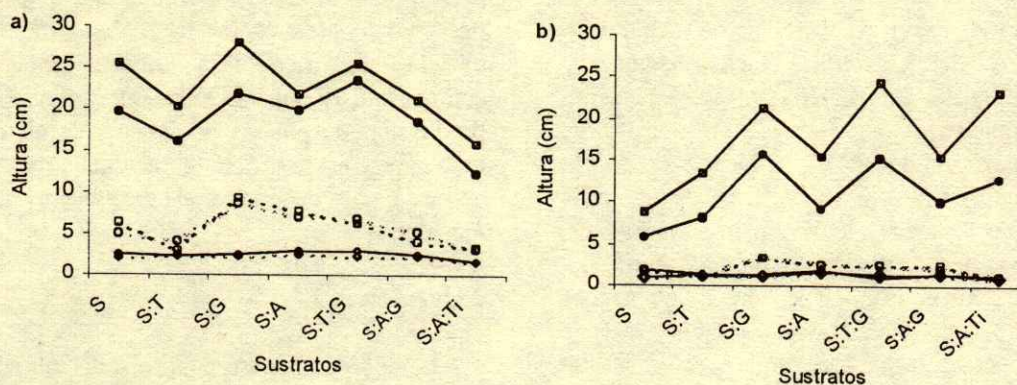


Figura 3. Efecto de diferentes sustratos sobre el incremento en altura de dos genotipos de cítricos obtenidos del cultivo *in vitro*. a) Carrizo y b) Troyer.

S = Suelo. S:T = Suelo:Turba 2:1. S:G = Suelo:Germinaza 1:2. S:A = Suelo:Arena 1:2. S:T:G = Suelo:Turba:Germinaza 1:1:1. S:A:G = Suelo:Arena:Germinaza 1:1:1. S:A:Ti = Suelo:Arena:Tierra de Monte 1:1:1.

Símbolos llenos = Inoculadas. Símbolos vacíos = No Inoculadas. ◊, ◆ = 75, ●, ○ = 110 y ◻ = 135 días después del trasplante.

Cuadro 4. Respuesta de la inoculación micorrizica y sustratos en el crecimiento de Citrange Carrizo proveniente del cultivo *in vitro*.

Sustrato	Inoculación	Diámetro de tallo mm	Número de hojas	Area foliar cm ²	Peso seco g	Volumen radical cm ³
S ¹	(-)	1.8 bc	8.0 ef	18.7 e	0.28 cd	1.5 ef
	(+)	3.1 a	21.6 a	66.7 abc	1.20 ab	3.5 abc
S:T	(-)	0.9 c	4.9 f	9.8 e	0.14 d	0.8 f
	(+)	2.6 ab	15.4 abcd	67.9 abc	1.0 ab	2.5 bcde
S:G	(-)	2.7 ab	13.3 bcde	33.9 cde	0.45 cd	3.1 bcde
	(+)	3.5 a	17.9 ab	74.4 ab	1.14 ab	5.0 a
S:A	(-)	2.4 ab	9.5 cdef	28.8 de	0.42 cd	2.1 cdef
	(+)	2.9 ab	19.1 a	67.0 abc	1.15 ab	3.4 abcd
S:T:G	(-)	1.8 bc	7.3 ef	22.2 c	0.33 cd	2.3 cdef
	(+)	3.4 a	21.3 a	81.0 a	1.36 a	4.2 ab
S:A:G	(-)	1.0 c	4.1 f	8.9 e	0.17 d	1.0 f
	(+)	2.8 ab	16.7 abc	61.6 abcd	1.02 ab	2.9 bcde
S:A:Ti	(-)	1.9 bc	8.7 def	17.5 e	0.21 d	1.7 def
	(+)	2.7 ab	17.7 ab	42.3 bcde	0.78 bc	2.9 bcde

¹S = Suelo. S:T = Suelo:Turba 2:1. S:G = Suelo:Germinaza 1:2. S:A = Suelo:Arena 1:2. S:T:G = Suelo:Turba:Germinaza 1:1:1. S:A:G = Suelo:Arena:Germinaza 1:1:1. S:A:Ti = Suelo:Arena:Tierra de Monte 1:1:1.

(-) = No inoculadas. (+) = Inoculadas.

Letras idénticas dentro de la misma columna no son diferentes estadísticamente (Tukey $\alpha = 0.05$).

mejor expresión del beneficio de la inoculación: Suelo:Germinaza y Suelo:Turba:Germinaza. Saif (1981) mencionó que un sustrato ideal que permita una simbiosis micorrizica funcional y eficiente debe proveer un adecuado y balanceado suplemento de agua y oxígeno para el crecimiento del hongo y de las raíces.

