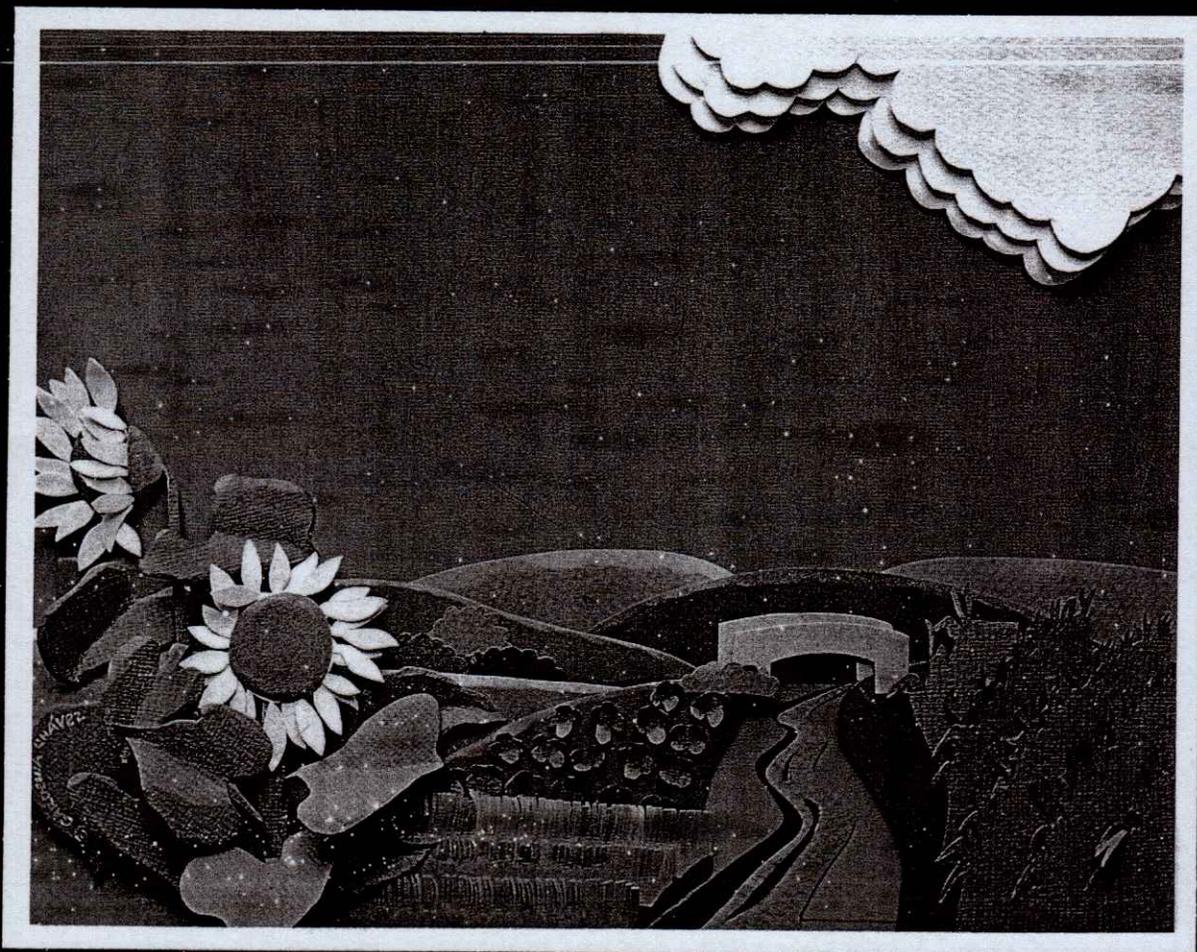


ISSN 0187-5779

TERRA

ENERO - MARZO DE 2001 • VOLUMEN 19 • NUMERO 1



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

TERRA

SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO A.C.

MESA DIRECTIVA 2001-2002

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

Dr. Francisco Gavi Reyes
Dra. Ma. Edna Alvarez Sánchez
Dra. Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza
M. Sci. Jesús Gómez Díaz
Dr. Rogelio A. Juárez González
Dra. Norma García Calderón
M.C. Carlos Tavarez Espinosa
Ing. Andrés Espinosa Carmona
Dr. Sergio A. Enríquez
M.C. Romel de la Garza
Dr. Diego González Eguarte

DIVISIONES Y DISCIPLINAS

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

- a) Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos
- b) Física de Suelos
- c) Química de Suelos
- d) Contaminación

División II: Relación Suelo - Clima - Biota

- a) Nutrición Vegetal
- b) Relación Agua - Suelo - Planta - Atmósfera
- c) Biología del Suelo
- d) Tecnología y Uso de Fertilizantes
- e) Uso y Manejo del Agua

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

- a) Conservación del Suelo
- b) Drenaje y Recuperación
- c) Fertilidad
- d) Productividad de Agrosistemas

División IV: Educación y Asistencia Técnica

- a) Educación
- b) Crédito y Asistencia Técnica

TERRA registro en trámite.

Órgano Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Enero - Marzo de 2001 Volumen 19 Número 1

ISSN 0187 - 5779

Los artículos publicados son responsabilidad absoluta de los autores. Se autoriza la reproducción parcial o total de esta revista, citándola como fuente de información. Las contribuciones a esta revista deben enviarse, en original y dos copias, redactadas conforme a las Normas para Publicación en la Revista TERRA a:
Editor de la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Estado de México, México.

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

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

EDITOR
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

EDITORA DE ESTILO
EN INGLES

EQUIPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

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

Diseño de portada

EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

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

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

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

TERRA

MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

BOARD

President	Dr. Francisco Gavi Reyes
Vicepresident	Dra. Ma. Edna Alvarez Sánchez
Secretary	Dra. Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza
Treasurer	M. Sci. Jesús D. Gómez Díaz
Technical Adviser	Dr. Rogelio A. Juárez González
International Relations	Dra. Norma García Calderón
Voters	M.C. Carlos Tavaréz Espinosa Ing. Andrés Espinosa Carmona Dr. Sergio A. Enríquez M.C. Romel de la Garza Dr. Diego González Egularte

DIVISIONS AND DISCIPLINES

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

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

Division II: Soil - Climate - Biota Relationship

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

Division III: Use of the Soil Resource

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

Division IV: Education and Technical Assistance

- a) Education
- b) Credit and Technical Assistance

TERRA Registration pending
Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science
January - March, 2001 Volume 19 Num. 1

ISSN 0187 - 5779

The authors take full responsibility for the articles published. Partial or total reproduction of the content of this journal is authorized, as long as this publication is cited as the information source. When submitting articles to this journal, an original and two copies must be sent to:
Editor de la Revista TERRA, 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
ASSOCIATE EDITOR
TECHNICAL EDITORS

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

STYLE EDITORS

ENGLISH EDITOR

EDITORIAL STAFF

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

Cover design

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 Grex Z.	Chile
Dr. Alberto Hernández	Cuba
Dr. José M. Hernández Moreno	Spain
Dr. Eric S. Jensen	Denmark
Dr. Walter Luzio Leighton	Chile
Dr. John T. Moraghan	U.S.A.
Dr. Héctor J. M. Morrás	Argentina
Dr. Christian Prat	France
Dr. Parker F. Pratt	U.S.A.
Dr. Paul Quantin	France
Dr. José Rodríguez	Chile
Dr. Karl Stahr	Germany
Dr. Bernardo Van Raij	Brazil
Dr. Rafael Villegas	Cuba
Dr. Eduardo Zaffaroni	Brazil

TERRA

ENERO - MARZO DE 2001 • VOLUMEN 19 • NUMERO 1
JANUARY - MARCH, 2001 • VOLUME 19 • NUMBER 1

DIVISION I

- 1 Zonificación agroecológica de hortalizas involucrando grados de riesgo.

Agro-ecological regionalization of vegetable crops involving levels of risk.

Ma. Magdalena Villa C., Marco A. Inzunza I. y Ernesto A. Catalán V.

- 9 Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso.

Effects of hydrocarbon pollutants on the physical and chemical properties of clay soil.

Victor E. Martínez M. y Felipe López S.

DIVISION II

- 19 Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en girasol de humedad residual.

Biomass, yield, water use efficiency and nitrogen in sunflower grown on soil with residual moisture.

J. Alberto Escalante Estrada

- 29 Efectividad de *Glomus fasciculatum* y *Glomus etunicatum* en el crecimiento de plántulas de *Vitis vinifera* L. obtenidas por micropropagación.

Glomus fasciculatum and *Glomus etunicatum* effectiveness on growth of *Vitis vinifera* L. micropropagated plantlets.

A. Alarcón, M. C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter

- 37 Biotecnificación de solares familiares de las zonas bajas tropicales.

Biotechniques for improvement of home gardens in tropical wet lands.

María del Carmen Alvarez Avila, Carlos Olguín Palacios, Alberto Asiain Hoyos, Gabriel Alcántar González y Alberto Castillo Morales

DIVISION III

- 47 Eficiencia de uso de fósforo en triticale y trigo en dos suelos con diferente capacidad de fijación de fósforo.
Phosphorus-use efficiency in triticale and wheat in two soils of differing phosphorus fixation capacities.
G. Cruz-Flores, J. L. Tirado Torres, G. Alcántar González y J. A. Santizo Rincón
- 55 Nutrición con fósforo de plántulas de maíz y papa.
Phosphorus nutrition of potato and maize seedlings.
E. Alvarez-Sánchez, J. D. Etchevers B., J. Ortiz C., R. Núñez E., A. Martínez G. y J. Z. Castellanos.
- 67 Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un Vertisol, después de cuatro años de manejo.
Physical properties of a Vertisol affected by tillage systems after four years of management.
M. Mora Gutiérrez, V. Ordaz Ch., J. Z. Castellanos, A. Aguilar Santelises†, F. Gavi y V. Volke H.
- 75 Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población.
Biomass allocation and yield of sunflower as affected by nitrogen rate and plant population.
Ricardo Vega Muñoz, J. Alberto Escalante Estrada, Prometeo Sánchez García, Carlos Ramírez Ayala y Ernesto Cuenca Adame
- 83 Tecnología de producción de chile seco en el estado de Zacatecas, México.
Technology of dry chili pepper production in the State of Zacatecas, Mexico.
Elivier Reyes Rivas, Homero Salinas González, Angel G. Bravo Lozano y Luz E. Padilla Bernal
- 89 Cubiertas vegetales y barreras vivas: tecnologías con potencial para reducir la erosión en Oaxaca, México.
Cover crops and plant barriers: Promising technologies for soil erosion control in Oaxaca, Mexico.
J. Ruiz V., M. Bravo E. y G. Loeza R.

NOTA DE INVESTIGACION/*Research Note*

- 97** Potencial de la miel de abeja en la nutrición de plántulas de tomate.
Potential of bee-honey in the nutrition of tomato plants.
*Oscar G. Villegas Torres, Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza,
Libia Iris Trejo Téllez y Gabriel Alcántar González*

CARTA AL EDITOR

- 103** Comentario: Actualización de la taxonomía de los Glomales.
Alejandro Alarcón

ZONIFICACION AGROECOLOGICA DE HORTALIZAS INVOLUCRANDO GRADOS DE RIESGO

Agro-ecological Regionalization of Vegetable Crops Involving Levels of Risk

Ma. Magdalena Villa C.¹, Marco A. Inzunza I.¹ y Ernesto A. Catalán V.¹

RESUMEN

Se analizó información de clima y suelo con el fin de ubicar las áreas agrícolas más propicias para el cultivo de melón, sandía, tomate y chile en la Región Lagunera. Se utilizaron datos diarios de clima de 22 estaciones climáticas, cartas edafológicas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y programas de cómputo para determinar las condiciones de clima y suelo de la región y estimar los rendimientos potenciales de los cultivos con un nivel de riesgo de 20% ($\alpha = 0.20$). Se usó el sistema de información geográfica IDRISI y un modelo digital de elevación para obtener y sobreponer imágenes y para delimitar áreas con rendimientos potenciales similares. Los resultados indican que existen superficies con condiciones de clima y suelo favorables para la obtención de altos rendimientos potenciales de los cultivos. El melón y la sandía tienen las mayores superficies aptas, donde es posible obtener rendimientos potenciales de cuando menos 34 y 37.5 t ha⁻¹, respectivamente. Para el chile y el tomate se obtuvieron las menores superficies aptas, con rendimientos potenciales superiores a 26 y 24 t ha⁻¹, respectivamente.

Palabras clave: Regionalización, rendimiento potencial, melón, sandía, tomate, chile, sistema de información geográfica.

SUMMARY

Climate and soil data were analyzed in order to locate the most suitable agricultural areas for the cultivation of cantaloupe, watermelon, tomato, and chili crops in the Lagunera Region. Daily data from

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID RASPA. Km 6.5, Margen Derecha Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango, México. (mvillaca@NMSU.Edu)

Recibido: Mayo de 2000. Aceptado: Abril de 2001.
Publicado en Terra 19: 1-7.

22 climatic stations, soil maps from INEGI, and computer programs were used to determine the availability of climate and soil resources for the region and to estimate the potential yield of the studied crops at a level of risk of 20% ($\alpha = 0.20$). A geographic information system (IDRISI) and a digital elevation model served to obtain and overlap images and delimit areas with similar potential yields. Results indicate that in some areas of the Lagunera Region climate and soil conditions are favorable for high potential yield of the studied crops. Cantaloupe and watermelon showed the largest suitable areas with minimum potential yield of 34 and 37.5 t ha⁻¹, respectively. Chili and tomato had the smallest suitable areas with potential yield above 26 and 24 t ha⁻¹, respectively.

Index words: Regionalization, potential yield, cantaloupe, watermelon, tomato, chili, geographic information system.

INTRODUCCION

En México, la producción de hortalizas es una actividad importante por la significativa captación de divisas que aporta a la economía nacional. Lo anterior se tomó en cuenta al dedicarle apartados especiales en los acuerdos alcanzados en el Tratado del Libre Comercio de América del Norte. México es el principal país exportador de hortalizas frescas a Estados Unidos; en los últimos cinco años, estas exportaciones han representado una ganancia de 1 234 312 000 dólares (<http://www.fas.usda.gov>).

El fortalecimiento de la producción de hortalizas mediante el uso más eficiente de los recursos naturales para incrementar la productividad de éstas es esencial, tanto para lograr el ingreso al país de divisas, como para garantizar el abasto nacional. Los estudios de zonificación de cultivos juegan un papel importante en el logro de estas metas, ya que mediante éstos es posible definir qué cultivos tienen mayor potencial de producción en una región determinada (Sceman *et al.*,

1979; Romo, 1985). Esto se obtiene a través del análisis de clima y suelo de la región de interés, el conocimiento de las demandas de clima y suelo de los cultivos y la relación que existe entre estos dos factores.

En la Región Lagunera, los principales cultivos hortícolas son: tomate, chile, melón y sandía cuya superficie cultivada se ha incrementado en los últimos años (SARH, 1994). En 1993, el área cultivada con los cultivos mencionados se incrementó 6.7% y la producción obtenida fue de 184 969 t. El rendimiento promedio regional de melón, sandía, tomate y chile es de 16.3, 14.9, 15.4 y 6.7 t ha⁻¹, respectivamente (SARH, 1993), los cuales pueden ser mayores si se les ubica en las condiciones óptimas de suelo y clima para su desarrollo. Es por esto que en este estudio se analizó información de suelo y clima a través del espacio y tiempo para definir niveles de riesgo y delimitar las áreas con mayor rendimiento potencial de los cultivos de melón, sandía, tomate y chile en la Región Lagunera.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se desarrolló en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua Suelo Planta Atmósfera (CENID RASPA), localizado en Gómez Palacio, Durango. El área de estudio fue la Región Lagunera que comprende los municipios de Torreón, San Pedro, Matamoros, Viesca y Francisco I. Madero del estado de Coahuila, y los municipios de Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo, Mapimí, Nazas, Rodeo, San Juan de Guadalupe, San Pedro del Gallo, San Luis del Cordero y Simón Bolívar del estado de Durango.

El estudio se fundamentó en la regionalización agroecológica de los cultivos de tomate, chile, melón y sandía. Se realizó un análisis probabilístico de las variables de clima consideradas para determinar niveles de riesgo. También se usó el sistema de información geográfica IDRISI que junto con programas interpoladores ayudaron a la delimitación de áreas con similar rendimiento potencial. El estudio comprendió tres etapas: a) caracterización edafoclimática de la región, b) obtención de los requerimientos climáticos de los cultivos, y c) estimación de rendimiento potencial y delimitación de áreas con similar rendimiento potencial.

Caracterización Edafoclimática de la Región

El soporte de esta etapa fue la información de clima y suelo de la región, por lo que fue necesario la recopilación y captura de ésta. Los datos de clima se obtuvieron de 22 estaciones climatológicas, ubicadas dentro y en la periferia de la región. Estos datos fueron a nivel diario y comprendieron un período de 15 años. La información de suelo se consiguió de las cartas edafológicas, editadas por el INEGI, a escala 1:250 000.

Las variables climáticas analizadas fueron: la temperatura máxima y mínima; con éstas se generaron las series históricas de la radiación solar diaria para cada estación climática mediante la ecuación calibrada por Villa (1993), para las condiciones de la Región Lagunera.

$$RS = 0.179 (T_{max} - T_{min})^{0.495} RA \quad (1)$$

Donde: RS es la radiación solar global en cal cm⁻² día⁻¹, T_{max} y T_{min} son las temperaturas máxima y mínima en °C y RA es la radiación solar teórica en cal cm⁻² día⁻¹ que se estima con la latitud del lugar y con el día del año (Torres, 1983).

Con los datos de las temperaturas máxima y mínima y las temperaturas cardinales de cada cultivo estudiado, se estimaron las unidades térmicas disponibles mediante el método de la curva seno modificada (Allen, 1976). Las fechas de la primera y última helada se determinaron mediante el análisis de las temperaturas mínimas con la metodología de la frecuencia acumulada, propuesta por Ortiz (1987). Se consideró helada cuando la temperatura fue igual o menor que 0 °C. Se determinó el periodo libre de heladas (PLH) con una probabilidad de 80%. También se estimó el régimen de radiación solar medio, la disponibilidad de unidades térmicas y la temperatura media esperada a una probabilidad de ocurrencia de 80%, o bien, a un nivel de riesgo de 20% ($\alpha = 0.20$), tomando como base la función de distribución de cada una de estas variables climáticas. Los datos de suelo analizados fueron: textura, pendiente, profundidad, salinidad, asentamientos humanos (ciudades, pueblos, etc.) y cuerpos de agua (ríos, presas, lagos, etc.).

Obtención de los Requerimientos Climáticos de los Cultivos

En estudios de investigación, generados en el CENID RASPA y CIFAP Laguna, se obtuvo información de cinco años de fechas de siembra y cosecha de los cultivos estudiados. Con esos datos y con la información de las temperaturas máxima y mínima durante esos periodos, se estimaron las unidades térmicas así como las necesidades promedio de este parámetro en cada uno de los cultivos. Los requerimientos de radiación solar y temperatura promedio óptimo se obtuvieron de la literatura.

Estimación de Rendimientos Potenciales y Delimitación de Areas con Similares Rendimientos Potenciales

El cálculo del rendimiento potencial se hizo mediante un programa de cómputo, utilizando la metodología de zonas agroecológicas (Ortiz, 1987; Colegio de Postgraduados, 1990). Los datos de entrada al programa son: latitud del lugar, nombre del cultivo, tipo de cultivo (leguminosa o no), cadena fotosintética (C_3 ó C_4), índice de área foliar, duración del ciclo del cultivo, índice de cosecha, temperatura media y radiación solar.

La información de la temperatura media y la radiación solar fue el promedio anual esperado durante el período libre de heladas a un nivel de riesgo $\alpha = 0.20$. Se estimó el rendimiento potencial para cada uno de los cultivos estudiados durante 15 años y, con el análisis de estos datos, se determinó el rendimiento potencial a una probabilidad de 80%.

La delimitación de las áreas con similar rendimiento potencial se realizó mediante el Sistema de Información Geográfica IDRISI para así manejar la base de datos conjunta (modelo digital de elevación, clima y suelo), hacer sobreposiciones, delimitar áreas potenciales para la producción de los cultivos y cuantificar sus superficies. La base de datos estuvo georreferenciada y constó fundamentalmente de tres componentes:

Modelo de elevación digital. El modelo de elevación digital procede del INEGI y está disponible por grado de latitud-longitud. Este modelo tiene un dato de altitud cada tres segundos de arco (aproximadamente una cuadrícula de 90 por 90 m). Se cargaron al equipo de cómputo los grados del modelo con un programa, se

unieron los grados necesarios para cubrir la Región Lagunera. Sin embargo, debido a las limitaciones del equipo de cómputo, se utilizó sólo 1% de los datos (aproximadamente un dato de elevación cada 900 m). A partir de este modelo de elevación digital, se generaron imágenes de altitud (m) y pendiente al 4%.

Base de datos de clima. Partiendo de la base de datos de clima, citada anteriormente, se realizaron las pruebas de normalidad para cada variable en cada estación climática, se caracterizaron sus parámetros probabilísticos (media y varianza) y se estimó un valor esperado a un nivel de riesgo de $\alpha = 0.20$. Con esta información y con la ayuda de programas interpoladores, se generaron imágenes de las siguientes variables: período libre de heladas (PLH), primera y última helada, temperatura media, unidades térmicas y radiación solar.

Base de datos de suelo. Se utilizó la base de datos de suelo digitalizada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); ésta se obtuvo de las cartas edafológicas de INEGI, escala 1:250 000, utilizando el SIG ARC/INFO para obtener información georreferenciada y las imágenes de unidades de suelo dominantes, fases físicas, fases químicas, texturas, litosoles, cuerpos de agua y principales zonas urbanas.

La delimitación de áreas potenciales se hizo, tomando en cuenta las necesidades de los cultivos, para manifestar su máximo potencial productivo. Se consideraron las restricciones por pendiente, altitud (m), temperatura media óptima, radiación solar, unidades térmicas, profundidad, textura y sales del suelo.

Con los datos del rendimiento potencial estimado para cada uno de los cultivos, se generaron las imágenes correspondientes y se sobrepusieron a las diversas imágenes resultantes de la reclasificación de los mapas de los recursos disponibles en la región y los requerimientos de los cultivos.

Cuadro 1. Requerimientos de altitud, unidades térmicas, radiación solar y temperaturas óptimas para fotosíntesis de los cultivos estudiados.

Cultivo	Altitud m	Unidades térmicas	Radiación solar cal. $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$	Temperatura óptima $^{\circ}\text{C}$
Tomate	0 a 2500	1595	475 a 864	18 a 27
Chile	0 a 2500	1230	475 a 864	18 a 27
Sandía	0 a 2000	1060	662 a 1152	22 a 30
Melón	0 a 2000	1320	662 a 1152	22 a 30

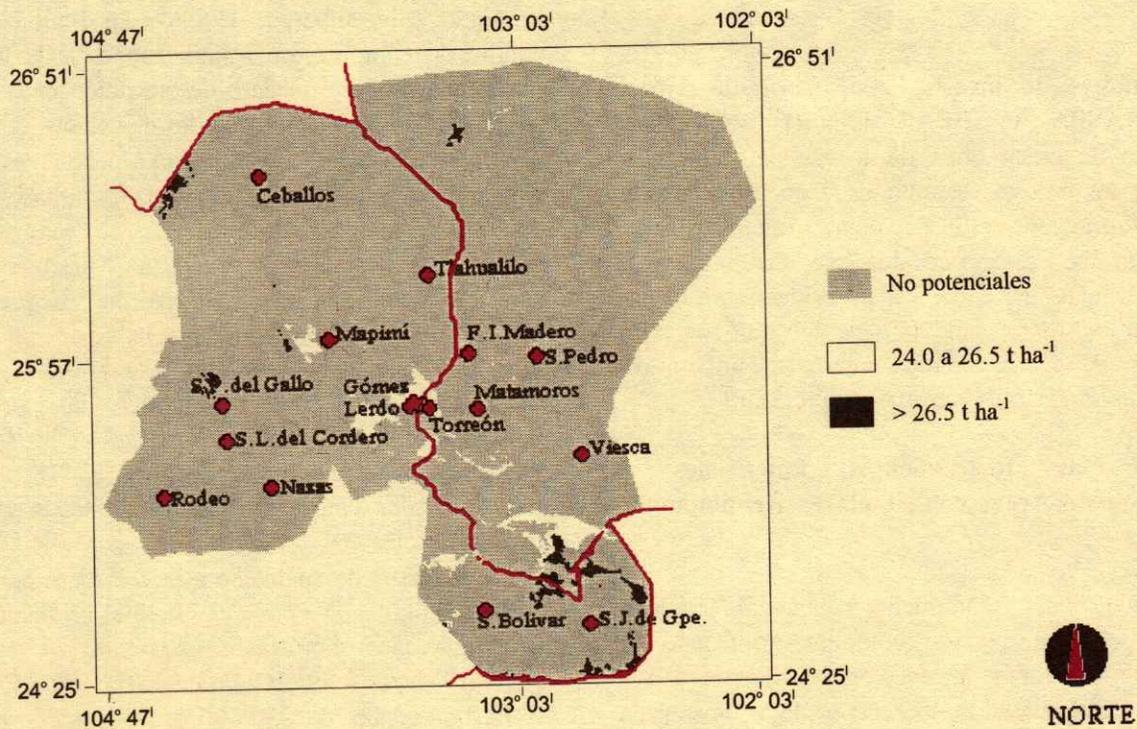


Figura 1. Áreas y rendimientos potenciales esperados a un nivel de probabilidad de 80% para el cultivo de tomate.

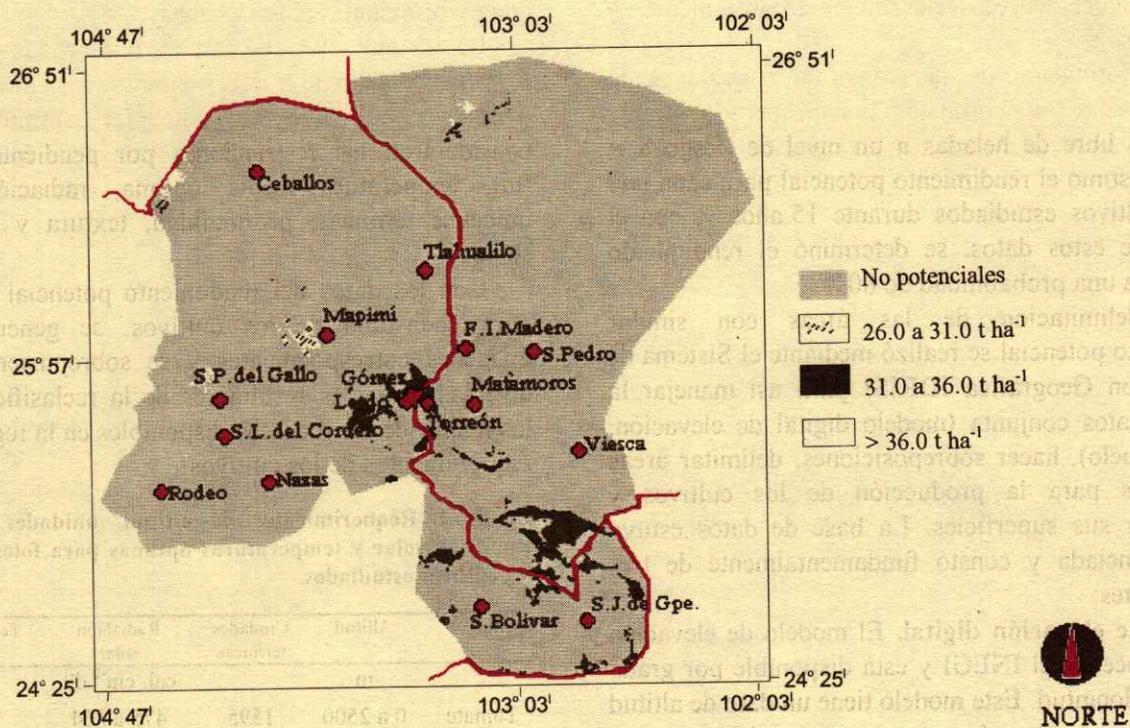


Figura 2. Áreas y rendimientos potenciales esperados a un nivel de probabilidad de 80% para el cultivo de chile.

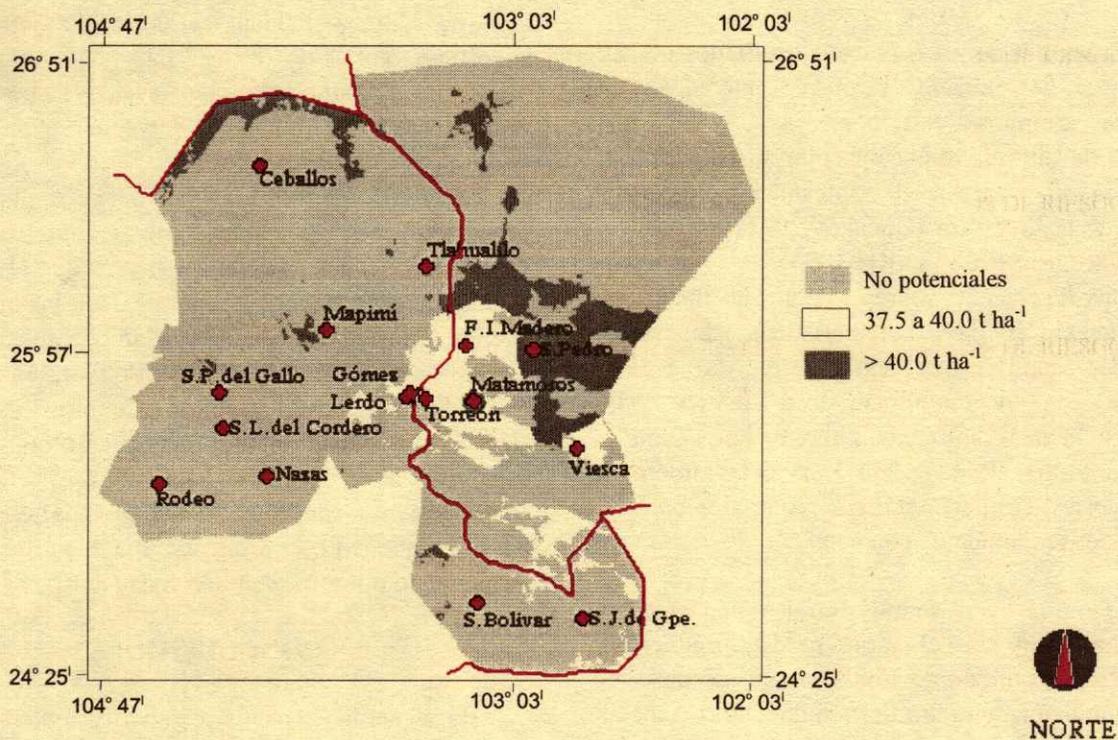


Figura 3. Areas y rendimientos potenciales esperados a un nivel de probabilidad de 80% para el cultivo de sandía.

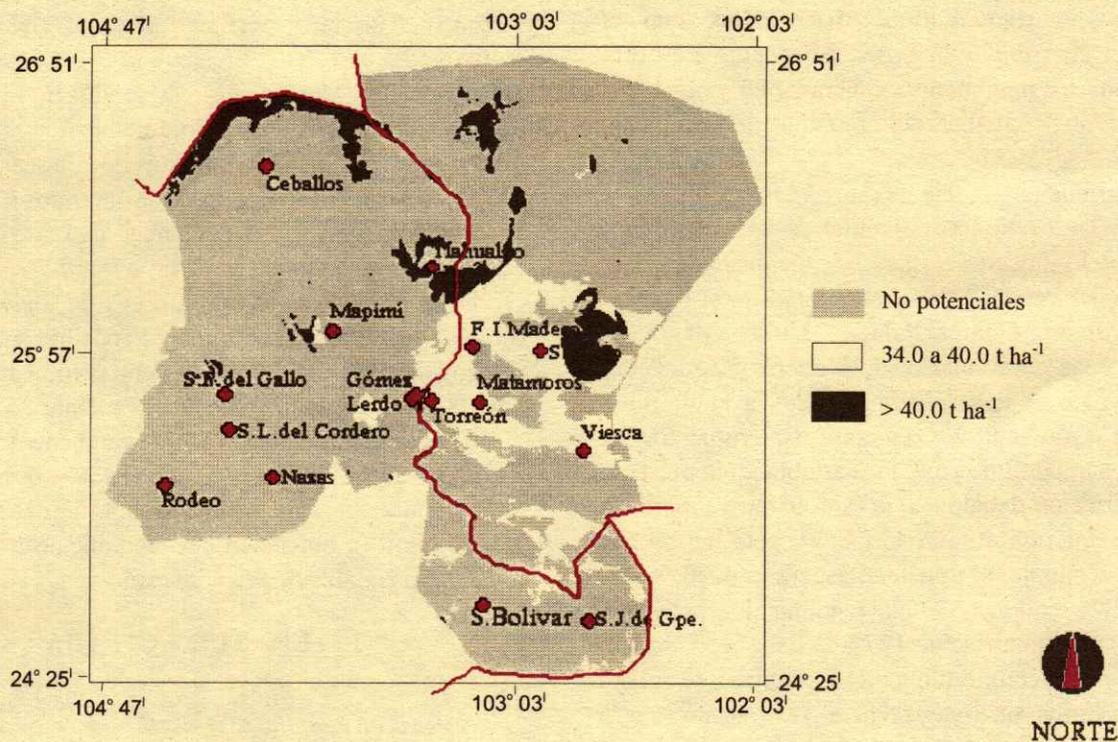


Figura 4. Areas y rendimientos potenciales esperados a un nivel de probabilidad de 80% para el cultivo de melón.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1, se presentan los resultados de los requerimientos de unidades térmicas obtenidos del análisis de estudios anteriores, así como las necesidades de altitud, radiación solar y temperatura óptima para el proceso de fotosíntesis máxima, adquiridos de la literatura (Guenkov, 1974; Salisbury y Ross, 1978; Ortiz, 1987; SARH, 1993).

El resultado de la sobreposición de imágenes correspondientes a las características de suelo seleccionadas indica que existen en la región 863 680 ha con disponibilidad edáfica para la producción potencial de tomate, chile, melón y sandía. Los municipios de Rodeo, San Luis del Cordero y Nazas no poseen recursos edáficos requeridos para la obtención de rendimiento potencial de los cultivos estudiados.

En las Figuras 1 a 4, se muestran los mapas de las áreas con potencial edafoclimático para la producción de los cultivos estudiados. En ellas, se señalan las áreas por municipio y rango del rendimiento potencial a un nivel de probabilidad de 80%. Las áreas aptas para el desarrollo del cultivo de tomate (Figura 1) suman un total de 157 383 ha, que representa 18% de la superficie con condiciones de suelo favorable para el crecimiento de este cultivo. Esto indica que el factor clima contribuyó en forma considerable en esta delimitación. El rendimiento esperado en esas áreas puede ser 56% arriba del rendimiento promedio regional.

La distribución de las áreas potenciales para el cultivo de chile fue muy similar a la del tomate (Figura 2). Es decir, éstas se localizan en los municipios de San Juan de Guadalupe, Simón Bolívar, Viesca, Torreón, Gómez Palacio, Lerdo, Mapimí y pequeñas áreas en Francisco I. Madero y San Pedro del Gallo. Esto se debe, en gran parte, a la similitud que tienen estos cultivos en sus requerimientos de clima. La temperatura fue la variable que presentó mayor restricción debido a que ésta es muy superior a la óptima requerida durante el ciclo vegetativo de este cultivo. El rendimiento potencial esperado puede ser al menos 288% más que el rendimiento promedio regional; el área total fue de 157 383 ha.

Referente al comportamiento del cultivo de sandía (Figura 3), la mayor área potencial se concentra en la parte central este de la región. Esta comprende principalmente la parte sur de San Pedro, Francisco I.

Madero, Tlahualilo y Matamoros, el norte de Viesca, este de Gómez Palacio y norte de Torreón. La superficie total es de 789 183 ha y representa 91% del total con condiciones de suelo disponible. El rendimiento potencial puede ser superior en 152% al rendimiento promedio regional.

La Figura 4 indica los sitios donde se puede lograr el rendimiento potencial del cultivo de melón ($> 34.0 \text{ t ha}^{-1}$). Este puede ser mayor que el promedio regional en 108%. Los municipios con las áreas aptas fueron: Mapimí, Tlahualilo, San Pedro del Gallo, Lerdo, Gómez Palacio, Simón Bolívar, San Juan de Guadalupe, Viesca, Torreón, Matamoros, San Pedro y Francisco I. Madero. La superficie total de estos lugares es de 817 047 ha y equivale a 95% del total de la superficie con disponibilidad edáfica, lo que significa que, en esta área, el clima es propicio para el crecimiento óptimo del cultivo de melón.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y al propósito del presente trabajo se concluye lo siguiente:

Existen en la Región Lagunera áreas con condiciones de clima y suelo para lograr un rendimiento potencial de melón, sandía, tomate y chile, siendo mayor la superficie para los dos primeros cultivos.

Las mejores áreas para la producción de chile y tomate se encuentran en los municipios de San Juan de Guadalupe, Simón Bolívar, sur de Viesca y Gómez Palacio, Torreón, parte central de Lerdo, norte de Francisco I. Madero, y pequeñas áreas de Mapimí y San Pedro del Gallo.

La zonificación de los cultivos de melón, sandía, tomate y chile indica que es posible obtener un rendimiento superior al rendimiento promedio regional en 108, 152, 56 y 288%, respectivamente.

Condiciones de suelo, como: pendiente (mayor que 4%), presencia de litosoles y sales son desfavorables en los municipios de Nazas, San Luis del Cordero y Rodeo, para la obtención del rendimiento potencial de los cultivos analizados en este estudio.

LITERATURA CITADA

- Allen, J.C. 1976. A modified sine wave method for calculating degree days. *Env. Ent.* 5: 388-396.
 Colegio de Postgraduados. 1990. Manual de la metodología para evaluar la aptitud de las tierras para la producción de

- cultivos básicos en condiciones de temporal. Programa de Agrometeorología. Montecillo, México.
- Guenkov, G. 1974. Fundamentos de la horticultura cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba.
- <http://www.fas.usda.gov>. US imports of fresh vegetables fy 1995-1999 and year to date comparisons.
- Ortiz S., C.A. 1987. Elementos de agrometeorología cuantitativa. 3a ed. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Romo G., J.R. 1985. Zonas con potencial agroclimático para la producción de cinco oleaginosas bajo temporal en la República Mexicana. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Salisbury, B.F. y C.W. Ross. 1978. Plant physiology. 2a ed. Belmont, California, USA.
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1993. Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el distrito de desarrollo rural 91, Durango-Laguna.
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1994. Anuario estadístico de la producción agropecuaria y forestal 1993. Cd. Lerdo, Durango.
- Seeman, J., Y.I. Chirkov, J. Lomas y B. Primault. 1979. Agrometeorology. Springer-Verlag. New York.
- Torres R., E. 1983. Agrometeorología. Diana. México
- Villa C., M. 1993. Calibración de modelos para estimar la radiación solar. Informes de Investigación 1990. CENID RASPA Vol. 5: 19-32.

EFFECTO DE HIDROCARBUROS EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE SUELO ARCILLOSO

Effects of Hydrocarbon Pollutants on the Physical and Chemical Properties of Clay Soil

Víctor E. Martínez¹ M. y Felipe López S.²

RESUMEN

La contaminación de suelos por hidrocarburos ha cobrado importancia tal que, como consecuencia, se requiere remediarlos a niveles aceptables. Para esto, es necesario saber hasta qué grado se han afectado. En este trabajo, se realizaron pruebas con un suelo arcilloso en el que se determinó que la presencia de gasolina, diesel o combustóleo interfieren en la determinación de parámetros como la textura, la materia orgánica, la densidad real y la porosidad. El suelo arcilloso se analizó sin presencia de contaminantes y los valores se utilizaron como testigo. Con el mismo suelo se prepararon muestras individuales contaminadas con gasolina, diesel y combustóleo a concentraciones de 100, 500, 1000, 5000, 10 000, 20 000, 30 000, 50 000 y 150 000 mg kg⁻¹. Tanto el suelo testigo como cada una de las muestras preparadas se analizaron para determinar el efecto de los hidrocarburos sobre los parámetros: textura (arena, limo y arcilla), pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, densidad real y aparente, así como porosidad. El suelo contaminado con gasolina y diesel mostró un incremento en los valores de arenas y arcillas, disminuyendo los limos, sin embargo, la clase textural no cambió. Cuando el contaminante en el suelo fue combustóleo, las arenas aumentaron marcadamente en tanto que el valor de las arcillas disminuyó, esto provocó una modificación de la textura del suelo arcilloso a migajón-arcilloso. La materia orgánica presentó incrementos proporcionales al contenido de hidrocarburos, siendo el mayor

ocasionado por 150 000 mg kg⁻¹ de diesel alcanzando 21.22%, el cual sin contaminar fue de 6.11%. La capacidad de intercambio catiónico presentó una ligera disminución conforme aumentó el grado de contaminación con gasolina o diesel; en cambio, se observó un ligero incremento cuando el contaminante fue combustóleo. La densidad real presentó una tendencia a disminuir ligeramente en presencia de gasolina y diesel disminuyendo marcadamente en presencia de combustóleo. A su vez, la porosidad también mostró una disminución marcada cuando hay presencia de combustóleo a partir de 30 000 mg kg⁻¹. La conductividad eléctrica, la densidad aparente y el pH no presentaron variación de importancia en los valores obtenidos.

Palabras clave: Caracterización, evaluación, contaminación, gasolina, diesel, combustóleo.