A pesar de que plántulas de Troyer fueron más dependientes de la condición micorrizica, el sustrato disminuyó significativamente el beneficio de la inoculación, lo que refleja la importancia de la selección de sustratos. Las condiciones físicas y químicas del sustrato son importantes para la eficiencia de los hongos arbusculares. En plantas inoculadas, el uso de Suelo, como único componente del sustrato, produjo los valores más bajos en todas las variables de crecimiento evaluadas (Cuadro 5). Los sustratos Suelo:Germinaza y Suelo:Turba:Germinaza propiciaron el recrecimiento inicial (Post-trasplante), supervivencia, crecimiento de los genotipos, establecimiento y eficiencia de la simbiosis endomicorrizica. Sus características químicas y físicas (micronutrientes, macronutrientes, densidad, pH, características de retención de humedad, etc.), permitieron expresar la eficiencia de los hongos micorrizicos. Esto los ubica como sustratos con uso potencial en viveros frutícolas (Nowosielski, 1985; Ünver *et al.*, 1989; Burés 1998). Esto resulta de interés, considerando que la inoculación endomicorrizica es primordial en la producción de plantas en vivero y que puede acoplarse a los procedimientos culturales del

viverista, obteniendo técnicas eficientes y económicas, situación imperativa en los viveros como lo plantea Verkade (1987). La germinaza es aparentemente el componente que confiere al sustrato las características químicas y físicas adecuadas, y la inoculación micorrizica la característica biológica importante para el desarrollo de las plantas. El uso de la germinaza, desecho del cultivo del coco, como componente de algunos de los sustratos ensayados, es prometedor y con múltiples ventajas. Este desecho no tiene ninguna aplicación y se tira a terrenos baldíos, ríos y arroyos, o bien, es quemado, conllevando lógicos problemas de contaminación. Así que su uso como componente de sustratos o para el crecimiento de hongos comestibles, resulta una alternativa promisoría para disminuir los riesgos de contaminación (Bernabé *et al.*, 1993). De esta manera, la germinaza puede tener uso como componente de sustratos sin incrementar los costos de producción de plantas en vivero, disminuir la cantidad de suelo a usar, disminuir el impacto ecológico por su extracción y beneficiar el crecimiento de las plantas inoculadas.

Contenido de P

El tipo de sustrato y la inoculación con *Glomus* sp. Zac-19 influyeron significativamente en el contenido de P en el follaje de ambos genotipos (Cuadro 6). En plantas de Carrizo, desarrolladas en Suelo:Germinaza, se presentó el mayor porcentaje de P, mientras que en

Cuadro 5. Interacción de la inoculación micorrizica y sustratos en el crecimiento de Citrange Troyer proveniente del cultivo *in vitro*.

Sustrato	Inoculación	Diámetro	Número de	Area	Peso	Volumen
		de tallo	hojas	foliar	seco	radical
		mm		cm ²	g	cm ³
S ¹	(-)	0.1 c	0.6 c	0.06 c	0.02 f	0.80 de
	(+)	0.9 de	9.4 bcd	40.80 cde	0.44 cdef	1.00 bcde
S:T	(-)	0.1 e	0.7 de	1.70 e	0.02 f	0.10 cde
	(+)	1.2 bcd	12.5 abc	67.40 bcde	0.67 bcdef	1.51 abcd
S:G	(-)	0.8 cde	4.4 de	10.10 de	0.13 def	0.73 bcde
	(+)	2.0 a	16.3 ab	98.70 abc	1.07 abc	2.88 a
S:A	(-)	0.6 cde	3.1 de	5.67 de	0.09 ef	0.70 bcde
	(+)	1.7 abc	15.7 ab	81.10 abc	0.80 abcd	2.00 ab
S:T:G	(-)	0.4 de	2.0 de	3.30 de	0.05 f	0.30 cde
	(+)	2.0 ab	17.3 ab	144.7 a	1.51 a	2.67 a
S:A:G	(-)	†	†	†	†	†
	(+)	1.4 abcd	12.3 abc	71.60 bcd	0.76 bcde	1.56 abc
S:A:Ti	(-)	0.9 bcde	5.4 de	5.80 de	0.09 def	0.53 bcde
	(+)	2.1 a	19.4 a	132.9 ab	1.31 ab	2.59 a

† S = Suelo. S:T = Suelo:Turba 2:1. S:G = Suelo:Germinaza 1:2. S:A = Suelo:Arena 1:2. S:T:G = Suelo:Turba:Germinaza 1:1:1. S:A:G = Suelo:Arena:Germinaza 1:1:1. S:A:Ti = Suelo:Arena:Tierra de Monte 1:1:1.

(-) = No inoculadas. (+) = Inoculadas.

† 100% de mortalidad de las plantas.

Letras idénticas dentro de la misma columna no son diferentes estadísticamente (Tukey $\alpha = 0.05$).

Troyer fue en Suelo:Turba y Suelo:Germinaza. Se observó una interacción positiva significativa sustrato:inoculación. La mejor combinación fue Suelo:Germinaza e inoculación. La inoculación incrementó siete veces la concentración de P en los genotipos. Barbosa y Ribeiro (1996) reportaron que microplántulas de piña, al ser inoculadas, presentaron mayor número de renuevos y mayor concentración de P y K en sus hojas.

Colonización Endomicorrízica

Ambos genotipos establecieron la simbiosis, pero el grado de colonización y su respuesta a la inoculación fueron diferentes entre ellos, esto pudo deberse al grado de receptividad de cada portainjerto. Wang *et al.* (1993) mencionaron que esta diferencia puede resultar de una morfología peculiar de las raíces formadas *in vitro*.