SUMMARY

Soil pollution by hydrocarbons has become so important that reducing them to acceptable levels has become a major task. Thus it is necessary to know to what degree soil is affected. In this study, tests with clay soil were done to determine how parameters, such as texture, organic matter, particle density and porosity, are modified by the presence of gasoline, diesel or kerosene. Clay soil without pollutants were analyzed and the resulting values were used as control. With the same soil individual soil samples were contaminated with gasoline, diesel and kerosene at concentrations of 100, 500, 1000, 5000, 10 000, 20 000, 30 000, 50 000 and 150 000 mg kg⁻¹. Control soil and each of the prepared samples were analyzed to determine the effect of hydrocarbons on the parameters texture (sand, silt, and clay), pH, electric conductivity, organic matter, capacity for cationic exchange, real and bulk density and porosity. The soil contaminated with gasoline and diesel showed an increase in the values for sand and clay, while those for silt decreased; however, the texture class did not change. When the pollutant in the soil was kerosene, sand increased markedly while the value of clays

¹Instituto Mexicano del Petróleo. Gerencia de Protección Ambiental. Laboratorio de Remediación de Suelos. Eje Central L. Cárdenas 152, Col. Sn. Bartolo A., 07730 México, DF. Tel. 5333 6894 (vmartine@www.imp.mx)

²Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional. Edificio 12. 3er. Piso Unidad Profesional A. López Mateos México, DF. Tel. 5729 6000 ext. 53039.

decreased, provoking a modification in soil texture from clay to silt loam. Organic matter increased proportionally with the content of hydrocarbons, with the largest increase corresponding to 150 000 mg kg⁻¹ of diesel, reaching 21.22%, compared to 6.11% in unpolluted soil. Capacity for cationic exchange decreased slightly as the degree of gasoline or diesel pollution increased. Particle density showed a tendency to decrease slightly in the presence of gasoline and diesel, and decreasing markedly with kerosene. Porosity also showed a marked decrease with kerosene at 30 000 mg kg⁻¹ and above. Electric conductivity, bulk density, and pH did not show important variation in the values obtained.

Index words: Characterization, evaluation, soil pollution, gasoline, diesel, kerosene

INTRODUCCION

Durante muchos años, se cuestionó el efecto tóxico de los hidrocarburos del petróleo en el suelo y en algunas plantas, de tal manera que algunos autores consideraron benéfico la presencia de éstos cuando la concentración era baja. Plice (1948) encontró que el crudo, agregado a un suelo arenoso en proporción de 0.75%, estimulaba el crecimiento de soya, además observó que con un incremento de 4% del hidrocarburo las mismas plantas morían.

El carbono orgánico podría ser incrementado directamente debido a la adsorción de gases propano y butano por las partículas del suelo (Ellis y Adams, 1960).

Suelos contaminados con gas natural o crudo mostraron incrementos en materia orgánica, carbono total y nitrógeno comparado con suelos normales (Ellis y Adams, 1960). Plice (1948) encontró grandes incrementos en la materia orgánica en suelos que se han contaminado con crudo y también encontró que los suelos contaminados con gas natural tienen pH alrededor del punto neutral. Evgin *et al.* (1989) determinaron efectos de los hidrocarburos en algunas propiedades mecánicas del suelo como la cohesión.

Simultáneamente a los efectos en las propiedades físicas y químicas del suelo, suceden cambios en las condiciones de fertilidad, donde se observaron incrementos en nitrógeno y contenido de materia orgánica (Plice, 1948). De manera similar, Dobson y Wilson (1964) observaron mayor actividad

microbiológica en suelos impregnados con hidrocarburos que en suelos libres del mismo.

Por otra parte, cuando se realiza un estudio de evaluación o de caracterización de un sitio contaminado con hidrocarburos, se determinan diversos parámetros físicos y químicos y no se considera que se han afectado de alguna forma, de tal manera que el resultado que se obtiene se considera aceptable. Sin embargo, el valor real puede estar modificado de acuerdo con el tiempo, tipo y cantidad de hidrocarburo que se haya derramado sobre un suelo específico así como a sus propiedades. Un factor determinante en los posibles efectos por hidrocarburos, es la textura del suelo, es decir, por la presencia proporcional de partículas como arenas, limos o arcillas. Por eso, se utilizó un suelo con alto porcentaje de arcillas (partículas menores que 0.002 mm) de acuerdo con la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, para realizar las pruebas experimentales correspondientes (Brady, 1990).

Además, es muy importante conocer las características físicas y químicas de un suelo que se ha impactado con hidrocarburos y que son básicos si se requiere diseñar alguna tecnología de restauración. Así, por ejemplo, la porosidad, pH, humedad, temperatura y contenido de nutrientes son indispensables para los procesos de bioremediación (Morgan y Watkinson, 1989). En el caso de aplicar métodos de extracción de vapor del suelo, se requiere conocer su porosidad, permeabilidad y textura (Suthersand, 1998).

Es importante considerar el efecto que tienen los hidrocarburos sobre la disponibilidad por las plantas de macronutrientes y micronutrientes en el suelo, mediante bioensayos con especies vegetales para determinar su rendimiento con condiciones de contaminación variable, que pueden ser motivo de otros estudios para definir con mayor amplitud los efectos de los hidrocarburos sobre propiedades físicas y químicas del suelo.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto que producen la gasolina, diesel y combustóleo, a diferentes concentraciones, sobre propiedades físicas y químicas de un suelo predominantemente arcilloso, considerando que los suelos, en su estado natural, presentan propiedades definidas, las cuales son alteradas en función de la concentración y tipo de hidrocarburo que se derrama sobre ellos.

MATERIALES Y METODOS

Se colectaron y analizaron suelos de diferente procedencia, de los cuales se seleccionó un suelo aledaño al campo de almacenamiento de hidrocarburos en domos salinos de Tuzandepetl, Ver., con la siguiente proporción de partículas minerales: arena 6.74%, limos 35.75% y arcillas 57.50%, que corresponden a un suelo de textura arcillosa. Se consideró el contenido alto de arcilla como un factor importante para las pruebas a realizar.

Las pruebas se iniciaron con el secado de 10 kg de suelo, a temperatura ambiente y a la sombra durante una semana. Posteriormente, se procedió a secar el suelo en estufa a 30 °C durante 48 h para evitar alteración alguna en las propiedades químicas de los suelos. De esta manera se redujo la humedad higroscópica de 2.7% a 0.26%, por lo que se consideró un factor constante en todas las determinaciones experimentales. Una vez secado el suelo, se molió en mortero y se cribó en un tamiz de malla 10 (apertura de 2 mm), se analizó para definir sus características físicas y químicas mediante la determinación de los siguientes parámetros y métodos: textura (hidrómetro de Bouyoucos), pH (potenciómetro), conductividad eléctrica (conductímetro), materia orgánica (Walkley-Black), capacidad de intercambio catiónico (EDTA), densidad real (picnómetro), densidad aparente (probeta), porosidad (relación entre densidad real y aparente) (Jackson, 1976; Kunze y Dixon, 1986; Olson *et al.*, 1982).

Los mismos parámetros se determinaron por duplicado de cada una de las muestras preparadas de 0.5 kg de suelo arcilloso contaminadas con 100, 500, 1000, 5000, 10 000, 20 000, 30 000, 50 000 y 150 000 mg kg⁻¹ con cada uno de los siguientes derivados del petróleo: gasolina, diesel y combustóleo, que son los productos más comunes en problemas de derrames de hidrocarburos. Los resultados se compararon con el testigo correspondiente al mismo suelo sin contaminar.

Como punto de partida se prepararon las muestras de suelo con 150 000 mg kg⁻¹ de gasolina, 150 000 mg kg⁻¹ de diesel y 150 000 mg kg⁻¹ de combustóleo. El hecho de preparar previamente estos suelos con concentración alta se debe a que por las características propias de los hidrocarburos (gasolina, diesel y combustóleo), éstos tienden a aglutinarse a concentraciones bajas al contacto con el suelo pulverizado, formando grumos. En cambio, al nivel de

150 000 mg kg⁻¹ de hidrocarburos, se produce "humectancia" del suelo, que se observa por oscurecimiento como ocurre cuando se agrega agua (Dragun, 1998).

Aprovechando este aspecto, las muestras con menor concentración (100 a 50 000 mg kg⁻¹) se prepararon a partir de dichas muestras, evitando así la formación de grumos. Por lo tanto, las muestras iniciales con 150 000 mg kg⁻¹ se prepararon en porcentaje en peso, de tal manera que cada una de estas muestras contiene una mezcla de 425 g de suelo limpio y 75 g de hidrocarburo (gasolina, diesel o combustóleo) en cada caso. A partir de éstas, se prepararon las de menor concentración, de acuerdo con cálculos correspondientes para obtener la cantidad de suelo contaminado y su correspondiente proporción de suelo sin contaminar para obtener las concentraciones mencionadas.

Los frascos con las mezclas se sometieron a agitación vibratoria (equipo Shaker Sieve, Electric Scientific) durante 2 h con objeto de homogeneizar al máximo el hidrocarburo correspondiente en toda la matriz de suelo. Dicha agitación no genera cambio de temperatura del suelo por fricción. Además, se dejaron en reposo por siete días para favorecer aún más la adsorción de los hidrocarburos en las partículas del suelo, similar a las pruebas realizadas por Chen (1997), para realizar las determinaciones mencionadas. En este caso, no se realizaron determinaciones de hidrocarburos a las muestras.

La mezcla suelo-hidrocarburo se colocó en frascos de vidrio de boca ancha y capacidad de 940 mL. Estas se taparon colocando previamente una película de teflón para evitar fugas por volatilización y contaminación por contacto de la contratapa elaborada con plástico. Únicamente las muestras preparadas con gasolina se conservaron a una temperatura de 4 °C, para evitar la pérdida de compuestos volátiles.

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza factorial tipo simple mediante el programa estadístico SPSS v.7.5.2S, comparando cada uno de los parámetros (variables) contra los factores: tipo de hidrocarburo y concentraciones del mismo, para determinar las diferencias significativas de los efectos sobre el suelo con un nivel de significancia de 0.05. También se determinó el coeficiente de correlación *r*, entre los valores obtenidos de cada parámetro contra los diferentes hidrocarburos.

Cuadro 1. Caracterización del suelo arcilloso sin contaminar.

Textura	Arena	Limo	Arcilla	pH	Conductividad eléctrica	Materia orgánica	Capacidad de intercambio catiónico	Densidad real	Densidad aparente	Porosidad
	----- % -----				dS m ⁻¹	%	cmol kg ⁻¹	----- g cm ⁻³ -----		%
Arcilloso	6.74	35.75	57.50	6.03	0.65	6.11	40.10	2.23	1.24	44.39

RESULTADOS Y DISCUSION

El suelo sin contaminar se analizó (Cuadro 1), para determinar sus características físicas y químicas y poder hacer las comparaciones respectivas con el mismo suelo contaminado con hidrocarburos a concentraciones de 100 hasta 150 000 mg kg⁻¹. El suelo es medianamente ácido (Moreno, 1978), extremadamente rico en materia orgánica y con alta capacidad de intercambio catiónico (Aguilar *et al.*, 1987) y no salino (Boulding, 1994).

Los resultados y discusión se orientaron básicamente en la comparación de valores obtenidos de cada parámetro entre suelo con concentración alta (150 000 mg kg⁻¹) de los hidrocarburos gasolina, diesel o combustóleo y el mismo sin contaminar, así como en aquellos casos en que la concentración de hidrocarburo fue menor y que la diferencia entre los resultados fue muy notable.

El efecto de diferentes concentraciones de hidrocarburos en los tres tipos de suelo probado, se reflejó con variaciones en los valores obtenidos de algunos parámetros. En las discusiones subsiguientes, se indican aquellos valores de los parámetros en los que se observaron variaciones importantes con respecto a las diferentes concentraciones de hidrocarburos y por su grado de asociación mediante correlación *r*.

Efectos en la Textura

En la Figura 1 se puede observar que las variaciones en las partículas del suelo (arena, limo y arcilla) por efecto de la gasolina son poco notables y no provocan cambio en la textura. El diesel también provoca cambios importantes (Figura 2) en los valores de arena, limo y arcilla conservándose aún la textura arcillosa. En cambio, cuando el suelo está contaminado con 150 000 mg kg⁻¹ de combustóleo, las partículas de arcilla disminuyen y los valores de arenas aumentan marcadamente (Figura 3), mientras que el limo presenta muy poca variación aún en concentración alta de este hidrocarburo. Las

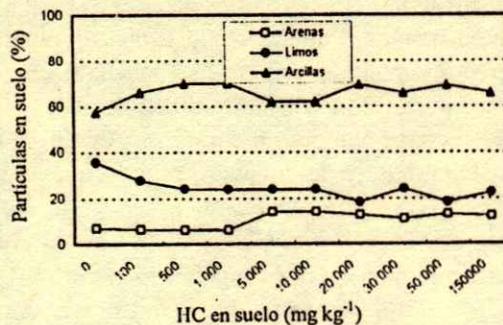


Figura 1. Variación de las partículas en suelo arcilloso contaminado con gasolina.

variaciones debidas al combustóleo provocan un cambio de textura del suelo arcilloso a migajón arcilloso.

De manera general, se observa que los valores de la arena tienden a aumentar y de la arcilla a disminuir en presencia de diesel y combustóleo, en tanto que los limos permanecen sin variación importante.

El análisis de varianza entre la arcilla y los factores concentración y tipo de hidrocarburo indican una diferencia no significativa ($P < 0.05$) por efecto del tipo de hidrocarburo que puede observarse cuando se comparan los efectos causados por gasolina o diesel o combustóleo.

El análisis de varianza entre los parámetros arcilla y arena contra el factor tipo de hidrocarburo determina una diferencia significativa ($P < 0.05$) que

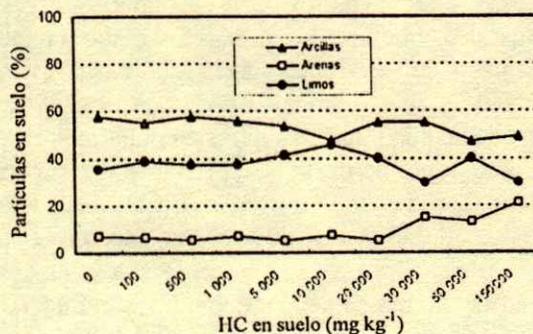


Figura 2. Variación de las partículas en suelo arcilloso contaminado con diesel.

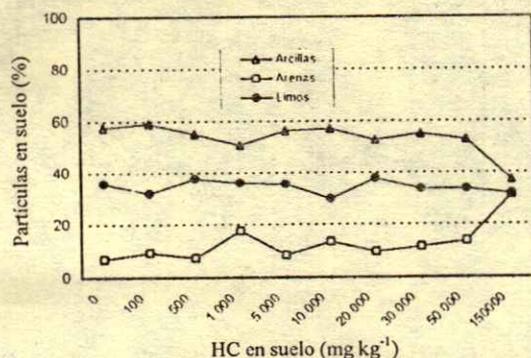


Figura 3. Variación de las partículas en suelo arcilloso contaminado con combustóleo.

se manifiesta en el cambio de textura únicamente cuando la concentración de combustóleo es de $150\,000\text{ mg kg}^{-1}$ en suelo. Estos mismos parámetros contra el factor concentración indican que no hay diferencia significativa, es decir, por sí solo un hidrocarburo no provoca variación, por lo que se requiere de concentración alta para observar cambios importantes en los valores de arcilla y arena.

La textura se ve modificada debido a la adsorción de diesel y combustóleo por las partículas del suelo mediante interacciones electrostáticas del tipo fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno, puentes de agua y puentes catiónicos (Yong *et al.*, 1994; Pignatello y Xing, 1996), provocando efectos en la velocidad de sedimentación de las mismas establecidas en la Ley de Stokes (Brady, 1990), lo cual repercute en la determinación de la densidad del lodo formado por el suelo y agua durante el análisis, induciendo una lectura de partículas con el hidrómetro de Bouyoucos, que se interpretará como alterada.

Efectos sobre Materia Orgánica

La materia orgánica es uno de los parámetros con variaciones importantes (Figura 4) la cual aumenta en forma proporcional a la concentración de hidrocarburos gasolina y combustóleo. También puede apreciarse que el diesel es el hidrocarburo que causa un mayor aumento, disparándose a partir de concentraciones de $30\,000\text{ mg kg}^{-1}$ obteniéndose hasta 347% de incremento, comparado con el suelo sin hidrocarburos.

Estadísticamente entre el parámetro materia orgánica y los factores concentración y tipo de hidrocarburo, se determinó que existe diferencia significativa ($P < 0.05$) para ambos factores, lo cual se

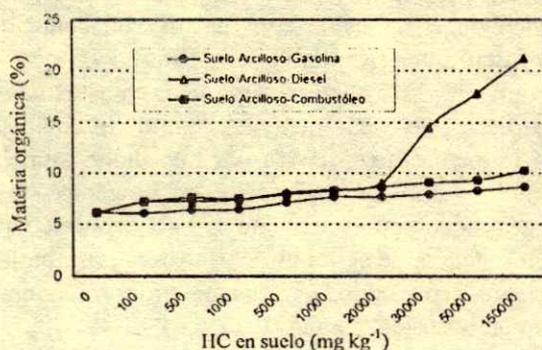


Figura 4. Variación de la materia orgánica por HC en suelo arcilloso.

corroborar con los niveles que aumentan en forma directamente proporcional a la concentración de los hidrocarburos gasolina ($r = 0.97$), diesel ($r = 0.88$) y combustóleo ($r = 0.97$). Debido al tipo de hidrocarburo, se observa un mayor contenido de materia orgánica cuando los suelos son contaminados con diesel.

La materia orgánica determinada por el método de Walkley-Black, consiste en una oxidación con dicromato de potasio diluido en un medio fuertemente ácido, donde el dicromato se consume para oxidar la materia orgánica, la parte que no reacciona se cuantifica con sulfato ferroso amoniacal valorado (Olson *et al.*, 1982). En este caso, el contenido de materia orgánica del suelo contaminado es la suma de materia biogénica (por la descomposición de vegetales y animales) y materia petrogénica (por hidrocarburos).

Con base en lo anterior, es de suponer que los componentes de la gasolina (la mayoría volátiles con estructura C_5 a C_9), al entrar a la reacción exotérmica por el contacto con el dicromato diluido y el ácido sulfúrico, se pierden y el resto es oxidado. En el caso del diesel (cuyos compuestos tienen una estructura C_{10} a C_{23}) y con mínimo contenido de compuestos volátiles se oxida en su mayor parte, reflejándose en valores altos de materia orgánica.

En cambio, el combustóleo conformado por productos con estructuras de C_{25} a C_{35} correspondientes a compuestos saturados, poliaromáticos y de cadena larga son difíciles de oxidar en las condiciones del método Walkley-Black, por lo que sólo una parte de sus componentes es de fácil oxidación los cuales reaccionan dando valores menores comparados con el diesel. Esto sugiere que un porcentaje considerable del combustóleo no es fácilmente oxidable. De manera similar, los

microorganismos hidrocarbonoclasticos del suelo que no pueden degradar estos compuestos son conocidos como recalcitrantes (Rontani *et al.*, 1985).

El aumento de la materia orgánica, en estos casos, no significa que sea benéfico como lo manejan algunos autores (Plice, 1948), ya que dicho aumento se debe a material petrogénico y no biogénico. Esto realmente puede representar un riesgo ecotóxico por la presencia de hidrocarburos aromáticos polinucleares contenidos en mayor proporción en el diesel y combustóleo (Fan *et al.*, 1994).

Efectos sobre pH

En la Figura 5, puede apreciarse que el pH prácticamente no tiene una variación en presencia de cualquier concentración y tipo de hidrocarburo, por lo que se mantiene de medianamente a ligeramente ácido (Moreno, 1978)

El análisis de varianza entre el parámetro pH, contra los factores concentración y tipo de hidrocarburo, determinó que no hay diferencia significativa ($P < 0.05$), es decir, el suelo, sometido a contaminación a dosis de 100 a 150 000 mg kg^{-1} de gasolina, diesel o combustóleo, produce efectos sobre el pH, los cuales son mínimos de tal manera que no se percibe efecto en esta variable. Como la variación oscila con valores menores que 1, no repercutiría en caso de usarse este dato en alguna tecnología de limpieza como la bioremediación la cual requiere un rango de pH de 6 a 8.

Efectos sobre Conductividad Eléctrica

Como puede verse en la Figura 6, la conductividad eléctrica tiene una variación irregular (entre 0.5 y 1.2 dS m^{-1}), ya que los valores aumentan y disminuyen ante la presencia de los tres

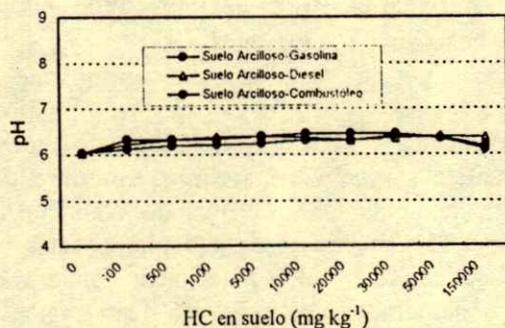


Figura 5. Variación del pH por HC en suelo arcilloso.

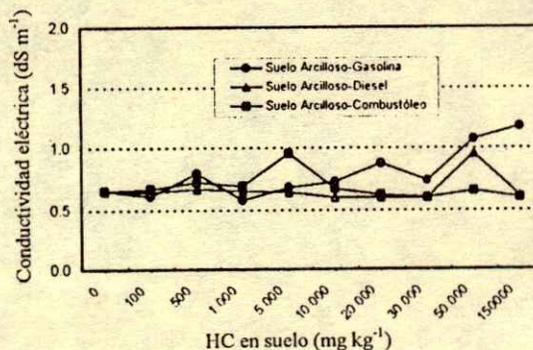


Figura 6. Variación de la conductividad eléctrica por HC en suelo arcilloso.

hidrocarburos a diferentes concentraciones. Sin embargo, hay una ligera tendencia a aumentar cuando el contaminante es gasolina. A las concentraciones probadas, el suelo se mantiene con valores menores que 1.2 dS m^{-1} considerado como no salino (Boulding, 1994).

Las variaciones importantes en los valores de este parámetro que pueden mencionarse corresponden al suelo con 20 000 a 150 000 mg kg^{-1} de gasolina donde la conductividad aumenta a 1.07 y 1.17 dS m^{-1} , respectivamente, y cuyo valor original es de 0.65 dS m^{-1} .

Al realizar el análisis de varianza entre la conductividad eléctrica contra los factores concentración y tipo de hidrocarburo se determinó que no hay diferencia significativa ($P < 0.05$), esto quiere decir que el suelo sometido a contaminación a dosis de 100 a 150 000 mg kg^{-1} de gasolina, diesel o combustóleo, no produce efectos sobre este parámetro. Dichos hidrocarburos no impiden la solubilización de sales presentes en el suelo, lo cual se manifiesta en las determinaciones similares de conductividad en el extracto de la pasta de saturación.

Efectos sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico

La Figura 7 muestra una variación irregular en los valores de capacidad de intercambio catiónico, ya que aumentan y disminuyen independientemente de la concentración y tipo de hidrocarburo, por lo que la tendencia es indefinida. Los cambios más notables corresponden al suelo contaminado con gasolina, conservándose aún así con alta capacidad de intercambio catiónico (Aguilar *et al.*, 1987). Las variaciones están relacionadas con el efecto de adsorción de los hidrocarburos, en la superficie de las

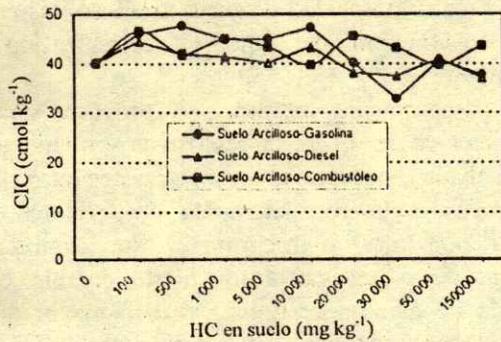


Figura 7. Variación de la capacidad de intercambio catiónico por HC en suelo arcilloso.

partículas minerales del suelo interfiriendo en los sitios de intercambio de cationes (Karimi Lotfad *et al.*, 1996) y por las interacciones electrostáticas. (Yong *et al.*, 1994; Pignatello y Xing, 1996).

Se determinó que no hay diferencia significativa ($P < 0.05$) entre el parámetro capacidad de intercambio catiónico contra los factores concentración y tipo de hidrocarburo, lo cual se observa como un efecto sobre los valores con una tendencia irregular a aumentar y disminuir ($\pm 10 \text{ cmol kg}^{-1}$), alrededor del valor promedio del suelo sin contaminar.

Efectos sobre Densidad Real

En la Figura 8, puede apreciarse la variación de la densidad real del suelo arcilloso con respecto a la concentración y tipo de hidrocarburo, donde el diesel y la gasolina muestran mínima variación aún en concentraciones altas de hidrocarburo. Cabe destacar que el combustible sí causa una variación en la densidad real tendiente a disminuir a partir de concentraciones de $30\,000 \text{ mg kg}^{-1}$ a $150\,000 \text{ mg kg}^{-1}$ provocando una tendencia a disminuir de 2.23 g cm^{-3} hasta 1.26 g cm^{-3} . Este valor debe considerarse con

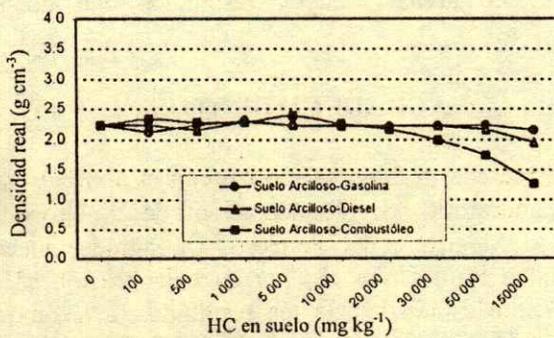


Figura 8. Variación de la densidad real por HC en suelo arcilloso.

mucho cuidado para efectos de seleccionar alguna tecnología de remediación del suelo.

Sin embargo, estadísticamente entre densidad real contra los factores concentración y tipo de hidrocarburo, no existe una diferencia significativa ($P < 0.05$).

La explicación tiene relación con el proceso de determinación, ya que éste toma en cuenta el peso y volumen únicamente de las partículas minerales del suelo, ya que se tiene que eliminar la humedad del suelo y el volumen de aire ocupado en los espacios porosos. Sin embargo, el hidrocarburo queda adsorbido a las partículas del suelo, que al momento de determinar su peso, éste se encuentra modificado por la combinación de partículas con mayor densidad ($> 2 \text{ g cm}^{-3}$) con el hidrocarburo con menor densidad ($< 1 \text{ g cm}^{-3}$). Si las partículas han adsorbido hidrocarburos como el combustible, cuya densidad es menor que 1, la densidad real se ve afectada directamente reflejándose como una disminución.

Efectos sobre Densidad Aparente

En la Figura 9, se observa que las variaciones de densidad aparente son mínimas, por lo que no influyen los hidrocarburos a concentraciones de 100 a $150\,000 \text{ mg kg}^{-1}$ sobre este parámetro.

El análisis de varianza entre el parámetro densidad aparente contra los factores concentración y tipo de hidrocarburo indica que no hay diferencia significativa ($P < 0.05$) por el tipo de hidrocarburo. Pero la concentración sí causa una diferencia significativa ($P < 0.05$), esto se debe a que en la determinación por el método de la probeta se considera a las partículas del suelo tanto como al aire en los espacios porosos (Brady, 1990). De esta manera, aunque existan abundantes hidrocarburos adsorbidos al suelo, se conservarán los espacios

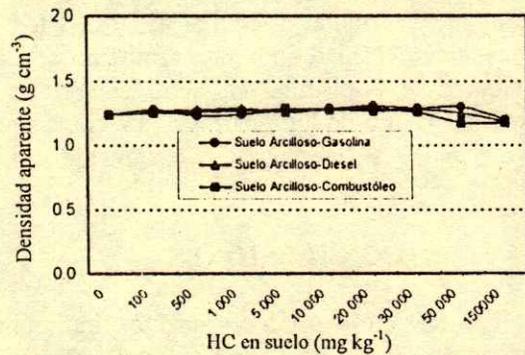


Figura 9. Variación de la densidad aparente por HC en suelo arcilloso.

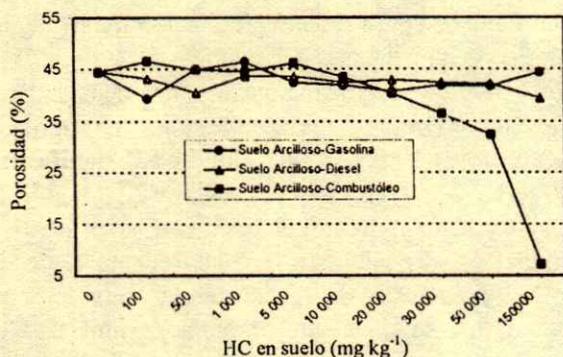


Figura 10. Variación de la porosidad por HC en suelo arcilloso.

porosos manteniéndose la densidad que de alguna forma puede provocar una tendencia a disminuir a concentraciones mayores que 150 000 mg kg⁻¹.

Efectos sobre Porosidad.

En la Figura 10, puede apreciarse que la porosidad no varía significativamente cuando el suelo está contaminado con gasolina o diesel. Sin embargo, con combustóleo este parámetro disminuye drásticamente a partir de concentraciones de 20 000 mg kg⁻¹, de tal manera que la porosidad del suelo sin contaminar es de 44.39% y llega a disminuir hasta 7.14% cuando la concentración de combustóleo es de 150 000 mg kg⁻¹. Esta tendencia se origina a partir del efecto en la disminución de la densidad real (Figura 8), ya que existe una relación matemática entre ambos parámetros.

Estadísticamente entre el parámetro porosidad contra el factor tipo de hidrocarburo, no hay diferencia significativa ($P < 0.05$) para gasolina y diesel. Sin embargo, ante la presencia de combustóleo a concentraciones altas en suelo, la porosidad disminuye notablemente por la ocupación del hidrocarburo en los espacios porosos. Como la porosidad se determina a partir de los datos de densidad real y densidad aparente, si alguno de estos datos aumentan o disminuyen (en función de la concentración y tipo de hidrocarburo, así como por el tipo de suelo), se reflejará directamente en la porosidad.

CONCLUSIONES

Los hidrocarburos producen efectos importantes sobre las propiedades de textura, materia orgánica,

densidad real y porosidad de suelo arcilloso, las cuales varían en función del tipo y concentración del contaminante.

La presencia de gasolina no provoca cambios sustanciales en las propiedades físicas y químicas del suelo probadas, excepto en la materia orgánica donde se observó un ligero incremento proporcional a la concentración del hidrocarburo. En cambio, la presencia de diesel causa un fuerte cambio en el contenido de materia orgánica, incluso mayor que el causado por gasolina y combustóleo. También produce cambios ligeros en el valor de las arcillas y arenas del suelo, sin llegar a modificar la clase textural.

A una concentración de 150 000 mg kg⁻¹, el combustóleo provoca cambios en la proporción de partículas minerales del suelo al grado de modificar la clase textural del suelo arcilloso a migajón-arcilloso por aumento importante de las arenas y disminución de las arcillas. El combustóleo también provoca incrementos importantes en el contenido de materia orgánica, aunque en menor grado que el diesel. Además, este derivado del petróleo provoca ligera disminución de la densidad real y, por consecuencia, la porosidad disminuye marcadamente.

Con respecto a la capacidad de intercambio catiónico, los hidrocarburos probados no causan una tendencia definida, ya que se observan valores que aumentan y disminuyen de manera irregular con diferentes concentraciones.

Los parámetros pH, conductividad eléctrica y densidad aparente no varían significativamente. Las variaciones mínimas observadas son atribuibles a errores sistemáticos en las metodologías de análisis.

Pruebas similares presentadas en este trabajo se realizan con un suelo migajón limoso (el cual contiene 78.44% de limos) y otro migajón arcillo-arenoso (con 50.88% de arenas), cuyos resultados aún no se concluyen.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó con el apoyo y uso del Laboratorio de Remediación de Suelos del Instituto Mexicano del Petróleo. Un agradecimiento especial a Raúl Uribe H., por su colaboración en el tratamiento estadístico de los resultados, así como a Antonio Trujillo N. por la revisión del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, S.A., J.D. Etchevers B. y J.Z. Castellanos R. (eds.). 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación especial 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México.
- Boulding, T.R. 1994. Description and sampling of contaminated soils: A field manual. Lewis Publisher. 2nd ed. Bloomington, Indiana. pp. 3-65 a 3-70.
- Brady, N.C. 1990. The nature and properties of soils. Macmillan. New York, NY.
- Chen, Zhi. 1997. Phytoremediation of petroleum contaminated soil. Doctor of Philosophy Dissertation. Kansas State University.
- Dobson, L. y H.A. Wilson. 1964. Respiration studies on soil treated with some hydrocarbons. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21: 536-539.
- Dragun, J. 1998. The soil chemistry of hazardous materials. 2nd ed. Amherst Scientific Publishers, Amherst, Massachusetts.
- Ellis, R., y R.S. Adams. 1960. Contamination of soils by petroleum hydrocarbons. Department of Agronomy, Kansas State University, Manhattan. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26: 197-216.
- Evgin, E., F.B. Amor y A. Altaee. 1989. Effect of an oil spill on soil properties. pp. 715-720. Eight International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. The Hague, The Netherlands.
- Fan, C., S. Krishnamurty y Ch. T. Chen. 1994. A critical review of analytical approaches for petroleum contaminated soil. pp. 62. *In: T.A. O'Shay y K.B. Hoddinott. (eds.). Analysis of soils contaminated with petroleum constituents. ASTM Publication code number 04-012210-38. Philadelphia, USA.*
- Jackson, M.L. 1976. Soil chemical analysis. Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey.
- Karimi-Lotfad, S., M.A. Pickard y M.R. Gray. 1996. Reactions of polynuclear aromatic hydrocarbons in soil. *Environ. Sci. Technol.* 30: 1145-1151.
- Kunze, G.W. y J. Dixon. 1986. Physical and mineralogical methods. pp. 33-50, 363-409, 443-460. *In: Method of soil analysis (Part 1). 2nd ed. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.*
- Moreno, D.R. 1978. Clasificación del pH del suelo, contenido de sales y nutrientes asimilables. INIA-SARH, México DF.
- Morgan, P. y R.J. Watkinson. 1989. Hydrocarbon degradation in soils and methods for soils biotreatment. *CRC Critical Rev. in Biotechnol.* 8: 308-310.
- Olson, R.V., R. Ellis Jr., G.W. Kunze y J. Dixon. 1982. Chemical and microbiological properties. pp. 149-157, 167-178, 534-577, 815-820. *In: Methods of soils analysis (Part 2). 2nd ed. American Society of agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.*
- Pignatello, J.J. y B. Xing. 1996. Mechanisms of slow sorption of organic chemicals to natural particles. *Environ. Sci. Technol.* 30: 1-11.
- Plice, M.J. 1948. Some effects of crude petroleum on soil fertility. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 14: 413-416.
- Rontani, J.F., F. Booser-Joulac, E. Rambeloarisoa, J.C. Bertrand y G.E. Giusti. 1985. Analytical study of Asthart crude oil. *Chemosphere* 14: 1413-1422.
- Suthersand, S.S. 1998. Remediation engineering. Geraghty & Miller. Environmental Science and Engineering Series. pp. 255-264.
- Yong, R.N., L.F. Mohamed y A.M.O. Mohamed. 1994. Retention and transport of oil residue in sandy loam soil. pp. 98-100. *In: T.A. O'Shay y K.B. Hoddinott (eds.). Analysis of soils contaminated with petroleum constituents. ASTM Publication code number 04-012210-38. Philadelphia, USA.*

BIOMASA, RENDIMIENTO, EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y NITROGENO EN GIRASOL DE HUMEDAD RESIDUAL

Biomass, Yield, Water Use Efficiency and Nitrogen in Sunflower Grown on Soil with Residual Moisture

J. Alberto Escalante Estrada¹

RESUMEN

Durante 1987 y 1988, se realizó un estudio para determinar la influencia genotípica y de la fertilización nitrogenada (150 y 300 kg N ha⁻¹) sobre la producción de biomasa, rendimiento y eficiencia en el uso del agua (EUA) del girasol (*Helianthus annuus* L.), cultivado en condiciones de humedad residual. Los resultados indican que las condiciones ambientales variaron principalmente con relación a la precipitación, que fue de 531 mm y de 709 mm. Esto influyó sobre la producción del girasol, la cual en ambos años mostró diferencias genotípicas y diferente respuesta a la aplicación de N. Sungro 380 (genotipo tardío) mostró mayor producción de biomasa, un índice de cosecha y rendimiento más bajo que Arbug E-353 (ABE353, genotipo precoz), en particular en el año más seco. En 1987, el N incrementó la biomasa en 17 y 29% y el rendimiento en 14 y 12% en ABE353 y Sungro 380, respectivamente. En 1988, el incremento en biomasa fue 76 y 64%, y de 51 y 29% en rendimiento de grano para los genotipos respectivos. Dichos incrementos fueron producto de una mayor EUA. Para lograr una mayor producción de girasol en estas regiones, se recomienda la siembra de genotipos precoces y fertilización nitrogenada.

Palabras clave: *Materia seca, rendimiento en aceite, componentes del rendimiento, Helianthus annuus L.*

SUMMARY

In 1987 and 1988, a study was conducted to determine the influence of genotype and N fertilization (150 and 300 kg N ha⁻¹) on biomass production, seed yield and water use efficiency (WUE) of sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown

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

Recibido: Septiembre de 1998. Aceptado: Abril de 2001.
Publicado en Terra 19: 19-27.

on soil with residual moisture. The environmental conditions were different for each year, principally rainfall, which was 531 mm and 709 mm for 1987 and 1988, respectively. This affected sunflower production, which differed according to genotype. Production was increased by N. Sungro 380 (late flowering) showed higher biomass values, but a lower harvest index and yield than Arbug E-353 (ABE353; early flowering), especially in the drier year. In 1987, N increased biomass by 17 and 19% and yield by 14 and 12% for ABE353 and Sungro 380, respectively. In 1988, for these genotypes, the increase in biomass was 76 and 64%, respectively, and 51 and 29%, respectively, in yield. These increases resulted from a high WUE. For higher sunflower production in this region, it is recommended to sow early flowering genotypes and to fertilize with N.

Index words: *Dry matter, oil yield, yield component, Helianthus annuus L.*

INTRODUCCION

La sequía es el principal factor ambiental que limita la producción de los cultivos, particularmente en aquellas regiones donde la agricultura es de secano. El concepto de agricultura de secano contempla el cultivo que se desarrolla durante la temporada de lluvia o cuya siembra se realiza a finales de ésta, y el cultivo solamente dispone, para su desarrollo, de la humedad almacenada en el suelo antes de la siembra. La producción de la agricultura de secano, por las implicaciones que ésta conlleva, es inferior a la de regadío, por lo que los estudios, tendientes a la búsqueda de estrategias para lograr incrementos en el rendimiento, se justifican (Escalante, 1992). El girasol es una oleaginosa que prospera donde la disponibilidad de agua es limitada, por esto su cultivo se ha incrementado en regiones de clima semiárido, como en España (Ferrer *et al.*, 1986). Sin embargo, los estudios para lograr incrementos en la producción del girasol bajo estas condiciones son limitados. El presente trabajo plantea que, para elevar la producción

en regiones donde el cultivo es de humedad residual, se requiere generar estrategias que conduzcan a un uso más eficiente del agua disponible y lograr un rendimiento más alto, dentro de las cuales se sugiere la siembra de genotipos que cubran su ciclo antes de que ocurra la época de temperaturas altas y de mayor demanda evaporativa. Por otra parte, la siembra de genotipos tardíos de mayor rendimiento puede ser factible para esta región, siempre que exista suficiente humedad almacenada en el suelo, producto de una precipitación invernal de 500 a 600 mm. Asimismo, la búsqueda de una cobertura del suelo por el cultivo desde las primeras etapas de desarrollo podría traducirse en mayor crecimiento, debido a un período de intercepción de radiación solar más largo y una mayor disponibilidad de agua para el cultivo por la reducción de la evaporación directa del suelo. La mayor cobertura por el dosel puede lograrse mediante una mayor área foliar de las plantas. Existen evidencias de que el nitrógeno estimula la expansión de la lámina foliar (Blanchet *et al.*, 1986; Lemcoff y Loomis, 1986; Muchow, 1988), por lo que con la fertilización nitrogenada podría lograrse este objetivo. Sin embargo, en la producción agrícola de humedad residual, la estimulación en el crecimiento por el nitrógeno antes de la floración con el consecuente consumo de agua, reduciría la humedad disponible durante la etapa reproductiva del cultivo y, en consecuencia, el rendimiento (Bolton, 1981).

En girasol, diversos estudios en condiciones variables de precipitación (desde 250 hasta 1120 mm) en suelos franco arenosos a arcillo arenosos han demostrado que las aplicaciones de nitrógeno (N) incrementaron el rendimiento de semilla de 56 a 450 kg ha⁻¹, respectivamente (Zubriski y Zimmerman, 1974; Ruiz-Avilés, 1980; Yousaf *et al.*, 1986; Alvarez, 1987). Las variaciones en el rendimiento son consecuencia de las variaciones en sus componentes inmediatos; un cambio en el suministro de N afectará principalmente la formación de flores y el número de semillas (Steer *et al.*, 1984, en girasol; Lemcoff y Loomis, 1986, en maíz). En contraste, el tamaño de semilla es un componente que no se afectó por el N en los trabajos realizados en maíz por Muchow (1988). Por otra parte, Steer *et al.* (1986) y Alvarez (1987) han encontrado que el contenido de aceite de la semilla disminuyó en el girasol con N y riego. En girasol, en condiciones de riego, se ha logrado incrementar la producción de biomasa con el N (Steer *et al.*, 1986; Alvarez, 1987), producto de una mayor eficiencia en el uso del agua. Esto también se observó

en cebada y trigo (Cooper, 1983). El objetivo del presente trabajo fue: determinar el efecto del genotipo y fertilización nitrogenada sobre la producción de biomasa, rendimiento y eficiencia en el uso del agua del girasol (*Helianthus annuus* L.) en condiciones de humedad residual.