La colonización endomicorrízica se afectó significativamente por la composición del sustrato. El sustrato Suelo:Germinaza permitió mayor colonización de *Glomus* sp. Zac-19 en ambos genotipos; esto pudo deberse a las diferencias en su densidad aparente o contenido nutrimental (Cuadro 1). Wang *et al.* (1993) establecieron que la densidad aparente del sustrato puede influir significativamente en el establecimiento y crecimiento de los hongos endomicorrízicos. Estos autores también mencionaron que no siempre hay una relación estricta entre colonización y respuesta de

crecimiento de la planta hospedante, sino que la eficiencia micorrízica posiblemente es afectada por sus estructuras simbióticas, las que intervienen en los procesos de intercambio de nutrimentos.

Las raíces de Carrizo presentaron los mayores porcentajes de colonización (47 a 80%) que las raíces de Troyer (37 a 64%). Una tendencia similar se observó en el porcentaje de arbusculos. El porcentaje de vesículas fue mínimo en Troyer y sólo se observaron en raíces que crecieron en Suelo:Arena, Suelo:Arena:Tierra de Monte y Suelo. En Carrizo, las vesículas se encontraron en raíces que crecieron en todos los sustratos (Figura 4).

Carrizo, a pesar de presentar los mayores porcentajes de colonización endomicorrízica y de arbusculos, fue menos dependiente de la actividad endomicorrízica que el portainjerto Troyer. Esto fue contradictorio a lo reportado por Graham *et al.* (1991) quienes mencionaron que especies con baja dependencia micorrízica tienden a limitar la colonización, quizá por la baja disponibilidad de carbono al hongo o por otros mecanismos regulatorios, aún no comprendidos totalmente.

El contenido de P (19 mg kg⁻¹) y de materia orgánica (2.55%) en el sustrato Suelo:Germinaza no inhibió la colonización ni la eficiencia de los hongos endomicorrízicos, como lo han reportado otros investigadores (Graham y Timmer, 1984).

Manjarrez *et al.* (2000) mencionaron que para la producción del inóculo micorrízico, la selección de

Cuadro 6. Contenido de P (%) en la parte aérea de genotipos micropropagados e inoculados con *Glomus* sp. Zac-19.

Factor		Genotipo	
Sustrato		Carrizo	Troyer
S ¹		0.13 c	0.12 b
S:T		0.13 c	0.21 a
S:G		0.18 a	0.19 a
S:A		0.14 bc	0.10 b
S:T:G		0.16 b	0.11 b
S:A:G		0.15 bc	0.10 b
S:A:Ti		0.13 c	0.12 b
Inoculación			
(+)		0.26 a	0.23 a
(-)		0.04 b	0.03 b
Sustrato x inoculación			
S	(+)	0.21 d	0.17 bc
	(-)	0.02 f	0.02 d
S:T	(+)	0.24 c	0.22 b
	(-)	0.02 f	0.02 d
S:G	(+)	0.30 a	0.33 a
	(-)	0.07 e	0.05 d
S:A	(+)	0.24 cd	0.19 bc
	(-)	0.04 ef	0.02 d
S:T:G	(+)	0.29 ab	0.21 bc
	(-)	0.03 ef	0.02 d
S:A:G	(+)	0.27 abc	0.21 bc
	(-)	0.04 ef	†
S:A:Ti	(+)	0.25bc	0.22 bc
	(-)	0.02 f	0.02 d

¹S = Suelo. S:T = Suelo:Turba 2:1. S:G = Suelo:Germinaza 1:2. S:A = Suelo:Arena 1:2. S:T:G = Suelo:Turba:Germinaza 1:1:1. S:A:G = Suelo:Arena:Germinaza 1:1:1. S:A:Ti = Suelo:Arena:Tierra de Monte 1:1:1.

[†] 100% de mortalidad de las plantas.

(- = No inoculadas. (+) = Inoculadas.

Letras idénticas dentro de la misma columna no son diferentes estadísticamente (Tukey $\alpha = 0.05$).

sustratos es necesaria para permitir el buen desarrollo de la planta utilizada como hospedante, ya que el sustrato influye en el establecimiento de la simbiosis y la producción de propágulos fúngicos y, además, califica la calidad de inoculante producido. Los resultados en esta investigación muestran, además, la importancia de la selección de sustratos utilizados en vivero, al menos en el caso de Troyer, para la obtención de plantas con buen crecimiento y que el sustrato también influyó en la respuesta a la inoculación con hongos arbusculares.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran la necesidad de seleccionar un sustrato adecuado que permita tanto el crecimiento de la planta como la expresión benéfica de la simbiosis micorrízica. Esto fue principalmente cierto para las plántulas de Troyer, en las que el sustrato Suelo:Germinaza afectó su crecimiento y efecto de la