MATERIALES Y METODOS

Descripción de la Localidad Experimental

El estudio consistió de dos experimentos, uno en 1987 y otro en 1988, en Tomejil, provincia de Sevilla, España (37° 28' norte, 5° 38' oeste) a una altitud de 72 m), que presenta una temperatura máxima y mínima media anual de 22 y 12 °C, respectivamente (promedio de 12 años), una precipitación media de 580 mm y una evapotranspiración potencial de 922 mm. El suelo es un Vertisol; la mayor parte de la arcilla es expandible, lo que da lugar a movimientos en el perfil. La densidad aparente es de 1.63 g cm⁻³ en los primeros 35 cm del perfil y de 1.7 g cm⁻³ en los 35 a 120 cm; el pH entre 7.7 y 8.0 (González Fernández *et al.*, 1987). Durante la estación lluviosa, estos suelos pueden presentar problemas de encharcamientos en las depresiones. Estos suelos, al secarse, presentan la particularidad de formar grandes grietas. El clima es Mediterráneo Subtropical (Castillo y Beltrán, 1977).

Tratamiento, Diseño Experimental y Dimensiones del Experimento

En ambos experimentos, se utilizaron dos genotipos de girasol Arbung E-353 y Sungro 380 (referidos posteriormente como AB y Sungro, respectivamente) y dos dosis de nitrógeno: 0 (testigo) y 150 kg ha⁻¹ (1987) y 300 kg ha⁻¹ (1988), aplicados antes de la siembra. El diseño experimental fue parcelas divididas con cuatro repeticiones. La parcela mayor correspondió al genotipo y la menor al nivel de N. El tamaño de parcela (unidad experimental) fue de 5 X 10 m. La siembra se realizó el 18 de marzo con una densidad de 100 mil plantas ha⁻¹ en surcos de 50 cm de separación. En ambos años, se registró la temperatura máxima y mínima promedio de cada 10 días, así como la precipitación decenal.

Las etapas fenológicas registradas (Schneiter y Miller, 1981) fueron: la fecha de emergencia cuando más de 50% de las plántulas asomaron los cotiledones del suelo, la fecha de floración cuando más de 50% de

las plantas de la población mostraron en la periferia del capítulo las ligulas expuestas y turgentes (estado R5) y madurez fenológica, cuando el dorso del capítulo presentaba un color amarillento. La cosecha final del cultivo se realizó cuando las plantas estuvieron secas. Las variables recopiladas y los criterios seguidos para su determinación fueron: a) biomasa total (materia seca de la parte aérea del cultivo), b) índice de cosecha (IC), que indica la proporción de materia seca que se acumula en la semilla con relación a la biomasa total; c) rendimiento, se refiere al peso seco de las semillas m^{-2} ; d) componentes del rendimiento: el peso de mil semillas (PMS) se determinó mediante el peso de una muestra de 1000 semillas secada a la estufa; número de semillas m^{-2} , se obtuvo dividiendo el rendimiento ($g\ m^{-2}$) entre el peso de mil semillas (g); se calculó el área circular del capítulo, tomando la media del diámetro de dos mediciones; e) el contenido de aceite de la semilla se determinó por resonancia magnética nuclear (Granlund y Zimmerman, 1975), utilizando un analizador modelo MKTIIA (Newport Instruments, Bucks, G.B.); f) el rendimiento de aceite mediante el producto: rendimiento de semilla por el porcentaje de aceite/100 y se expresó en $g\ m^{-2}$; y g) la eficiencia en

el uso del agua (EUA) se calculó dividiendo la biomasa y el rendimiento por unidad de área entre la precipitación total recibida durante el ciclo (Bolton, 1981). Aquí se incluyó la precipitación recibida antes y después de la siembra. A las variables en estudio se les realizó el análisis de varianza bajo el diseño parcelas divididas; las que resultaron con diferencias significativas, se les realizó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de probabilidad. Además, se realizó un análisis de regresión lineal entre el rendimiento y sus componentes.

RESULTADOS Y DISCUSION

Estos se presentarán a continuación para cada año de estudio.

Factores del Clima

Experimento 1987

En la Figura 1, donde se presentan los datos de temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}), se observa que el promedio decenal durante el desarrollo

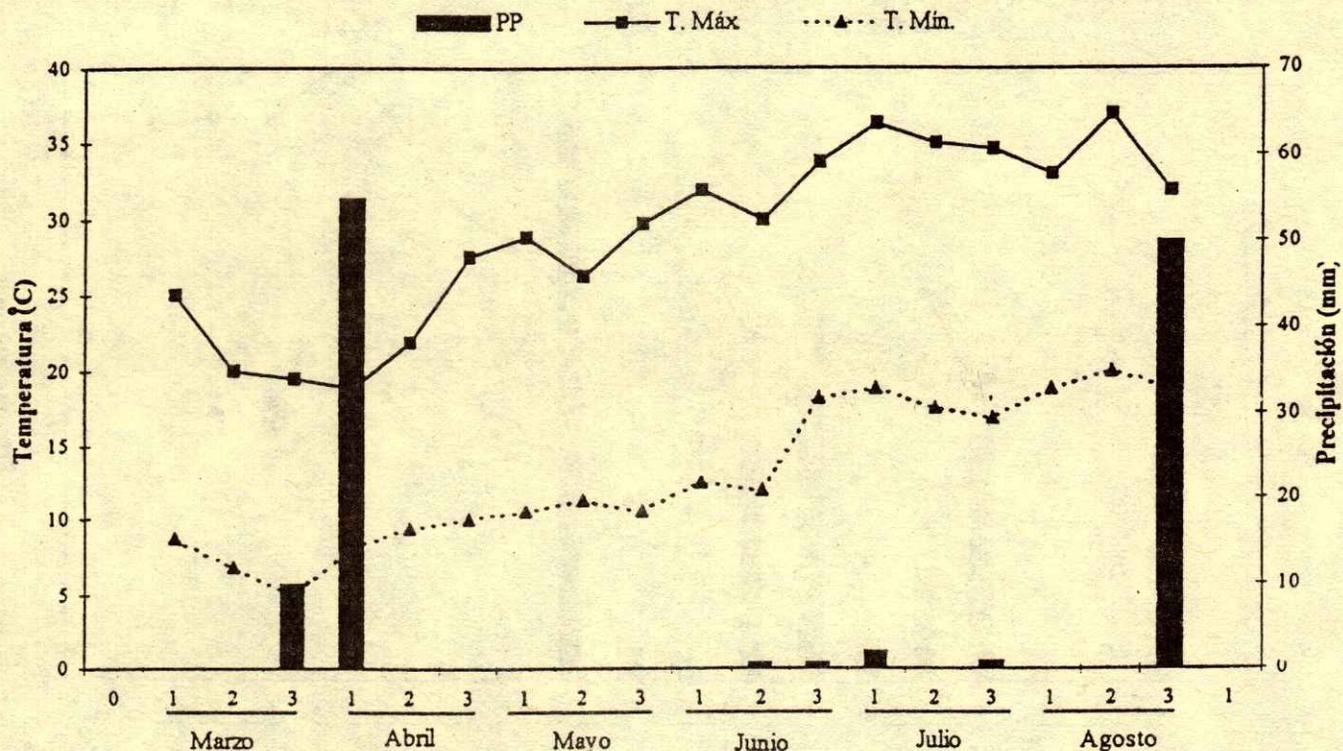


Figura 1. Temperatura (°C) máxima (T. Máx) y mínima (T. Mín) promedio decenal y precipitación (PP, mm) suma decenal para los meses de marzo a agosto 1987 en Tomejil.

del cultivo fluctuó entre 20 °C y 35 °C para T_{máx}, y entre 7 °C y 20 °C para T_{mín}. Cabe señalar que las temperaturas más altas ocurren durante la etapa reproductiva del girasol. La precipitación estacional fue de 531 mm (septiembre 1986 a agosto 1987), 70% ocurrió antes de la siembra y 30% restante durante el desarrollo del cultivo. Como se observa en la Figura 1, el girasol estuvo sujeto a un período de sequía de 80 días.

Experimento 1988

En la Figura 2, se observa que el promedio decenal de T_{máx} fue entre 18 °C y 40 °C y la T_{mín} entre 4 °C y 20 °C. Las temperaturas más altas ocurrieron durante la etapa reproductiva del cultivo. La precipitación estacional fue de 709 mm (septiembre 1987 a agosto 1988), superior en 178 mm y con mejor distribución que en el experimento de 1987, puesto que durante el período de desarrollo, correspondiente a los meses de abril a junio, no se presentó ningún período de sequía que fuera severo. La cantidad de lluvia después de la siembra representó 30% del total.

Fenología

En ambos experimentos, el N no ocasionó cambios en la duración de los períodos de siembra a emergencia, la cual fue a los 15 días después de la siembra (dds) y el período de emergencia a floración (EF), que varió por efecto de genotipos solamente. La floración ocurrió a los 61 y 75 días después de la emergencia (dde) para AB y Sungro, respectivamente. Por otra parte, el N acortó la madurez fisiológica (MF) del girasol. También, se observaron cambios en la fecha a MF debido al genotipo.

Experimento 1987

Con N, el genotipo AB llegó a MF a los 101 dde (116 dds), ocho días antes que el testigo (MF a los 109 dde, 124 dds). Sungro llegó a MF a los 119 dde (134 dds), nueve días antes que el testigo (MF a los 128 dde, 143 dds).

Experimento 1988

El N no ocasionó cambios significativos en los días a MF del genotipo AB la cual ocurrió a los

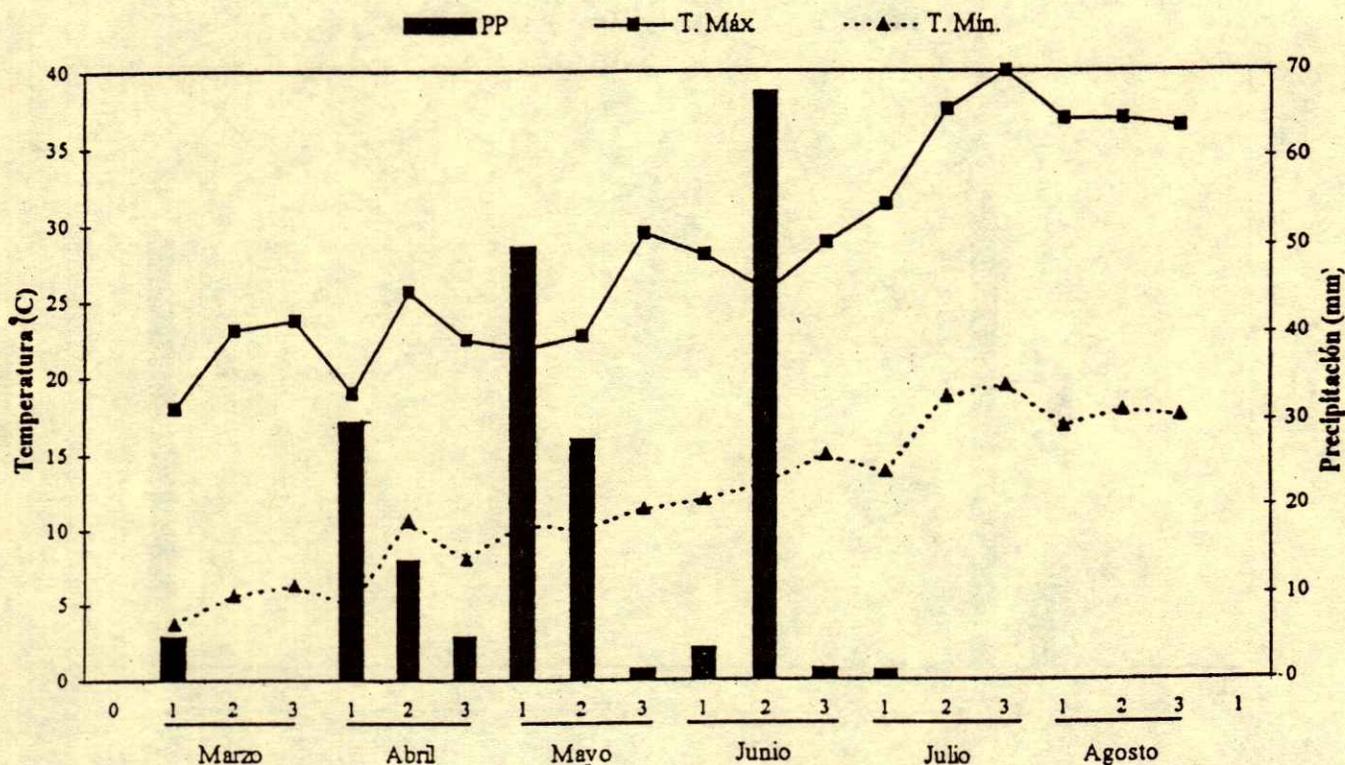


Figura 2. Temperatura (°C) máxima (T. Máx) y mínima (T. Mín.) promedio decenal y precipitación (PP, mm) suma decenal para los meses de marzo a agosto 1988 en Tomejil.

108 dde (123 dds) y el testigo a los 110 dde (125 dds). En cambio, en Sungro ésta ocurrió a los 120 dde (135 dds) cinco días antes que el testigo (125 dde, 140 dds).

La mayor precocidad de los genotipos en 1987, se debió a una menor disponibilidad de agua en este año, de tal manera, que el agotamiento de ésta durante el período reproductivo pudo inducir una tasa de senescencia foliar más elevada, acortando el ciclo del cultivo (Escalante, 1992).

Biomasa e Índice de Cosecha (IC)

Experimento 1987

Aunque, el ANDEVA no mostró diferencias significativas entre genotipos (Cuadro 1), cabe señalar que la biomasa de Sungro fue superior en 29% a la de AB, la cual fue en promedio de 583 g m⁻². En ambos genotipos, la producción de biomasa se incrementó con la aplicación de N (Cuadro 1). En AB y Sungro, el N incrementó en 17 y 29% la biomasa del testigo que fue de 536 y 847 g m⁻², respectivamente. En cuanto al IC, el genotipo Sungro mostró en promedio un IC (23%) más bajo que AB (33%).

Experimento 1988

Aunque las diferencias no fueron significativas, cabe señalar que la producción de biomasa del cultivar Sungro fue superior a la de AB. Por ejemplo, en condiciones de fertilización, la biomasa de Sungro fue de 1542 g m⁻², mientras que la de AB fue de 1120 g m⁻² (Cuadro 2). Por otra parte, la fertilización nitrogenada condujo a incrementos significativos en la biomasa. El N incrementó en 76 y 64% la biomasa de

AB y Sungro respecto al testigo (sin N) que produjo 637 y 940 g m⁻², respectivamente.

Respecto al IC, aunque el ANDEVA no mostró cambios significativos, cabe señalar que en ambas condiciones de fertilización, el genotipo Sungro mostró un IC inferior al de AB. El IC más bajo (18%) se encontró en Sungro fertilizado con N.

Los resultados de ambos años muestran tendencias similares. La mayor producción de biomasa de Sungro se debió a su mayor duración del ciclo vegetativo en comparación con AB (ciclo corto) y, en consecuencia, mayor período de captación de radiación solar, lo que se tradujo en un mayor crecimiento (Escalante, 1992). Sin embargo, en regiones que cuentan con un determinado suministro de agua, la mayor producción de biomasa de estos genotipos es a costa de una mayor extracción de agua durante la etapa vegetativa, lo que limita este recurso para la etapa reproductiva, afectando la producción y traslocación de fotosintatos hacia el grano, dando un IC y rendimiento más bajo como se verá más adelante. Por esta razón y de acuerdo con Rawson y Turner (1982), en áreas de humedad residual, los genotipos de ciclo largo no son apropiados para una mayor producción de semilla.

Por otra parte, la fertilización con N en este estudio incrementó la producción de biomasa en AB y Sungro. Tendencias similares se han encontrado en girasol con riego para la misma región (Alvarez, 1987), y también en condiciones de secano tipo intraestival (Escalante, 1995). La mayor producción de biomasa con N puede estar relacionada con un incremento en el tamaño del área foliar (Escalante, 1995) y en la eficiencia en el uso de la radiación (Sinclair y Horie, 1989). En la mayoría de los casos, el IC más bajo del girasol con N se asume que es el resultado de las condiciones hídricas más severas

Cuadro 1. Rendimiento de semilla, número de semilla, peso seco de 1000 semillas, número de semillas por capítulo, rendimiento por planta e índice de cosecha. 1987.

Genotipo	N	Biomasa	Rend.	NS	PMS	AC	SC	Rend.	IC
	kg ha ⁻¹	g m ⁻²		m ²	g	cm ²		g planta ⁻¹	%
Arbung E-353	no	536	180 a	4611 a	39.1	106	461	18	33
	N+	630	206 b	5662 b	36.3	117	566	21	33
Sungro 380	no	656	162 a	5467 a	29.8	92	547	16	25
	N+	847	182 b	5889 b	30.8	103	589	18	21
Prob. F.	G	NS	*(15.6)	** (419)	** (2.3)	*(8.8)	*(72)	*(2.7)	NS
	N	**	** (9.9)	** (241)	NS	** (4.8)	** (35)	** (1.5)	NS
	G*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*** = P ≤ 0.05, 0.01, respectivamente; NS = Diferencias no significativas a P ≤ 0.05. Rend. = Rendimiento de semilla; NS = Número de semillas; PMS = Peso de mil semillas; AC = Área del capítulo; SC = Semillas por capítulo; IC = Índice de cosecha; G = Genotipos; N = Nitrógeno; no = Testigo; N+ = Con fertilización nitrogenada.

Cuadro 2. Rendimiento (gm^{-2}), sus componentes e índice de cosecha (IC). 1988.

Genotipo	N	Biomasa	Rend.	NS	PMS	AC	SC	Rend. pl^{-1}	IC
	kg ha^{-1}	g m^{-2}		m^{-2}	g	cm^2		g	%
Arbung E-353	No	637	210	4024	52.7	123	402	21	33
	N+	1120	317	6232	50.8	124	498	25	28
Sungro 380	No	940	215	5801	37.2	115	580	21	25
	N+	1542	278	7689	36.2	128	769	28	18
Prob. F.	G	NS	NS	** (800)	** (3.6)	NS	* (111)	NS	NS
	N	**	** (21)	** (388)	NS	NS	* (97)	NS	NS
	G*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*,** = $P \leq 0.05, 0.01$, respectivamente; NS = Diferencias no significativas a $P \leq 0.05$; Rend. = Peso seco de semilla; NS = Número de semillas; PMS = Peso de mil semillas; AC = Área del capítulo; SC = Semillas por capítulo; Rend pl^{-1} = Rendimiento por planta (g); IC = Índice de cosecha; G = Genotipo; N = Nitrógeno; no = Testigo; N+ = Con fertilización nitrogenada.

a que estuvo sujeto el girasol durante la etapa reproductiva por las razones mencionadas anteriormente. En concordancia con Bolton (1981), este es uno de los riesgos que se corre al utilizar prácticas agrícolas que conduzcan a un crecimiento exuberante del cultivo en regiones de humedad limitada.

Rendimiento y sus Componentes.

Experimento 1987

El rendimiento en grano y sus componentes mostraron cambios significativos por efecto del genotipo y N (Cuadro 1). El genotipo AB mostró el rendimiento más alto, incluyendo el del testigo (180 g m^{-2}) que fue superior al de Sungro en 11%, el cual se relacionó con un mayor tamaño del grano (peso de mil semillas) y mayor área del capítulo. Por otra parte, el N incrementó el rendimiento por m^2 y por planta de ambos genotipos, debido a que el N incrementó el área del capítulo y el número de semillas por capítulo y por m^2 . El N no afectó el peso de mil semillas (PMS), lo que indica que de los componentes estudiados aquí, fue el que mostró mayor estabilidad a los cambios en el suministro de N, y cuya magnitud está determinada en alto grado por el factor genético, como lo confirmó el diferente tamaño de semilla del genotipo utilizado (Cuadro 1).

Experimento 1988

El rendimiento en grano solamente mostró cambios significativos por efecto del N (Cuadro 2). El N incrementó el rendimiento de AB y Sungro en 51% y 29%, respectivamente. Dicho incremento fue consecuencia de que el N estimuló la formación de un mayor número de semillas por planta y por m^2 . En

ambos genotipos, el rendimiento del testigo (sin N) fue de 210 y 215 g m^{-2} , respectivamente.

El peso de mil semillas (PMS), como en 1987, no se afectó por el N, pero mostró diferencias significativas debido al genotipo. AB, el genotipo de ciclo corto, mostró en promedio un PMS de 51.7 g, mientras que en Sungro éste fue de 36.7 g.

Estos resultados sugieren que aún con condiciones limitativas de agua, el N incrementó el rendimiento del girasol a consecuencia del incremento en el número de semillas por capítulo y el número de semillas m^{-2} . Respuestas similares encontraron Lemcoff y Loomis (1986), en maíz, y Steer *et al.* (1984), en girasol en condiciones de riego.

Asimismo, la diferencia de rendimiento entre genotipos sugiere que, en regiones con escasez de agua, deberá tomarse en cuenta la duración del ciclo de crecimiento del cultivo, puesto que los genotipos de ciclo largo como Sungro, debido a su mayor longitud en la etapa vegetativa y mayor producción de biomasa, tienen un alto consumo de agua antes de la floración, limitando este recurso para el llenado del grano, lo que se reflejaría en un menor tamaño de semilla y rendimiento más bajo.

Contenido y Rendimiento de Aceite

Experimento 1987

Los genotipos en estudio mostraron diferente contenido de aceite (% CA) y éste se afectó por el N (Cuadro 3). Sungro mostró el CA más alto con 46.5% en promedio, mientras que AB solamente mostró 44%.

Esto sugiere que en los genotipos tardíos, la más baja acumulación de materia seca por semilla se compensó por un mayor contenido de aceite en la

Cuadro 3. Contenido de aceite en la semilla y rendimiento en aceite. 1987.

Genotipo	N	CA	RA
	kg ha ⁻¹	%	g m ⁻²
Arbung E-353	no	45.0	81
	N+	43.0	88
Sungro 380	no	47.0	76
	N+	46.0	84
Prob. F.	G	** (1.14)	NS
	N	*	** (4.5)
	G*N	NS	NS

*** = P ≤ 0.05, 0.01, respectivamente; NS = Diferencias no significativas a P ≤ 0.05; CA = Contenido de aceite; RA = Rendimiento de aceite; el número dentro del paréntesis es el valor de la DMS 0.05; G = Genotipo; N = Nitrógeno; no = Testigo y N+ = Con fertilización nitrogenada.

misma. Esto también se deduce de los datos de Ortegón y Díaz (1997). Por otra parte, en ambos genotipos, la concentración de aceite fue más baja en las plantas con N. Tendencias similares encontraron Steer *et al.* (1984). El CA del testigo fue de 45 y 47%; y con N de 43 y 46% para AB y Sungro, respectivamente (Cuadro 3).

Aunque el rendimiento de aceite (g m⁻², RA) no mostró diferencias significativas genotípicas, cabe señalar que AB produjo un RA más alto que Sungro (Cuadro 3). La fertilización con N incrementó el RA en casi 10% en ambos genotipos. El RA del testigo fue de 81 y 76 g m⁻² y con N fue de 88 y 84 g m⁻² para AB y Sungro, respectivamente.

Experimento 1988

El CA y el RA del girasol solamente mostraron cambios significativos por efecto de la fertilización con N. El girasol con N mostró un CA más bajo que el testigo (sin N). Este valor fue más bajo en el genotipo AB (ciclo corto) con 42.9% (Cuadro 4). No obstante esto, la producción de aceite se incrementó con el N.

Cuadro 4. Contenido de aceite y rendimiento en aceite. 1988.

Genotipo	N	CA	RA
	kg ha ⁻¹	%	g m ⁻²
Arbung E-353	no	48.7	102
	N+	42.9	136
Sungro 380	no	44.3	96
	N+	43.5	121
Prob. F.	G	NS	NS
	N	** (0.9)	** (148)
	G*N	* (1.2)	NS

*** = P ≤ 0.05, 0.01, respectivamente; NS = Diferencias no significativas a P ≤ 0.05; CA = Contenido de aceite; RA = Rendimiento de aceite; el número dentro del paréntesis es el valor de la DMS 0.05; G = Genotipo; N = Nitrógeno; no = Testigo y N+ = Con fertilización nitrogenada.

El RA se incrementó con 32% y 26% en AB y Sungro, respectivamente. El RA más bajo fue de 96 g m⁻² y correspondió al testigo (sin N) del girasol Sungro.

En ambos años de estudio, se observó la tendencia de que las plantas con N mostraron un CA más bajo, lo cual puede deberse a un efecto de dilución en el CA, debido al mayor número de semillas y tamaño por capítulo mostrado por las plantas con N. El mayor RA de las plantas con N es consecuencia de que la mayor acumulación de materia seca en la semilla compensó y superó el contenido de aceite más bajo, mostrado por las plantas con N, lográndose un RA más alto.

Eficiencia en el Uso del Agua

Experimento 1987

En cuanto a la eficiencia en el uso del agua (EUA), tanto para la producción de biomasa, como para el rendimiento, sólo se encontraron cambios significativos por efecto del N (Cuadro 5). El N incrementó la EUA para la producción de biomasa en 0.9 g m⁻² mm⁻¹ y 1.1 g m⁻² mm⁻¹ para el genotipo AB y Sungro, respectivamente, y la EUA para la producción de semilla en 0.201 y 0.119 g m⁻² mm⁻¹ para AB y Sungro, respectivamente. También en cebada y trigo con la fertilización nitrogenada se ha logrado elevar la EUA (Gregory *et al.*, 1984; Cooper *et al.*, 1987). Esto sugiere que en regiones en donde se cuenta con una dotación fija de agua mediante las prácticas agrícolas (fertilización nitrogenada) puede lograrse un uso más eficiente del agua y una mayor producción de los cultivos.

Cuadro 5. Eficiencia en el uso del agua (EUA) en la producción de biomasa y rendimiento del girasol en función del genotipo y nitrógeno. 1987.

Genotipo	N	EUA	
		Biomasa	Rendimiento
		- - - - g m ⁻² mm ⁻¹ - - - -	
Arbung E-353	no	1.2	0.395
	N+	2.1	0.596
Sungro 380	no	1.8	0.404
	N+	2.9	0.523
Prob. F.	G	NS	NS
	N	**	**
	G*N	NS	NS

*** = P ≤ 0.01; NS = Diferencias no significativas a P ≤ 0.05; no = Testigo; N+ = 150 kg de N ha⁻¹.

Cuadro 6. Eficiencia en el uso del agua (EUA) en la producción de biomasa y rendimiento del girasol en función del genotipo y nitrógeno. 1988.

Genotipo	N	EUA	
		Biomasa	Rendimiento
		- - - - g m ⁻² mm ⁻¹ - - - -	
Arbung E-353	no	0.89	0.296
	N+	1.58	0.447
Sungro 380	no	1.32	0.303
	N+	2.17	0.392
Prob. F.	G	NS	NS
	N	**	**
	G*N	NS	NS

*** = $P \leq 0.01$; NS = Diferencias no significativas a $P \leq 0.05$;
no = Testigo; N+ = 300 kg de N ha⁻¹.
Precipitación estacional 709 mm.

Experimento 1988

La eficiencia en el uso del agua (EUA) en la producción de biomasa fue más alta en Sungro que en AB. La EUA del testigo fue de 0.89 g m⁻² mm⁻¹, en AB, y 1.32 g m⁻² mm⁻¹, en Sungro. El N incrementó la EUA en ambos genotipos y fue más alto en Sungro que en AB (Cuadro 6). El N también elevó la EUA en la producción de semilla, cuyo incremento fue diferente entre genotipos. AB incrementó la EUA en 0.151 g m⁻² mm⁻¹, mientras que en Sungro éste fue sólo de 0.089 g m⁻² mm⁻¹. Aumentos en la EUA por el N se han observado también en girasol con riego (Alvarez, 1987).

En resumen, en ambos años, se observó la tendencia de que mediante la fertilización nitrogenada puede elevarse la eficiencia en el uso del agua en girasol.

CONCLUSIONES

En condiciones de humedad residual, el genotipo de ciclo largo Sungro 380, produjo mayor cantidad de biomasa, un índice de cosecha, rendimiento y peso de mil semillas más bajo que el girasol Arbung E-353 de ciclo corto. Con la fertilización nitrogenada, el ciclo de crecimiento de ambos genotipos es más corto. En contraste, la eficiencia en el uso del agua, la producción de biomasa, de semilla y de aceite se incrementa. La respuesta del girasol al nitrógeno fue más alta en el año de mayor humedad disponible para el cultivo. Finalmente, para elevar el rendimiento de semilla y de aceite de girasol en regiones de humedad residual, es recomendable el uso de genotipos de ciclo corto y la fertilización nitrogenada.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a la Sra. Julia Corina Morales Pérez por la captura de este escrito.

LITERATURA CITADA

- Alvarez del Toro, J.A. 1987. Respuesta del girasol (*Helianthus annuus* L.) a un suministro variable de agua de riego y de nitrógeno. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba España.
- Blanchet, R., G. Cavalie, M. Piquenial, N. Gelfi, Y. Duprat y E. Martínez. 1986. Influence de la nutrition azotée sur l'assimilation nette et la formation du rendement du Tournesol. *Helia* 9: 39-45.
- Bolton, F.E. 1981. Optimizing the use of water and nitrogen through soil and crop management. *Plant Soil* 58: 231-248.
- Castillo F., E. y L.R. Beltrán. 1977. Agroclimatología de España. Cuaderno INIA 7. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura. Madrid, España.
- Cooper, P.J.M. 1983. Crop management in rainfed agriculture with special reference to water use efficiency. pp. 63-79. In: Proc. 17th Colloquium Int. Potash Inst. Rabat, Morocco.
- Cooper, P.J.M., P.J. Gregory, D. Tully y H.C. Harris. 1987. Improving water use efficiency of annual crops in rainfed farming systems of West Asia and North Africa. *Expl. Agric.* 23: 113-158.
- Escalante Estrada, J.A.S. 1992. Interacciones entre el nitrógeno y la densidad de siembra en los cultivos del girasol (*Helianthus annuus* L.) bajo suministro limitado de agua. Tesis de Doctor Ingeniero Agrónomo. Universidad de Córdoba. Córdoba España.
- Escalante Estrada, J.A.S. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad* 3: 28-32.
- Fereres, E., C. Giménez y J.M. Fernández. 1986. Genetic variability in sunflower cultivars under drought. I. Yield relationships. *Aust. J. Agric. Res.* 37: 573-582.
- González Fernández, P., F. Caballero Ungria, R. Miralles I. y J. Sanz Izquierdo. 1987. Desarrollo de las raíces "activas" del girasol bajo condiciones de sequía. *Inv. Agrar. Prot. Veg.* 2: 53-65.
- Granlund, M. y D.C. Zimmerman. 1975. Oil content of sunflower seeds as determined by wideline nuclear magnetic resonance (NMR). *Proc. N.D. Acad. Sci.* 27: 128-133.
- Gregory, P.J., K.D. Shepherd y P.J.M. Cooper. 1984. Effect of fertilizer on root growth and water use of barley in Northern Syria. *J. Agric. Sci. Camb.* 103: 429-438.
- Lemcoff, J.H. y R.S. Loomis. 1986. Nitrogen influences on yield determination in maize. *Crop Sci.* 26: 1017-1022.
- Muchow, R.C. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semiarid tropical environment. III. Grain yield and nitrogen accumulation. *Field Crops Res.* 18: 31-43.
- Ortegón M., A.S. y A. Díaz F. 1997. Productivity of sunflower cultivars in relation to plant density and growing season in Northern Tamaulipas, México. *Helia* 20 (26): 113-120.
- Rawson, H.M. y N.C. Turner. 1982. Recovery from water stress in five cultivars. I. Effects of timing of water application in leaf area and seed production. *Aust. J. Plant Physiol.* 9: 437-448.

- Ruiz-Avilés, P. 1980. Input óptimos en dosis de siembra y abonado nitrogenado para girasol de segunda cosecha. pp. 209-213. In: Memorias 9th Int. Sunfl. Conf. Proc. Torremolinos, Malaga, España.
- Schneiter, A.A. y J.F. Miller. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.* 21: 901-903.
- Sinclair, T.R. y T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: A review. *Crop Sci.* 29: 90-98.
- Steer, B.T., P.J. Hocking, A.A. Kortt y C.M. Roxburgh. 1984. Nitrogen nutrition of sunflower (*Helianthus annuus* L.) yield components, the timing of the establishment and seed characteristics in response to nitrogen supply. *Field Crops Res.* 9: 219-236.
- Steer, B.T., P.D. Coldrake, C.J. Pearson y C.P. Canty. 1986. Effects of nitrogen supply and population density on plant development and yield components of irrigated sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Field Crops Res.* 13: 99-115.
- Yousaf, F.M., A. Begg y A. Shakoor. 1986. Effect of spacing and nitrogen on the yield components of sunflower under rainfed conditions. *Helia* 9: 53-56.
- Zubriski, J.C. y D.C. Zimmerman. 1974. Effects of nitrogen, phosphorus and plant density on sunflower. *Agron. J.* 66: 798-801.

EFFECTIVIDAD DE *Glomus fasciculatum* Y *Glomus etunicatum* EN EL CRECIMIENTO DE PLANTULAS DE *Vitis vinifera* L. OBTENIDAS POR MICROPROPAGACION

Glomus fasciculatum and *Glomus etunicatum* Effectiveness on Growth of *Vitis Vinifera* L. Micropropagated Plantlets

A. Alarcón¹, M.C. González-Chávez¹, R. Ferrera-Cerrato¹ y A. Villegas-Monter²

RESUMEN

Se evaluó la efectividad de dos hongos micorrízicos arbusculares al inocularlos en plántulas micropropagadas del portainjerto 161-49 de *Vitis vinifera* L., tolerante a altas concentraciones de aluminio. El experimento se mantuvo en condiciones de invernadero durante 260 días y se consideraron tres tratamientos, incluyendo el testigo. *Glomus fasciculatum* mostró mayor compatibilidad con el hospedante, ya que se tuvieron incrementos en materia seca foliar y área foliar, a pesar de observarse bajos porcentajes de colonización en el sistema radical. Se observó menor área foliar específica en plantas inoculadas, particularmente con *G. fasciculatum*. Además, este mismo endófito produjo mayor capacidad de absorción nutrimental por la planta; en el caso de nitrógeno, el contenido en follaje fue 12 veces mayor que en plantas testigo, mientras que el contenido de fósforo fue 15 veces mayor que en el testigo. La efectividad de *G. fasciculatum* se afectó de acuerdo con la presencia de factores ambientales (incremento de temperatura, principalmente), lo cual contribuyó en la expresión de los efectos benéficos de este endófito, en comparación con *G. etunicatum*.

Palabras clave: Micorriza arbuscular, vid, portainjerto, infectividad.

SUMMARY

Micropropagated plantlets of *Vitis vinifera* L. rootstock 161-49 (highly tolerant to soil aluminum toxicity) were inoculated with two arbuscular mycorrhizal fungi in order to evaluate their

effectiveness under greenhouse conditions during 260 days. Three treatments, including the control, and 25 replicate plants were considered. In this experiment, treatments were arranged in a completely randomized design. *G. fasciculatum* showed higher compatibility on the host, as a result increases in shoot dry matter and leaf area were observed even at low root colonization percentage. *G. fasciculatum* inoculated-plants showed the lowest specific leaf area value. This endophyte produced better nitrogen and phosphorus uptake. Nitrogen content was 12 times higher in inoculated plants and phosphorus content was 15-fold increased than control plants. *G. fasciculatum* effectiveness was affected by changes in environmental temperature, which contributed on the expression of beneficial effects of this endophyte in comparison to *G. etunicatum*.

Index words: Arbuscular mycorrhizae, grapevine, rootstock, infectiveness.

INTRODUCCION

En México, la fruticultura ha tenido especial importancia por su impacto, no sólo en la generación de divisas, producto de la exportación de frutas, sino también por sus repercusiones en el ámbito social, ya que año con año se generan diversas fuentes de empleo. No obstante, el establecimiento de huertos frutícolas presenta diversos problemas, por lo cual en algunas ocasiones se requiere del uso de portainjertos con características que contribuyan en el desarrollo y productividad de las variedades comerciales (Padrón-Chávez y Rocha-Peña, 1993). Para satisfacer los requerimientos de este tipo de plantas, se ha recurrido a la micropropagación, ya que esta técnica, además de facilitar la propagación de las plantas en forma masiva, también permite generarlas libres de enfermedades (De Fossard, 1986; Zimmerman, 1989). Sin embargo, con esta alternativa frecuentemente se tienen problemas en la adaptación de las plantas a condiciones *ex-vitro* y al momento del transplante

¹ Instituto de Recursos Naturales (alexala@colpos.colpos.mx),

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

definitivo. Actualmente, se ha puesto especial interés en el uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la horticultura. En sí, la actividad de estos endófitos en el sistema radical favorece incrementos en la capacidad de adaptación de las plantas a condiciones adversas, además de favorecer el buen crecimiento y sanidad e inducir mayor vigor a las mismas (Schubert y Mazzitelli, 1987; Ferrera-Cerrato y González-Chávez, 1994; Jaizme-Vega y Azcón, 1995; Lovato *et al.*, 1996; Alarcón *et al.*, 1998).

Ravolanirina *et al.* (1989) mencionaron la factibilidad de inocular esporas de hongos micorrízicos en vitroplantas de vid; sin embargo, la funcionalidad de estos endófitos dependerá del medio de cultivo que se utilice (Beard y Fortin, 1988), por lo que enfatizan el uso de estos hongos en condiciones *post in vitro*, donde el potencial benéfico de éstos puede ser mayor para la planta.

Con el manejo de portainjertos en huertos frutícolas, se crean condiciones óptimas para la producción de las múltiples variedades comerciales con las que se cuenta actualmente (Reyes-Alemán *et al.*, 1997). Sin embargo, no puede ignorarse que durante el manejo de estos portainjertos en vivero, se requiere de la presencia de HMA para favorecer el crecimiento de las plantas. Para este fin, siempre es importante cuidar ciertos procesos indispensables para el manejo de vivero, como: la esterilización del sustrato, el uso de sustratos adecuados, la racionalidad en la aplicación de fertilizantes y la inoculación de HMA compatibles con la planta deseada (Declerck *et al.*, 1995; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). Con lo anterior, se puede contribuir en el éxito del establecimiento de los huertos cuya productividad dependerá fundamentalmente del manejo que el productor haga. Es importante enfatizar que más de 60% del éxito de un huerto frutícola comercial se basa en el manejo de plantas en el vivero, por lo que la utilización de prácticas encaminadas a la obtención de plantas de calidad, garantiza en gran medida la funcionalidad y productividad de los huertos.

Con base en lo mencionado, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la efectividad de dos cepas de hongos micorrízicos en función de su capacidad promotora del crecimiento al ser inoculados en plántulas del portainjerto 161-49 de vid, obtenidas por micropropagación.

MATERIALES Y METODOS

El Laboratorio de Biotecnología de la Especialidad de Fruticultura del Colegio de Postgraduados (CP) proporcionó plántulas propagadas y enraizadas *in vitro* del portainjerto 161-49 de *Vitis vinifera* L. Las plántulas se aislaron del medio de cultivo, se colocaron en agua estéril y se trasplantaron y se inocularon con los endófitos *Glomus fasciculatum* Gerdemann & Trappe y *G. etunicatum* Becker & Gerdemann. El trasplante y la inoculación se realizaron en recipientes de poliestireno con 250 g de sustrato de iguales características al utilizado en el subsiguiente trasplante. La inoculación se realizó en el momento de este primer trasplante, aplicando directamente al sistema radical de cada plántula 0.5 g de raíces de alfalfa colonizadas en 79 y 61% por cada endófito, respectivamente.

A cada recipiente, se le colocó una bolsa de polietileno, para facilitar la adaptación de las plántulas a la humedad relativa. A la bolsa se le hicieron perforaciones diarias para procurar una aclimatación paulatina de las plántulas a la condiciones de invernadero; posteriormente, las bolsas se desecharon. Después de 100 días, las plantas se trasplantaron por segunda vez a bolsas de polietileno negro de 8 kg de capacidad, con la finalidad de favorecer su crecimiento. Cada planta se regó con agua corriente, cada tercer día.

El sustrato utilizado en ambos trasplantes fue una mezcla de suelo agrícola (tepetate)-arena de río-agrolita en proporción 3:6:1 v/v, esterilizada con vapor durante tres horas. El grado de fertilidad del sustrato se caracterizó como bajo, de acuerdo con su composición química ($\mu\text{g g}^{-1}$ de mezcla): 0.7 μg de N, 15 μg de P, 0.078 μg de K y 13.9 μg de materia orgánica y pH de 6.4

Se consideraron tres tratamientos, incluyendo el testigo, cada uno con 25 repeticiones, distribuidos en un arreglo completamente al azar, donde una planta se tomó como unidad experimental. El experimento se estableció (otoño 1991 a verano 1992) en condiciones de invernadero del Área de Microbiología en el que se presentaron 16.9 °C como temperatura promedio (23.1 °C máxima y 6.5 °C mínima) y 52.9% de humedad relativa. Se evaluaron altura de la planta, número de hojas, área foliar (integrador de área foliar LI-COR modelo LI-3100), peso seco foliar, volumen radical, diámetro de tallo, área foliar específica [área foliar (cm^2)/peso seco de hojas (g) {Phavaphutanon *et al.*, 1996}], contenido de nitrógeno (Morries, 1983) y

fósforo (Jackson, 1973) en follaje, porcentaje de colonización micorrizica (Phillips y Hayman, 1970; Biermann y Linderman, 1981) y conteo de esporas (Gerdemann y Nicolson, 1963). Todos los datos se analizaron mediante el procedimiento de análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), mediante el sistema SAS para equipo de cómputo.