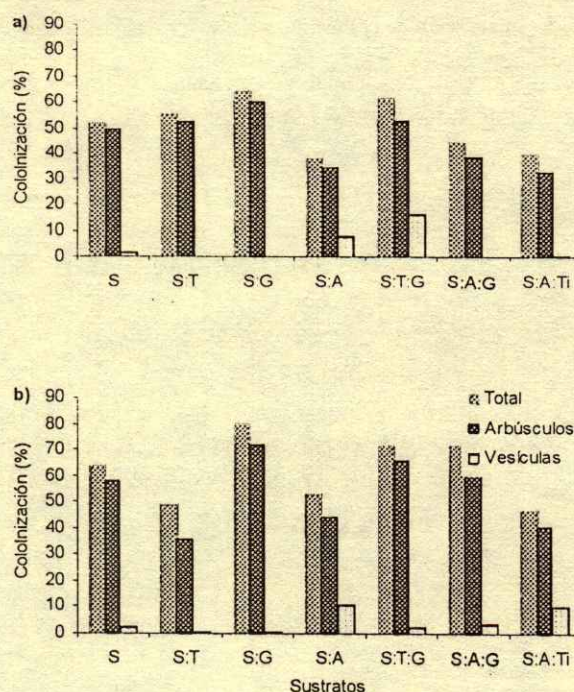


Figura 4. Efecto de sustratos sobre la colonización endomicorrizica en dos genotipos de cítricos micropropagados. a) Carrizo y b) Troyer.

S = Suelo. S:T = Suelo:Turba 2:1. S:G = Suelo:Germinaza 1:2. S:A = Suelo:Arena 1:2. S:T:G = Suelo:Turba:Germinaza 1:1:1. S:A:G = Suelo:Arena:Germinaza 1:1:1. S:A:Ti = Suelo:Arena:Tierra de Monte 1:1:1.

inoculación micorrízica. Estudios con diferentes sustratos potenciales, conteniendo componentes de bajo costo y alta disponibilidad, en las diferentes áreas productoras de plantas frutícolas de vivero deberían continuarse para poder seleccionar sustratos económicos y con alta calidad física y química, donde la eficiencia de la inoculación micorrízica pueda incrementarse.

LITERATURA CITADA

- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en los sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra* 17: 179-192.
- Barbosa, M.R.M. y E.M.S. Ribeiro. 1996. Effect of inoculation by arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micropropagated pineapple plants. *Fruits* 5: 115-119.
- Bernabé, G.T., M.S.R. Domínguez y S.A.B. Bautista. 1993. Cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* var. Florida sobre fibra de coco y pulpa de café. *Rev. Mex. Mic.* 9: 13-18.
- Blal, B., C. Morel, V. Gianinazzi-Pearson, J.C. Fardeau y S. Gianinazzi. 1990. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on phosphate fertilizer efficiency in two tropical acid soils planted with micropropagated oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Biol. Fertil. Soils* 9: 43-48.
- Brazanti, B., V. Gianinazzi-Pearson y S. Gianinazzi. 1992. Influence of phosphate fertilization on the growth and nutrient status of