RESULTADOS Y DISCUSION

El efecto benéfico de los HMA se observó después de 140 días (Figura 1a), tomando como ejemplo la altura de la planta, coincidiendo con el aumento de temperatura máxima y mínima (Figura 1b). La inoculación de los HMA tuvo mayor efectividad en la promoción de la altura del portainjerto de vid, correlacionando con los cambios en la temperatura prevaeciente. La efectividad de *Glomus fasciculatum* presentó mayor relación con el incremento de la temperatura máxima y mínima

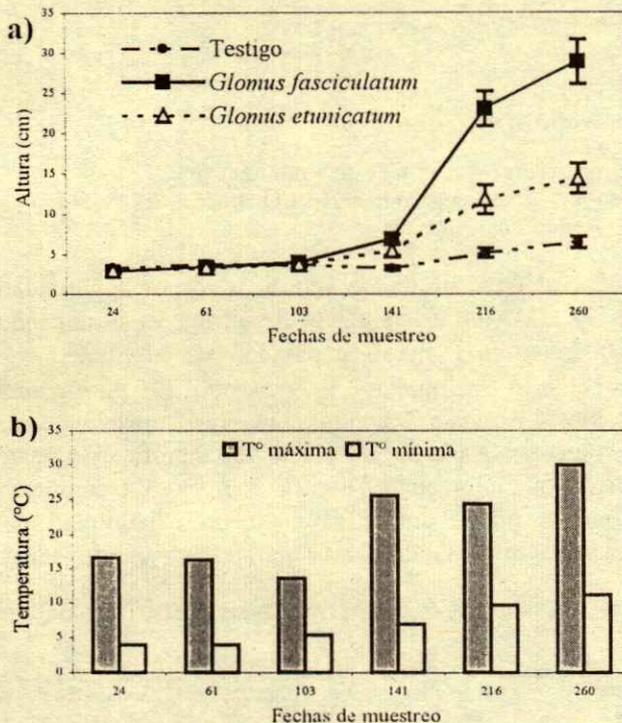


Figura 1. Dinámica de promoción de altura en el portainjerto 161-49 de *Vitis vinifera* L. por efecto de la inoculación con dos especies de hongos micorrizicos arbusculares, con respecto a la fecha de muestreo (a) ($n = 25$, barras = error estándar) y variación de la temperatura máxima y mínima prevaeciente en la duración del experimento (b).

(Figuras 2a y b) en comparación con la efectividad de *Glomus etunicatum* (Figuras 2a y b) posterior al invierno. Abbott y Robson (1991) consideraron que la expresión benéfica de los hongos está determinada por factores climáticos, ya que estos factores, particularmente la temperatura, tienen un efecto determinante en la fisiología del hospedante (Taiz y Zeiger, 1998). El incremento de la temperatura puede propiciar que el metabolismo de las plantas sea mayor, lo que puede facilitar el establecimiento y la funcionalidad de los endófitos debido, principalmente, a la disponibilidad de compuestos ricos en carbono (glucosa y fructosa) requeridos por los HMA (Smith y Gianinazzi-Pearson, 1988; Smith *et al.*, 1998; Bago *et al.*, 2000). Esto permite sugerir que los azúcares, durante los primeros meses de crecimiento de las plantas, pudieron haber estado menos disponibles para los hongos, lo que pudo haber retardado el establecimiento de la colonización y su efectividad en la promoción del crecimiento de las plantas. *G. fasciculatum* también presentó mayor efecto en el incremento del área foliar y volumen radical, en comparación con *G. etunicatum* (Cuadro 1). Sin embargo, la promoción del diámetro de tallo no se modificó significativamente entre endófitos, pero sí se observaron diferencias significativas con el testigo (Cuadro 1).

El volumen radical se modificó significativamente por *G. fasciculatum*, cuyas diferencias fueron mayores con respecto a plantas inoculadas con *G. etunicatum* y con plantas testigo (Cuadro 1). En este aspecto, Schellebaum *et al.* (1991) mencionaron que los HMA tienen la capacidad de modificar el sistema radical de vid, produciendo incrementos en el número de raíces laterales y mayor longitud radical, aun cuando no se produzcan cambios en el número de ejes radicales. Estos investigadores también aluden a que estos efectos pueden relacionarse con el mejoramiento de la nutrición mineral promovida por los HMA. Además, la funcionalidad de estos hongos tiene relación con el incremento de la capacidad fotosintética por la planta y el uso de fotoasimilados, propiciado directamente por el beneficio en la aportación de P por parte de los HMA (Alarcón *et al.*, 1998).

No obstante que *G. fasciculatum* produjo mayor área foliar y peso seco foliar, el área foliar específica fue significativamente menor que la de plantas testigo. Davies *et al.* (2000) mencionaron que la inoculación de HMA tiende a disminuir el área foliar específica de *Psidium guajava* en comparación con plantas no

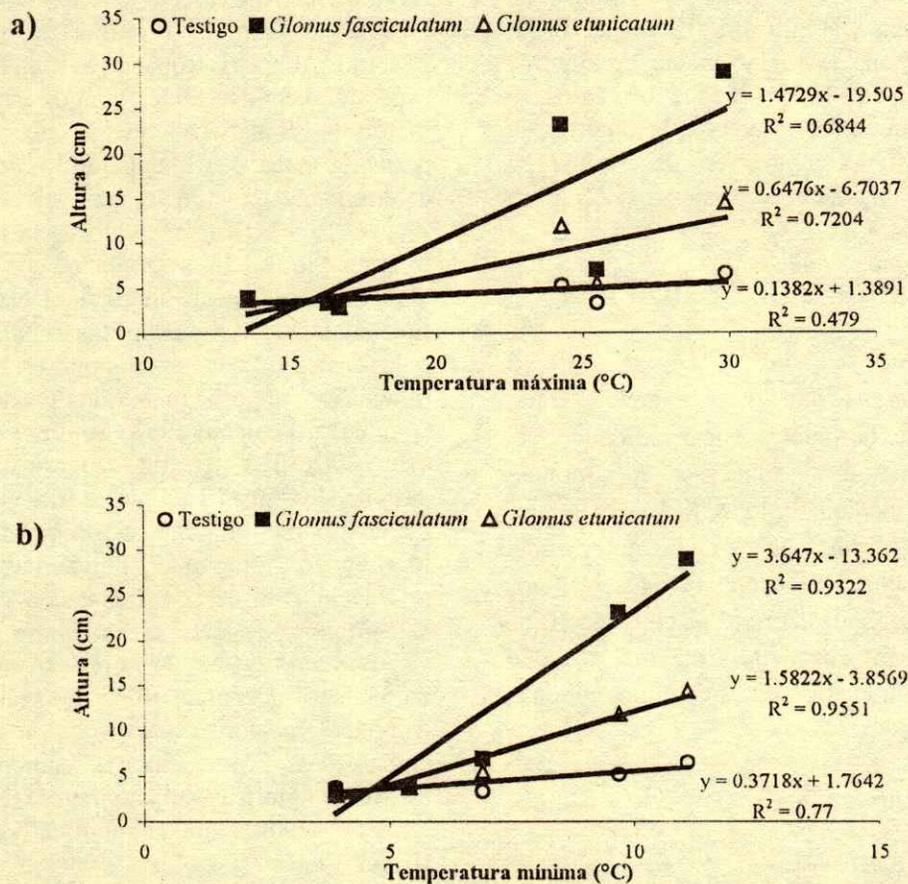


Figura 2. Regresión lineal del efecto del incremento de temperaturas máximas (a) y mínimas (b) y su relación (R^2) con la efectividad de la inoculación con dos especies de hongos micorrizicos arbusculares en la altura de plantas del portainjerto 161-49 de *Vitis vinifera* L. n = 25.

inoculadas. En contraste, Phavaphutanon *et al.* (1996) no reportaron efecto en esta variable cuando se inocularon plantas de *Azadirachta indica*, relacionando este efecto con la influencia de la micorriza arbuscular en el mejoramiento significativo del estado nutricional por fósforo, por lo que las plantas inoculadas con HMA pueden presentar mayor expansión foliar, pero menor peso específico como lo sucedido en el caso del portainjerto de vid.

Se observó un efecto significativo por la actividad de los HMA en el contenido de nitrógeno, destacando *G. fasciculatum* en su capacidad de abastecer este elemento a la planta. Aun cuando *G. etunicatum* promovió menor crecimiento y nutrición por nitrógeno a la planta, su efecto fue significativamente mayor que el testigo (Figura 3a), cuyo crecimiento raquíutico puede atribuirse a la poca habilidad del sistema radical de la planta para captar y aprovechar

Cuadro 1. Efecto de la inoculación de dos especies de hongos micorrizicos arbusculares en el desarrollo vegetativo del portainjerto 161-49 de *Vitis vinifera* L., después de 260 días de la inoculación.

Tratamiento	Número de hojas	Área foliar cm ²	Peso seco foliar g	Área foliar específica cm ² g ⁻¹	Volumen radical cm ³	Diámetro de tallo cm
Testigo	5.5 b	23.1 c	0.2 c	116.8 a	2.5 c	0.1 b
<i>Glomus fasciculatum</i>	14.2 a	137.1 a	1.4 a	91.1 b	11.2 a	0.2 a
<i>Glomus etunicatum</i>	9.0 a	74.7 b	0.6 b	106.0 ab	8.1 b	0.2 a
DMS	4.0	47.6	0.42	19.8	2.9	0.07

Medias con letras idénticas en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$). n = 25.
DMS = diferencia mínima significativa.

Cuadro 2. Colonización micorrizica (total, arbusculos y vesículas) en el sistema radical del portainjerto 161-49 de *Vitis vinifera* L., después de 260 días de la inoculación.

Tratamiento	Colonización total	Arbusculos	Vesículas	Esporas extraradicales 100 g suelo seco
	----- % -----			
Testigo	0.0 b	0.0 b	0.0 b	0.0
<i>Glomus fasciculatum</i>	40.9 a	4.4 a	16.5 a	40
<i>Glomus etunicatum</i>	38.4 a	1.0 b	15.5 a	60
DMS	5.62	2.9	7.6	ne

Medias con letras idénticas en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$). n = 25.
DMS = diferencia mínima significativa. ne = no estimada.

los nutrientes disponibles en el sustrato. El contenido de fósforo en las plantas inoculadas con *G. fasciculatum* se incrementó 15 veces más que en plantas testigo (Figura 3b); mientras que *G. etunicatum*, a pesar de favorecer el contenido de fósforo, no mostró diferencias significativas con respecto al testigo. En este aspecto, el tipo de sistema radical de esta planta se considera como glabro y de

escasos pelos radicales, característica que hace que la planta sea altamente dependiente del establecimiento y funcionalidad de HMA, tanto para su nutrición, como para su crecimiento, como señalaron Schubert *et al.* (1988), sobre todo en la nutrición por fósforo, cuyo papel en la fisiología de las plantas es vital (Bolan, 1991).

En cuanto a la colonización de los endófitos en el sistema radical de las plantas, ésta no sobrepasó 50% en *G. fasciculatum* ni en *G. etunicatum*. Aun cuando el porcentaje de colonización total y de arbusculos no fue alto (Cuadro 2), la respuesta de la planta al establecimiento de los hongos fue considerablemente importante. Debido a que el sistema radical de plantas testigo no permitió mayor exploración del volumen del suelo, la capacidad de crecimiento de estas plantas fue muy baja. En este caso, las plantas requieren de un mecanismo alternativo para así poder captar nutrientes y agua en forma más eficiente, resultando los HMA la mejor vía natural de satisfacer las exigencias nutricionales de este tipo de plantas. Lovato *et al.* (1992) mencionaron que porcentajes de colonización de 30 por HMA producidos comercialmente promovieron incrementos significativos en materia seca de portainjertos de vid micropropagados. Con estas observaciones, se recalca que la efectividad de los HMA no está en función de su capacidad de invadir en alta proporción el sistema radical de sus hospedantes, sino que también dependerá del genotipo y fenología de la planta, así como del grado de fertilidad del suelo y la compatibilidad entre el endófito con la planta (Schubert *et al.*, 1988; Ravolanirina *et al.*, 1989; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). En cuanto al número de esporas en el suelo, *G. etunicatum* presentó mayor cantidad en comparación con *G. fasciculatum* (Cuadro 2). Sin embargo, no se realizó el análisis estadístico, ya que la capacidad de esporulación depende del tipo de esporas producidas por cada especie de HMA (Smith y Read, 1997).

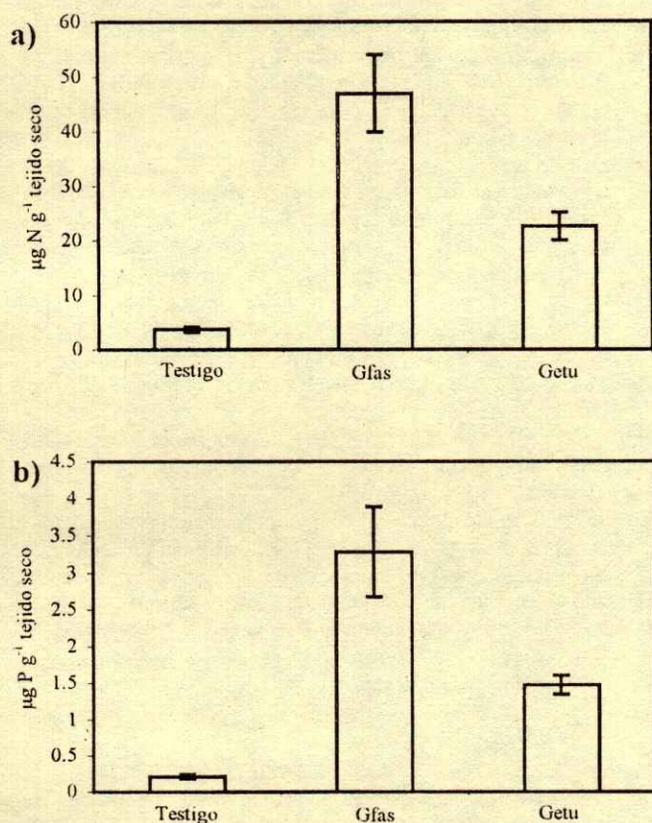


Figura 3. Concentración total de nitrógeno (a) y fósforo (b) en follaje del portainjerto 161-49 de *Vitis vinifera* L. con y sin inoculación de hongos micorrizicos arbusculares (Gfas = *Glomus fasciculatum*; Getu = *Glomus etunicatum*), a los 260 días después de la inoculación. n = 25, barras = error estándar.

CONCLUSIONES

El uso de HMA en portainjertos de vid micropropagado (etapa *post in-vitro*) resulta factible, ya que pueden obtenerse beneficios en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo, se requiere del conocimiento de la temporada de realizar la inoculación, así como del tiempo de expresión de los resultados benéficos en función, tanto de la fenología de la planta, como de las condiciones ambientales (temperatura) en las que se mantengan las plantas. Por otra parte, se recalca el uso de endófitos micorrízicos seleccionados que presenten mayor compatibilidad con el portainjerto. *Glomus fasciculatum* presentó mayor capacidad en la estimulación del crecimiento del portainjerto de vid 161-49 en comparación con *G. etunicatum*. La inoculación con HMA, particularmente *G. fasciculatum*, mejoró la nutrición por nitrógeno y fósforo de las plantas, propiciando mayor vigor y capacidad de crecimiento a las mismas. La expresión del beneficio (efectividad) que aportan los HMA a sus hospedantes, no es sinónimo del grado de colonización de estos endófitos en el sistema radical (infectividad). En otras palabras, si se tienen hongos que colonicen en mayor proporción el sistema radical, esto no implica que tengan mayor capacidad de estimular el crecimiento vegetal. Estas respuestas están determinadas en función del genotipo de la planta y, como se mencionó, de las condiciones ambientales a las que las plantas estén expuestas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se financió parcialmente con el proyecto CONACyT 31947-B. Los autores quieren expresar su agradecimiento por los comentarios, sugerencias y revisión de este trabajo, a Dr. Gabor J. Bethlenfalvay (USDA, Corvallis, Oregon), Dr. Robert G. Linderman (USDA, Corvallis, Oregon) y Dr. Rodrigo Rodríguez Kábana (Auburn University, Alabama).

LITERATURA CITADA

- Abbott, L.K. y A.D. Robson. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agric. Ecosystems Environ.* 35: 121-150.
- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en el manejo de plantas frutícolas en vivero. *Terra* 17: 179-191.
- Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato, A. Villegas M. y J.J. Almaráz S. 1998. Efecto de la simbiosis micorrízica en la fotosíntesis de *Citrus volkameriana* Tanq. & Pasq. pp. 119-125. *In:* R. Zulueta R., M.A. Escalona y D. Trejo A. (eds.). Avances de la investigación micorrízica en México. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz.
- Bago, B., C. Azcón-Aguilar, Y. Schachar-Hill y P.E. Pfeffer. 2000. El micelio externo de la micorriza arbuscular como puente simbiótico entre la raíz y su entorno. pp. 78-92. *In:* A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Mundi Prens. México.
- Becard, G. y J.A. Fortin. 1988. Early events of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation on RiT-DNA transformed roots. *New Phytol.* 108: 211-218.
- Biermann, B. y R.G. Linderman. 1981. Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: A proposed method towards standardization. *New Phytol.* 97: 63-67.
- 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.
- Davies, Jr. F.T., A.A. Estrada-Luna, T.L. Finnerty, J.N. Egilla y V. Olalde-Portugal. 2000. Applications of mycorrhizal fungi plant propagation systems. pp. 123-140. *In:* A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Mundi Prens. México.
- DeClerck, S., C. Plenchette y D.G. Strullu. 1995. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata*, AAA group) cultivar. *Plant Soil* 176: 183-187.
- De Fossard, R.A. 1986. Principles of plants tissue culture. pp. 1-14. *In:* R.H. Zimmerman y R.J. Griesbach (eds.). Tissue culture as a plant production system for horticultural crops. Martinus Nijhoff. Boston, MA. USA.
- Ferrera-Cerrato, R. y M.C. González-Chávez. 1994. Bioproducción de frutales a nivel de vivero. pp. 206-222. *In:* Primera Reunión Internacional de Frutales Introducidos con Demanda Nacional e Internacional. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Gerdemann, J.W. y T.H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soils by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46: 235-244.
- Jackson, M.L. 1973. Soil chemical analysis. Prentice-Hall. New Delhi.
- Jaizme-Vega, M.C. y R. Azcón. 1995. Responses of some tropical and subtropical cultures to endomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 5: 213-217.
- Lovato, P., J.P. Guillemin y S. Gianinazzi. 1992. Application of commercial arbuscular endomycorrhizal fungal inoculants to the establishment of micropropagated grapevine rootstock and pineapple plants. *Agronomie* 12: 873-880.
- 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.
- Morries, P. 1983. A century of kjeldahl (1883-1983). *J. Assoc. Pub. Analysis* 21: 53-58.
- Padrón-Chávez, J.E. y M.A. Rocha-Peña. 1993. Portainjertos de cítricos tolerantes al virus de la tristeza. pp. 87-96. *In:* Memorias II Simposio sobre Sistemas de Producción de Cítricos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Phavaphutanon, L., F.T. Davies Jr. y S. Duray. 1996. Growth, root alteration, and nutrient uptake of neem tree (*Azadirachta indica* A. Juss) seedlings in response to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus nutrition. *Int. Tree Crops J.* 9: 59-67.

- Phillips, J.M. 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.
- Ravolanirina, F., S. Gianinazzi, A. Trouvelot y M. Carre. 1989. Production of endomycorrhizal explants of micropropagated grapevine rootstocks. *Agric. Ecosystems Environ.* 29: 323-327.
- Reyes-Alemán, J.C., A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato. 1997. Aspectos relacionados sobre el uso de la endomicorriza arbuscular en aguacate (*Persea americana* Mill). pp. 83-94. *In: Memoria. Fundación Salvador Sánchez Colín. CICTAMEX. Coatepec Harinas, México.*
- Schellembaum, L., G. Berta, F. Ravolanirina, B. Tisserant, S. Gianinazzi y A.H. Fitter. 1991. Influence of endomycorrhizal infection on root morphology in a micropropagated woody plant species (*Vitis vinifera* L.). *Ann. Bot.* 68: 135-141.
- Schubert, C.A. y M. Mazzitelli. 1987. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in field and pot-grown kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Adv. Hortic. Sci.* 1: 80-82.
- Schubert, A., S. Cammarata e I. Eynard. 1988. Growth and root colonization of grapevines inoculated with different mycorrhizal endophytes. *HortSci.* 23: 302-303.
- Smith, S.E. y V. Gianinazzi-Pearson. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39: 221-244.
- Smith, S.E. y D.J. Read. 1997. *Mycorrhizal symbioses.* Academic Press, London.
- Smith, S.E., G.M. Rosewarne, S.M. Ayling, S. Dickson, D.P. Schachtman, S.J. Barker, R.J. Reid y F.A. Smith. 1998. Phosphate transfer between vesicular-arbuscular mycorrhizal symbionts: Insights from confocal microscopy, microphysiology, and molecular studies. pp. 111-123. *In: J.P. Lynch y J. Deikman (eds.). Phosphorus in plant biology: Regulatory roles in molecular, cellular, organismic, and ecosystem processes.* *Am. Soc. Plant Physiologists* 19: 401. Maryland, USA.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 1998. *Plant physiology.* 2nd ed. Sinauer Associates, Publishers. Sunderland, Massachusetts. pp. 725-757.
- Zimmerman, R.H. 1989. Cultivo de tejidos. pp. 167-182. *In: J.N. Moore y J. Janick (eds.). Métodos genotécnicos en frutales.* AGT. México.

BIOTECNIFICACION DE SOLARES FAMILIARES DE LAS ZONAS BAJAS TROPICALES

Biotechniques for Improvement of Home Gardens in Tropical Wet Lands

María del Carmen Alvarez Avila¹, Carlos Olgún Palacios¹, Alberto Asiain Hoyos¹,
Gabriel Alcántar González^{2†} y Alberto Castillo Morales³

RESUMEN

El solar o huerto familiar ha representado históricamente un espacio donde se producen satisfactores, sobre todo alimentarios, que resuelven un problema inmediato, contribuyendo con esto a establecer una situación de seguridad para la familia campesina. Si bien, ha perdurado en diversas partes del mundo, como en países de Asia, América y en México, ya que aún es capaz de cumplir en alguna medida con esa función, también es cierto que su supervivencia, a mediano plazo, se ha recientemente cuestionado. En este trabajo, se describe una parte del proceso de adaptación local de algunas biotécnicas (con posibilidad de incorporarse a la actividad productiva del solar situado en las zonas bajas tropicales), que puede contribuir a su permanencia o resurgimiento exitoso desde el punto de vista social, ecológico y económico. Para ello, se describen y analizan diferentes experimentos realizados a lo largo de varios años, que permiten comprobar que ciertos elementos de la vegetación acuática y terrestre, presentes en las zonas bajas tropicales y accesibles al productor de bajos recursos, constituyen un importante reservorio de nutrientes potencialmente utilizables. Estos pueden ser trasladados mediante procesos de degradación microbiana, desde las masas de vegetación natural, en la que se encuentran, a ciertos sistemas de producción vegetal intensivos en los que se incorporan en forma de abonos orgánicos. Se sabe que el proceso más común de la degradación de la materia orgánica en las actividades del solar es el aerobio (composteo); sin embargo, la experiencia, generada por el equipo de trabajo en procesos

anaerobios, muestra las ventajas comparativas de esta otra alternativa. En el presente trabajo se comparan las vías aerobia y anaerobia de la degradación de materia orgánica para la producción de bioabono y se estudia el efecto de la cantidad o volumen de sustrato por transformar por vía anaerobia, para valorar la posibilidad de que la metodología pueda adaptarse a las condiciones físicas y, probablemente, culturales del solar. Finalmente, se analiza un ejemplo de utilización del abono así producido en un sistema de producción vegetal sin suelo, desarrollado por un equipo interdisciplinario que maneja líneas de investigación-transferencia en el Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados (Área de Manejo Integral de los Recursos Naturales de las Zonas Bajas Tropicales). Del análisis técnico, a partir de la eficiencia de los dos procesos para transformar la materia orgánica, y operativo (manejo de volúmenes de biomasa acordes con las condiciones del solar) correspondientes, se concluye que la metodología propuesta puede ser un factor importante para que mediante las biotécnicas involucradas, se reciclen los desechos orgánicos del solar, se produzcan bioabonos y, con esto, se intensifique la producción del agroecosistema.

Palabras clave: Recursos naturales, abonos orgánicos.

SUMMARY

Peasants in developing countries have historically relied on home garden production for food, medicinal herbs, building materials and ornamental plants. In recent decades, however, whether or not this peculiar system will disappear as a result of the general progress of technology has been under discussion. In this paper we describe how simple biotechniques based on microbial degradation of aquatic vegetation of wet lowlands might be incorporated into specially designed intensive plant production systems. The huge reservoir of plant nutrients contained in these masses of vegetation, which are otherwise useless,

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Apartado Postal 421, Veracruz, Veracruz.

² Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México. [†](alcantar@colpos.colpos.mx)

³ Universidad Autónoma Metropolitana-Campus Iztapalapa, México.

would be a key factor to ensure a successful role of today's tropical home gardens from an ecological, social, and economic perspective.

Index words: Natural resources, organic fertilizers.

INTRODUCCION

El solar representa la zona contigua a la vivienda del poblador del campo y su producción tiene una especial importancia, quizá desde el origen mismo de la agricultura. El solar o huerto familiar, tuvo a lo largo de la historia de la humanidad manifestaciones específicas y diversas, de acuerdo con el medio físico y social en el que ocurrió (Conway, 1997; Cuanalo, 1999). Perdura hasta nuestros días en muchas culturas y países, porque todavía hace aportes importantes a la familia (Krishnamurthy *et al.*, 1998; Alvarez, 1999). A pesar de que, en la década pasada, se empezó a hablar de su desaparición, en el corto o mediano plazo (Gispert *et al.*, 1993), la realidad muestra que ante la crisis de alimentos, que una parte de la población rural y semiurbana sufre, el solar tiende a resurgir.

Por otra parte, ante la imperiosa necesidad de mantener una producción continua de alimentos y en general de satisfactores, es decir, elementos útiles para los pobladores de las áreas rurales marginadas (como las zonas bajas tropicales del sureste de México), un equipo de técnicos del Área de Investigación-Desarrollo: Manejo Integral de los Recursos Naturales de las Zonas Bajas del Trópico Húmedo (MIRNZZB), del Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados, diseñaron, desde 1980, líneas de investigación que proponen, a través de sistemas intensivos, estables y autosuficientes, el aprovechamiento de este tipo de ecosistemas. Bajo una concepción amplia, se considera que las zonas bajas tropicales no son únicamente las porciones de tierra y cuerpos de agua interconectados (típicas de las regiones costeras), sino también las zonas de baja altitud (0 a 300 m) y alta precipitación pluvial, más de 2000 mm de precipitación media anual (Olguín *et al.*, 1999).

Tal manejo integral (MIRNZZB) contempla, como características fundamentales para alcanzar el aprovechamiento estable y perdurable de los recursos naturales de las zonas bajas tropicales, lo siguiente: 1) El uso de tecnologías apropiadas y/o apropiables que

consideran, de forma importante, el conocimiento que el poblador local tiene de los recursos y medios para su utilización.

2) El aprovechamiento, la recuperación y el reciclaje de la materia orgánica, incluyendo la reutilización de "desechos".

3) La diversificación de la producción.

4) La adecuación y mejoramiento de los procesos productivos que promuevan la autogestión comunitaria.

La experiencia adquirida sobre estos campos en los últimos 15 años y el trabajo con las familias en sus propias comunidades y con los elementos específicos que aparecen en los solares de estas áreas del trópico húmedo, se conjuntaron para tratar de mejorar la productividad del trabajo de la mujer campesina, dado que es ella quien tradicionalmente organiza y ejecuta las labores en este espacio socio-cultural.

Es así que, en estas investigaciones, las técnicas de degradación anaerobia y aerobia se manejan a escala que pueda operarse en unidades pequeñas de producción. Se asume que esto constituirá la base práctica para el empleo de procesos biotecnológicos, en apoyo de las actividades productivas del solar, lo que eventualmente contribuirá a su resurgimiento o permanencia exitosa, desde las perspectivas social, ecológica y económica.

Con el presente trabajo se pretende: 1) Demostrar que especies vegetales consideradas como malezas acuáticas: *Pistia stratiotes*, o terrestres: *Ricinus communis*, existentes en esos ambientes, constituyen un reservorio medible de nutrimentos (N, P, K, Ca y Mg) que pueden transferirse a cultivos de interés alimenticio y comercial después de ser estabilizados mediante procesos microbiológicos. 2) Evaluar la viabilidad técnica-económica de dos tipos de digestores: bolsas de plástico de 30 L (que por su tamaño denominaremos microdigestores), *versus* un digestor circular de ferrocemento de 6000 L. 3) Comparar la degradación de la materia orgánica de los procesos aerobio y anaerobio en términos de concentración de nutrimentos (N, P, K, Ca y Mg), después de seis semanas de proceso. 4) Comprobar que el abono orgánico, obtenido a partir de la degradación anaerobia de la materia orgánica en microdigestores, constituye la fuente de nutrimentos de un sistema intensivo de cultivo, sin suelo (hidroponía orgánica), que puede adoptarse para la producción de especies vegetales para autoconsumo o venta y fácilmente operable dentro de las condiciones del solar.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se dividió en dos etapas. En la Etapa I, se realizaron dos investigaciones: la primera evaluó la eficiencia técnica-económica del proceso de degradación anaerobia en digestores de diferente capacidad volumétrica (30 L y 6000 L), durante 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1997 y 1998. La elección de los años, en que se corrieron los procesos, obedeció a las necesidades de investigación, capacitación y transferencia del área de MIRNQB. En la segunda investigación se comparó el grado de mineralización de la materia orgánica en un proceso aerobio contra un anaerobio. En la Etapa II, se evaluó la propuesta de incorporación de las biotécnicas mencionadas, en una situación particular, mediante el crecimiento de esquejes de vainilla en un módulo demostrativo de hidroponía orgánica ubicado en las instalaciones del antiguo Patronato de la Cuenca del Papaloapan. Este organismo, formado por productores de bajos ingresos, operó de 1987 a 1996 teniendo su sede en Paso Canoas, Oaxaca, en las inmediaciones de la Presa Miguel de la Madrid y tuvo la función de difundir los resultados de investigación de diferentes instituciones que le apoyaron; entre ellas, el Colegio de Postgraduados.

Etapa I

En la primera investigación de la Etapa I se evaluó la eficiencia del proceso anaerobio de una mezcla de lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y excretas de bovino (estiércol) en bolsas de plástico de 30 L (microdigestores) y en un biodigestor de ferrocemento, de 6000 L. Para ello, se utilizaron los datos recabados en procesos efectuados en 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1997 y 1998.

En una pileta de premezclado, la vegetación acuática, molida con una picadora de pasto, se combinó con las excretas en una relación 3:1 en volumen, para tener una relación C:N aproximada de 25:1 en la mezcla a degradar. Se adicionó 2% de inóculo (material que contiene las bacterias metanogénicas), 2% de tierra fértil (para asegurar la presencia de micronutrientes) y agua. La mezcla se batió a pala, homogeneizándola hasta formar una pasta cremosa. Se cargaron el digestor y los microdigestores, dejando libre una tercera parte de su volumen. El digestor de ferrocemento tiene sistema de agitación mecánico. Se agitaron de forma manual dos veces al día, mientras duró el proceso. El tiempo que

duró la degradación anaerobia, determinado en procesos anteriores, fue de 50 días. Los indicadores de que el proceso había finalizado fueron el cese en la producción del biogas y que el material ya no presentó el olor característico de las excretas. Los registros de temperaturas se realizaron en 1987 en un proceso similar (Alvarez y Olguín, 1990). Estos autores reportaron una temperatura promedio de 35 °C, con una desviación estándar de 2.32 y un coeficiente de variación de 5.39 (proceso mesofílico).

Para analizar las diferencias en el proceso de la degradación anaerobia entre microdigestores y el digestor de 6000 L (macrodigestor), se caracterizaron los materiales al inicio y al final del proceso y se determinaron, en cada caso, el contenido de materia orgánica (incineración), nitrógeno total (Kjeldahl), fósforo extractable (Morgan), potasio extractable (Morgan), calcio extractable (versenato), magnesio extractable (versenato) y potencial hidrógeno (potenciómetro Orion 290A). Las medias de los valores finales se analizaron por contrastes ortogonales ($\alpha = 0.05$), utilizando el paquete de cómputo STATISTICA para Windows, versión 5.1.

El costo de producción de un metro cúbico de bioabono, producido por la degradación anaerobia, se calculó con base en los costos del material utilizado y la mano de obra ocupada en la elaboración y operación de los microdigestores y se comparó con el costo de producción de una cantidad igual de abono en el digestor de ferrocemento de 6000 L.

En la segunda investigación de la Etapa I, se evaluó la mineralización de la materia orgánica, de un proceso aerobio (método de pila aireada) contra uno anaerobio (microdigestores) de una mezcla de lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y excretas de gallina. Los materiales y las proporciones utilizadas en las mezclas a degradar fueron iguales para los dos procesos. Para esta investigación, las unidades experimentales las constituyeron un lote de nueve microdigestores y seis pilas de composta. La evaluación se realizó durante seis semanas.

En la elaboración y operación de los microdigestores se siguieron los mismos pasos, descritos en la Investigación I. El material por compostear se colocó en seis pilas de 1.0 m x 0.8 m x 0.8 m, cada una con aproximadamente 750 kg de material y un volumen de 640 L. La composta se hizo con capas formadas con el material por degradar y tierra. Se formaron cuatro capas, cada una con 112.5 kg de material por degradar con una relación en volumen entre la vegetación acuática (*Pistia*

stratiotes) y gallinaza de 3:1 más 2% de tierra fértil. El material se volteó cada tercer día para permitir una buena aireación. Las compostas se cubrieron con paja seca, para evitar pérdida de humedad y se techaron (dos aguas) con plástico transparente, para protegerlas del viento y de la lluvia. Los dos procesos dieron inicio al mismo tiempo y a partir del mismo material y con las mismas proporciones, la única diferencia fue la cantidad total de material a degradar y finalizaron a las seis semanas de operación.

Para evaluar la mineralización de la materia orgánica en cada uno de los procesos, se analizó el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, materia orgánica y pH, mediante los métodos ya mencionados. Los muestreos se realizaron al inicio del proceso y cada dos semanas hasta el término de éste, sumando cuatro muestreos con tres repeticiones cada uno. El análisis estadístico de las medias de los valores, al cabo de las seis semanas, se realizó por contrastes ortogonales ($\alpha = 0.05$), utilizando el paquete de cómputo STATISTICA para Windows, versión 5.1.

Etapa II

En esta etapa, se realizaron trabajos que fundamentan la propuesta de biotecnificación de solares. En las instalaciones del Patronato de la Cuenca del Papaloapan, se diseñó, construyó y operó un módulo terrestre de hidroponía orgánica¹. Debido a que en la zona específica de trabajo es más abundante la maleza terrestre que la acuática, se utilizó higuierilla (*Ricinus communis*), evaluada ya con anterioridad en el Campus Veracruz para la elaboración del abono orgánico (Alvarez y Olguín, 1992). Se mezcló la higuierilla, fragmentada finamente (5 a 10 mm), con excretas de bovino, en una relación de volumen de 1:1, se adicionó 2% de inóculo, 2% de arcilla y agua hasta formar una mezcla cremosa, con la cual se cargaron 20 microdigestores de 30 L. Se caracterizó el bioabono producido mediante los parámetros químicos siguientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, materia orgánica y pH. El sustrato

se formó al mezclar el bioabono con arena en una relación volumétrica (arena:bioabono) de 3:1 (Olguín y Alvarez, 1992). El sustrato se caracterizó con los mismos parámetros que el bioabono.

El cultivo elegido para ser producido en el módulo fue vainilla (*Vanilla planifolia*), debido a que en la región donde se trabajó en esa fase de las investigaciones, existía una fuerte demanda de material de propagación sano y vigoroso, para el establecimiento de 80 ha de cultivo que beneficiarían a 15 localidades de la región y a 1107 productores (SEDAP, 1991).

Para el diseño de la estructura del módulo de hidroponía orgánica se consideraron materiales de la región como caña vaquera (*Guadua aculeata* Rupr.) y, por su dureza, madera de nanchillo (*Bunchosia lanceolata*). En una superficie de 8 m², se colocaron nueve bastidores y en cada bastidor, seis esquejes de vainilla de 70 cm de longitud. La propia planta reguló el abastecimiento de agua por subirrigación (Olguín, 1990). El crecimiento de los esquejes se midió cada mes. A los nueve meses, se efectuó la cosecha, se registraron el crecimiento logrado y los esquejes dañados. La evaluación del crecimiento se hizo mediante un análisis de la distribución del crecimiento de los esquejes, que determinó la tendencia central y la dispersión en el crecimiento de esquejes de vainilla por hidroponía orgánica. El módulo demostrativo tenía un carácter experimental y semi-comercial, ya que la técnica ya estaba validada en investigaciones anteriores realizadas en el Campus Veracruz (Olguín, 1990). Su función era la de interesar a los productores potenciales en obtener el material de propagación mediante hidroponía orgánica, para abastecer sus plantaciones de vainilla.

Los valores de las concentraciones de nutrimentos y de pH, al final de los procesos en los dos tipos de digestores (microdigestores y digestor de 6000 L) de ocho años en conjunto, se analizaron estadísticamente por contrastes ortogonales. Para esto, se utilizó el paquete de cómputo STATISTICA para Windows, versión 5.1.

RESULTADOS Y DISCUSION

Etapa I

Los resultados reportaron, al nivel observado de significancia ($P > 0.05$) para cada parámetro, la no existencia de diferencias entre los dos tipos de procesos (Cuadro 1).

¹ Hidroponía orgánica, técnica generada en el Campus Veracruz, por Carlos Olguín P. (Olguín, 1990). Se utiliza como sustrato un inerte (arena o agrolita) mezclado con un bioabono. La propia planta regula el abastecimiento de agua (por ascenso capilar). La operación de esta técnica se basa en el balance entre agua-aire-nutrimentos. Se ha logrado cultivar ornamentales, especias, frutales y hortalizas con altos rendimientos y sin problemas fitosanitarios.

Cuadro 1. Comparación estadística por contrastes ortogonales de los parámetros evaluados, al final de los procesos, en dos tipos de digestores.

Parámetro	Valor medio		Nivel observado de significancia
	Microdigestor	Digestor de 6000 L	
MO	39.15	37.28	0.178
N	1.92	1.94	0.170
P	0.81	0.82	0.853
K	2.26	2.28	0.749
Ca	2.25	2.16	0.537
Mg	1.05	1.12	0.129
pH	7.24	7.26	0.710

La capacidad volumétrica del reactor anaerobio no afectó la eficiencia del proceso, por lo que técnicamente las bolsas de plástico de 30 L pueden utilizarse como microdigestores para la producción de abono orgánico. Esto representa una alternativa de biotecnificación que puede adaptarse al contexto físico y cultural del solar.

La viabilidad económica de los microdigestores se calculó mediante el costo de producción de 1 m³ de bioabono y se comparó con el costo de producción de una cantidad igual de bioabono en el digestor de ferrocemento.

El costo de 1 m³ de bioabono, obtenido en microdigestores fue \$208.29 (\$0.21 por litro de bioabono). En el digestor de ferrocemento, considerando una depreciación a 10 años y un tiempo de operación de 45 días, el costo fue de \$220.64 (\$0.22 por litro de bioabono). Con base en estos valores y en las condiciones de los experimentos, se podría inferir que los abonos orgánicos así producidos son de bajo costo. Sin embargo, en cultivos extensivos, el abastecimiento de nutrimentos por vía orgánica implicaría el transporte de grandes cantidades de abono, por lo que el uso de éstos es recomendable en sistemas intensivos de cultivo o para fertilizaciones puntuales como es el caso de los frutales o del café. En el caso del digestor de ferrocemento, la construcción de éste podría rebasar las posibilidades económicas de una familia rural de bajos ingresos (el costo total del digestor de ferrocemento, calculado con precios de 1999 fue de \$16 375.00), además de ser necesarias grandes cantidades de materiales para ser procesados.

Los valores de las concentraciones de nutrimentos y de pH, obtenidos en la mineralización de la materia orgánica por los métodos aerobio (composteo en pila aireada) y anaerobio (microdigestores), se analizaron estadísticamente por contrastes ortogonales. Para esto se utilizó el paquete de cómputo STATISTICA para Windows, versión 5.1.

Los resultados reportaron [al nivel observado de significancia ($P > 0.05$) para cada parámetro], la existencia de diferencias altamente significativas entre los dos tipos de procesos (Cuadro 2). Exhibiendo, como el proceso más eficiente en la mineralización de la materia orgánica, al anaerobio.

Al respecto, FAO (1979) señala que la fermentación anaerobia tiene mayores ventajas sobre la fermentación aerobia en la conservación de nutrimentos.

El contenido de materia orgánica se reporta en porcentaje en base seca. En este caso particular, se observó que la principal diferencia en el proceso de degradación se dio de la cuarta a la sexta semana. En las condiciones anaerobias, el contenido de materia orgánica se mineralizó en 50% y en las aerobias sólo se mineralizó 25% ya que, al efectuar la degradación anaerobia en recipientes cerrados, se evitan las pérdidas de materia orgánica por lixiviación y se disminuye el contenido de sólidos sin afectar el contenido de nitrógeno (éste no se volatiliza, en este proceso) (Galván, 1984); además de requerir más jornales para el manejo del abono. Esto comprueba la mayor eficiencia de los procesos anaerobios sobre los aerobios (FAO, 1979).

El contenido de nitrógeno total presentó un mayor porcentaje en el proceso anaerobio que en el aerobio; las causas de este comportamiento pueden deberse a que el proceso anaerobio es un sistema cerrado; por lo tanto, no existen pérdidas por volatilización o lixiviación; en el proceso anaerobio las concentraciones de $N-NH_4^+$, representan de 60 a 70% del nitrógeno total (Galván, 1984, citando a Bennett *et al.* y a Marchain). El $N-NH_4^+$ presenta mayor estabilidad que el $N-NO_3^-$, ya que éste se volatiliza o lixivía con mayor facilidad.

En la Figura 1 se muestran las gráficas con las tendencias presentadas por los parámetros evaluados en cada proceso y a través del tiempo.

Cuadro 2. Comparación estadística por contrastes ortogonales de los parámetros evaluados, al final de los procesos aerobio y anaerobio.

Parámetro	Valor medio		Nivel observado de significancia
	Proceso aerobio	Proceso anaerobio	
N	0.27	1.88	0.000547
P	0.46	0.66	0.000049
K	1.67	2.65	0.014555
Ca	1.70	2.10	0.010375
Mg	0.60	1.12	0.001143
pH	7.9	7.5	0.047342

En el contenido de fósforo extractable en el proceso aerobio se observó una disminución en la concentración de 0.3% a 0.27% (datos no presentados). Esto puede deberse a que el fósforo haya pasado a formas no disponibles, debido a la presencia de suelo en la composta. En el proceso anaerobio, la concentración aumentó de 0.3% a 0.46%; esto comprueba lo señalado por FAO (1979), que reporta un aumento en la concentración de este elemento en 19.3%.

La concentración de potasio extractable en el proceso aerobio reportó una disminución de 1.7% a 1.67% y en el anaerobio un aumento de 1.7% a 2.65%. Se observó que, del inicio del proceso a la cuarta semana, las concentraciones de este elemento presentaron valores muy semejantes; sin embargo, de la cuarta a la sexta semana, el valor en la concentración de potasio tuvo un incremento considerable. Como se mencionó en el capítulo de materiales y métodos, las determinaciones de las concentraciones de potasio se realizaron en la fracción extractable por el método colorimétrico de Morgan. Esto impide evaluar el potasio, contenido en formas intercambiables presumiblemente presentes en mayor concentración en el proceso aerobio.

Las concentraciones de calcio extractable al inicio del proceso eran de 1.6% y presentaron los mismos valores en los dos tipos de degradaciones (aerobia y anaerobia), durante las dos primeras semanas. En el proceso aerobio se observó que, de la segunda a la cuarta semana, la concentración permaneció estable (1.8%) y de la cuarta a la sexta semana una disminución hasta 1.7%, obteniendo como resultado un incremento de 0.1%. En el proceso anaerobio, el incremento en los valores de concentración del calcio extractable fue de 1.6% a 2.1%.

El magnesio extractable reportó, al inicio de los procesos, una concentración de 0.7%. En la degradación aerobia, en las dos primeras semanas, se incrementó la concentración en 0.2% a 0.9%, decayendo de la segunda a la cuarta semana a 0.6%, donde permaneció hasta finalizar el proceso a las seis semanas. En el proceso anaerobio, la concentración se incrementó durante las seis semanas en 0.42%, reportando una concentración al final del proceso de 1.12%. Este comportamiento confirmó que en el proceso de degradación anaerobia los nutrientes, contenidos en el material original, pasan a formas solubles y extractables con mayor disponibilidad para las plantas.

Los procesos de degradación de la materia orgánica, aerobios y sobre todo anaerobios, permiten tener una mayor concentración de nutrientes en forma soluble y extractable. Por lo tanto, el incremento espectacular detectado en las concentraciones de P, K, Ca y Mg se debe esencialmente a que los análisis realizados para su determinación se hicieron para la fracción extractable de estos elementos.

Una de las principales desventajas, al emplear los materiales orgánicos degradados en la agricultura, es que se requieren de grandes volúmenes de material procesado. Usualmente contienen (en base seca) de 1.5 a 4.0% de nitrógeno, de 0.5 a 1.5% de fósforo y de 1 a 2% de potasio; mientras que los fertilizantes inorgánicos son más concentrados, contienen de 15 a 46% del nutrimento, de acuerdo con el fertilizante de que se trate. Sin embargo, dependiendo de las condiciones, pueden procesarse los materiales *in situ*, o bien, adicionarlos de forma puntual como es el caso de los frutales, o aplicarlos en un sistema de liberación continua como la hidroponía orgánica (Olguín y Alvarez, 1984).

Etapa II

En la segunda etapa del trabajo se evaluó el uso del bioabono producido en microdigestores, en el sistema de cultivo intensivo denominado, desde 1984, por los autores del sistema de producción MIRNZZB como hidroponía orgánica (Olguín y Alvarez, 1984). La utilización de este método constituye en sí la propuesta de biotecnificación que fácilmente puede ser operada en pequeñas unidades de producción en comunidades rurales, como es el caso de solares familiares.

Tanto el sustrato como el abono presentaron características semejantes a las que se habían reportado en experiencias anteriores, realizadas en el sistema de producción MIRNZZB. Además, durante los nueve meses de operación del módulo, las plantas no presentaron síntomas de deficiencias nutricionales ni enfermedades.

La primera evaluación en el crecimiento de los esquejes de vainilla consistió en el análisis de la sobrevivencia de esquejes por bastidor. Este reportó 24% de esquejes dañados y 76% de sobrevivencia.

Se hizo un análisis de distribución de crecimiento a los 41 esquejes que sobrevivieron. Este reportó un crecimiento máximo por esqueje de 5.61 m, un

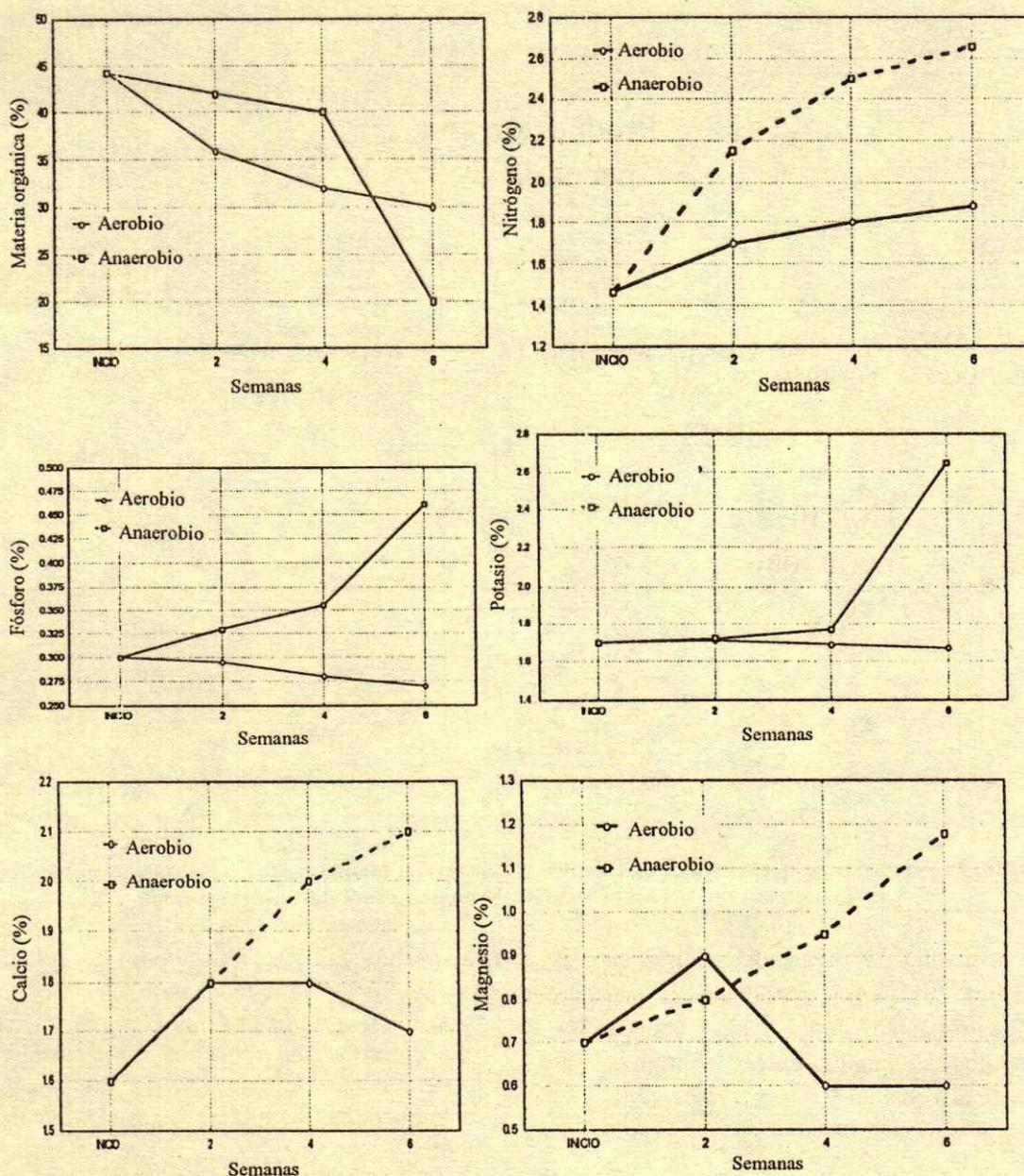


Figura 1. Tendencias observadas en los parámetros evaluados en cada proceso a través del tiempo.

crecimiento mínimo de 0.90 m y una media de 3.4139 m. Con el objeto de evaluar el potencial de la propuesta, se utilizaron los datos de crecimiento de vainilla en un sistema convencional reportado en literatura, para la zona de estudio, en donde el crecimiento máximo reportado en campo es de 0.30 m a 0.45 m por mes (SEDAP, 1991).

El crecimiento de esquejes de vainilla por m^2 en el módulo de hidroponía orgánica, fue 3.3 veces superior al reportado en campo para condiciones óptimas. Sin

embargo, la comparación entre estos dos métodos sólo puede hacerse para la producción de materiales de propagación. El módulo se construyó y operó para demostrar que puede resolverse el problema de falta de esquejes para las plantaciones comerciales si se producen de una forma intensiva y, por lo tanto, más productiva.

Los resultados obtenidos son la base de la propuesta para un manejo integral de los recursos naturales de los solares familiares de las zonas bajas

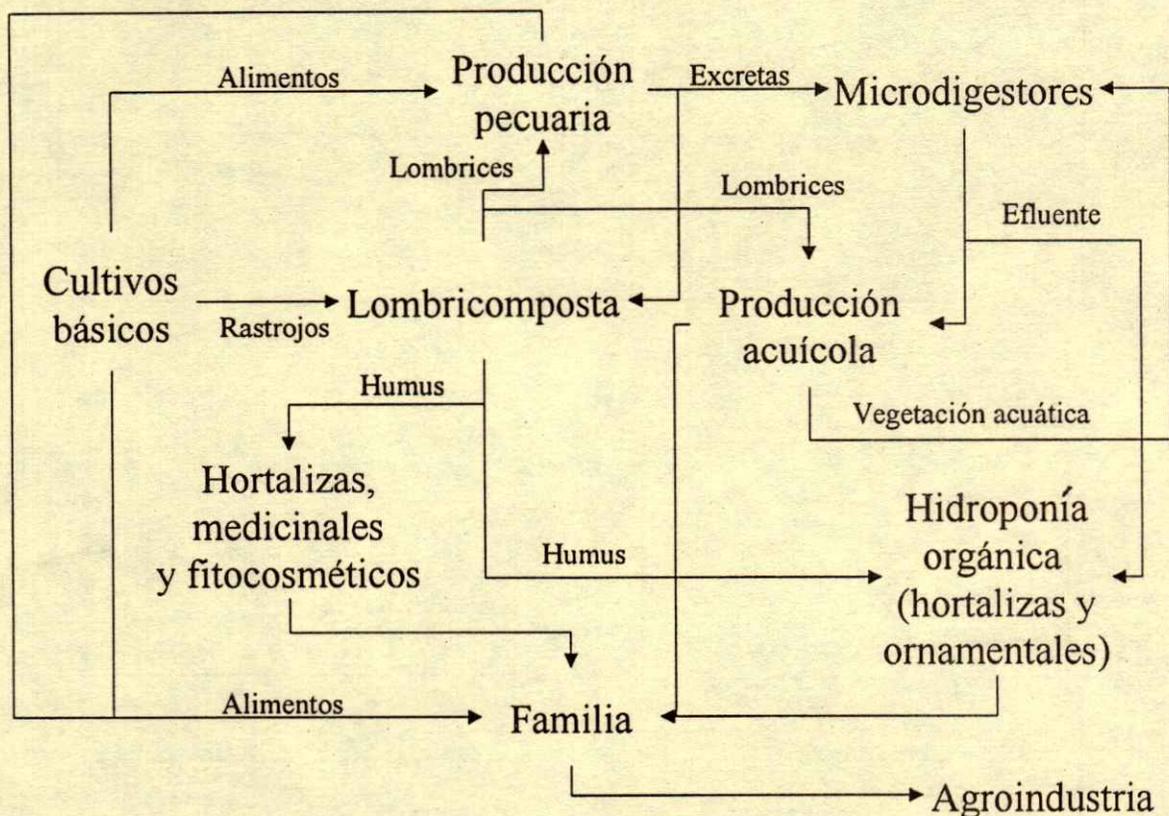


Figura 2. Perspectiva esquemática de biotecnificación de solares familiares de las zonas bajas tropicales. La digestión anaerobia es el proceso integrador que hace dinámico al sistema.

tropicales, considerando a la biodigestión como el factor tecnológico que permite, mediante el reciclaje de los materiales orgánicos de los solares y sus zonas aledañas (cuerpos de agua dulce), optimizar la producción agroacuícola de este agroecosistema (Figura 2).

CONCLUSIONES

- Se confirmó que la vegetación acuática de zonas bajas tropicales y las excretas animales representan reservorios importantes de nutrientes y que algunos procesos biotecnológicos, como la biodigestión, son apropiados para hacerlos disponibles para las plantas cultivadas.

- La digestión anaerobia de los materiales considerados, utilizando microdigestores, transformó las moléculas complejas de la materia orgánica en otras más simples (nutrientes en forma iónica),

fácilmente aprovechables por las plantas, con la misma eficiencia que cuando el proceso se llevó a cabo en un digestor de 6000 L de capacidad.

- La digestión anaerobia resultó ser más eficiente que la aerobia (pila aireada) y, por las características del método, puede adaptarse a las condiciones del solar familiar.

- Una vez que los nutrientes se tuvieron en formas estables y aprovechables por las plantas, se utilizaron como abono orgánico en una unidad de producción de hidroponía orgánica en la que se produjeron esquejes de vainilla. Los crecimientos y rendimientos obtenidos por unidad de superficie y tiempo y el autocontrol logrado por la propia planta, en cuanto a la satisfacción de sus necesidades hídricas y nutrimentales, permiten que el proceso de producción y utilización del bioabono en un sistema de hidroponía orgánica, sea fácilmente operado por productores (Olguín *et al.*, 1999) y, por lo tanto, pueda adaptarse fácilmente a las condiciones del solar de zonas bajas,

generándose con ello actividades económicas importantes sin menoscabo del entorno ecológico.

- En el presente estudio sólo se trabajó con dos tipos de materiales vegetales (higuerilla y lechuga de agua) y dos clases de excretas animales (de bovino y de gallina), por lo que se recomienda realizar investigaciones con otros materiales que se localicen de forma abundante en el entorno de los solares.

- Se recomienda probar otros tipos de biodigestores que puedan ser construidos de forma rústica y/o con materiales baratos y de fácil acceso.

- El análisis para determinar las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg, se realizó por vía seca, incinerando la muestra, por lo que se recomienda efectuar estas determinaciones por vía húmeda y analizar no sólo las fracciones soluble y extractable, sino la intercambiable y la total.

- La técnica de hidroponía orgánica mostró su eficiencia para material de propagación. Por ello, se recomienda que tanto los materiales de construcción y dimensiones de los módulos de hidroponía orgánica, como los cultivos que en ellos se produzcan, sean determinados de acuerdo con los productores y atendiendo a las demandas del mercado al que se pretenda tener acceso. Para esto, es recomendable trabajar con grupos organizados que tengan bien definidas sus metas, de manera que la hidroponía orgánica y sus técnicas accesorias como la digestión anaerobia de desechos orgánicos, hagan más eficientes y perdurables las funciones del solar familiar.

LITERATURA CITADA.

- Acharya, C.N. 1953. Cow-dung gas plants. *Indian Farming* 3(9): 16-18,28.
- Alvarez, M.C. 1999. Manejo integral del solar: del autoconsumo a la agroindustria. pp. 119-122. *In: Seminario Internacional sobre Agrodiversidad Campesina*. Centro de Investigaciones en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México.
- Alvarez A., M.C. e I. Horne. 1997. El manejo integral de los huertos familiares: Una estrategia para el mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores del trópico. *Red. Gestión de Recursos Naturales*. Fundación Rockefeller. Segunda época 6: 13-18.
- Alvarez A., M.C. y C. Olguín. 1990. Digestión anaeróbica de una mezcla de macrofitas acuáticas y estiércol de bovino: Evaluación del proceso y ajuste de valores experimentales a modelos matemáticos empíricos. p. 98. *In: Avances en la Investigación en el Colegio de Postgraduados*. Montecillo, Estado de México, México.
- Alvarez, M.C. y C. Olguín. 1992. Hidroponía orgánica: Avances en el manejo de sustratos y cultivos. p.9. *In: Avances de Investigación 1991-1992*. CRECIDATH-Colegio de Postgraduados. Veracruz, México.
- Conway, G. 1997. The year 2020. pp. 223-241. *In: The double green revolution. Food for all in the 21st century*. Penguin. London, England.
- Cuanalo, H. 1999. Perspectives of traditional farming production units in the Yucatan peninsula: A case study. *Agrociencia* 33: 367-373.
- FAO. 1979. China: Reciclaje de desechos orgánicos en la agricultura. Informe sobre un viaje de estudios FAO/PNUD, a la República Popular de China. *Boletín de Suelos* 40. Roma.
- Galván Q., A. 1984. Evaluación del efecto de la aplicación del efluente de un fermentador anaeróbico para estiércol vacuno sobre el comportamiento de un trigo de invierno. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México.
- Gispert, C., A. Gómez y A. Núñez. 1993. Concepto y manejo tradicional de los huertos familiares en dos bosques tropicales mexicanos. pp. 575-623. *In: E. Leff y J. Carabias (coordinadores). Cultura y manejo sustentable de los recursos naturales*. Vol. II. Porrúa. CHH-UNAM. México, DF.
- Krishnamurthy, L., A. Buendía y M.A. Morán. 1998. Seguridad alimentaria y participación de la mujer campesina en huertos caseros. Estudio de caso en las comunidades de Novara, Veracruz y San Miguel Tlaxpan, Estado de México. *Red. Gestión de Recursos Naturales*. Fundación Rockefeller. México, D.F., México. Segunda época 12: 48-54.
- Olguín, C. 1990. Manejo integral e intensivo en el trópico húmedo. *Revista de Difusión Científica, Tecnológica e Humanística*. Consejo Estatal de Fomento a la Investigación y Difusión de la Cultura. Tuxtla, Gtz. Chiapas. Vol. 1-2: 25-35.
- Olguín, C. 1995. Hidroponía orgánica. pp. 145-153. *In: Memorias del Primer Curso-taller sobre Agricultura Orgánica*. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz.
- Olguín, C. y M.C. Alvarez. 1984. Optimización del uso del agua y nutrimentos por especies hortícolas, frutícolas y ornamentales, utilizando un sistema sencillo de hidroponía orgánica. p.87. *In: Memorias del XVII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*. Guadalajara, Jalisco, México.
- Olguín, C. y M.C. Alvarez. 1992. Aprovechamiento de recursos naturales de las zonas bajas tropicales: Uso de la vegetación acuática para producir abonos orgánicos. pp. 265-274. *In: Memoria de la V Reunión Científica del Sector Agropecuario y Forestal del Estado de Veracruz*. Sección de Manejo Integral de Recursos. Resultados y Avances de Investigación. Veracruz, Veracruz, México.
- Olguín, C., M.C. Alvarez y A. Asiain. 1999. Tecnología agroacuícola en la Cuenca Baja del Río Papaloapan. La experiencia del Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados. *Red. Gestión de Recursos Naturales*. Fundación Rockefeller. México 8: 108.
- SEDAP. 1991. Establecimiento del cultivo de vainilla. pp. 1-121. Informe Técnico: Gobierno del Estado de Oaxaca.

EFICIENCIA DE USO DE FOSFORO EN TRITICALE Y TRIGO EN DOS SUELOS CON DIFERENTE CAPACIDAD DE FIJACION DE FOSFORO

Phosphorus-Use Efficiency in Triticale and Wheat in Two Soils of Differing Phosphorus Fixation Capacities

G. Cruz-Flores¹, J.L. Tirado Torres², G. Alcántar González² y J.A. Santizo Rincón²

RESUMEN

Con el objetivo de estimar la eficiencia de absorción de fósforo en un genotipo de trigo y cuatro genotipos de triticale en un Andisol y un Phaeozem, se realizó un experimento en invernadero con aplicación de fósforo soluble (superfosfato triple) e insoluble en agua (roca fosfórica). Se evaluó materia seca de parte aérea, raíz y grano, y, con ello, se determinó el índice de eficiencia de fósforo. En ambos suelos, los triticales produjeron el mayor rendimiento de grano, materia seca de parte aérea y raíz que el trigo. La respuesta de trigo y triticale a la aplicación de superfosfato triple fue mayor en los dos suelos, en comparación con la roca fosfórica. La roca fosfórica sólo fue efectiva en el Andisol. La acumulación de fósforo en el tejido vegetal y el índice de eficiencia de este elemento fueron mayores para los triticales, en cerca de 50%, respecto a los trigos en ambos suelos y para los dos tipos de fuentes de fósforo aplicados.

Palabras clave: Absorción de fósforo, superfosfato triple, roca fosfórica.

SUMMARY

To estimate phosphorus uptake efficiency in one wheat and four triticale genotypes in Andisol and Phaeozem soil, an experiment was conducted in a greenhouse with the application of soluble (triple superphosphate) and insoluble (rock phosphate) phosphorus in water. Shoot, root and grain dry matter were assessed to determine the phosphorus efficiency index. Higher production of shoot and root dry matter was found for triticales compared with wheat in both

¹ Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Batalla del 5 de mayo s/n esq. Fuerte de Loreto, Col. Ejército de Oriente Guelatao 66, 09230 México, DF. (biogecf@prodigy.net.mx)

² Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Estado de México.

Recibido: Octubre de 1997. Aceptado: Mayo de 2001.
Publicado en Terra 19: 47-54.

soils. The same was observed for grain yield. The response to the application of triple superphosphate was high in both soils, but rock phosphate was only effective in the Andisol. Phosphorus accumulation in plant tissue and phosphorus efficiency index were higher in triticales for both soils and the two phosphorus sources.

Index words: Phosphorus uptake, triple superphosphate, rock phosphate.

INTRODUCCION

La deficiencia de fósforo en el suelo es un factor limitativo para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Aunque generalmente no está sometido a pérdidas por lixiviación ni volatilización, su absorción por la planta puede limitarse por la fijación físicoquímica a la que está sujeto por los minerales del suelo, que hacen insolubles en agua y soluciones ácidas diluidas a las especies fosfatadas. En la mayoría de los suelos, problemas de disponibilidad de este nutrimento son frecuentes para las plantas (Iyamuremye *et al.*, 1996). En los Andisoles (generalmente de reacción ácida), que se caracterizan por estar bien provistos de nutrimentos, normalmente hay problemas de disponibilidad de fósforo, atribuido a la dominancia de alófono en la fracción arcillosa, mientras que los Phaeozems, generalmente bien desarrollados y fértiles, son adecuados para la ganadería intensiva y el cultivo de cereales que, como alimento, son la principal fuente de carbohidratos y proteínas en la alimentación humana.

El importante aporte, que a la nutrición humana hacen los cereales, ha propiciado que se busque su mejora genética. Así, el triticale (*X. Triticosecale* Wittmack), cruza intergenérica entre trigo (*Triticum aestivum*) y centeno (*Secale cereale*), es un cereal adaptado a zonas que presentan limitantes edáficas y/o climáticas para el crecimiento y/o desarrollo vegetal por su amplia base genética.

Como ejemplo, los triticales han demostrado su resistencia (tolerancia) a condiciones de acidez del

suelo, en las que la deficiencia de fósforo limita el desarrollo de otros cultivos.

Por otro lado, el trigo es el cereal cultivado más importante en el mundo y ha mostrado también amplia adaptación y tolerancia a diversos ambientes edafoclimáticos.

Marschner (1991) menciona que la evasión es la estrategia más común de adaptación de las plantas en suelos ácidos. Los ejemplos son: cambios inducidos por la raíz en la rizósfera, incremento del pH, liberación de quelatantes para eliminar la toxicidad del aluminio soluble, alta actividad de ectoenzimas (fosfatasa ácida) e incremento en el área radical vía micorrizas.

Entre los mecanismos de tolerancia a estrés en suelos ácidos, las especies presentan diferencias genotípicas de demanda interna del nutrimento o aumento de la eficiencia de circulación de dicho nutrimento. El mecanismo de evasión al estrés por deficiencia de fósforo es un caso bien estudiado; ante su carencia hay alargamiento de raíces, lo que aumenta el área de absorción radical, propiedad más desarrollada en unos genotipos que en otros (Marschner, 1995).

La eficiencia de absorción y utilización de un nutrimento se han evaluado por diferentes parámetros, como concentración en los tejidos, contenido en las plantas, rendimiento en materia seca y su relación de eficiencia, la cual consiste en la razón existente entre la biomasa seca de la planta y la cantidad del nutrimento en estudio en la biomasa, (Furlani y Filho, 1990).

La relación de eficiencia de absorción y utilización es la razón entre la materia seca y la cantidad de nutrimento en tal biomasa. Siddiqui y Glass, citados por Furlani y Filho (1990), sugieren el uso del índice de eficiencia, definido como el producto de relación de eficiencia por la biomasa seca por lo que éste, a diferencia de relación de eficiencia, se asocia a crecimiento.

Con el fin de evaluar en triticale y trigo los mecanismos para propiciar adaptación, tolerancia

o evasión, y así prosperar en condiciones de estrés, se planteó como objetivo estimar la capacidad de extracción y la eficiencia de absorción de fósforo de estos cultivos en suelos con diferente capacidad de fijación de fósforo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se desarrolló en condiciones de invernadero. Los tratamientos consistieron en la aplicación de fósforo, [100 mg kg⁻¹ de fósforo soluble como superfosfato triple (SFT) y 100 mg kg⁻¹ de fósforo insoluble como roca fosfórica (RF)] y sin fósforo [testigo o control (Test)]. Se emplearon dos suelos: Andisol (And) y Phaeozem (Phaeo), cuyas principales características se muestran en el Cuadro 1, y cinco genotipos de cereales: cuatro de triticale (Tarasca 87, Eronga 83, Stier 25, CB 542) y uno de trigo (Pátzcuaro Var. 4).

Se realizó un arreglo factorial 2 X 5 X 3 (dos suelos, cinco genotipos y tres niveles de suministro de fósforo) en un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento.

Se utilizaron macetas de plástico con capacidad de 3 kg de suelo. En la siembra, se colocaron 10 semillas, distribuidas cerca de la parte central; después de 18 días se eliminaron plantas para que quedaran sólo cuatro y se aplicaron a todos los tratamientos 100 mg kg⁻¹ de nitrógeno como nitrato de amonio, para evitar se evaluó la materia seca de parte aérea (tallo más hojas), de espiga, grano y de la raíz, después de secar el material durante 72 h en estufa a 65 °C. Se determinó la concentración de P en las mismas partes de la planta, mediante el método de vanadato molibdato. Con los datos obtenidos, se calculó el contenido de P en cada uno de los órganos vegetales para obtener el total.

El índice de eficiencia (IE) de utilización de fósforo se determinó por el método descrito por Furlani y Filho (1990). Este consiste en multiplicar el cuadrado de la masa seca por el inverso de la cantidad de P-acumulado en el tejido. Otra forma en que se

Cuadro 1. Principales características físicas y químicas de los suelos utilizados.

Suelo	Densidad aparente g cm ⁻³	Conductividad eléctrica dS m ⁻¹	pH H ₂ O 1:2	Materia orgánica %	P-extractable Olsen mg kg ⁻¹	Capacidad relativa de fijación de fósforo %	CIC Ac-NH ₄ I N pH 7 cmol ₍₊₎ kg ⁻¹
Andisol	0.81	0.08	5.4	7.6	<1.0	75.5	37.5
Phaeozem	1.40	0.02	7.7	1.4	57.9	10.4	13.4

evaluó la eficiencia de uso de fósforo (EU) es la propuesta por Baligar *et al.* (1990) que consiste en aplicar la siguiente relación:

$$EU = \frac{RF - RC}{NF - NC}$$

Donde RC y RF son el rendimiento de plantas no fertilizadas y fertilizadas, respectivamente, y NC y NF son el nutrimento acumulado en plantas no fertilizadas y fertilizadas, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Producción de Materia Seca de la Parte Aérea

Para las dos especies (trigo y triticale), la producción promedio de materia seca de parte aérea (6.7 g) en el Phaeozem es 43% más alta que en el Andisol y, en los dos suelos, 34% mayor cuando se agrega SFT respecto a la aplicación de RF en donde se tiene, a su vez, una producción 10% mayor que el Test (Cuadro 2).

La Figura 1 muestra en el control del Andisol [And Test] que el cv. Tarasca 87 tuvo la mayor MS-PA (3.65 g planta⁻¹), con cerca de 100% más materia seca que los más bajos (CB 542 y Stier 25), mientras que el trigo Pátzcuaro Var. 4 se ubicó con Eronga 83 en valores intermedios de 2.03 a 2.06 g planta⁻¹.

Con suministro de fósforo como SFT en el Andisol, la respuesta en MS-PA de triticales y trigos fue muy alta. De los triticales, cv. Tarasca 87 presentó la mayor producción de materia seca, al superar en más de dos veces al que se obtuvo en su testigo, pero la mayor respuesta a la aplicación de SFT presentaron los triticales CB 542 y Stier 25 (5.51 a 6.17 g planta⁻¹,

respectivamente) que, sin superar a Tarasca 87 (7.33 g planta⁻¹), elevaron su MS-PA en más de tres veces respecto a su respectivo control [And Test].

El efecto de aplicación de RF sobre MS-PA, en el Andisol, fue mayor (4.33 g planta⁻¹) en cv. Eronga 83 (rendimiento 100% superior a su control) y cv. Tarasca 87 (3.89 g planta⁻¹). En segundo término se tuvo al genotipo Stier 25 y, finalmente, al trigo Pátzcuaro Var. 4 y al triticale cv. CB 542 (Figura 1).

En el control del Phaeozem [Phaeo Test], el triticale Tarasca 87 (7.3 g planta⁻¹) presentó mayor MS-PA y el menor correspondió a cv. Stier 25 y a trigo Pátzcuaro Var. 4 con 5.64 y 5.66 g planta⁻¹, respectivamente). Con aplicación de SFT, el trigo tuvo más MS-PA (9.09 g planta⁻¹) y superó con amplitud a los triticales cv. CB 542 y cv. Stier 25 y con muy poco a cv. Tarasca 87 (8.85 g planta⁻¹) y cv. Eronga 83 (8.8 g planta⁻¹) que también tuvieron alta producción de MS-PA.

Finalmente, cv. Tarasca 87 alcanzó la mayor MS-PA (7.31 g planta⁻¹) entre los triticales, al aplicar RF y el trigo Pátzcuaro Var. 4 también presentó valor alto. Pudo observarse que el trigo Pátzcuaro Var. 4, con aplicación de RF o SFT, sólo en el Phaeozem produjo buenos rendimientos de MS-PA.

En el Andisol, la MS-PA de triticales respondió mejor a la aplicación de SFT que a la de RF, con valores de masa seca de parte aérea cerca de 100% más altos en el primer caso.

En el Phaeozem, la respuesta en producción de MS-PA de los triticales a la aplicación de SFT y de RF no difiere en tendencia, pero sí en su intensidad de respuesta en valor absoluto, la cual es menor en este suelo respecto a los cultivados en un Andisol.

Los triticales no presentaron respuesta a la aplicación de RF en el suelo neutro (Phaeozem), debido a que este suelo tiene buen potencial de abastecimiento de fósforo para las plantas; no obstante, aquéllos alcanzaron valores de MS-PA entre

Cuadro 2. Efecto de suelo, fuente de fósforo y genotipos sobre materia seca (parte aérea).

Suelo	MS-PA ¹ g planta ⁻¹	Fuente de fósforo	MS-PA ² g planta ⁻¹	Genotipo	MS-PA ³ g planta ⁻¹
Phaeozem	6.7 a	SFT	7.01 a	Tarasca 87	6.39 a
				Pátzcuaro Var. 4	5.30 ab
Andisol	3.8 b	RF	4.64 b	Eronga 83	5.06 b
		Control	4.17 b	Stier 25	4.97 b
				CB 542	4.64 b

¹ Promedio sobre fuentes de fósforo y sobre genotipos. ² Promedio sobre tipos de suelo y sobre genotipos. ³ Promedio sobre fuentes de fósforo y tipos de suelo.

MS-PA = Rendimiento de materia seca de parte aérea. SFT = Superfosfato triple. RF = Roca fosfórica.

Valores de medias con diferente letra en columna presentan diferencia estadística significativa.

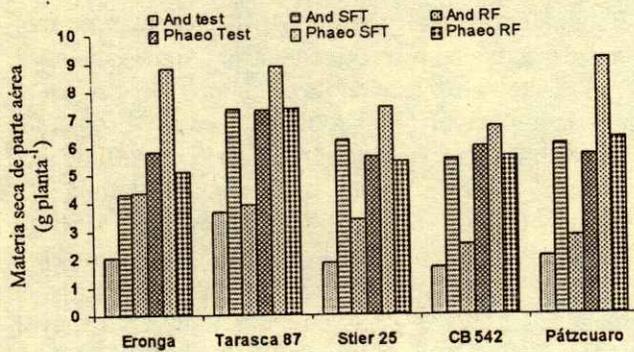


Figura 1. Materia seca de parte aérea de trigo y triticale con base en tipo de suelo y fuente de fósforo.

dos y tres veces superior a los que se tuvieron en el Andisol (Figura 1).

Los genotipos menos afectados por deficiencia de fósforo fueron, en orden decreciente, cv. Tarasca 87, cv. Eronga 83, cv. CB 542 y cv. Stier 25; se observó que, en cualquier condición, Tarasca 87 respondió mejor que los otros triticales y que CB 542 fue de los más afectados excepto en el suelo neutro [Phaeo Test].

Producción de Materia Seca de Raíz (MS-RA)

En la producción de MS-RA, se manifestó un efecto altamente significativo de fuente de fósforo y de genotipos, efecto significativo de suelo y de la interacción Suelo * Fuente de Fósforo y no hubo efecto importante de las demás interacciones posibles (Cuadro 3).

En ambos suelos, con suministro de SFT, se tuvo la mayor MS-RA, mientras que los tratamientos con RF y el control fueron muy similares.

La MS-RA fue, en promedio, mayor en el suelo Phaeozem, respecto al Andisol, y sólo cv. Tarasca 87

desarrolló mayor biomasa de raíz al comparar genotipos.

En el control del Andisol [And Test], el triticale con mayor MS-RA fue cv. Tarasca 87 que, con más de 100%, superó a los otros triticales entre los cuales Eronga 83 (0.36 g planta⁻¹) tiene menor valor y aún así supera al trigo (0.31 g planta⁻¹), que tuvo la menor biomasa de raíz.

En una prueba preliminar en hidroponía con los mismos genotipos, se encontró que los trigos adquieren mayor elongación de raíz, pero con menor biomasa que la raíz de triticales cuando hay insuficiencia de fósforo.

La respuesta de triticales a la aplicación de SFT es significativa; en todos los casos, la MS-RA superó en más de tres veces a sus tratamientos control [Test] excepto cv. Tarasca 87, que elevó dos veces su producción de MS-RA respecto a su testigo y, sin embargo, presentó el valor más alto en el Andisol (1.84 g planta⁻¹).

La respuesta de triticales a la aplicación de RF en el Andisol tuvo menor intensidad, con incremento de MS-RA apenas superior a 25% en el cv. CB 542 y cv. Stier 25, mientras que cv. Tarasca 87 y el trigo no tuvieron respuesta estadísticamente significativa. El único triticale que manifestó respuesta en MS-RA a la aplicación de RF en el Andisol, es cv. Eronga 83 con un incremento superior a 100% en relación al testigo (0.89 y 0.36 g planta⁻¹, respectivamente). El trigo no respondió a la aplicación de roca fosfórica en el suelo ácido como lo hacen los triticales.

En Phaeo Test, la producción de MS-RA de todos los triticales fue superior en más de 100% a la obtenida en el Andisol. Esto se puede atribuir a una disponibilidad natural de fósforo mayor en este suelo (57.9 mg kg⁻¹ P-Olsen, mientras que en el Andisol es apenas <1.0) (Cuadro 1). En este suelo, Tarasca 87 presentó la mayor MS-RA (1.7 g planta⁻¹) que superó en más de dos veces la de CB 542 (0.82 g planta⁻¹),

Cuadro 3. Producción de materia seca de raíz de triticale y trigo.

Suelo	MS-RA ¹ g planta ⁻¹	Fuente de fósforo	MS-RA ² g planta ⁻¹	Genotipo	MS-RA ³ g planta ⁻¹
Phaeozem	1.08 a	SFT	1.34 a	Tarasca 87	1.39 a
Andisol	0.84 b	RF	0.81 b	Pátzcuaro Var. 4	0.95 b
		Control	0.74 b	Eronga 83	0.85 b
				Stier 25	0.82 b
				CB 542	0.81 b

¹ Promedio sobre fuentes de fósforo y sobre genotipos. ² Promedio sobre tipos de suelo y sobre genotipos. ³ Promedio sobre fuentes de fósforo y tipos de suelo.

MS-RA = Rendimiento de materia seca de raíz. SFT = Superfosfato triple. RF = Roca fosfórica. Valores de medias con diferente letra en columna presentan diferencia estadística significativa.

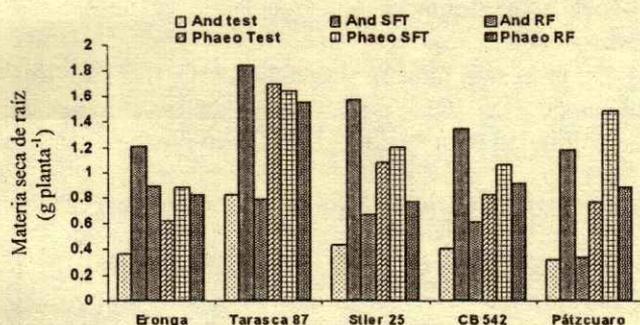


Figura 2. Materia seca de raíz de trigo y triticale con base en tipo de suelo y fuente de fósforo.

Eronga 83 ($0.62 \text{ g planta}^{-1}$) y al trigo Pátzcuaro Var. 4 ($0.76 \text{ g planta}^{-1}$) (Figura 2).

Cuando en el Phaeozem se aplicó SFT, todos los triticales, con excepción de Tarasca 87, presentaron mayor MS-RA que la de su control [Phaeo Test].

El aumento en MS-RA, que se manifestó en el trigo Pátzcuaro Var. 4, es más de dos veces superior a su propio testigo con una marcada respuesta en el Phaeozem, lo que señala que hubo buen desarrollo de raíz.

En este mismo suelo, con aplicación de RF, los triticales cv. CB 542 y cv. Eronga 83 presentaron ligera respuesta en producción de MS-RA con valores superiores a sus testigos, entre 8 y 20%, respectivamente.

De manera semejante se comportó el trigo Pátzcuaro Var. 4, mientras que en cv. Tarasca 87 y cv. Stier 25 no hay cambio sustancial de su rendimiento en MS-RA con aplicación de RF (Figura 2).

Con estos resultados puede decirse que, en un suelo de alta disponibilidad de fósforo, como es el Phaeozem, no hay importante respuesta de las plantas a la aplicación de roca fosfórica y, en ellos, un mejor desarrollo de raíz de planta como el de cv. Tarasca 87,

Stier 25, y el mismo trigo Pátzcuaro Var. 4 permite un buen crecimiento de la parte aérea.

Rendimiento de Materia Seca Grano (RMS-G)

Para los dos suelos, como para las variables MS-PA y MS-RA, el RMS-G fue más alto en el Phaeozem respecto al Andisol, mayor cuando se aplica SFT que al adicionar RF o del Testigo que tienen valores semejantes; por su parte, el triticale Tarasca 87 fue, de todos los genotipos estudiados, que mayor producción de grano alcanzó, y manifestó así la ventaja de tener la mayor biomasa en parte aérea y raíz (Cuadro 4).

La Figura 3 muestra que en el Andisol, cuando no se aplicó fósforo [And Test], el triticale Tarasca 87 alcanzó el mayor RMS-G ($3.68 \text{ g planta}^{-1}$), muy cerca de él se encuentra Stier 25 ($3.48 \text{ g planta}^{-1}$). La menor producción de grano, con base en peso seco, lo tuvo cv. Eronga 83 ($2.13 \text{ g planta}^{-1}$).

El efecto de SFT sobre RMS-G de triticales en el Andisol fue muy marcado. En todos los casos, se presentaron valores cerca de 300%, superiores al control (Figura 3). El mayor y menor incremento correspondió al triticale Stier 25 y al Eronga 83, respectivamente.

En el promedio general, Tarasca 87 ($10.89 \text{ g planta}^{-1}$) y Stier 25 ($10.74 \text{ g planta}^{-1}$) presentaron un RMS-G más alto en el Andisol, pero con mayor respuesta a la aplicación de SFT, el genotipo CB 542 alcanzó un rendimiento de grano semejante ($9.76 \text{ g planta}^{-1}$) al de Tarasca 87 y Stier 25 y superó al trigo Pátzcuaro Var. 4 y éste, a su vez, al triticale Eronga 83, que presentó el valor más bajo de todos ($6.41 \text{ g planta}^{-1}$) en esta situación.

Con aplicación de RF en el Andisol, cv. Tarasca 87 (5.64 g) y cv. Eronga 83 (5.36 g) tuvieron los más altos RMS-G. Stier 25 y cv. CB 542

Cuadro 4. Efecto de suelo y fuente de fósforo sobre materia seca de grano.

Suelo	RMS-G ¹ g planta ⁻¹	Fuente de fósforo	RMS-G ² g planta ⁻¹	Genotipo	RMS-G ³ g planta ⁻¹
Phaeozem	7.23 a	SFT	8.49 a	Tarasca 87	7.76 a
Andisol	5.73 b	RF	5.88 b	Pátzcuaro Var. 4	7.05 a
		Control	5.07 c	Eronga 83	7.02 a
				Stier 25	5.52 b
				CB 542	5.06 b

¹ Promedio sobre fuentes de fósforo y sobre genotipos. ² Promedio sobre tipos de suelo y sobre genotipos. ³ Promedio sobre fuentes de fósforo y tipos de suelo.