- micropropagated apple infected with endomycorrhizal fungi during the weaning stage. *Agronomie* 12: 841-845.
- Burés, S. 1998. Preparación y selección de sustratos. pp. 37-46. *In*: J.N. Pastor (ed.). Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal. Universitat de Lleida. España.
- Carreón, Y., L. Ballesteros, R. Salgado y A. Alarcón. 2000. Inoculación de hongos micorrizicos arbusculares en plantas de zarzamora (*Rubus* sp.) micropropagadas. pp. 141-146. *In*: A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Mundi Prensa. México.
- Carron, M. y S. Parent. 1987. The influence of mycorrhizal fungi on Carrizo citrange experimental peat-based mix. pp. 289-294. *In*: D.M. Sylvia, L.L. Hung y J.H. Graham (eds.). Proceedings of 7th North American Conference on Mycorrhizae. Gainesville, Florida.
- Chu, I.Y.E. y S.L. Kurtz. 1990. Commercialization of plant micropropagation. pp. 126-158. *In*: P.V. Ammirato, D.A. Evans, W.R. Sharp y Y.P.S. Bajaj (eds.). Handbook of plant cell culture. Vol. 5. McGraw-Hill, Nueva York.
- González-Chávez, M.C. y R. Ferrera-Cerrato. 1994. Interacción de la micorriza V-A y la fertilización fosfatada en diferentes portainjertos de cítricos. *Terra* 12: 338-344.
- González-Chávez, M.C., R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en arbuscular en fruticultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. ISBN 970-92068-0-X.
- Graham, J.H. y L.W. Timmer. 1984. Vesicular arbuscular mycorrhizae development and growth response of rough lemon in soil and soilless media: Effect of phosphorus source. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 109: 118-121.
- Graham, J.H., D.M. Eissenstat y D.L. Drouillard. 1991. On the relationship between a plant's mycorrhizal dependency and rate of vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization. *Functional Ecology* 5: 773-779.
- Guillemin, J.P., S. Gianinazzi y A. Trouvelot. 1992. Screening of VA endomycorrhizal fungi for establishment of micropropagated plants. *Agronomie* 12: 831-836.
- Guillemin, J.P., S. Gianinazzi, V. Gianinazzi-Pearson y J. Marchal. 1994a. Contribution of endomycorrhizae to biological protection of micropropagated pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr) against *Phytophthora cinnamomi* Rands. *Agric. Sci. Finl.* 3: 241-251.
- Guillemin, J.P., S. Gianinazzi, V. Gianinazzi-Pearson y J. Marchal. 1994b. Control by arbuscular endomycorrhizae of root colonisation by *Pratylenchus brachyurus* in pineapple microplants. *Agric. Sci. Finl.* 3: 253-262.
- Killham, K. 1994. Soil ecology. Cambridge University Press. United Kingdom.
- Koske, R.M. y J.N. Gemma. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycol. Res.* 92: 486-505.
- Lovato, P.E., V. Gianinazzi-Pearson, A. Trouvelot y S. Gianinazzi. 1996. The state of art of mycorrhizas and micropropagation. *Adv. Hort. Sci.* 10: 46-52.
- Manjarrez, M.J., A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato. 2000. Biotecnología de la producción de inóculo micorrizico arbuscular y su control de calidad. pp. 238-250. *In*: A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Mundi-Prensa. México.
- Nowosielski, O. 1985. The use of universal procedure for substrate compost evaluation. *Acta Horticulturae* 172: 83-85.
- Pastor, J.N., O. Marfa y R. Savé. 1998. Influencia del tipo de sustrato en el cultivo de arbustos ornamentales en contenedor. pp. 95-106. *In*: J.N. Pastor. (ed.). Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal. Universitat de Lleida. España.
- Ponton, F., Y. Piche, S. Parent y M. Carron. 1990. The use of vesicular-arbuscular mycorrhiza in Boston fern production. I. Effects of peat-based mixes. *HortSci.* 25: 183-189.
- Reyes, A.J.C. 2000. Micorriza arbuscular, bacterias y vermicomposta en el desarrollo y fisiología de un portainjerto de aguacate, raza mexicana (*Persea americana* Mill) en un sustrato alternativo de vivero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México.
- Richards, L.A. 1947. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Limusa. Mexico.
- Saif, S.R. 1981. The influence of soil aeration on the efficiency of vesicular arbuscular mycorrhizas. I. Effect of soil oxygen on the growth and mineral uptake of *Eupatorium odoratum* L. inoculated with *Glomus macrocarpus*. *New Phytol.* 88: 649-659.
- Smith, S.E. y D.J. Read. 1997. Mycorrhizal symbiosis. 2a ed. Academic Press. London.
- Ünver, I., Y. Atam, M.R. Ganga y N. Munsuz. 1989. Buffering capacities of some minerals and organic substrates. *Acta Horticulturae* 238: 83-97.
- Verkade, S.D. 1987. Effect of *Glomus fasciculatum* on rooting of *Virburnum dentatum* during propagation. p. 298. 7th National Conference on Mycorrhizae. Oregon.
- Wang, H., S. Parent, A. Gosselin y Y. Desjardins. 1993. Vesicular arbuscular mycorrhizal on peat-based substrates enhance symbiosis establishment and growth of three micropropagated species. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118: 896-901.
- Williams, S.C.K., M. Vestberg, M. Uosukainen, J.C. Dodd y P. Jeffries. 1992. Effects of fertilizer and arbuscular mycorrhizal fungi on the post-vitro growth of micropropagated strawberry. *Agronomie* 12: 851-857.
- Wood, M. 1989. Soil biology. Blackie. London.