RMS-G = Rendimiento de materia seca de grano. SFT = Superfosfato triple. RF = Roca fosfórica. Valores de medias con diferente letra en columna presentan diferencia estadística significativa.

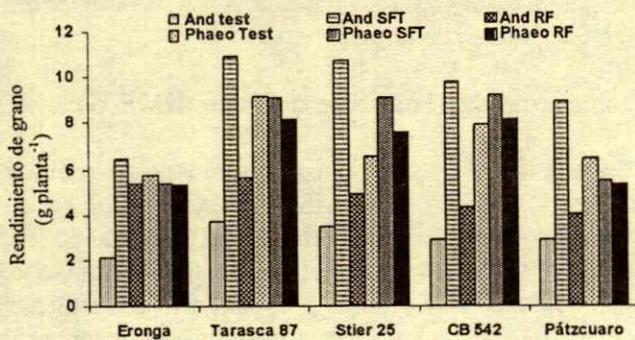


Figura 3. Rendimiento de grano de trigo y triticale con base en tipo de suelo y fuente de fósforo.

presentaron menor valor, pero aún superior al RMS-G del trigo Pátzcuaro Var. 4 (4.04 g planta⁻¹), que fue superado por todos los triticales en este suelo.

En el Phaeo Test, cv. Tarasca 87 y cv. CB 542 tuvieron los máximos RMS-G, les sigue cv. Stier 25 y el trigo Pátzcuaro Var. 4 y, al final, con el rendimiento de grano más bajo, cv. Eronga 83 (Figura 3).

En todos los casos, el rendimiento de grano que alcanzaron triticales y trigo en Phaeo Test fue casi tan alto como el obtenido en el Andisol con aplicación de SFT, y aún mayor que cuando se agregó RF. Esto se debe a la baja disponibilidad natural de fósforo en este último suelo, además de que en el Phaeozem hay menor retención química de este nutrimento (10.4% relativo de retención de fósforo, mientras que en el Andisol es de 75.5%) (Cuadro 1).

Con aplicación de SFT en el Phaeozem sólo cv. Stier 25 y cv. CB 542 produjeron RMS-G más altos que sus testigos en este suelo, lo que indica escasa respuesta de los triticales al adicionar esta fuente de fósforo en suelos neutros que, como el utilizado, presentan alta disponibilidad natural de fósforo, debido a que en los testigos de los diferentes tratamientos, el RMS-G es alto (entre dos y tres veces

mayor), si se compara con aquel que se tiene en el Andisol.

De la misma manera, la respuesta de triticales a la aplicación de RF en suelos neutros con alta disponibilidad natural de fósforo fue mínima.

Índice de Eficiencia de Utilización de Fósforo (IE)

De los efectos evaluados para determinar el IE, la fuente de fósforo fue el único factor que influyó con diferencia significativa, pero de los factores genotipo y tipo de suelo, también se observaron efectos sobre el índice de eficiencia de uso de fósforo. Las interacciones entre tipo de suelo, fuente de fósforo y genotipo no manifestaron diferencias significativas (Cuadro 5).

La determinación y evaluación del IE en los genotipos estudiados en el Andisol mostró, que el índice de eficiencia de utilización de fósforo (IE) de triticales, con excepción de cv. Stier 25 [20.5 g biomasa (mg de P)⁻¹] fue mayor que el de trigo cuando no se aplicó ninguna fuente de fósforo [And Test].

El cultivar Tarasca 87 tuvo la mayor eficiencia en el testigo en el Andisol [39.9 g biomasa (mg de P)⁻¹], con un valor casi 100% más alto que el del trigo [20.9 g biomasa (mg de P)⁻¹].

Otro triticale que presentó un IE alto respecto al trigo fue cv. Eronga 83 con un valor 50% mayor, mientras que cv. Stier 25 y cv. CB 542 tienen un índice de eficiencia de igual magnitud al del trigo.

Con aplicación de SFT en el Andisol, el IE de todos los genotipos aumentó en promedio casi tres veces respecto a sus respectivos testigos.

El trigo presentó, con suministro de SFT, el mayor IE; su valor se incrementó respecto a su testigo en más de cuatro veces. Cercano al valor de IE del trigo en el Andisol,

Cuadro 5. Efecto del suelo y fuente de fósforo sobre (IE) de triticale y trigo.

Tipo de suelo	IE ¹ g (mg de P) ⁻¹	Fuente de fósforo	IE ² g (mg de P) ⁻¹	Genotipos	IE ³ g (mg de P) ⁻¹
Phaeozem	81.55 a	SFT	96.18 a	Tarasca 87	100.17 a
Andisol	66.11 b	RF	63.81 b	Pátzcuaro Var. 4	76.37 b
		Control	61.48 b	Eronga 83	72.61 b
				Stier 25	60.53 b
				CB 542	59.46 b

¹ Promedio sobre fuentes de fósforo y sobre genotipos. ² Promedio sobre tipos de suelo y sobre genotipos. ³ Promedio sobre fuentes de fósforo y tipos de suelo.

IE = Índice de eficiencia de uso de fósforo. SFT = Superfosfato triple. RF = Roca fosfórica. Valores de medias con diferente letra en columna presentan diferencia estadística significativa.

cv. Tarasca 87 y cv. Stier 25 tuvieron alta eficiencia. Finalmente, los triticales cv. CB 542 y cv. Eronga 83 presentaron los menores valores de IE con el más bajo índice, ya que el aumento no fue ni dos veces respecto a su testigo (Figura 4).

Cuando se aplicó RF en el Andisol, el IE de los triticales aumentó en promedio 50% respecto a sus testigos, a diferencia de los incrementos observados con aplicación de SFT (incrementos superiores a 300%) (Figura 4) además de que los incrementos de IE fueron menores con RF, el triticales Eronga 83, que presentó el menor IE cuando se agregó superfosfato triple, tuvo el máximo IE, superior en más de 80% respecto a su testigo (Figura 4), quizá por poseer algún mecanismo fisiológico para tener un mejor aprovechamiento del fósforo insoluble de la RF, en relación a los demás genotipos estudiados.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo expuesto por Núñez y Gavi (1994), quienes mencionan que ni la fineza del material ni la aplicación de altos niveles de RF logran igualar los rendimientos alcanzados al aplicar fosfatos de alta solubilidad como el SFT en Andisoles.

De los resultados más interesantes de la determinación de eficiencia en el Phaeozem se observa que, en el Phaeo Test, los IE son en promedio 100% mayores que los que se tienen en Andisoles.

El triticales Tarasca 87 presentó en el Phaeozem el IE más alto, seguido de los triticales cv. CB 542, cv. Eronga 83 y cv. Stier 25, mientras que el trigo tuvo el menor valor, lo que también ocurrió en el Andisol.

Cuando en el Phaeozem se aplicó SFT, los valores de IE que se obtuvieron no superaron a los que se tuvieron bajo la misma condición en los testigos (Figura 4) y son incluso menores.

Con aplicación de SFT en el Phaeozem, cv. Tarasca 87 presentó mayor eficiencia, le sigue el trigo

Pátzcuaro Var. 4 y el triticales Stier 25 con valor intermedio y al final con los menores IE, cv. Eronga 83 y cv. CB 542 (Figura 4).

Cuando se aplicó RF en el Phaeozem, los IE de los triticales, con excepción de cv. Eronga 83, superaron al trigo.

En general, los IE obtenidos con aplicación de RF en este suelo fueron menores que los de sus respectivos testigos, lo que señala que la RF no es útil como fuente de fósforo en suelos neutros.

Eficiencia de Uso del Nutrimiento (EUP).

La eficiencia en uso de nutrimento también fue calculada con otro índice. El Cuadro 6 muestra los valores de eficiencia de uso de fósforo (EUP), ante las dos fuentes de fósforo y en los dos tipos de suelos utilizados, de triticales y trigo mediante la fórmula propuesta por Baligar *et al.*, 1990.

$$EU = \frac{\text{Rendimiento (F)} - \text{Rendimiento (C)}}{\text{Cant. de nutrimento (F)} - \text{Cant. de nutrimento (C)}}$$

Del análisis de datos de la EUP que se presentan en el Cuadro 6, se confirmó que efectivamente, con aplicación de roca fosfórica en el Phaeozem, las plantas tienen baja eficiencia de uso de fósforo o incluso resultan valores negativos, mismos que se dan, o porque la acumulación de fósforo es menor cuando se aplica la RF en este suelo respecto a su testigo, o bien porque el rendimiento como consecuencia de lo anterior es también menor que en el control.

Además, se confirmó, como ya se mencionó, que el trigo alcanzó valor alto de eficiencia cuando se fertilizó con SFT en el Andisol. Con eficiencia alta en esta condición se tiene a cv. Stier 25 [515.9 g (mg de P)⁻¹]. La eficiencia más baja se tiene en cv. Eronga 83 [269.3 g (mg de P)⁻¹], con lo que se

Cuadro 6. Eficiencia de uso de fósforo (EUP) de triticales y trigo.

Genotipo	Andisol		Phaeozem	
	SFT	RF	SFT	RF
	----- g mg ⁻¹ -----			
Eronga 83	269.3	442.0	318.0	-
Tarasca 87	394.4	264.9	448.7	368.4
Stier 25	515.9	874.7	318.8	91.7
CB 542	382.8	263.7	350.0	-
Pátzcuaro Var. 4	351.9	262.8	247.0	-

SFT = Superfosfato triple. RF = Roca fosfórica.

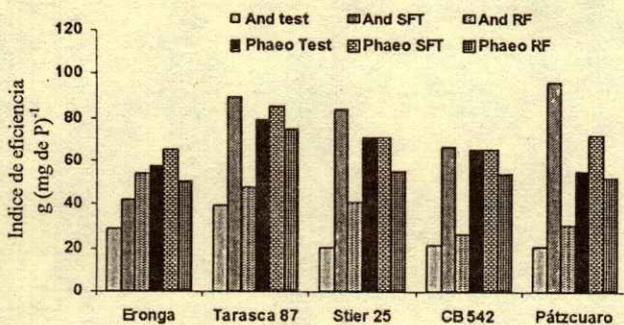


Figura 4. Índice de eficiencia de utilización de fósforo de trigo y triticales con base en tipo de suelo y tratamiento.

confirman las conclusiones obtenidas con el método de IF de Furlani y Filho (1990).

Se observa en el Cuadro 6, que la aplicación de RF en el Andisol incrementó la eficiencia de uso de fósforo en los genotipos cv. Eronga 83 y cv. Stier 25, respecto de la aplicación de SFT.

También se tiene que en el Phaeozem, la eficiencia de uso de fósforo bajo aplicación de SFT fue más homogénea en sus valores, y fue más alta en cv. Tarasca 87 [448.7 g (mg de P)⁻¹] y en cv. CB 542 [350.0 g (mg de P)⁻¹] mientras en el trigo Pátzcuaro Var. 4 se tuvo una baja eficiencia [247 g (mg de P)⁻¹].

CONCLUSIONES

- Los triticales Tarasca 87, Eronga 83 y Stier 25 superaron hasta en más de 50% al trigo en producción de MS-PA en el Andisol (suelo con baja disponibilidad de fósforo), pero en el Phaeozem (alta disponibilidad de fósforo) ocurrió lo contrario, ya que el trigo Pátzcuaro Var. 4 casi igualó al triticales más productivo.

- Los triticales menos afectados por carencia de fósforo en su MS-PA, fueron: Tarasca 87, Eronga 83, CB 542 y Stier 25. El primero respondió mejor a todas las condiciones ensayadas en este estudio.

- Debido a su solubilidad, cuando se aplicó SFT, esta fuente de fósforo hizo que la MS-PA fuera mayor en ambos suelos y en todos los genotipos estudiados; sin embargo, la aplicación de RF no debe descartarse, ya que su acción benéfica se da a largo plazo y en este estudio no se evaluó su efecto residual.

- En el Andisol, el índice de eficiencia de uso de fósforo (IE) fue mayor en más de 50% en los triticales respecto al trigo ante carencia de fósforo, pero si se agrega SFT, el trigo Pátzcuaro Var. 4 los supera en más de 80% en este suelo. De esto se confirma que el trigo responde mejor al fósforo soluble aplicado.

- El IE en el Phaeozem no se modificó si se agregó RF, lo que señala que ésta no es muy útil como fuente de fósforo en suelos neutros.

- Los suelos no tienen siempre la mejor capacidad de abastecer nutrimentalmente a los cultivos que en ellos se desarrollan, por lo que es útil conocer la eficiencia de uso de los nutrimentos por especie y relacionarla con el tipo de suelo y sus características, y con la mejor fuente del nutrimento que limita la producción o rendimiento de manera primordial.

- En el Phaeozem, respecto al Andisol, el RMS-G fue superior.

- En los dos tipos de suelo y con la distinta fuente de fósforo, el RMS-G fue mayor en cv. Tarasca 87 y Stier 25 y menor en Pátzcuaro Var. 4 y Eronga 83 con diferencia significativa.

- En las dos especies y en los dos suelos en estudio hay diferencia estadística en RMS-G respecto al tipo de fuente de fósforo con el orden descendente siguiente: SFT>RF>Test.

LITERATURA CITADA

- Baligar, V.C., R. Duncan R. y N.K. Fageira. 1990. Soil-plant interactions on nutrient use efficiency in plant: An overview. pp. 349-373. *In*: V.C. Baligar y R. Duncan R. Crops as enhancers of nutrient use. Academic Press. Sn. Diego, Calif.
- Furlani, C.A.M. y U.J. Filho A. 1990. Eficiência na absorção e na utilização de fósforo em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas 49: 413-423.
- Iyamuremye, F., R.P. Dick y J. Baham. 1996. Organic amendments and phosphorus dynamics: I. Phosphorus chemistry and sorption. *Soil Sci.* 161: 426-435.
- Marschner, H. 1991. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant Soil* 134: 1-20.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London, Great Britain.
- Núñez E., R. y F. Gavi R. 1994. Comportamiento agronómico de roca fosfórica de Baja California, en un Andisol, un Planosol y un Aridisol de México. *Terra* 12: 17-22.

PHOSPHORUS NUTRITION OF POTATO AND MAIZE SEEDLINGS

Nutrición con Fósforo de Plántulas de Maíz y Papa

E. Alvarez-Sánchez¹, J.D. Etchevers B.², J. Ortiz C.², R. Núñez E.², A. Martínez G.³,
and J.Z. Castellanos⁴

SUMMARY

In Mexico, as in many dryland regions in the world, it is a common practice among small farmers to apply P fertilizer after the plant has emerged. Post-planting fertilizer application is done because weather conditions are not always favorable for seed germination and farmers are afraid to lose their investments in seed and fertilizer. Optimum distance of fertilizer placement from the seed has been studied in only a small number of crops. Available information on the effect of P fertilizer placement on growth and early nutrition of crops with relatively high and low root density such as maize (*Zea mays* L.) and potato (*Solanum tuberosum* L.), respectively, is sparse, particularly in Andisols. Potato (cv. FL795) and maize (cv. Batán-92) were grown under greenhouse conditions in a sandy loam Andisol (7.8 mg Olsen-P kg⁻¹ of soil) in custom-designed pots. Phosphate fertilizer treatments were (a) lateral placement at 2, 5, and 8 cm from the seed (L-2, L-5, and L-8); (b) vertical placement at a depth of 2, 5, and 8 cm below the seed (D-2, D-5, and D-8); (c) incorporation mixed with the top 10 cm of the soil (I); and (d) control without P fertilizer. Phosphorus fertilization rates were 81 and 54 mg kg⁻¹ of soil for potato and maize, respectively. Phosphorus was applied in different soil volumes therefore soil P concentration varied from 35 to 792 mg kg⁻¹ (Olsen-P). Harvest was conducted at 17 and 30 days after germination of maize, and 34 days after germination of potato. Both crops responded to P fertilizer and, in general, localized P (L and D treatments) was better than the I treatment.

Phosphorus accumulation was better measure of response to P application methods than dry matter accumulation (DW). Localized application of P fertilizer caused a higher plant P accumulation than incorporation of P to the soil. Results from this research showed that in short growth periods (30 d), maize and potato grown in the treatment without P in the Andisol showed P deficiency, which highlights the need to apply P fertilizer at seeding. This is especially true for potato, which showed a high dependence on fertilizer P because of the nature of its root system.

Index words: P application methods, root density, P accumulation.

RESUMEN

En México, como en muchas regiones agrícolas en condiciones de secano, es común la práctica de aplicar el fertilizante fosfatado después de que la planta ha emergido. La fertilización después de la emergencia se realiza porque las condiciones ambientales no siempre son favorables para la germinación del cultivo y los agricultores temen perder su inversión en semilla y fertilizante. La distancia óptima de colocación del fertilizante fosfatado respecto de la semilla se ha estudiado solamente para unos cuantos cultivos. El efecto de la ubicación del fertilizante fosfatado en el crecimiento y la nutrición temprana de cultivos con escasa y abundante densidad radical como la papa (*Solanum tuberosum* L.) y el maíz (*Zea mays* L.) no se ha estudiado suficientemente, en particular, en Andisoles. Papa cv. FL795 y maíz cv. Batán-92 se sembraron en invernadero en un Andisol migajón arenoso (7.8 mg kg⁻¹ de P-Olsen) en macetas especialmente diseñadas. Los tratamientos fueron P localizado: (a) a un lado de la semilla a 2, 5 y 8 cm de distancia (L-2, L-5 y L-8); (b) debajo de la semilla a 2, 5 y 8 cm de distancia (D2, D5 y D8); (c) incorporado con la capa superficial de suelo (0 a 10 cm) (I); y (d) testigo sin P. Las dosis de P fueron 81 y 54 mg kg⁻¹ de suelo para papa y maíz, respectivamente. El P se aplicó en distintos volúmenes de suelo y, como consecuencia, las concentraciones

¹ Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, 56230 Chapingo, Méx., México. (ealvares@taurus1.chapingo.mx)

² Instituto de Recursos Naturales,

³ Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Méx., México.

⁴ Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Apartado Postal 112, 38000 Celaya, Gto., México.

variaron de 35 a 792 mg kg⁻¹ (P-Olsen). El maíz se cosechó a 17 y 30 días después de la germinación, las papas a 34 días. Ambos cultivos respondieron a la aplicación del fertilizante fosfatado. En general, el P localizado (en L y D) provocó mayor acumulación de materia seca y de P en los distintos órganos de la planta. Tanto en maíz como en papa, la aplicación localizada del fertilizante fosfatado provocó mayor acumulación de este elemento en la planta que cuando éste se incorporó al suelo. El efecto de los métodos de aplicación fue más evidente cuando la respuesta se midió como acumulación de P que como acumulación de biomasa. Los resultados señalan que en el corto período de crecimiento evaluado (30 días), el cultivo de maíz y el de papa estuvieron sujetos a un déficit de P en el tratamiento testigo sin P, lo cual resalta la necesidad de aplicar el fertilizante fosfatado en el momento de la siembra, en particular, en este último cultivo que mostró una alta dependencia del P proveniente del fertilizante por la naturaleza de su sistema radical.

Palabras clave: Métodos de colocación, acumulación de P, densidad radical.

INTRODUCTION

In Mexico, as in many dryland regions in the world, it is a common practice among small farmers to apply P fertilizer after the plant has emerged. Such practice is done because weather conditions are not always favorable to induce seed germination and farmers are afraid to lose their investments in seed and fertilizer. Phosphorus concentration in the soil solution of the Andisols is generally low because P reacts with the soil solids, decreasing accessibility of P to plants. This problem affects initial plant development, particularly for species with low root density. Placement of P fertilizer for such soils is crucial to increase the availability of P for low root density species.

Banding application of a given rate of P in non-Andisol soils generally results in higher yields as compared to broadcasting application (Dudley, 1930; Welch *et al.*, 1949; Garg and Welch, 1967). This is because when P fertilizer is placed close to the roots, P plant absorption frequently increases and consequently yield increases (Zhang and Barber, 1992).

The relative benefit obtained by localizing P, as compared to broadcasting, depends on the soil P

adsorption capacity (Barber, 1977; Radin and Lynch, 1994), available P concentration (Peterson *et al.*, 1981; Soltanpour *et al.*, 1989), and plant species. In soils with high P adsorption capacity or low content of available P, localized application of P fertilizer can result in higher yields (Sahota *et al.*, 1988). However, in soils with high P content, it is possible not to find differences between localized and broadcasting fertilizer application methods (Sobulo *et al.*, 1978), except when soil moisture and temperature restrict P diffusion and availability (Alessi and Power, 1980; Vig and Singh, 1983).

Differing abilities of species to absorb P depend on the amount of available P in the soil and the ability of the root to absorb and accumulate P in the shoots. Root surface and density are highly related to crop P absorption efficiency (Loneragan and Asher, 1967). Crops with limited root systems show a higher response to fertilizer if placed near the seed than crops that have an extensive root system, particularly in soils with low concentrations of available P (Rodríguez, 1993).

Mathematical models have shown that the extent of root-fertilizer contact is a main controlling factor of crop-P absorption (Claassen and Barber, 1976; Schenk and Barber, 1979; Silberbush and Barber, 1983).

Results from research on distance of fertilizer application from the seed show that high root-fertilizer contact is indispensable for optimum crop-P absorption. However, determining optimum distance of fertilizer location from the seed has been studied in a small number of species. Previous studies indicate the soil fraction that must be mixed with P fertilizer to accomplish the highest plant P utilization but none of these have been conducted in Andisols (Anghinioni and Barber, 1980a,b; Borkert and Barber, 1985; Lu and Miller, 1993). These studies did not consider the root system type of each crop or why lateral fertilizer placement is more critical than vertical placement for some species. The objective of this study was to measure the effect of P fertilizer application methods on dry matter production, P concentration and absorption of two crops with contrasting root systems during the early growth.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted under greenhouse conditions. Two series of 30 x 30 x 11.5-cm boxes were prepared. One series was filled with 7 kg and the

second with 5.8 kg of an air-dried sandy loam Andisol from the 0 to 20-cm soil profile layer. The soil contained 7.8 mg kg⁻¹ Olsen-P (Olsen and Sommers, 1982) and had a pH in water (1:2) of 6.4. The first series of boxes was seeded with maize and the second with potato. The effect of the following methods of P fertilizer application on early plant growth was studied (Table 1): lateral placement (L), where P fertilizer was mixed with a volume of soil and placed in a band to the side of the seed; vertical placement (D), where the P fertilizer mixed with the soil volume was banded under the seed; and incorporation (I), where fertilizer was mixed with the upper 10 cm of the soil. Distances between the P fertilizer zone and the seed were 2, 5, and 8 cm in L (L-2, L-5, and L-8) and D (D-2, D-5, and D-8) treatments. The soil volume mixed with fertilizer for L application was not the same in all cases and it varied according to placement distance from the seed. In contrast, P applied at different vertical placement was mixed in equal volumes of soil (Table 1). Phosphorus fertilizer rates of application on a total soil weight basis were 0.57 and 0.31 g of P (81 and 54 mg P kg⁻¹ of soil) for potato and maize, respectively. Finely ground triple superphosphate (60% passed through a sieve with 0.014 mm openings) was used as source of phosphorus. The width of the fertilized layer for vertical placement was 2 cm. For the shallowest vertical treatment (D-2), the fertilizer was placed at 4 cm below the soil surface. The total number of placement treatments used for each crop was a factorial combination of two placement methods (L and D) and three distances from the seed (2, 5, and 8 cm). Additional treatments included: P incorporated (I) and control treatments. The number of repetitions was three for maize and six for potato. Treatments

were arranged in a randomized complete block design.

A consequence of the different ways of applying P fertilizer was that P concentrations were not the same in the fertilized soil volumes, although P fertilizer rates could be identical. The extractable P in the fertilized soil volumes was measured by the Olsen-P method (Olsen and Sommers, 1982), as shown in Table 1.

Before applying P, each box was fertilized with a basic fertilizer formulation. Maize fertilization was 525 mg N (NH₄NO₃), 261 mg K (K₂SO₄), and 70 mL of Hoagland nutrient solution (Hoagland and Arnon, 1950). Potato was fertilized with 245 mg N (NH₄NO₃), 261 mg K (K₂SO₄) and 50.8 mL of Hoagland nutrient solution. Finely ground solid fertilizer was thoroughly mixed with the soil in a bag and then used to fill the box. The Hoagland solution was mixed with water and added in the first irrigation after applying P treatments.

Two maize seeds (cv. Batan-92) were sown in each box containing 7 kg of soil on September 2, 1994, and two 1 to 1.5 cm diameter potato micro-tubers (cv. FL795) were planted in each box containing 5.8 kg of soil on October 27, 1994. Seeds or tubers were placed 2 cm below the soil surface. Once germinated, seedlings were thinned to one plant in each box. Average seed dry weight (DW) of maize and potato was 300 and 122 mg, while average P concentration was 5800 and 4400 mg kg⁻¹, respectively.

Average temperatures in the greenhouse during the maize and potato growth period were 24.5 and 22.4 °C, respectively. Soil moisture was maintained close to field capacity by frequent gravity-controlled irrigation.

Table 1. Phosphorus application methods and soil P content for each treatment.

Application [†] method	Volume of fertilized soil		Extractable P (P-Olsen)	
	Maize [‡]	Potato [‡]	Maize	Potato
	%		mg kg ⁻¹	
Control	0	0	7.8	7.8
Incorporated (I)	40.8	48.1	35	79
Lateral (L)				
L-2	5.4	6.2	240	480
L-5	3.9	4.9	343	675
L-8	2.6	3.3	445	792
Depth (D)				
D-2	12.3	15.5	120	238
D-5	12.3	15.5	120	238
D-8	12.3	15.5	120	238

[†] L-2, L-5 and L-8, and D-2, D-5 and D-8 are lateral (L) and depth (D) application at 2, 5, and 8 cm of distance from the seed, respectively.

[‡] P applied, 570 and 310 mg pot⁻¹ for potato and maize, respectively.

Maize was harvested at two stages, 17 days (five visible and three ligule leaves), and 30 days (eight visible and five ligule leaves) after germination. The potato experiment ended 34 days after germination when plants had 14 completely developed leaves. At each harvest, DW and P content of roots and shoots were determined for both crops. Each block of soil from a box was soaked to separate roots from the soil; afterwards, the material was placed in a sieve with 1 mm openings and sprayed with water to separate and wash the roots (Böhm, 1979).

The material was digested with a mixture of HClO_4 (72%) and concentrated HNO_3 (1:2) to determine P content. Mineralized P was evaluated by the phospho-vanadium-molibdate method (Jackson, 1970). Accumulation of P in plant was calculated in each case. Results were analyzed by analysis of variance and means were compared by the LSD test.

RESULTS

Maize and potato responded to P application in the first four weeks of growth.

Maize Dry Weight and P Concentration and Uptake

Tables 2 and 3 show the effect of P-application on DW and P concentration and accumulation in maize plants.

Whole DW of maize plants (shoot+roots) fertilized with P at 17 days did not differ from the control. However, the percentage of P increased with the addition of P at this time. After 30 days, P application and application method affected total DW and P concentration and accumulation. The average of total DW of control and P-fertilized maize plants was 3.43 and 7.88 g plant⁻¹, respectively. Phosphorus application to maize generally resulted in higher DW of shoots than root, especially at 30 d after germination. The average contribution of shoot to total plant DW in P-fertilized treatments at 17 and 30 days was 65 and 62%, respectively, but in control treatment it was only 54% for both dates.

In average, whole plant DW of L (9.3 g plant⁻¹) and D (8.3 g plant⁻¹) of P-fertilized plants were higher than those of plants where P was incorporated (6.1 g plant⁻¹). Banded fertilization was more efficient at delivering P to maize plants in the period between 17 and 30 days after germination than I treatment,

Table 2. Effect of P application and location methods on maize dry weight (DW) production at 17 and 30 days after germination.

Treatment ¹	Whole plant	Shoot	Root
	----- g plant ⁻¹ -----		
	17 d		
Control	0.82	0.44	0.38
Incorporated (I)	1.10	0.69	0.38
L-2	0.89	0.61	0.28
L-5	0.98	0.62	0.36
L-8	0.80	0.54	0.27
Mean	0.89	0.59	0.30
D-2	1.02	0.69	0.33
D-5	1.03	0.68	0.35
D-8	1.10	0.69	0.41
Mean	1.05	0.69	0.36
F Prob.	ns	ns	ns
	30 d		
Control	3.43	1.87	1.56
Incorporated (I)	6.09	3.55	2.54
L-2	8.21	5.49	2.72
L-5	10.12	6.37	3.75
L-8	9.45	5.29	4.16
Mean	9.26	5.72	3.54
D-2	9.60	6.17	3.43
D-5	8.69	5.90	2.79
D-8	6.57	4.38	2.19
Mean	8.30	5.48	2.80
F Prob.	0.006	0.002	0.02
LSD1 [‡]	3.2	1.9	1.4
LSD2	2.6	1.6	1.1
LSD3	1.8	1.1	0.8
LSD4	5.2	3.1	2.3

¹ L-2, L-5, and L-8, and D-2, D-5 and D-8 cm of distance from the seed, respectively.

[‡] LSD1 to compare C vs. I; LSD2 to compare C or I vs. L or D; LSD3 to compare L vs. D; LSD4 for any treatment comparison.

nevertheless, the I treatment had twice DW than the control. Lateral P placement was the most effective of the three application methods for shoot DW accumulation during this period (5.7 g plant⁻¹). The effect of distance for the L treatments was related to the Olsen-P increase in the fertilized fraction of soil. Olsen-P increased as placement distance from the seed increased because the volume of soil mixed with the P fertilizer for banding was smaller (Table 1). Olsen-P in L-5 was 2.8 times higher than any D treatment. Higher P availability could have compensated distance effects. The compensatory effect decreased at L greater than 5 cm, suggesting that root proliferation was sparse beyond 5 cm after 34 days.

Table 3. Effect of P application and location methods on maize traits at 17 and 30 d after germination.

Treatment [†]	P Concentration			P Accumulation			P UFF [‡] %
	Whole plant	Shoot	Root	Whole plant	Shoot	Root	
	g kg ⁻¹			μmol plant ⁻¹			
	17 days						
Control	1.4	1.5	1.3	38	21	17	0
Incorporated (I)	1.7	1.8	1.5	59	41	18	36
Lateral (L)							
L-2	2.5	2.6	2.2	71	51	20	47
L-5	2.3	2.4	2.2	73	49	25	48
L-8	2.1	2.2	2.1	56	38	18	32
Mean	2.3	2.4	2.2	67	46	21	42
Depth (D)							
D-2	2.2	2.3	1.9	69	49	20	45
D-5	2.1	2.2	1.9	71	49	22	47
D-8	2.1	2.2	2.0	75	48	27	50
Mean	2.1	2.2	2.0	72	49	23	47
F Prob.	0.02	0.02	ns	ns	ns	ns	
LSD1 [§]	0.6	0.5					
LSD2	0.5	0.4					
LSD3	0.3	0.3					
LSD4	0.9	0.9					
	30 days						
Control	1.8	1.9	1.6	196	115	81	0
Incorporated (I)	1.9	2.1	1.6	373	241	132	48
Lateral (L)							
L-2	2.3	2.7	1.5	609	474	135	68
L-5	2.3	2.7	1.5	709	527	182	72
L-8	1.9	2.2	1.4	574	387	187	66
Mean	2.2	2.5	1.5	631	463	168	69
Depth (D)							
D-2	2.4	2.7	1.7	734	547	187	73
D-5	2.6	3.1	1.7	737	587	150	74
D-8	2.3	2.7	1.4	488	387	101	60
Mean	2.4	2.8	1.6	653	507	146	69
F Prob.	0.02	0.01	ns	0.001	0.0006	0.02	
LSD1 [§]	1.5	0.6		230	183	66	
LSD2	1.2	0.5		188	150	54	
LSD3	0.9	0.4		133	106	38	
LSD4	0.8	1.0		375	299	107	

[†] L-2, L-5, and L-8, and D-2, D-5, and D-8 are lateral (L) and depth (D) application at 2, 5, and 8 cm of distance from the seed, respectively.

[‡] P uptake from fertilizer.

[§] LSD1 to compare C vs. I; LSD2 to compare C or I vs. L or D; LSD3 to compare L vs. D; LSD4 for any treatment comparison.

Application of P did not increase root DW production at 17 days when compared to the control, but it did at 30 days with an average increase of 90%. The highest average root DW at this latter time was obtained for L located P and the lowest for D and I treatments. The effect of the method of P placement on root DW varied with distance from fertilizer to the seed: root DW in D treatments decreased as fertilizer depth increased, but tended to be larger as lateral distance from the seed increased. Olsen-P concentration in the soil did not change at different depths of P fertilizer placement in D treatments; thus,

root DW was exclusively a function of distance. Root DW increases associated with L treatments could also have been also due to higher P soil concentration as distance from the seed increased.

The percentage of P in the whole plant and shoot of maize increased significantly with the addition of P at 17 and 30 days (Table 3). By contrast, percentage-P in the roots was not affected by P addition. P concentration in the maize whole plant and shoot was higher at L or D treatments than at I treatment. This result suggests that roots had reached the P fertilized zone before 17 days. Mean P whole plant

and P shoot concentration were generally higher at 30 days than at 17 days. Shoot mean P percentage was highest in L-5 treatment.

Mean root P concentration in L and D treatments decreased with plant age from an average of 2100 mg kg⁻¹ at 17 days to 0.16% at 30 days. By contrast, in check and I treatment root P concentration at 17 days went from 0.13 to 0.15 mg kg⁻¹ up to 0.16 mg kg⁻¹ in both treatments at 30 days after germination. The previous results indicated that root growth rate decreased drastically in control and I when compared to L and D treatments.

Phosphorus accumulation in whole maize plant, increased significantly shoot and roots with the application of P fertilizer at 30 days. Phosphorus fertilized plants accumulated 66 and 196 μmol P plant⁻¹ at 17 and 30 days, respectively, that is 1.7 and 2.8 times higher than in the control. These results suggest that plants without P were subjected to P stress, particularly between 17 and 30 days. Although differences due to P application were not significant 17 days after seeding, the results showed that at the initial growth stage (from germination to 17 days after seeding), when most P supply is obtained from the seed, 43% of P accumulated in maize seedlings was obtained from phosphate fertilizer. This value increased to 68% at 30 days, which shows a strong demand for P at the initial growth stage of maize and the need of applying P-fertilizer at seeding, particularly in soils with low available-P as the Andisols.

Average accumulated P in the maize plants at 17 and 30 days was the lowest in I treatment. L and D treatments (69 and 642 μmol P plant⁻¹, respectively) were significantly higher (1.2 and 1.7 times higher, respectively) than I treatment.

Accumulation of P in shoot of control plants increased almost five-fold between 17 and 30 days (from 21 to 115 μmol P plant⁻¹). By contrast, the increase in P fertilized plants, regardless of the placement method, was almost eight-fold (from 45 to 404 μmol P plant⁻¹). Localized P (L or D treatments) caused a higher shoot P accumulation (507 and 463 μmol P plant⁻¹, respectively) than I treatment (241 μmol P plant⁻¹). This response was a result of higher Olsen-P concentrations in L and D treatments, which increases the soil-to-root P diffusion ratio (Claassen and Barber, 1976) as compared to I treatment.

Potato Dry Weight and P Concentration and Uptake

Dry weight of whole potato plants and of their organs and the respective P concentration and P accumulation are shown in Table 4.

Potato plants responded positively and significantly to the addition of P 34 days after seeding.

Whole potato plant DW production (shoots+tuber+root) for the control was 0.96 g plant⁻¹, while the P treatments averaged 4.1 g plant⁻¹. Shoot and fibrous root DW followed a similar trend as total DW production. Fibrous root DW was 3.7 times higher in P treated than in non-treated conditions. Although the effect of P on tuber DW was not significant, P fertilized plants had tubers weighing 3.4 times more than in the control treatment. The application methods did not have a significant effect on tuber DW, but the average of this trait in L and D P-fertilized plants tended to be less (0.59 g plant⁻¹) than with incorporated P (0.70 g plant⁻¹).

Phosphorus fertilizer application significantly increased P concentration in the shoots, tuber, and root of potato plants when compared to control plants. Phosphorus concentration in the whole potato plant was affected by the method of placement of the P fertilizer, however, distance of placement from the seed had small effect. Average increases of P accumulation were 1136% and 626% in L+D and I treatment, respectively. Lateral placement of P was significantly higher (393 μmol P plant⁻¹) than D and I (306 and 206 μmol P plant⁻¹) treatments. Since all roots growing deep into the soil had to cross the fertilized area, root mass decreased as depth increased.

DISCUSSION

Phosphorus has a well-known effect on root development (Tinker, 1981), which can influence shoot growth (Loneragan and Asher, 1967; Itoh and Barber, 1983; Zhang and Barber, 1992; Lu and Miller, 1994). Hence, to increase early root development, P fertilizer should be located according to the growth tendencies of the crop's root system.

Maize and potato have different root densities that may affect response to P fertilizer. Many Mexican farmers prefer to apply P fertilizer to maize after plant emergency, mostly at the time of first cultivation, to prevent fertilization investment losses in case of

Table 4. Effect of P application and placement methods on potato dry weight, P concentration and P accumulation at 34 days after seeding.

Treatments ¹	Dry weight		P Concentration				P accumulation				P %		
	g plant ⁻¹	g plant ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	μmol plant ⁻¹	μmol plant ⁻¹	μmol plant ⁻¹	μmol plant ⁻¹			
Control	0.96	0.53	0.18	0.25	1.7	1.7	1.6	1.7	51	28	9	14	0
Incorporated (I)	3.89	2.17	0.70	1.03	3.1	2.7	2.5	2.3	332	206	52	74	85
Lateral (L)													
L-2	4.41	2.92	0.60	0.89	4.2	4.0	3.9	3.3	559	391	77	92	91
L-5	3.81	2.50	0.45	0.86	4.8	4.5	3.7	3.7	540	383	58	100	91
L-8	4.27	2.92	0.47	0.88	4.4	4.1	4.3	3.1	551	406	59	87	91
Mean	4.16	2.78	0.51	0.88	4.2	4.2	4.0	3.4	550	393	65	93	91
Depth (D)													
D-2	4.80	2.96	0.96	0.89	3.7	3.5	2.9	2.9	511	335	95	82	90
D-5	3.06	2.06	0.40	0.60	3.9	3.7	3.6	3.3	361	254	42	65	86
D-8	4.35	2.68	0.62	1.05	3.8	3.4	3.2	2.8	487	330	63	93	90
Mean	4.07	2.57	0.66	0.85	3.8	3.5	3.3	3.0	453	306	67	80	89
F Prob.	0.003	0.0003	ns	0.004	0.0001	0.0001	0.0021	0.0001	0.0001	0.0001	ns	0.0002	-
LSD1 [‡]	1.8	1.02		0.40	0.5	0.5	1.2	0.4	185	116		34	-
LSD2	1.48	0.83		0.32	0.4	0.4	1.0	0.3	151	95		28	-
LSD3	1.05	0.59		0.23	0.3	0.3	0.7	0.2	107	67		20	-
LSD4	2.9	1.6		0.63	0.8	0.8	1.9	0.6	292	183		53	-

¹ L-2, L-5, and L-8, and D-2, D-5 and D-8 are lateral (L) and depth (D) application at 2, 5, and 8 cm of distance from the seed, respectively.

[‡] P uptake from fertilizer.

[§] LSD1 to compare C vs. I; LSD2 to compare C or I vs. L or D; LSD3 to compare L vs. D; LSD4 for any treatment comparison.

partial or total crop loss due to drought or other fateful event after seeding (Rodríguez, 1993). Experiences with maize in rainfed conditions (Estrada, 1977; Luévanos *et al.*, 1977; Solano, 1979) have shown that a delay in opportunity for crop fertilization results in yield reduction. Alvarez-Sánchez *et al.* (1997) reported that potato response to P-fertilizer placement was not significantly different when tuber yield was low. However, it is expected to be an important factor when higher potato yield is obtained.

Mean P concentration in whole plant and shoots of maize plants were generally higher at 30 days than at 17 days. However, theoretically, shoots' P concentration should decrease with plant age (Smith, 1962; Bates, 1971). The increase in P concentration could be the consequence of a restriction in carbohydrate synthesis, caused by an uncontrolled factor; or, alternatively, that the plant, when developing its root system, had better access to P than to other nutrients.

Placement of P fertilizer (L or D treatments) in maize and potato resulted in higher P accumulation than P incorporated and mixed uniformly with the 0 to 10 cm soil layer or I treatment. This was expected because L and D treatments resulted in higher soil Olsen extractable P than P incorporation. Research in this field indicates that crops utilize P more efficiently when fertilizer is mixed with small volumes of soil close to the seed, compared to fertilizer broadcast application and mixture in larger soil volumes near the root exploration area. However, that research is confined to observations in soils with low and moderate P content (Garg and Welch, 1967; Anghinioni and Barber, 1980a,b; Borkert and Barber, 1985; Lu and Miller, 1993).

Maize and potato experiments were grown for approximately 30 days. Maize plants had reached the developmental stage of eight visible and five ligule leaves (eight visible leaves in average) and the potato plants had reached 14 completed developed leaves; this raises the question whether the results in this stage would impact final yield. It is known that at early developmental stages, plants require the highest P concentrations (Jungk and Barber, 1975; Richards *et al.*, 1985; Römer and Schilling, 1986,) as well as the effect of this nutrient on good root development. Furthermore, previous reports have related P concentration in these early stages with yield (Barry and Miller, 1989). In general, it seems clear that supplying high P concentrations to maize and potato plants before the sixth-leaf stage and at planting,

respectively, significantly increases grain and tuber yield (Alvarez *et al.*, 1997; Barry and Miller, 1989). In Mexico, the traditional practice for rainfed grown maize is to apply a fistful of fertilizer on the soil surface near the base of the plant stem about 40 to 45 d after seeding, and covering the fertilizer with soil moved with the first cultivation. In contrast, most of P-fertilizer is applied to potato crops at seeding time. Experiences with rainfed maize in Cuijingo, State of Mexico, showed that delays of 15 and 30 days of P fertilization caused grain yield reductions of 20 and 34%, respectively (Motato, 1982). Hence, one would expect that traditional P fertilization practices in Mexico are actually contributing to maize yield reductions.

As indicated in the results section, potato plants responded positively and significantly to the addition of P 34 days after seeding, however, this response was independent from the application method. This finding is similar to results reported by Alvarez *et al.* (1997) for a field experiment conducted at an altitude of 3000 m where yield was low.

Potato formed tubers during the 34 days growth period in the greenhouse. It is known that part of tuber growth results from translocation of photoassimilates and nutrients from both root and shoots. The tuber contributed with 17% to the total plant DW at 34 days, while shoot and fibrous root contribution was 58 and 25%, respectively.

A partitioning index for DW and accumulated P in the tubers was determined (Table 5). The highest tuber/total DW ratio (including roots), an index of synthesis and photoassimilate translocation efficiency, corresponded to treatments where P was applied at

Table 5. Proportion of total dry weight (DW) and plant P in tubers.

Treatment [†]	Ratio of tuber DW to total DW	Ratio of tuber P accumulation to total P accumulation
Control	0.19	0.18
Incorporated	0.18	0.16
Lateral (L)		
L-2	0.14	0.14
L-5	0.12	0.11
L-8	0.11	0.11
Depth (D)		
D-2	0.20	0.19
D-5	0.13	0.12
D-8	0.14	0.13
F Prob.	ns	ns

[†]L-2, L-5, and L-8, and D-2, D-5 and D-8 are lateral (L) and depth (D) application at 2, 5, and 8 cm of distance from the seed, respectively.

different depths. These results suggest that roots initially grew vertically downwards becoming more active in absorbing P once the fertilizer band was reached. Tuber P accumulation increased significantly with P addition. It is known that root growth rates and shoots structures, in the case of potato, decrease as a consequence of changing the sink organ; i.e. tuber instead of shoots (McCollum, 1978a,b; Kleinkopf *et al.*, 1981; Westerman and Kleinkopf, 1985; Gawronska and Dwelle, 1989). Final tuber weight is a function of its growth rate and duration (Kunkel *et al.*, 1973; Kleinkopf *et al.*, 1981; Westerman and Kleinkopf, 1985). This indicates that leaf area should function at its fullest and plant nutrient absorption should not be affected during the period of tuber growth, when the tuber becomes the major sink organ. In consequence, P nutrition should not be restricted at the earliest stage of development. Shoots and tuber DW production, as well as accumulated P, should be closely monitored during this stage to evaluate the effect of P on potato development. The ratio between tuber and whole-plant P accumulation (Table 5) shows the degree of P translocation to the tuber, which was higher when P fertilizer was applied in depth, specifically at a distance of 2 cm. The P translocation index decreased as P application distance increased for both location methods. Root P accumulation significantly increased with the addition of P, but no significant differences were observed among location methods. An average of 90% of P, accumulated in the plant after 34 days, was obtained from phosphate fertilizer.

For both L and D treatments, photoassimilate translocation to the tuber tended to decrease as distance between seed and fertilizer increased. Incorporation of P in this crop resulted in plants with a higher partitioning index than L and D (5 and 8 cm) treatments. Potato tubers developed before 34 days, probably at root sprouting, causing a greater demand of photoassimilates and P. Early tuber development appears to interfere with root growth, retarding them in reaching the fertilized zone. At least this seems to be the case in L and D (5 and 8 cm) treatments, which produced less DW than the I treatment.

In potato, maximum shoot P accumulation was obtained with L placement of P fertilizer. However, D placement caused higher tuber DW and P accumulation. In spite of L placement of P fertilizer resulted in Olsen-P concentrations twice as high as the D placement, the L placement resulted in a lower efficiency of photoassimilate and P translocation to

the tuber at 34 days. This result shows the importance of an adequate P fertilizer placement of potato, where a positive impact on final yield can be expected from a normal early development of the P-demanding sink organ (tuber). In a field experiment, conducted by Alvarez *et al.* (1997), on a soil having 7.8 mg kg⁻¹ of Olsen-P and where P fertilizer was applied vertically at a rate of 18 kg ha⁻¹, a very low rate compared to 140 kg P₂O₅ ha⁻¹ used in the potato producing area of Central Mexico, potato yield showed a 4 Mg tuber increase per hectare in the D treatment as compared to I and L position, although this difference was not significantly different.

CONCLUSIONS

- Maize and potato seedlings responded to the application of P in an Andisol of 7.8 mg kg⁻¹ Olsen-P in the first four weeks after seeding. Dry weight and P accumulation increased for different plant organs of each crop, highlighting the importance of adding P at seeding time to both species.

- Higher dry weight of whole maize and potato plants was obtained when P-fertilizer was applied next to the seed (lateral or vertical placement) than when the P fertilizer was incorporated.

- Results indicate that it is not enough to place P near the seed. Optimum placement distance was a function of the type of plant and stage of development. Further research on root system development in the early stages of the plants should be conducted to fertilize each crop adequately.

ACKNOWLEDGEMENTS

We want to thank the Phosphate and Potash Institute for partial funding this research, to the International Center for Maize and Wheat Improvement (CIMMYT) and Sabritas for providing the seed material for this research. Special thanks to John Moraghan for peer reviewing this paper and for his valuable comments and suggestions.

REFERENCES

- Alessi, J. and J.F. Power. 1980. Effect of banded and residual fertilizer phosphorus on dryland spring wheat yield in the northern plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 792-796.
- Alvarez-Sánchez, M.E., J.D. Etchevers B., A. Martínez G., R. Núñez E., V. Volke H., J. Ortiz C., and L. Tijerina Ch. 1997. Recuperación del fertilizante fosfatado por el cultivo de papa. *Terra* 15: 219-227.

- Anghinoni, I. and S.A. Barber. 1980a. Predicting the most efficient P placement for corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 1016-1020.
- Anghinoni, I. and S.A. Barber. 1980b. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. *Agron. J.* 72: 685-688.
- Barber, S.A. 1977. Application of phosphate fertilizers: Methods, rates and time of application in relation to the phosphorus status of soils. *Phosphorus in Agriculture* 31: 109-115.
- Barry, D.A.J. and M.H. Miller. 1989. The phosphorus nutritional requirement of maize seedlings for maximum yield. *Agron. J.* 81: 95-99.
- Bates, T.E. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: A review. *Soil Sci.* 112: 116-130.
- Böhm W. 1979. *Methods of studying root systems.* Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Borkert, C.M. and S.A. Barber. 1985. Predicting the most efficient phosphorus placement for soybeans. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 901-904.
- Claassen, N. and S.A. Barber. 1976. Simulation model for nutrient uptake from soil by a growing plant root system. *Agron. J.* 68: 961-964.
- Dudley, F.L. 1930. Methods of applying fertilizers to wheat. *J. Am. Soc. Agron.* 22: 515-521.
- Estrada L., L.A.P. 1977. El agrosistema: Un método práctico y preciso para diseñar tecnología de producción para el cultivo de maíz bajo condiciones de temporal en la parte sur del estado de Tlaxcala. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Garg, K.P. and L.F. Welch. 1967. Growth and phosphorus uptake by corn as influenced by phosphorus placement. *Agron. J.* 59: 152-154.
- Gawronska, H. and R.B. Dwelle. 1989. Partitioning of photoassimilates by potato plants as influenced by irradiance. I. Partitioning patterns in cultivar Russet Burbank grown under high and low irradiance. *Am. Potato J.* 66: 201-213.
- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950. The water culture-method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station. Circular 347.
- Itoh, S. and S.A. Barber. 1983. A numerical solution of whole plant nutrient uptake for soil-root systems with root hairs. *Plant Soil* 70: 403-413.
- Jackson, M.L. 1970. *Análisis químico de suelos.* Ed. Omega, S.A. Barcelona, España.
- Jungk, A. and S.A. Barber. 1975. Plant age and the phosphorus uptake characteristics of trimmed and untrimmed corn root systems. *Plant Soil* 42: 227-239.
- Kleinkopf, F.E., D.T. Westermann, and R.B. Dwelle. 1981. Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. *Agron. J.* 73: 799-802.
- Kunkel, R., N. Holstad, and T.S. Russell. 1973. Mineral element content of potato plants and tubers vs. yields. *Am. Potato J.* 50: 275-282.
- Loneragan, J.F. and C.J. Asher. 1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture: II. Rate of phosphate absorption and its relation to growth. *Soil Sci.* 103: 311-318.
- Lu, S. and M.H. Miller. 1993. Determination of the most efficient phosphorus placement for field-grown maize in early growth stages. *Can. J. Soil Sci.* 73: 349-358.
- Lu, S. and M.H. Miller. 1994. Prediction of phosphorus uptake by field-grown maize with the Barber-Cushman model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 852-857.
- Luévanos A., A., S.J. Rojo y S.J. Contreras. 1977. Informe de investigaciones sobre las prácticas de producción del maíz de temporal. Ciclo 1976. Campo Experimental "Valles Centrales", Oaxaca, CIASE, INIA, SAG., México.
- McCollum, R.E. 1978a. Analysis of potato growth under differing P regimes. I. Tuber yield and allocation of dry matter and P. *Agron. J.* 70: 51-57.
- McCollum, R.E. 1978b. Analysis of potato growth under differing P regimes. II. Time by P-status interactions for growth and leaf efficiency. *Agron. J.* 70: 58-67.
- Motato A., N.E. 1982. Estudio sobre la oportunidad de aplicación de nitrógeno y de fósforo en maíz de temporal entre pequeños productores. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mex.
- Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. pp. 403-430. *In: A.L. Page et al. (eds). Methods of soil analysis.* Agronomy 9 part 2, 2nd ed. ASA-SSSA, Madison, Wis.
- Peterson, G.A., D.H. Sander, P.H. Grabouski, and M.L. Hooke. 1981. A new look at row and broadcast-P recommendation for winter wheat. *Agron. J.* 73: 13-17.
- Radin, J.W. and J. Lynch. 1994. Nutritional limitations to yield: Alternatives to fertilization. pp. 277-283. *In: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America. Soil Science Society of America (eds.). Physiology and determination of crop yield.* Madison, Wis.
- Richards, J.E., T.E. Bates, and S.C. Sheppard. 1985. The effect of broadcast P applications and small amounts of fertilizer placed with the seed on continuously cropped corn. *Fertilizer Res.* 6: 269-277.
- Rodríguez S., J. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile.
- Römer, W., and G. Schilling. 1986. Phosphorus requirements of the wheat plant in various stages of its life cycle. *Plant and Soil* 91:221-229.
- Sahota, T.S., M.S. Virk, and P.M. Govindarkrishnan. 1988. Spot v. furrow placement of phosphorus in potato at Shillong. *J. Agric. Sci. Cam.* III:191-192.
- Schenk, H.K., and S.A. Barber. 1979. Root characteristics of corn genotypes as related to phosphorus uptake. *Agron. J.* 71: 921-924.
- Silberbush, M., and S.A. Barber. 1983. Prediction of phosphorus and potassium uptake by soybean with a mechanistic mathematical model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:262-265.
- Smith, P.F. 1962. Mineral analysis of plant tissues. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 13:81-108.
- Soltanpour, P.N., M. Gharous, A. Azzaoui, and M. Abdelmonem. 1989. Response of dryland wheat to P rates and placement methods. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 20: 597-605.
- Sobulo, R.A., A.A. Agboola, and A.A. Fayemi. 1978. Effect of P placement on yield of tomatoes in Southeastern Nigeria. *Agron. J.* 70: 521-524.
- Solano R., V.D. 1979. Recomendaciones sobre prácticas de producción de maíz y frijol en la Sierra de Chihuahua. Utilización del método CP para la definición de agrosistemas. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados., Chapingo, Méx.

- Tinker, P.B. 1981. Root distribution and nutrient uptake. In: Russell, R. S., K. Figue, Y. R. Mehta (eds.). The soil/ root system in relation to Brazilian agriculture. Instituto Agronomico Do Paraná. Proceedings of the symposium on the soil.
- Vig, A.C., and N.T. Singh 1983. Yield and P uptake by wheat as affected by P fertilization and soil moisture regime. *Fert. Res.* 4: 21-29.
- Welch, C.D., N.S. Hall, and W.L. Nelson. 1949. Utilization of fertilizer and soil phosphorus by soybeans. *Soil Sci. Soc. Proc.* 231-235.
- Westermann, D.T., and G.E. Kleinkopf. 1985. Phosphorus relationships in potato plants. *Agron. J.* 77:490-494.
- Zhang, J. and S.A. Barber. 1992. Maize root distribution between phosphorus-fertilized and unfertilized soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 819-822.

SISTEMAS DE LABRANZA Y SUS EFECTOS EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS EN UN VERTISOL, DESPUES DE CUATRO AÑOS DE MANEJO

Physical Properties of a Vertisol Affected by Tillage Systems after Four Years of Management

M. Mora Gutiérrez¹, V. Ordaz Ch.², J.Z. Castellanos³, A. Aguilar Santelises†, F. Gavi y V. Volke H.

RESUMEN

La preparación de los suelos consistente en un barbecho, uno o dos rastreos y la quema de residuos, se ha practicado durante más de 40 años en las áreas de riego, propiciando la disminución del contenido de materia orgánica hasta valores menores que 2%, lo cual ocasiona detrimento en la estructura y agregación de los suelos y aumenta su compactación y dificultad de manejo. La labranza de conservación en diferentes modalidades se ha sugerido como una alternativa viable para recuperar la fertilidad física, biológica y química de los suelos. El presente trabajo se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), Campo Experimental Bajío, en Guanajuato. El suelo del sitio experimental es arcilloso con contenido de 6% de arena y 69% de arcilla; el sitio cuenta con cuatro años bajo el mismo manejo. Se evaluaron diferentes sistemas de labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo. El diseño experimental fue bloques al azar. Se encontraron valores mayores en la densidad aparente y en la resistencia a la penetración en el tratamiento de labranza cero comparado con la labranza convencional, sobre todo en la capa superficial del suelo; no obstante, no se observaron efectos sobre la producción del cultivo. La conservación de humedad fue mayor en el tratamiento de labranza cero, con diferencias de 2 a 5%.

Palabras clave: *Conservación de suelo y agua, compactación, suelos arcillosos, manejo de residuos.*

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Campo Experimental Querétaro, México. (mora2000@webtelmex.net.mx)

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

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Campo Experimental Bajío. Guanajuato, México.

Recibido: Junio de 1999. Aceptado: Marzo de 2001.
Publicado en Terra 19: 67-74.

SUMMARY

Conventional tillage generally includes plowing and one or two diskings, and burning residues is common. This tillage system has been practiced for more than 40 years and has reduced organic matter content to values close to 2%, which is considered low. This condition damages structural stability, which causes compaction and makes soil management difficult. Different modes of conservation have been suggested to improve physical, biological and chemical characteristics of soil. This experiment was set up on a clay soil at the INIFAP Bajío experimental station, in Mexico. The soil contains 6% sand, 69% clay, and 2.2% organic matter. Different tillage systems were evaluated. A randomized block design with four replicates was used. Higher values were found for apparent density and resistance to penetration in no-tillage than in conventional tillage, especially in the surface layer of the soil. However, no effects on crop production were observed. Soil water content with no-tillage was 2 to 5% higher than with conventional tillage at 0 to 30 cm.

Index words: *Soil and water conservation, compaction, clay soils, residue management.*

INTRODUCCION

La superficie agrícola nacional bajo riego varía de 5.5 a 6 millones de ha (SAGAR, 1996, 1997). De esta superficie, 38% corresponde a Vertisoles (Ortiz y Ortiz, 1990).

En estos suelos, la labranza convencional, sin incorporación de residuos, ha propiciado que el contenido de materia orgánica disminuya a valores menores que 2% (Crovetto, 1996; SAGAR-INIFAP, 1996). Este bajo contenido de materia orgánica es una de las principales causas de la degradación del suelo, reflejada en baja fertilidad, erosión, encostramiento, compactación y dificultad de manejo. La labranza convencional propicia, además, un constante tráfico de

maquinaria, lo cual aumenta la compactación del suelo (Karlen *et al.*, 1990), y se requiere más laboreo del suelo a medida que transcurre el tiempo.

Diferentes modalidades de labranza de conservación a largo plazo, que además incluyan leguminosas en rotación, se han sugerido como una alternativa viable para recuperar la fertilidad física, biológica y química del suelo. Estos sistemas permitirán incrementar los valores de materia orgánica, N y C orgánicos, así como la biomasa microbiana, dando como resultado, a través del tiempo, una mejor condición de fertilidad y agregación en los suelos (Follett *et al.*, 1987; Stewart *et al.*, 1987; Barreto, 1989; Poulton *et al.*, 1996). Asimismo, se consigue mayor captación, disponibilidad y eficiencia del agua por los cultivos (Bolaños, 1989), menor compactación en el perfil del suelo a largo plazo, mayor estabilidad estructural y mejor condición de porosidad (Karlen *et al.*, 1990) y, finalmente, menor costo de producción y mayor rentabilidad de los cultivos.

En México, se han reportado un gran número de experimentos con sistemas de labranza (Zazueta, 1984; Jasso, 1985; Chapa, 1987; Osuna, 1987; Grajeda, 1988). Sin embargo, aunque la información es valiosa, en su mayoría corresponde a parcelas con un año de manejo y, en principio, para condiciones de temporal, ya no se cuenta con suficiente información para áreas de riego, donde se presentan diversos problemas en la eficiencia del uso del agua. Uno de los aspectos más señalados como limitativos al inicio del establecimiento de la labranza de conservación, ha sido la compactación superficial del suelo (Barreto, 1989), relacionada con los cambios en las propiedades físicas. En la literatura se reporta que la labranza cero, en muchos casos, presenta una mayor compactación en los primeros 15 cm de profundidad (Osuna, 1987; Grajeda, 1988; Bolaños, 1989; Laffite, 1989; Potter y Chichester, 1993; Vidal, 1994; Bravo y Andreu, 1995), lo cual dificulta la colocación de la semilla en la siembra y, por lo tanto, el establecimiento inicial del cultivo; en ocasiones se notan plantas que germinan muy superficialmente y que, en poco tiempo, manifiestan déficit hídrico (Mora, 1996). Por otro lado, se ha atribuido a la labranza de conservación mayor conservación de la humedad del suelo (Bolaños, 1989), aspecto de mucha importancia en las áreas de riego donde los problemas de descenso en los mantos acuíferos son cada vez mayores.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el efecto de diferentes sistemas de labranza sobre los cambios que ocurren en algunas propiedades físicas del suelo y que indican su grado de compactación y sobre los contenidos de humedad en el suelo.

MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se desarrolló en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), Campo Experimental Bajío, en Guanajuato, en un suelo arcilloso, típico de las regiones agrícolas de riego de Guanajuato y Querétaro. En esta zona, el clima es semiseco con lluvias en verano (670 mm anuales), con sequía intraestival en el mes de agosto. La temperatura media anual es de 18.6 °C. La primera helada se presenta, por lo regular, después del 20 de octubre (90% de probabilidad) y la última helada antes del 20 de marzo, con el mismo valor de probabilidad. El sitio experimental tiene cuatro años de manejo bajo diferentes sistemas de labranza y rotación de cultivos. El suelo del sitio experimental, a 30 cm de profundidad, presenta un contenido de arena de 6% y de arcilla de 69%. La capacidad de campo es de 52% y el punto de marchitez permanente de 26%. De acuerdo con la clasificación taxonómica de suelos (USDA, 1995), se considera un Typic haplustert.

Este trabajo forma parte de un experimento mayor, en el que se estudian sistemas de labranza, dosis de fertilización nitrogenada y rotación de cultivos. Para el presente artículo se evaluaron las propiedades físicas en los siguientes tratamientos.

1. Labranza convencional con quema de residuos (LCQR).
2. Labranza convencional con incorporación de residuos (LCIR).
3. Labranza cero con residuos sobre la superficie del suelo (LCERO).

El cultivo utilizado fue trigo, en el ciclo otoño-invierno de 1996-1997; los residuos que se manejaron correspondieron al ciclo anterior en el cual se sembró maíz. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 10 X 10 m. Se realizaron análisis de varianza y separación de medias por Tukey.

Variables Estudiadas

Densidad aparente. Se determinó por el método de cilindros de volumen conocido, para lo cual se hizo un muestreo al inicio y final del ciclo del cultivo a una profundidad de 0 a 15 cm; el muestreo se realizó después de la aplicación de los riegos. Se efectuaron dos muestreos por unidad experimental, obteniéndose ocho observaciones por tratamiento. Las muestras se pesaron en húmedo y luego se secaron en estufa a una temperatura de 105 °C durante 48 h; se determinó el peso en seco, el cual se empleó para obtener la densidad aparente con la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{\text{peso de suelo seco}}{\text{volumen del suelo con humedad (46\%)}}$$

Resistencia a la penetración. Se evaluó con un penetrómetro de impacto. En cada parcela experimental se efectuaron dos muestreos, de tal manera que cada tratamiento tuvo un total de ocho observaciones debido a las cuatro repeticiones; las profundidades de muestreo fueron: 10, 20, 30, 40 y 50 cm. El muestreo se llevó a cabo al inicio y al final del ciclo después del riego. Paralelamente, se hicieron determinaciones del contenido de humedad del suelo. Se consideró que, al inicio del ciclo después de las labores de preparación (en los tratamientos que los llevan), la resistencia a la penetración fue diferente en cada tratamiento y, al final del ciclo, el suelo tendió a su condición original. Para la determinación de resistencia a la penetración, se cuantificó el número de golpes que se requirieron para alcanzar cada una de las profundidades señaladas, posteriormente se utilizó la siguiente fórmula:

$$RP = \frac{N \times M \times G \times DG}{A \times DP}$$

Donde:

RP = Resistencia a la penetración (en pascales)

N = Número de golpes

M = Peso de masa de golpe

G = Aceleración de la gravedad

DG = Distancia de golpeo

A = Area del cono

DP = Distancia a la penetración

Contenido de humedad en el suelo. Al cultivo se aplicaron cinco riegos en total, en tres de ellos se realizaron muestreos antes y después de su aplicación. La diferencia de porcentaje de humedad entre estos dos muestreos se tomó como el abatimiento de humedad de cada riego. El muestreo se realizó con una barrena, a una profundidad de 0 a 30 cm, y se obtuvieron un total de cuatro observaciones por tratamiento. El porcentaje de humedad se determinó por la siguiente fórmula:

$$\text{humedad (\%)} = \frac{\text{peso de suelo húmedo} - \text{peso de suelo seco}}{\text{peso de suelo seco}} \times 100$$

El intervalo entre riegos fue diferente en función del mes de su aplicación, siendo menor en los meses de temperatura más alta.

RESULTADOS Y DISCUSION

Densidad Aparente

El análisis estadístico de esta variable mostró diferencias significativas entre tratamientos de labranza, se observó un aumento de densidad aparente en el tratamiento de labranza cero a la profundidad de 0 a 15 cm comparado con labranza convencional, tanto al inicio como al final del ciclo del cultivo (Cuadro 1). Estos resultados coinciden con los reportes de Cassel (1982), Bolaños (1989), Laffite (1989), Bravo y Andreu (1995), Sharrat (1996) y Secco *et al.* (1997), respecto a una mayor densidad en los primeros 15 cm de profundidad. Algunos cambios que se han reportado en la literatura varían con los tipos de suelo. Potter y Chichester (1993) encontraron mayor densidad aparente en los primeros 15 cm de profundidad en un Vertisol con valores de 1.05 para labranza convencional y 1.3 Mg m⁻³ para labranza cero después de seis años de manejo y después de 10 años el valor fue casi cercano a 1.4 Mg m⁻³ en labranza cero: Cassel *et al.* (1995), en un suelo migajon-arcillo-arenoso, después de dos años de manejo, obtuvieron una densidad aparente de 1.56 Mg m⁻³ en labranza cero y 1.48 Mg m⁻³ en labranza convencional. Aase y Pikul (1995) observaron diferencias en densidad aparente después de siete años de manejo, siendo menor la densidad en labranza cero. Morrison *et al.* (1990) no encontraron diferencias entre labranza cero y convencional en la densidad aparente después de tres

Cuadro 1. Densidad aparente durante el ciclo de trigo (1996-1997), en diferentes sistemas de labranza, de 0 a 15 cm de profundidad después de cuatro años de manejo. Bajío, Guanajuato.

Tratamiento	Inicio [†]	Final [†]
	----- Mg m ⁻³ -----	
LCQR	0.98 b	0.96 a
LCIR	0.96 b	0.94 b
LCERO	1.04 a	1.00 a
CV	2.49	3.13

[†] Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

LCQR = Labranza convencional con quema de residuos.

LCIR = Labranza convencional con incorporación de residuos.

LCERO = Labranza cero con residuos sobre la superficie del suelo.

años de manejo. Como se aprecia, los cambios en este parámetro son muy variables, dependiendo del tipo de suelo y del tiempo de manejo bajo el mismo sistema. En el presente trabajo, los valores fueron de 0.96 en labranza con incorporación de residuos y 1.04 Mg m⁻³ en labranza cero al inicio del ciclo (Cuadro 1). Aunque se aprecian diferencias estadísticas, los cambios no se reflejaron en el rendimiento del cultivo, puesto que el tratamiento con el valor menor de densidad aparente obtuvo una producción de 5355 kg ha⁻¹ y el tratamiento de labranza cero obtuvo una producción de 6172 kg ha⁻¹. Sin embargo, a pesar de no haber detectado efecto sobre el rendimiento del cultivo en este trabajo, otros investigadores han reportado efecto de la densidad aparente sobre el crecimiento de la raíz, que, aunque en este trabajo no se determinó, sí conviene reportar algunos resultados que indiquen el significado biológico que tienen los valores de densidad aparente encontrados. Panayiotopoulos *et al.* (1994) reportaron 23% de una disminución del crecimiento radicular en maíz, cuando la densidad aparente cambió de 0.95 a 1.4 Mg m⁻³ en un Alfisol y 32% de disminución cuando la densidad varió de 1.05 a 1.49 Mg m⁻³ en un Entisol. Villeda y Payán (1998) encontraron reducciones en la longitud de la raíz del amaranto de 22 a 29% con un valor de densidad aparente de 1.19 Mg m⁻³ y resistencia mecánica de 3 Mpa, durante las primeras etapas del cultivo. Por otro lado, Acharya y Sharma (1994), en un suelo migajón-arcillo-limoso, observaron mayor desarrollo de la raíz y mayor producción con labranza cero con residuos sobre la superficie y labranza convencional; no obstante que labranza cero tuvo una densidad aparente de 1.33 Mg m⁻³ y labranza convencional 1.16 Mg m⁻³, mientras que con labranza cero sin

residuos obtuvieron menor producción y desarrollo de raíces; estos autores atribuyeron esta respuesta a que labranza cero con residuos mantuvo niveles de humedad mayores que cuando no hubo residuos. Los efectos mencionados son resultado de cambios en la densidad aparente hasta de 0.4 Mg m⁻³; en la presente investigación sólo se observaron cambios de 0.08 Mg m⁻³. Asimismo, en los reportes anteriores no se hace referencia al efecto que tiene la disminución en el crecimiento de las raíces sobre el rendimiento del cultivo. Se deduce que la influencia de los cambios de la densidad aparente por efecto de la labranza sobre el desarrollo del cultivo depende del tipo de suelo, cultivo y niveles de humedad del suelo. En este trabajo, no se realizaron mediciones de raíces que se consideran como la parte de la planta más sensible a la compactación del suelo; en un futuro será importante su evaluación y su relación con el rendimiento del cultivo.

Resistencia a la Penetración

La resistencia a la penetración mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de labranza (Cuadro 2). La labranza cero al inicio del ciclo a 10 cm de profundidad presentó valores de 1.5 Mpa, mientras que en los demás tratamientos fue menor que 1.0 Mpa. Sin embargo, al final del ciclo del cultivo, los valores a 10 cm de profundidad fueron

Cuadro 2. Resistencia a la penetración al inicio y al final del ciclo de trigo (1996-1997) en diferentes sistemas de labranza, después de cuatro años de manejo. Bajío, Guanajuato.

Profundidad	Sistema de labranza [†]			CV
	LCQR	LCIR	LCERO	
cm	----- Mpa -----			
10 I	0.84 b	0.75 b	1.50 a	33.80
10 F	0.84 a	0.75 a	0.75 a	13.68
20 I	0.88 b	0.84 b	1.63 a	24.17
20 F	0.98 a	0.88 a	1.16 a	15.11
30 I	1.18 b	1.06 b	1.71 a	17.52
30 F	1.62 a	1.49 a	1.56 a	11.66
40 I	1.60 b	1.30 b	1.86 a	11.40
40 F	2.07 a	2.04 a	1.93 a	7.35
50 I	2.00 b	1.63 b	2.11 a	11.30
50 F	2.52 a	2.49 a	2.36 a	7.78

[†] Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

I = Inicio del ciclo del cultivo. F = Final del ciclo del cultivo.

LCQR = Labranza convencional con quema de residuos.

LCIR = Labranza convencional con incorporación de residuos.

LCERO = Labranza cero con residuos sobre la superficie del suelo.

iguales estadísticamente para los tres tratamientos, lo cual indica que sólo al inicio del ciclo del cultivo se presentaron estas diferencias.

A mayor profundidad se mantuvo una mayor resistencia al inicio del ciclo; sin embargo, al final del ciclo del cultivo no se encontraron diferencias estadísticas al comparar los tres tratamientos de labranza en el perfil del suelo. Estos resultados muestran que al inicio del ciclo del cultivo existe una mayor resistencia a la penetración en la labranza cero. No obstante, un análisis al inicio y al final del ciclo y por cada 10 cm de profundidad, es decir, obteniendo la diferencia que hay entre 10 y 20, 20 y 30 cm, etc., confirma que la mayor resistencia se presenta en la capa superficial, pues a partir de 30 cm de profundidad, con la labranza convencional se obtuvieron valores mayores que con la labranza cero. Los valores de mayor resistencia a 30 cm de profundidad podrían indicar que la capa denominada piso de arado se detecta más claramente en labranza convencional, pues al no haber paso de arado, en labranza cero esta capa tiende a desaparecer y, por lo tanto, empieza a disminuir su resistencia a la penetración debido, tal vez, al reacomodo de los agregados del suelo y a la continuidad porosa que se establece.

Con relación a la resistencia a la penetración, se han reportado valores mayores en labranza cero en las capas superficiales (Potter y Chichester, 1993; Vidal, 1994; Cassel *et al.*, 1995; Varza, *et al.*, 1997); lo cual coincide con los resultados observados en este trabajo. Potter y Chichester (1993) reportaron, en Vertisoles, valores mayores que 1.0 Mpa en los primeros 10 cm de profundidad en labranza cero después de 10 años de manejo y valores mayores que 2 Mpa a profundidades mayores que 20 cm, resultados muy aproximados a los obtenidos en esta investigación. No obstante, en suelos arcillo-arenosos después de tres años de manejo, Morrison *et al.* (1990) no encontraron diferencias en resistencia a la penetración entre labranza convencional y labranza cero. Como en el caso de densidad aparente, existe una gran variabilidad de resultados que depende del tipo de suelo, tiempo de manejo y humedad del suelo en el momento del muestreo.

Aun cuando existen diferencias a la resistencia a la penetración al inicio del ciclo del cultivo, al igual que con la densidad aparente, no se observó que dichas diferencias hayan afectado el rendimiento del cultivo;

no obstante, Figueroa y Morales (1996) señalan efectos en el crecimiento y desarrollo de la raíz. En este trabajo, aunque no se determinó el efecto en la raíz, si conviene conocer algunos datos para tener una idea del significado biológico de los datos encontrados. Existen reportes que indican que la restricción del crecimiento de la raíz es con valores mayores que 3 Mpa (Bravo y Andreu, 1995). Panayiotopoulos *et al.* (1994) encontraron reducciones en el crecimiento de la longitud de la raíz de 23% cuando la resistencia a la penetración cambió de 0.65 a 1.0 Mpa en un Alfisol; no obstante, estos autores no reportan alguna relación directa con el rendimiento del cultivo estudiado.

En el presente estudio, en labranza cero se encontraron valores mayores que 1 Mpa en los primeros 10 cm de profundidad y a mayor profundidad, después de 30 cm, los valores fueron mayores que 2 Mpa, sobre todo al final del ciclo del cultivo, por lo que, de acuerdo con Panayiotopoulos *et al.* (1994), el crecimiento de la raíz pudo haberse restringido. Este es un aspecto que se tendrá que corroborar posteriormente en otros trabajos, en este trabajo no se contempló el estudio de raíces. Otro efecto observado, como consecuencia de una mayor resistencia a la penetración, fue la profundidad de siembra en labranza de conservación, donde se apreció una menor uniformidad comparada con labranza convencional. Esta condición se manifestó en un desarrollo heterogéneo del cultivo y también será conveniente determinar su efecto en el rendimiento.

Es conveniente señalar que los muestreos de la resistencia a la penetración se realizaron paralelamente al muestreo de humedad del suelo después de la aplicación de los riegos, tratando de hacerlo cuando los valores estaban cercanos a capacidad de campo, de tal manera que la diferencias de la resistencia a la penetración no se atribuyeran a las diferencias en contenido de humedad.

Contenido de Humedad del Suelo

El contenido de humedad del suelo ha sido uno de los parámetros a los que se ha dado mucho énfasis en los estudios de labranza de conservación, atribuyéndose ventajas cuando se presentan condiciones de estrés hídrico (Erenstein, 1996). En el Cuadro 3 se presenta el contenido de humedad de 0 a 30 cm de profundidad del suelo, antes y después de tres riegos. Se aprecia que hubo diferencias

Cuadro 3. Contenido de humedad del suelo a 30 cm de profundidad, en diferentes sistemas de labranza, momentos antes y después de tres riegos de auxilio, en trigo. 1996-1997. Bajío, Guanajuato.

Tratamiento	Primer riego [†]		Segundo riego [†]		Tercer riego [†]	
	antes	después	antes	después	antes	después
	----- % -----					
LCQR	28.9 b	51.2 a	32.1 a	51.9 a	32.5 a	51.1 a
LCIR	28.5 b	52.1 a	31.1 a	52.2 a	31.3 a	49.4 a
LCERO	33.2 a	52.6 a	33.0 a	48.6 b	33.3 a	49.0 a
CV	3.09	3.21	4.28	3.0	9.88	4.89

[†] Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$) en cada columna.

LCQR = Labranza convencional con quema de residuos.

LCIR = Labranza convencional con incorporación de residuos.

LCERO = Labranza cero con residuos sobre la superficie del suelo.

estadísticas entre sistemas de labranza en el primer y segundo riego.

Al analizar los datos después de los riegos, puede observarse que, en el primer riego, el contenido de humedad fue casi igual en los tres tratamientos; en el segundo riego, el tratamiento que correspondió a labranza cero obtuvo el contenido menor y en el tercer riego no se encontraron diferencias estadísticas. La captación de humedad en el segundo y tercer riego mostró una tendencia de ser menor en la labranza cero; sin embargo, la capacidad de campo en este suelo es de 52% y, como el muestreo se realizó cinco días después de la aplicación del riego, el valor de capacidad campo pudo haberse alcanzado inmediatamente después de la aplicación del riego. Esto se puede deducir con base en el valor de abatimiento de humedad diario (0.7%). Por otra parte, en la labranza convencional se observó que la capacidad de campo casi se obtuvo en el momento de muestreo, lo cual indica que, inmediatamente después de la aplicación del riego, el contenido de humedad fue mayor, aunque este exceso de humedad pudo haberse perdido en el perfil del suelo y, en este caso, en labranza de conservación pudo haber una mayor eficiencia en el aprovechamiento del agua. Con relación al contenido de humedad antes de los riegos, en el segundo y tercer riego no se encontraron diferencias estadísticas, mientras que en el primer riego, el Tratamiento 3 de labranza de conservación, sí se obtuvieron diferencias significativas, observándose un mayor contenido de humedad en este tratamiento. El punto de marchitamiento permanente correspondió a 26% de humedad, por lo que en el primer riego casi se alcanzó este valor en los tratamientos de labranza convencional, mientras que en el tratamiento de labranza cero la humedad fue 4.3% mayor. Lo anterior sugiere que, cuando el nivel de humedad se abate a un

porcentaje como el de este caso, la bondad de los sistemas de labranza de conservación es más notable. Estos resultados se atribuyen a la función desempeñada por el residuo de maíz dejado sobre la superficie y coinciden con otros reportes (Bolaños, 1989; Erenstein, 1996). A pesar de las diferencias de humedad antes indicadas entre los tratamientos, el efecto de los residuos se manifestó, lo que confirma los valores del Cuadro 4. En este cuadro se aprecia que el abatimiento de humedad fue menor en labranza de conservación.

Abatimiento de Humedad del Suelo

El Cuadro 4 muestra los valores de abatimiento de humedad. Aun cuando sólo en el segundo riego se observaron diferencias significativas; en general, existió la tendencia de un mayor abatimiento de humedad en los tratamientos que corresponden a labranza convencional con quema de residuos y labranza convencional con incorporación de residuos, comparado con el tratamiento de labranza de conservación, lo que indica que en este último

Cuadro 4. Abatimiento de humedad del suelo durante tres riegos de auxilio en trigo (1996-1997) en diferentes sistemas de labranza. Bajío, Guanajuato.

Tratamiento	Primer riego [†]	Segundo riego [‡]	Tercer riego [§]
	----- % -----		
LCQR	22.2 a [†]	19.8 a	18.5 a
LCIR	23.6 a	21.0 a	18.0 a
LCERO	19.4 a	15.9 b	16.0 a
C.V.	9.98	7.56	25.90

[†] 35 días de intervalo. [‡] 27 días. [§] 18 días.

[†] Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

LCQR = Labranza convencional con quema de residuos.

LCIR = Labranza convencional con incorporación de residuos.

LCERO = Labranza cero con residuos sobre la superficie del suelo.

Cuadro 5. Abatimiento promedio diario de humedad del suelo durante tres riegos de auxilio en trigo (1996-1997) en diferentes sistemas de labranza. Bajío, Guanajuato.

Tratamiento	Primer riego [†]	Segundo riego [‡]	Tercer riego [§]
	----- % -----		
LCQR	0.62 a [¶]	0.73 a	1.02 a
LCIR	0.67 a	0.77 a	1.00 a
LCERO	0.55 b	0.58 b	0.88 a
C.V.	9.85	7.55	25.8

[†] 35 días de intervalo. [‡] 27 días. [§] 18 días.

[¶] Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

LCQR = Labranza convencional con quema de residuos.

LCIR = Labranza convencional con incorporación de residuos.

LCERO = Labranza cero con residuos sobre la superficie del suelo.

tratamiento, al abatirse menos humedad, el suelo conservó mayor cantidad. Aun cuando ya se vio que en el segundo riego, en el momento del muestreo, el tratamiento de labranza cero obtuvo menor contenido de humedad, al final también reporta menor abatimiento hídrico, lo cual resulta relevante en la conservación de humedad del suelo, confirmándose el efecto conservador de los residuos; varios investigadores en México confirmaron semejantes resultados (Zazueta, 1984; Mora, 1996; Arreola, 1996). Figueroa y Morales (1996) indican que, en la mayoría de los estudios en México, la labranza de conservación ha conservado más humedad en el suelo.

En el Cuadro 4 se observa que se presentaron diferencias de 2 a 5%. Esto permitiría manejar los intervalos y láminas de riego, contribuyendo al ahorro del agua, ya que cuando en la labranza convencional se requiere el riego, en labranza de conservación se puede ampliar el tiempo entre riegos, o se puede aplicar menor lámina.

Abatimiento Promedio Diario de Humedad en el Suelo

En el Cuadro 5 se presenta el abatimiento promedio diario de humedad en el suelo. Se aprecian diferencias significativas entre tratamientos de labranza en el primer y segundo riegos.

En los tres riegos se observa que el abatimiento de humedad menor correspondió a la labranza cero, lo cual confirma que en este sistema de manejo se conserva mayor humedad día por día. El valor de abatimiento diario es útil para calcular cuántos días se requieren para llegar a un porcentaje de humedad deseado y así manejar mejor los intervalos del riego.

CONCLUSIONES

- La densidad aparente, al inicio del ciclo del cultivo en el tratamiento de labranza cero, fue mayor en 0.08 Mg m^{-3} , comparada con la labranza convencional, mientras que al final del ciclo la diferencia fue de 0.06 Mg m^{-3} .

- La resistencia a la penetración a 10 cm de profundidad manifestó valores mayores en 0.75 Mpa, al inicio del ciclo del cultivo en el tratamiento de labranza cero, comparada con el tratamiento de labranza convencional con incorporación de residuos; no obstante, al final del ciclo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos probados y se observó que, después de 30 cm de profundidad, la labranza convencional mostró una mayor resistencia a la penetración.

- El contenido de humedad del suelo a profundidad de 0 a 30 cm, obtuvo de 2 a 5% más en la labranza cero que en la labranza convencional, resultado de un menor abatimiento de humedad diario, lo cual manifestó la bondad de la permanencia de los residuos en la superficie del suelo.

- Aun cuando no se observó una respuesta directa en el rendimiento del trigo, por efecto de las diferencias entre densidad aparente y resistencia a la penetración en los tratamientos de labranza cero y labranza convencional, la literatura reporta efectos en el crecimiento de la raíz, por lo que será necesario en trabajos posteriores realizar estudios de la raíz del cultivo. Por otro lado, para contrarrestar los efectos de la mayor resistencia y densidad aparente en la labranza cero en el establecimiento del cultivo, se sugiere realizar un mínimo laboreo al suelo en la capa superficial, pero sin barbecho.