INDICE DE AUTORES
AUTHORS INDEX

379

- Aguilar Acuña, J.L. 71
 Alarcón, A. 211
 Alcántar-González, G. 141, 239, 299
 Alfaro Ortiz, E.R. 93
 Almaguer Vargas, G. 173, 339
 Armas Reyes, R. 299
 Baca-Castillo, G.A. 141, 239
 Báez-González, A.D. 349
 Becerril Román, A.E. 125, 225
 Berúmen Padilla, S. 161
 Betancourt Yanez, P. 263
 Carreño Román, E. 313
 Castillo Morales, A. 225
 Castro-Brindis, R. 141
 Cetina Alcalá, V.M. 153
 Contreras, D.J. 125
 Corona Saenz, T. 173
 Cortés Flores, J.I. 239
 Cruz Huerta, L. 115
 Engleman Clark, E.M. 51, 147
 Escalante Estrada, J.A. 51, 147, 313
 Espinosa Moreno, J.A. 125
 Espinoza Espinoza, J.R. 339
 Etchevers Barra, J.D. 239
 Favela Chávez, E. 239
 Ferrera-Cerrato, R. 153, 211, 361, 369
 Figueroa Sandoval, B. 61, 263
 Fimbres Fontes, A. 219
 Galindo González, G. 83
 Gallegos Vázquez, C. 133
 García Nieto, H. 11
 García Dagher, R.R. 11
 Gardezi, Abdul Khalil 71, 153
 Gaytán Acuña, E.A. 125
 Geissert Kientz, D. 115
 Godoy Avila, C. 305
 Gómez Aguirre, G. 83
 Gómez D., D.J. 35
 González Cossio, F.V. 61
 González-Chávez, M.C. 211, 361, 369
 González Hernández, V.A. 147
 González Meza, A. 45
 Grageda-Cabrera, O.A. 1
 Gutiérrez Castorena, Ma. del C. 35, 93, 103
 Gutiérrez Puente, G. 161
 Hernández Garay, A. 263
 Hernández Leos, B.A. 45
 Ibáñez Martínez, A. 225
 Islas Gutiérrez, F. 27
 Larqué Saavedra, M. 153
 López Blanco, J. 11
 López Castañeda, C. 225
 López-Martínez, J.D. 161
 López Montoya, I. 305
 López Morgado, R. 71
 López-Romero, R.M. 141
 Luna-Olvera, H.A. 333
 Lleverino González, E. 103
 Maldonado Torres, R. 173
 Martínez Díaz, G. 219
 Martínez-Gamiño, M.A. 179, 187, 199
 Mastache Lagunas, A.A. 51, 313
 Medrano-González, M.A. 333
 Méndez García, T. 277
 Moreno Sánchez, R. 11
 Návar, J. 247, 255
 Navarro Bravo, A. 61
 Navone, S.M. 289
 Olalde Gutiérrez, V.M. 51, 313
 Olarte-Ortiz, O. 339
 Olivares-Sáenz, E. 133
 Ordaz Chaparro, V.M. 61, 263
 Oropeza Mota, J.L. 263, 369
 Ortega Delgado, M.L. 147
 Ortiz Solorio, C.A. 27, 35, 93, 103, 263
 Palacín, E. 289
 Palacios-Mayorga, S. 277
 Parra Quezada, R.A. 225
 Peña-Cabriales, J.J. 1, 325, 333
 Peña-Lomeli, A. 141
 Rodríguez Alcázar, J. 239, 299
 Rodríguez-Domínguez, L. 277
 Rodríguez Neave, F. 153
 Rosales-Robles, E. 349
 Salinas-García, J.R. 349
 Sánchez García, P. 51, 141, 313
 Sánchez-Yáñez, J.M. 325, 333
 Segura Castruita, M.A. 35
 Soria Ruiz, J. 27
 Sosa Montes, E. 147
 Synnott, T.J. 247, 255
 Tabares Rodríguez, W.C. 83
 Talavera Magaña, D. 153
 Tavarez Espinosa, C.A. 93
 Tijerina Chávez, L. 51, 313
 Tiscareño-López, M. 349
 Trejo López, C. 125
 Trinidad Santos, A. 93
 Uribe-Gómez, S. 349
 Valenzuela Ruiz, M. de J. 219
 Van Cleemput, O. 1
 Vázquez-Alvarado, R. 133
 Velázquez-García, J. de J. 349
 Vermoesen, A. 1
 Villegas-Monter, A. 211, 369
 Villers Ruiz, Ma. de L. 11
 Volke Haller, V. 27, 71
 Walthall, P.M. 179, 187, 199
 Zavala-García, F. 133

**REVISORES QUE COLABORARON DURANTE 2000
REVIEWERS**

- Adams Schroeder Randy H., Dr.
 Adriano Anaya Lourdes, M.C.
 Aguilar Noh Antonio, M.C.
 Aguirre Gómez Arturo, Dr.
 Alcántar González Gabriel, Dr.
 Alvarado López Jorge, M.C.
 Alvarez Sánchez Ma. Edna, Dra.
 Anaya Garduño Manuel, Dr.
 Arévalo Galarza Gustavo, Ing.
 Armenta Bojórquez Adolfo D., Dr.
 Asteinza Bilbao Gaiska, Dr.
 Baca Castillo Gustavo A., Dr.
 Barois Boullard Isabelle, Dra.
 Battle-Sales Jorge, Dr.
 Becerra Moreno Antonio, M.C.
 Becerril Román Alberto E., Dr.
 Benedicto Valdés Sergio, Dr.
 Bravo Lozano Angel G., Dr.
 Brutti Hofmann Lucrecia, Dra.
 Buenrostro Delgado Otoniel, Dr.
 Bullon Ames Juan, Dr.
 Buschiazzo E. Daniel, Dr.
 Cajuste Lenom J., Dr.
 Campos Cascaredo Adolfo, Dr.
 Carrillo González Rogelio, Dr.
 Castellanos Ramos Javier Z., Dr.
 Catalán Valencia Ernesto A., Dr.
 Contreras Magaña Efraín, M.C.
 Coras Merino Pablo M., Dr.
 Corlay Chee Langen, M.C.
 Cortés Flores J. Isabel, Dr.
 Cram Hydrich Silke, Dra.
 Cristóbal Acevedo David, Dr.
 Cruz Díaz Jaime, M.C.
 Cruz Huerta Ma. de Lourdes, M.C.
 Cueto Wong José A., Dr.
 Chávez Aguilera Noel, M.C.
 De León Luis Fernando, Dr.
 Domínguez Castillo Esteban, M.C.
 Enríquez Reyes Sergio, Dr.
 Escalante Estrada J. Alberto, Dr.
 Espinosa Victoria David, Dr.
 Espinoza Banda Armando, M.C.
 Estrada Berg W. Juan, M.C.
 Etchevers Barra Jorge D., Dr.
 Favela Chávez Esteban, Dr.
 Faz Cano Angel, Dr.
 Félix Verdugo Omar, M.C.
 Figueroa Miguel Salvador, Dr.
 Flores Roman David, Dr.
 Galvis Spinola Arturo, Dr.
 García Pérez Rafael, M.C.
 Gómez Cruz Guadalupe, Dra.
 Gómez Díaz David, M.C.
 González Chávez Ma. del C., Dra.
 González Eguiarte Diego, Dr.
 Gutiérrez Castorena Ma. del C., Dra.
 Gutiérrez Ruiz Margarita, M.C.
 Hernández Jiménez Alberto, Dr.
 Jiménez Sánchez Leobardo, Dr.
 Jiménez Yañez Isabel, Biol.
 Larqué Saavedra Alfonso, Dr.
 Lázaro Chávez Pedro, M.C.
 Lee Rodríguez Vicente, Dr.
 León Lárraga Mariana, M.C.
 Licona Vargas Atenógenes, M.C.
 López Jiménez Alfredo, M.C.
 López Martínez José Dimas, Dr.
 López Reyes Lucía, M.C.
 Martínez Cerdas Claudia, Dra.
 Martínez Elizondo René, M.C.
 Núñez Escobar Roberto, Dr.
 Ochoa Loza Francisco J., Dr.
 Olalde Portugal Víctor, Dr.
 Olivares Rodríguez Felipe, Dr.
 Ordaz Chaparro Víctor M., Dr.
 Ortega Escobar Manuel, Dr.
 Ortega María Luisa, Dra.
 Ortiz Olguín Miguel, M.C.
 Ortiz Solorio Carlos A., Dr.
 Pájaro Huertas David, M.C.
 Palacios Mayorga Sergio, M.C.
 Palma López David Jesús, Dr.
 Pastor Sáez Narciso J., Prof.
 Peña Cabriales Juan José, Dr.
 Pérez Nieto Joel, Dr.
 Pineda Pineda Joel, Dr.
 Pulido Secundino Juan, M.C.
 Queitsch Kroker Jürgen, Dr.
 Quintero Lizaola Roberto, M.C.
 Ramírez Ayala Carlos, M.C.
 Rivera Ruiz Pedro, M.C.
 Robledo Santoyo Edmundo, M.C.
 Rodríguez Mendoza Ma. de las Nieves, Dra.
 Rodríguez Neave Francisco, Ing.
 Rodríguez Orlando, Dr.
 Rojano Aguilar Abraham, Dr.
 Romero Lima Ma. del Rocío, M.C.
 Rubio Covarrubias Oswaldo, Dr.
 Ruiz Vega Jaime, Dr.
 Salazar Sosa Enrique, Dr.
 Salgado García Sergio, Dr.
 Sánchez Cohen Ignacio, M.C.
 Sandoval Villa Manuel, Dr.
 Siebe Grabach Christina, Dra.
 Sommer Cervantes Irene, Dra.
 Tah Iuit Juan Francisco, Ing.
 Terrazas Domínguez Silvia, Dra.
 Tijerina Chávez Leonardo, Dr.
 Tiscareño López Mario, Dr.
 Torrent Castellet José, Dr.
 Torres Carral Guillermo, Dr.
 Tovar Salinas Jorge L., M.C.
 Trinidad Santos Antonio, Dr.
 Turino Mattos Laura, Dra.
 Turrent Fernández Antonio, Dr.
 Uribe Gómez Sergio, Dr.
 Uvalle Bueno Xavier, Dr.
 Valdez Ramírez María, Dra.
 Vargas Hernández Mateo, Dr.
 Vázquez Aguilar Valentín, M.C.
 Vázquez Alarcón Antonio, Dr.
 Vázquez Hernández Andrés, M.C.
 Vázquez Vázquez Cirilo, M.C.
 Velasco Molina Hugo Alejo, Dr.
 Velasco Velasco Vicente, Dr.
 Vergara Sánchez Miguel A., M.C.
 Villa Castorena Magdalena, M.C.
 Villarreal Romero Manuel, Dr.
 Villegas Monter Angel, Dr.
 Zamudio González Benjamín, Dr.
 Zavaleta Mejía Emma, Dra.

NORMAS PARA PUBLICACION EN TERRA

TIPOS DE MANUSCRITOS PARA PUBLICACION

La Revista TERRA acepta trabajos en español e inglés, sobre temas relacionados con la ciencia del suelo y el agua. Estos 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 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 nacional.

La reseña de libros es una sección destinada a dar a conocer la obra, particularmente 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); 3) institución donde se desarrolló el trabajo; 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 máquina y a doble espacio.

Los trabajos deben enviarse con original y dos copias, mecanografiados 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 20 páginas, aunque la extensión ideal es de 15 para un artículo científico y de ocho para una nota científica. Cada cuadro o figura se incluirá en una hoja aparte con su correspondiente número de identificación con lápiz de grafito suave en el reverso. Las leyendas correspondientes se mecanografiarán en una hoja aparte. 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. Los manuscritos, figuras y cuadros deberán entregarse también en un disquete de 3.5" en procesador Word para Windows de la versión más reciente. Las figuras deberán estar en formato que permita editarlas íntegramente.

FORMATO PARA PUBLICACION

En Terra, 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 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.

Autores. Se incluirá el nombre del autor o autores en la manera en que éstos acostumbran escribirlo en sus publicaciones. No se usarán títulos ni grados. La primera letra del nombre y apellidos 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 debe quedar claramente especificada. 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.

De la 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 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.

Resumen. Esta sección debe sintetizar, en aproximadamente 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. 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: Rizósfera, 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. Estos se presentarán en forma de texto, cuadros o figuras, estos últimos no deberán duplicar la información presentada en el texto. La información presentada en cuadros y figuras tampoco deberá duplicarse, e incluirá 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. 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 (1982) observó que... Carrasco (1983) y Merino (1984) 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, 1982) o (Carrasco, 1983; Merino, 1984) o (Bravo *et al.*, 1979); 5) cuando el autor tiene más de una publicación en un año se adiciona a este a, b, c, ejemplo: (Moreno, 1984a) o (Moreno, 1984b); 6) las comunicaciones personales se citarán sólo en el texto, ejemplo: (R. Nuñez E., 1984 Comunicación personal); 7) 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 referencia.

Literatura Citada. Se prefiere que las referencias incluidas sean de fecha reciente.

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:
Núñez E., R., A. Trinidad S. y J.J. Martínez H, 1984. Efecto del estiércol de vacuno en la producción de maíz. *Agropecuaria Técnica* 54: 385-388.

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 ha mantenido la inicial del segundo apellido y del 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 F., 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 F., 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:

Clement, H.F. 1952. Factors affecting the growth of sugarcane. Univ. Hawaii Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 18.

4. Caso de los libros, ejemplo:

Jackson, M.L. 1964. Análisis químico de los suelos. Traducción al español de J. Huerta. Editorial Omega, Barcelona, España.

Zamudio H., B. 1970. Las especies latifoliadas del Cono Sur. 2a edición. Editorial Inca. Lima, Perú.

5. Caso de citas en internet, ejemplo:

Howell, A. T. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture.

<http://agron.scijournal.org/cgi/content/abstract/93/2/281>

(Consultado 28 mayo 2001)

No deben citarse referencias de tesis ni resúmenes incluidos en memorias, por ser de difícil acceso o consulta. La lista de citas se confeccionará en orden alfabético, con sangría francesa de 0.6 cm exceptuando el nombre del autor, con tipo de letra TIMES NEW ROMAN 9, sólo se incluirá en ella los trabajos citados en el texto.

Otros Aspectos del Manuscrito

A continuación se dan algunas indicaciones acerca de los cuidados y consideraciones que hay que tomar en cuenta para la elaboración de figuras, cuadros, mapas, etc. 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 aquéllos 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. Otras notas serán señaladas con los siguientes símbolos en orden: †, ‡, §, ¶, #, ††, ‡‡, ..., †††.

Los cuadros deben tener tres líneas horizontales continuas: al inicio del cuadro, al inicio del campo del cuadro (no en el encabezamiento) y al final. El campo y el encabezamiento de las columnas se pueden dividir a conveniencia del autor. No se deben añadir líneas verticales. Los encabezamientos, 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 deben imprimirse sobre papel dibujo de buena calidad así como no exceder las dimensiones de una página tamaño carta. La leyenda debe ser con letras y números lo suficientemente grande (con minúscula excepto la primera letra), como para que puedan leerse al ser reducidos, al igual que el grosor de los ejes y líneas interiores. En una figura lo que interesa destacar es el contenido y no los ejes. Consecuentemente, el grosor de estos últimos tiene

que ser menor que el de las líneas interiores. Los puntos experimentales deben marcarse visiblemente. 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 las notas que nuestro editor de estilo publica periódicamente en la revista y el libro Alvarado López, J. 2000. Redacción y preparación del artículo científico. Segunda edición. Publicación especial 11. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. México, Colegio de Postgraduados - Agrociencia.

Versión actualizada diciembre de 2000.

TERRA

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
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
Apartado Postal 45
56230 Chapingo, Edo. de Mexico, Mexico.
Telephone: +52 59546024
Fax: +52 59548076
smcs@taurus1.chapingo.mx or
smcs@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 40 characters must be provided for the running headlines. Manuscripts should be typed in double space, with at least 4-cm margin on the left.

Scientific Papers and Research Notes should be divided into the following sections: 1) **Summary** in English and Spanish, not exceeding 250 words for scientific papers and 150 words for research notes; 2) **Index words**, include up to nine; 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 French. 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 DOS based computers. Text and figures should be in separate files in the same disk. An accompanying printout including text, tables and figures should also 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 typed on separate sheets, 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, and as tables; they must be presented on separate sheets. 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. Label each figure on the back with its number and the title of the article. 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 \circ \bullet \square \blacksquare \triangle \blacktriangle . 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*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial 1. Chapingo, Mex.

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://asae.frymulti.com> accessed 9 Aug. 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.

December 2000.