LITERATURA CITADA

- Aase, J.K. y J.L. Pikul. 1995. Crop and soil response to long-term tillage practices in the North Great Plains. *Agron. J.* 87: 652-656.
- Acharya, C.L. y P.D. Sharma. 1994. Tillage and mulch effects on soil physical environment, root growth, nutrient uptake and yield of maize and wheat on an Alfisol in North-West India. *Soil Tillage Res.* 32: 291-303.
- Arreola T., M. 1996. Informe técnico. SAGAR-INIFAP Campo Experimental Bajío. Guanajuato.
- Barreto H., J. 1989. Cambios en propiedades químicas, patrones de fertilización, y enclavamiento en suelos bajo labranza cero. pp. 43-70. *In: Labranza de conservación en maíz. Documento de trabajo CIMMYT- PROCIANDINO. México.*

- Bolaños, J. 1989. Suelos en relación con labranza de conservación: Aspectos físicos. pp. 19-42. *In: Labranza de conservación de maíz. Documento de trabajo. CIMMYT-PROCIANDINO. México.*
- Bravo, C. y E. Andreu. 1995. Propiedades físicas y producción de maíz (*Zea mays* L.) en un Alfisol del estado Guárico, Venezuela, bajo dos sistemas de labranza. *Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y del Instituto de Edafología: 10-15.*
- Cassel, D.K. 1982. Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. pp. 45-69. *In: Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Special Publication 44. Madison, Wisconsin.*
- Cassel, D.K., C.W. Raczkowski y H.P. Denton. 1995. Tillage effects on corn production and soil physical conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1436-1443.*
- Crovetto, C. 1996. Stubble over the soil. The vital role of plant residue in soil management to improve soil quality. *American Society of Agronomy. Special Publication 19. Madison, Wisconsin.*
- Chapa G., J.R. 1987. Dinámica del sistema estructural de un andosol mólico del estado de Michoacán bajo tres sistemas de laboreo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Erenstein, O. 1996. ¿Labranza de conservación o conservación de residuos? Una evaluación del manejo de los residuos en México. Ponencia presentada en el Foro Internacional sobre Labranza de Conservación. Guadalajara, Jal. México
- Figuroa S., B. y F. Morales. 1996. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de Postgraduados. Campus San Luis Potosí. México
- Follet, R.F., S.C. Gupta y P.G. Hunt. 1987. Conservation practices: Relation to the management of plant nutrients for crop production. pp. 19-52. *In: Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. Soil Science Society of America. Special Publication 19. Madison, Wisconsin.*
- Grajeda G., J. 1988. Efecto de la labranza y nitrógeno sobre algunas condiciones físicas del suelo y abatimiento de costos de producción de forraje en maíz y sorgo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Jasso Ch., C. 1985. Influencia de algunos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo, producción de materia seca y extracción de nitrógeno en sorgo bajo condiciones de temporal. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Karlen, D.L., T.C. Erbach, T.S. Kaspar, E.C. Colvin, C. Berry, y D.R. Timmons. 1990. Soil tillage: A review of past perceptions and future needs. *Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 153-161.*
- Laffite, H.R. 1989. Efecto de la labranza mínima en el crecimiento y rendimiento de maíz. pp. 71-90. *In: Labranza de conservación en maíz. Documento de trabajo. CIMMYT-PROCIANDINO*
- Mora G., M. 1996. Informe técnico anual. SAGAR-INIFAP. Campo Experimental Querétaro, México.
- Morrison, J.E., T.J. Gerik, F.W. Chichester, J.R. Martin y J.M. Chandler. 1990. A no-tillage farming system for clay soils. *J. Prod. Agric. 3: 219-227.*
- Ortiz V., B. y C. Ortiz S. 1990. Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Chapingo, México.
- Osuna C., E.S. 1987. Efecto de la lluvia sobre las propiedades físicas de los suelos laboreados. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Panayiotopoulos, K.P., C.P. Papadopoulou y A. Hatjiioannidou. 1994. Compaction and penetration resistance of an Alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings. *Soil Tillage Res. 31: 323-337.*
- Potter, K.N. y F.W. Chichester. 1993. Physical and chemical properties of a Vertisol with continuous controlled-traffic, no-till management. *American Society of Agricultural Engineers. USA.*
- Poulton, P.R., I. Craciun, D.S. Powlson y D.S. Jenkinson. 1996. The influence of straw incorporation and soil type on nitrogen losses. First research co-ordination meeting of the FAO/IAEA coordinated research programme. Vienna, Austria.
- SAGAR. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1996. Anuario estadístico de la producción agrícola de México.
- SAGAR. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1997. Anuario estadístico de la producción agrícola de México.
- SAGAR-INIFAP. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural-Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Agropecuarias. 1996. Informe técnico anual. Campo Experimental Querétaro. Querétaro, México.
- Secco, D., C.O. Ros, J.E. Fiorin, C.V. Pautz y L. Pasa. 1997. Effect of soil management on soil physical properties of an oxisol. *Ciencia Rural 27: 57-60*
- Sharrat, B.S. 1996. Tillage and straw management for modifying physical properties of a subartic soil. *Soil Tillage Res. 38: 239-250 .*
- Stewart, J.W.B., R.F. Follet y C.V. Cole. 1987. Integration of organic matter and soil fertility concepts into management decisions. pp. 1-8. *In: Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. Soil Science Society of America. Special Publication 19. Madison, Wisconsin.*
- USDA. US Department of Agriculture. Soil Conservation Service. 1995. Claves para la taxonomía de suelos. Traducido por C.A. Ortiz S. y C. Gutiérrez C. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial 3. Chapingo, México.
- Varza, E.C., S.K. Chong, J.O. Abolaji, D.A. Farquhar y F.J. Olsen. 1997. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.), root growth and production. *Soil Tillage Res. 43: 219-228.*
- Vidal, P.I. 1994. Dinámica del nitrógeno y biomasa microbiana bajo diferentes manejos de suelo en maíz y trigo. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Villeda, M. y F. Payán. 1998. Reducción de la longitud de raíces en plantas jóvenes de amaranto: efecto de la compactación. 29° Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México.
- Zazueta Z., G. 1984. Influencia de los sistemas de labranza y obras de conservación en la productividad de los suelos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

ASIGNACION DE BIOMASA Y RENDIMIENTO DE GIRASOL CON RELACION AL NITROGENO Y DENSIDAD DE POBLACION

Biomass Allocation and Yield of Sunflower as Affected by Nitrogen Rate and Plant Population

Ricardo Vega Muñoz¹, J. Alberto Escalante Estrada¹, Prometeo Sánchez García¹,
Carlos Ramírez Ayala¹ y Ernesto Cuenca Adame²

RESUMEN

Se realizó un estudio con girasol (*Helianthus annuus* L.), bajo condiciones de temporal, en Montecillo, México, para determinar el efecto de la aplicación de 0 y 100 kg de N ha⁻¹ y 57 000 (80*25 cm) y 114 000 (40*25 cm) plantas ha⁻¹ sobre la producción de biomasa, su distribución en la planta, el rendimiento y sus componentes. El N y 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ se aplicaron a todo el experimento al momento de la siembra. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas y cuatro repeticiones. El N y el aumento en densidad de población no afectaron la distribución (%) de materia seca en los órganos de la planta. Por otra parte, la acumulación de materia seca (g m⁻²) en cada estructura de la planta se incrementó al aplicar N y con el uso de poblaciones altas. Esto condujo a una mayor producción de biomasa, rendimiento y un número más alto de semillas m⁻² (NSMC). El NSMC fue el componente de mayor correlación con el rendimiento. El peso de 100 semillas (P100S) no registró cambios significativos por efecto de los tratamientos. Además, al combinar el N con densidad alta, se logró una mayor producción de biomasa y rendimiento.

Palabras clave: *Materia seca, componentes del rendimiento, Helianthus annuus L.*

SUMMARY

A study with sunflower (*Helianthus annuus* L.) was carried out under rainfed conditions in

¹Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, México. (rvega@colpos.colpos.mx) (jasee@colpos.colpos.mx), (promet@colpos.colpos.mx)

²Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario N° 194, DGETA, SEP, Apartado Postal 60, Cerro de las Trillas s/n. Miacatlan, Morelos. (cara@colpos.colpos.mx)

Recibido: Octubre de 1999. Aceptado: Abril de 2001.
Publicado en Terra 19: 75-81.

Montecillo, Mexico, to determine the effect of two N levels, 0 and 100 kg ha⁻¹, and two population densities (DP), 57 000 (80*25 cm) and 114 000 (40*25 cm) plants ha⁻¹, on production and allocation of biomass, yield and yield components. Phosphorus was applied at a rate of 100 kg ha⁻¹ to all treatments at sowing. The experimental design was complete blocks at random with a split plot arrangement and four replications. N levels and higher population density did not affect biomass distribution (%), but dry matter (g m⁻²) in all plant structures increased with N application and high population density. This led to a larger production of biomass, higher yield and a larger number of seeds m⁻². Number of seeds was the component most highly correlated with yield. The weight of 100 seeds (g) was not affected by the treatments.

Index words: *Dry matter, yield of components, Helianthus annuus L.*

INTRODUCCION

El aceite de girasol (*Helianthus annuus* L.) posee características nutritivas favorables, como la fácil asimilación por el organismo humano, lo cual lo sitúa entre los mejores de origen vegetal, especialmente cuando se le compara con los más conocidos como el de algodón, soya y cártamo. La torta, subproducto que queda después de la extracción de aceite, constituye una fuente importante en proteína (48 a 50%), grasas, sustancias extractivas no nitrogenadas, fosfatas y sales minerales, útiles para la alimentación de los animales y aves de corral (Vranceanu, 1977; Ortegón *et al.*, 1993). La SAGAR (1997) reporta que, en México, se sembraron 3276 ha, de las cuales se cosecharon 2424 ha (74%) con un rendimiento promedio de 1.02 Mg ha⁻¹. Esta producción no satisface las necesidades del mercado, por lo que se recurre a la importación (127 Mg) con la consecuente salida de divisas (INEGI, 1997). Por lo tanto, es necesario incrementar las áreas dedicadas a este cultivo y el rendimiento del mismo, mediante la

búsqueda, generación y difusión de estrategias, por lo que en México la investigación sobre este cultivo se justifica. Sarmah *et al.* (1992, 1994) señalaron que la selección de variedades, la nutrición mineral, en particular el nitrógeno y fósforo y una población óptima de plantas, así como la humedad disponible en el suelo especialmente durante la etapa reproductiva deben considerarse para lograr un máximo crecimiento y rendimiento del girasol. Así mismo, en siembras de girasol bajo condiciones de secano y salinidad, se ha demostrado que con la aplicación de N (100 y 300 kg ha⁻¹) y el aumento en densidad de población (50 000 a 114 000 plantas ha⁻¹) se incrementa la producción de biomasa y el rendimiento; siendo éste mayor al combinar ambas prácticas (Escalante, 1995; Escalante y Rodríguez, 1994). Respuestas similares se han encontrado recientemente en girasol en condiciones de temporal con clima cálido subhúmedo (Aw₀, Iguala, Guerrero, México) (Olalde *et al.*, 2000). Por otra parte, la distribución de materia seca en los órganos de la planta, particularmente en el grano (índice de cosecha), es un factor de importancia a considerar para lograr un mayor rendimiento (Donald y Hamblin, 1976). Sin embargo, el conocimiento sobre los mecanismos que regulan la distribución de materia seca en las estructuras de la planta son limitados (Van der Werf, 1996). Se sugiere, que si mediante el manejo del cultivo puede lograrse incrementar la producción de biomasa, es posible que esto ocurra también con la distribución de asimilados en los órganos de la planta (Gifford *et al.*, 1984). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del nitrógeno y densidad de población sobre la producción de biomasa, su distribución en los órganos de la planta y rendimiento de girasol cultivado en clima semiárido.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se estableció en un lote experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México (19° 29' norte; 98° 54' oeste y 2250 msnm) bajo condiciones de temporal. El clima es de tipo BS1 que corresponde al menos seco de los áridos con lluvias en verano, una temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 558.5 mm (García, 1988). Después de la preparación del terreno, que consistió en un barbecho, rastreo y surcado, la siembra del girasol cv. Victoria se llevó a cabo en forma manual, el 13 de mayo de 1997, en un suelo de textura arcillosa, con un pH de 8 y un

contenido de materia orgánica y N total de 23.6 y 1.2 g kg⁻¹, respectivamente. El aclareo a una planta por mata se realizó a 20 días después de la siembra (DDS) y deshierbes manuales a los 27 y 52 DDS. El diseño experimental fue el de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas y cuatro repeticiones; a la parcela mayor correspondió la fertilización con nitrógeno y a la menor las densidades de población. Los tratamientos consistieron de dos niveles de N: 0 (N0) y 100 (N100) kg ha⁻¹ aplicados al momento de la siembra en forma de urea y dos densidades de población (DP): 57 000 (80*25 cm; DP1) y 114 000 (40*25 cm; DP2) plantas ha⁻¹. Todo el lote experimental se fertilizó con 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹ en forma de superfosfato de calcio triple. La temperatura máxima y mínima y precipitación se obtuvieron de la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. Las etapas fenológicas de emergencia, inicio y final de antésis, y madurez fisiológica se determinaron de acuerdo con Schneiter y Miller (1981). A la cosecha, se evaluó la biomasa de la parte aérea (materia seca), mediante la suma del peso seco de cada órgano de la planta; su distribución, mediante la relación peso seco de cada órgano/biomasa aérea*100; el índice de cosecha (IC), designado como la cantidad de materia seca acumulada en la semilla con respecto a la biomasa aérea (rendimiento de semilla/biomasa aérea); el rendimiento de semilla [peso seco con 10% de humedad (g m⁻²)] y sus componentes como: el peso de 100 semillas (P100S), el número de semillas m⁻² (NSMC), el número de semillas capítulo⁻¹ (NSC) y área del capítulo [AC (cm²)]. A las variables en estudio se les realizó el análisis de varianza bajo el modelo estadístico de parcelas divididas y a las que resultaron con diferencias significativas se les realizó la prueba de comparación de medias de Tukey (P ≤ 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSION

Clima

Durante la estación de crecimiento del cultivo, la temperatura máxima y mínima fue en promedio de 24.6 ± 1.17 y 9.4 ± 1.13 °C, respectivamente. La precipitación total fue de 266 mm. De ésta, 209 mm (78%) acontecieron en el periodo de emergencia (Ve) a inicio de antésis (R5.1) y 57 mm (22%) del inicio de antésis hasta la madurez fisiológica (R9; Figura 1).

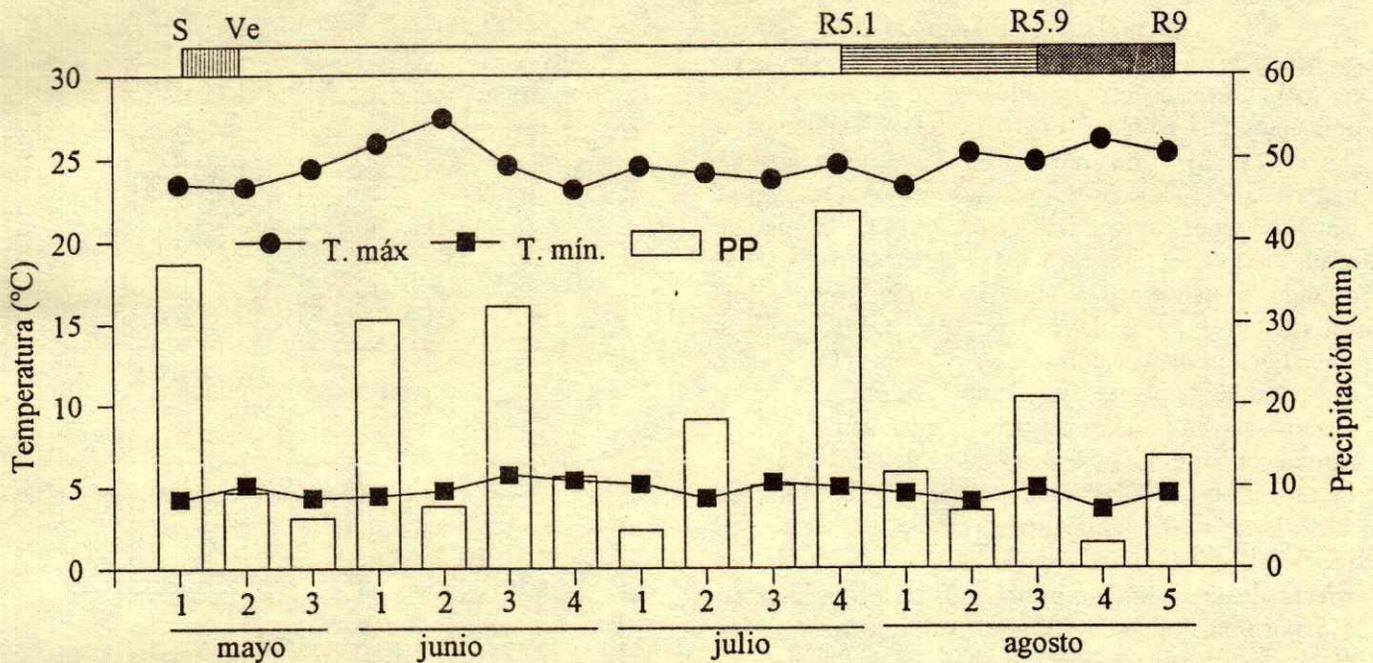


Figura 1. Temperatura máxima (T. máx) y mínima (T. mín) promedio de siete días y precipitación (PP) suma de siete días, de mayo a agosto 1997 en Montecillo, México. S = Siembra. Ve = Emergencia. R5.1 = Inicio de antésis. R5.9 = Final de antésis. R9 = Madurez fisiológica.

Fenología

La fenología del cultivo no se afectó por el N y DP, lo cual confirma los resultados encontrados de Escalante (1995) bajo condiciones de humedad residual y de Olalde *et al.* (2000) en girasol de secano en clima cálido. Esto sugiere que el estrés por N y el ocasionado por la competencia intraespecífica no es tan severo para producir cambios en la fenología del cultivo. La emergencia (Ve) ocurrió a los siete DDS. El inicio y final de antésis aconteció a los 77 (R5.1) y 93 (R5.9) DDS. La duración del periodo de floración

fue de 16 días. La madurez fisiológica (R9) ocurrió a los 112 DDS (Figura 1).

Puesto que el análisis de varianza no mostró cambios significativos debido a la interacción N*DP sobre las variables en estudio, sólo se presentarán y discutirán los resultados debido al efecto de los factores principales (Cuadros 1 y 2).

Biomasa Aérea y su Distribución en los Organos de la Planta

Efecto de nitrógeno. En cualquier densidad de población, el suministro de N incrementó la

Cuadro 1. Índice de cosecha (IC) biomasa aérea (BA) y su acumulación en cada órgano del girasol cv. Victoria en función del nitrógeno y densidad de población. Montecillo, México. 1997. Datos promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento	N	DP	Peso seco				BA	IC
			Tallo	Hoja	Receptáculo	Semilla		
----- g m ⁻² -----								
0	5.7	5.7	460.1	193.1	269.6	305.3	1228.1	0.25
		11.4	934.4	230.0	661.7	454.4	2280.5	0.20
100	5.7	5.7	596.4	242.8	319.5	352.2	1510.9	0.24
		11.4	1101.9	284.0	641.8	570.8	2598.6	0.22
N			*	*	NS	**	*	NS
DP			***	NS	**	***	***	NS
N*DP			NS	NS	NS	NS	NS	NS

N = Nitrógeno (0 y 100 kg ha⁻¹). DP= Densidad de población (5.7 y 11.4 plantas m⁻²). P ≤ 0.05 (*), 0.01 (**), y 0.001 (***). NS = No significativo. BA = Biomasa aérea. IC = Índice de cosecha.

producción de la biomasa aérea (BA) en 18% (Cuadro 1). Así, en N100 la BA fue de 2055 g m⁻² y en N0 de 1754 g m⁻² (Figura 2a). Tendencias similares se encontraron en otros cultivares de girasol y otros ambientes por Khokani *et al.* (1993) y Dahiphale y Pawar (1993). Con relación a la distribución de materia seca (%) en la planta, no se observaron cambios significativos por efecto del N. La mayor asignación de materia seca (MS) se encontró en tallo, seguido del receptáculo, semillas y hojas (Figura 2a). En general, el cultivo con N mostró mayor acumulación de materia seca (g m⁻²) en cada estructura de la planta. Por ejemplo, en el Cuadro 1 se observa que en la densidad de 11.4 plantas m⁻², la MS acumulada en tallo, hojas y semillas del girasol con N fue superior en 18%, 23% y 26% a N0. El IC no mostró cambios significativos por el N siendo en promedio de 0.22±0.02.

Efecto de densidad de población. La producción de MS por unidad de superficie en cada estructura de la planta y, en consecuencia, la BA se incrementó al aumentar la DP (Cuadro 1). Por ejemplo, en DP2 la producción de BA promedio (2439 g m⁻²) fue 79% superior a la encontrada en DP1 (1369 g m⁻²; Figura 2b). La asignación de MS en cada órgano de la planta en general no mostró cambios significativos al aumentar la DP. Así, la MS asignada al tallo, hojas, receptáculo y semillas fue para DP1 de 39, 16, 21 y 24%, y para DP2 fue de 42, 10, 27 y 21%, respectivamente (Figura 2b). Respuestas similares se han encontrado en girasol en otras condiciones de crecimiento por Zaffaroni y Schneiter (1991) y Olalde *et al.* (2000) en girasol en condiciones de humedad residual.

Estos resultados sugieren que la búsqueda de una mayor asignación de materia seca en el órgano de interés agronómico, que en este caso es la semilla, no está determinada por el suministro de N y el aumento en densidad de población

Por otra parte, no obstante que no se encontraron cambios significativos por la interacción N*DP en la producción de BA, su distribución y acumulación en los órganos de la planta (Cuadro 1), se puede señalar que con la combinación de N100 y DP2 ocurre una mayor acumulación de MS en tallo, hojas, receptáculo y semillas (1102, 284, 642, 571 g m⁻², respectivamente) y, en consecuencia, en la BA (2599 g m⁻²) y rendimiento (571 g m⁻²) (Habib *et al.*, 1996; Olalde *et al.*, 2000). Esto indica que en DP

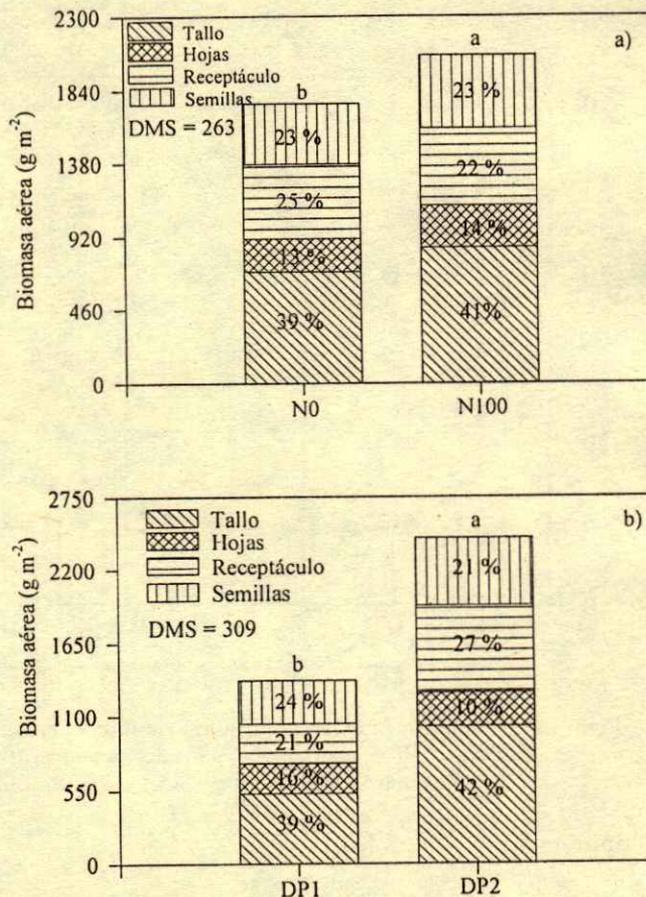


Figura 2. Biomasa y su distribución en cada órgano (%) del girasol cv. Victoria, en función del nitrógeno (a) y densidad de población (b). Montecillo, México. 1997. Datos promedio de cuatro repeticiones.

N0 = 0 y N100 = 100 kg de N ha⁻¹. DP1 = 5.7 y DP2 = 11.4 plantas m⁻². Barras con letra distinta son estadísticamente diferentes (DMS ≤ 0.05).

altas, el N es un nutrimento que limita una mayor expresión del crecimiento del girasol.

Rendimiento y sus Componentes

Efecto de nitrógeno. En cualquier densidad de población, el girasol con N100 registró un rendimiento más alto que el testigo (N0, Cuadro 2). En la Figura 3a, se observa que el rendimiento en N100 (461 g m⁻²) fue superior en 21% a N0 (380 g m⁻²). El incremento en el rendimiento fue debido al mayor NSMC que mostró N100 (Figura 3b), siendo éste el componente que más se relacionó con el rendimiento (Cuadro 3). No obstante que el área del capítulo y el NSC no mostraron cambios significativos por el N, el girasol con N mostró

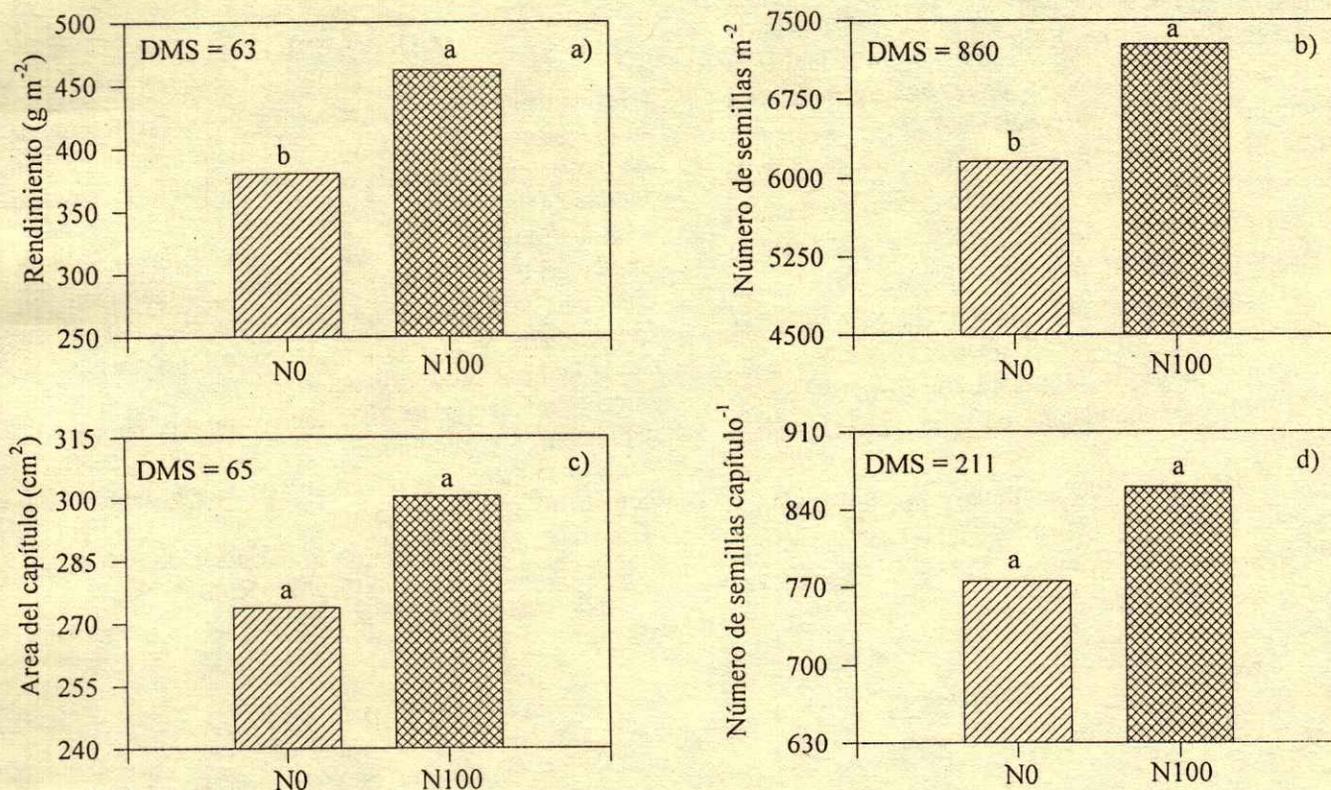


Figura 3. Rendimiento y sus componentes del girasol cv. Victoria, en función del nitrógeno. Montecillo, México. 1997.

Datos promedio de cuatro repeticiones.

N0 = 0 y N100 = 100 kg de N ha⁻¹. Barras con letra distinta son estadísticamente diferentes (DMS ≤ 0.05).

capítulos de mayor área y con mayor NSC (Figura 3c,d). Esto confirma los resultados de Steer y Hocking, (1983) y Escalante *et al.* (1998), quienes señalaron que el N es un macronutriente esencial para el crecimiento del capítulo y el número de semillas, ya que deficiencias de N durante este

Cuadro 2. Rendimiento y sus componentes del girasol cv. Victoria en función del nitrógeno y densidad de población. Montecillo, México. 1997. Datos promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento		Rendimiento	NSC	NSMC	P100S	AC
N	DP	g m ⁻²			g	cm ²
0	5.7	305.3	848.2	4746.5	6.5	299.2
	11.4	454.4	701.2	7564.5	6.0	248.4
100	5.7	352.2	911.0	5172.3	6.8	322.9
	11.4	570.8	809.5	9364.4	6.1	278.4
N		**	NS	*	NS	NS
DP		***	*	***	**	**
N*DP		NS	NS	NS	NS	NS

N = Nitrógeno (0 y 100 kg ha⁻¹). DP = Densidad de población (5.7 y 11.4 plantas m⁻²). NSC = Número de semillas capítulo⁻¹. NSMC = Número de semillas m⁻². P100S = Peso de 100 semillas. AC = Área del capítulo. P ≤ 0.05 (*), 0.01 (**), 0.001 (***) . NS = No significativo.

periodo repercuten en la producción de los cultivos (Sinclair y De Wit, 1975). Resultados similares observaron Khokani *et al.* (1993) y Sharma (1994), quienes, además, involucraron al peso de grano planta⁻¹ e IC como los componentes más correlacionados con el rendimiento. El P100S no mostró cambios por efecto del N, siendo en promedio de 6.3 ± 0.37 g (Cuadro 2).

Efecto de densidad de población. En cualquier nivel de N, el aumento en DP condujo a incrementos en el rendimiento de semilla (Cuadro 2). Al cambiar de DP1 (329 g m⁻²) a DP2 (513 g m⁻²), el incremento en

Cuadro 3. Correlación del rendimiento de semilla con sus componentes, en girasol cv. Victoria. Montecillo, México. 1997. Datos promedio de cuatro repeticiones.

Correlación del rendimiento de semilla versus	Coefficiente de correlación (r)	Significancia
Área del capítulo (cm ²)	-0.30685	NS
Peso de 100 semilla (g)	-0.24554	NS
Número de semillas capítulo ⁻¹	-0.08989	NS
Número de semillas m ⁻²	0.95422	***

Tukey P ≤ 0.001 = *** . NS = No significativo.

el rendimiento fue de 56% (Figura 4a). Por otra parte, el AC, el NSC y el P100S disminuyeron (Cuadro 2), debido a la competencia por agua, luz, nutrientes y espacio aéreo (Zaffaroni y Schneiter, 1991; Schneiter, 1992). El mayor número de plantas por unidad de superficie compensó y superó esta reducción (Cardinali y Orioli, 1993; Sarmah *et al.*, 1994) originando un NSMC más alto (Figura 4b), siendo éste el componente más correlacionado con el rendimiento (Cuadro 3). Tendencias similares se observaron en híbridos de girasol con riego por Steer *et al.* (1986), y en condiciones de secano por Olalde *et al.* (2000).

Cabe señalar que, al combinar la fertilización nitrogenada con una densidad alta, se logra el rendimiento más alto, siendo de 571 g m⁻² (Escalante y Rodríguez, 1994; Escalante, 1995).

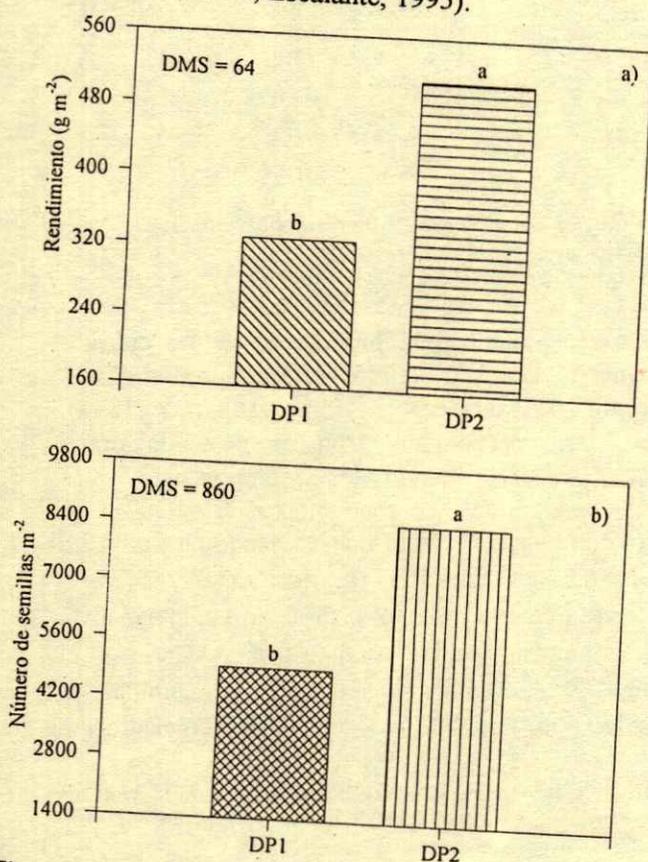


Figura 4. Rendimiento (a) y sus componentes (b) del girasol cv. Victoria, en función de la densidad de población (promedio de valores de N). Montecillo, México, 1997. Datos promedio de cuatro repeticiones. DP1 = 5.7 y DP2 = 11.4 plantas m⁻². Barras con letra distinta son estadísticamente diferentes (DMS ≤ 0.05).

CONCLUSIONES

- La distribución de materia seca en las estructuras de la planta no es afectada por el N; pero la acumulación de materia seca en cada órgano y la biomasa aérea se incrementan con el N.
- La distribución de materia seca en los órganos de la planta no es afectada por el cambio en densidad. En contraste, la acumulación de materia seca por m⁻² en cada órgano y la biomasa aérea se incrementan al elevar la densidad de población.
- Con la aplicación de N se incrementan el número de semillas m⁻² y el rendimiento.
- Con el aumento en DP se incrementa el número de semillas m⁻² y el rendimiento.
- Con la combinación de N y densidad de población alta, se obtienen una mayor producción de biomasa y un rendimiento de semilla por unidad de superficie más alto.

LITERATURA CITADA

- Cardinali, F.J. y G.A. Orioli. 1993. Influencia de la densidad de siembra y las condiciones ambientales en la emergencia del girasol. Turrialba. 43(3): 193-195.
- Dahiphale, V.V. y K.R. Pawar. 1993. Effects of irrigation schedules on dry matter production and biometric growth parameters of rabi sunflower. J. Maharashtra Agric. Univ. 18: 358-360.
- Donald, C.M. y J. Hamblin. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Adv. Agron. 28: 361-406.
- Escalante E., J.A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. pp. 28-32. In: Agroproductividad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Escalante E., J.A. y M.T. Rodríguez G. 1994. Mayor eficiencia en el uso del nitrógeno en girasol mediante el manejo del cultivo. pp. 345-347. In: Agroecología y Desarrollo Sostenible. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Escalante, E., J.A., Ma.T, Rodríguez, A. De Haro y E.Fereres C. 1998. Acquisition, partitioning and remobilization of nitrogen and their relationship to seed yield in Mediterranean sunflower. Helia 21(29): 81-94.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª ed. Offset Larios.
- Gifford, R.M, J.H. Thorne, W.D. Hitz y R.T. Giaquinta. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. Science 225: 801-808.
- Habib, A, S. Paigham, A.Z. Khan, S. Hamad, M. Muhammad, H. Akbar, P. Shah, H. Saeed y M. Munir. 1996. Biomass, grain yield and harvest index and criteria for comparing corn types at different nitrogen levels and planting densities. Shad J. Agric. 12: 261-267.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1997. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. México, DF.

- Khokani, M.G, R.P.S. Ahlawat y S.J. Trivedi. 1993. Effect of nitrogen and phosphorus on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Indian J. of Agron. 38(3): 507-509.
- Olalde G., V.M, J.A. Ecalante E, P. Sánchez G, L. Tijerina C, E.M. Engleman y A.A. Mastache L. 2000. Eficiencia en el uso del agua, nitrógeno y rendimiento del girasol, en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. Terra 18: 51-59.
- Ortegón M., A.S., A. Escobedo M., J. Loera G., A. Díaz F. y E. Rosales R. 1993. El girasol. Trillas. México, DF.
- SAGAR. 1997. Centro Estadístico Agropecuario de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. México, D.F.
- Sarmah, P.C., S.K. Katyal y O.P.S. Verma. 1992. Growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) varieties in relation to fertility level and plant population. Indian J. Agron. 37: 285-289.
- 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: 76-78.
- Schneider, A.A. 1992. Production of semidwarf and dwarf sunflower in Northern Great Plains of the United States. Field Crops Res. 30: 391-401.
- Schneider, A.A. y J.F. Miller. 1981. Description of sunflower growth stages. Crop Sci. 21: 901-903.
- Sharma, R.S. 1994. Influence of irrigation schedule and fertility levels on yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Indian J. Agron. 39: 496-497.
- Sinclair, T.R. y C.T. de Wit. 1975. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. Crop Sci. 189: 565-567.
- Steer, B.T. y P.J. Hocking. 1983. Leaf and floret production (*Helianthus annuus* L.) as affected by nitrogen supply. Ann. Bot. 52: 267-277.
- Steer, B.T., P.D. Coaldrake, C.J. Pearson y C.P. Canty. 1986. Effects of nitrogen supply and population density on plant development and yield components of irrigated sunflower (*Helianthus annuus* L.). Field Crops Res. 13: 99-115.
- Van der Werf, A. 1996. Growth analysis and photoassimilates partitioning. pp. 1-20. In: E. Zanski y A.A. Schaffer (eds.). Photoassimilate distribution in plants and crops. Marcel Dekker, New York.
- Vranceanu, V.A. 1977. El girasol. Mundi Prensa. Madrid.
- Zaffaroni, E. y A.A. Schneider. 1991. Sunflower production as influenced by plant type, plant population, and row arrangement. Agron. J. 83: 113-118.

TECNOLOGIA DE PRODUCCION DE CHILE SECO EN EL ESTADO DE ZACATECAS, MEXICO

Technology of Dry Chili Pepper Production in the State of Zacatecas, Mexico

Elivier Reyes Rivas¹, Homero Salinas González², Angel G. Bravo Lozano² y Luz E. Padilla Bernal³

RESUMEN

El estado de Zacatecas es el principal productor de chile seco (*Capsicum annum* L.), a partir de los años ochenta. De 1991 a 1996, aportó 29 032 t año⁻¹ de chile mirasol/guajillo y ancho, principalmente 51.16% de la oferta nacional. Esto significó una derrama para el Estado de 342 657 000 pesos por año. El objetivo de este estudio fue conocer el uso de tecnología por productores con diferente superficie dedicada a la producción de chile y la relación de ésta con el rendimiento de chile por hectárea. Con base en un padrón de 1498 productores de chile seco, se comprobó que 91.6% de predios tiene menos de 10 ha, los cuales cultivan 59.3% de la superficie sembrada con chile seco en el Estado. En contraste, los predios de más de 30 ha representaron sólo 10.1% de la superficie del Estado y es sembrada por 1.01% de los productores. De información directa de 98 productores ubicados en 27 comunidades de 6 municipios se encontraron correlaciones positivas entre el rendimiento y las siguientes variables: tamaño de predio (0.653), aplicación de nitrógeno (0.328), fósforo (0.230), contratación de mano de obra (0.302) y uso de otros agroquímicos (0.206). Además, se encontraron diferencias significativas ($P = 0.05$) al obtener mayor rendimiento de chile seco, a medida que aumentaba el tamaño de predio, con 1.46, 1.85, 2.10 y 2.28 t ha⁻¹ de chile seco para los predios de menos de 10, de 10 a 20, de 20 a 30 y más de 30 ha, respectivamente. También hubo diferencia estadística entre tamaños de predio para las variables: contratación de mano de obra, aplicación de fertilizantes y uso de otros agroquímicos, lo cual no

sucedió con el número de riegos aplicados. El estudio concluye que hay mayor uso de tecnología y de rendimiento por hectárea según aumenta el tamaño de predio de siembra de chile seco en el estado de Zacatecas.

Palabras clave: Diagnóstico, sistema de producción, tamaño de predio, rendimiento, tipos de chile.

SUMMARY

Since the 1980s, the state of Zacatecas has been the most important producer of dry pepper (*Capsicum annum* L.). In Mexico, during the period 1991-1996, the annual production in the state of Zacatecas 29 032 t of 'mirasol/guajillo' and 'ancho' peppers, 51.16% of the domestic supply. This meant 342 657 000 Mexican pesos a year for the state. The objective of this study was to identify technology used by producers according to the size of their farms and relate this to yields of dry chili peppers per hectare. Of the 1498 producers of dry chili pepper, 91.6% have less than 10 ha under cultivation. These farmers represent 59.3% of the state's area cultivated under chili pepper. In contrast, farms of more than 30 ha represent 10.1% of the area of the state and is cultivated by 1.01% of the producers. From interviews of 98 farmers from 27 communities in six municipalities, positive correlations were found between yield and the following variables: farm size (0.653), application of nitrogen (0.328), application of phosphorus (0.230), hired labor (0.302) and use of other agrochemicals (0.206). Significant differences ($P = 0.05$) in dry chili pepper yields: higher yields were obtained as farm size increased. For farms of less than 10 ha, mean yield was 1.46 t ha⁻¹; for those between 20 and 30 ha, it was 1.85 t ha⁻¹; and for farms larger than 30 ha, mean yield was 2.28 t ha⁻¹. Statistical differences were also found among farm sizes for the variables hired labor, application of fertilizers, and use of other agrochemicals, but not for the number of irrigations. The study concludes that, in the state of Zacatecas, the larger the farm, the greater the use of technology and yield per hectare.

¹ Universidad Autónoma de Zacatecas, Apartado Postal 573, Suc. "C", 98068 Zacatecas, Zac., México.

² Campo Experimental Calera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Apartado Postal 18, 98500 Calera de Víctor Rosales, Zac. (hsalinas@campus.zac.itesm.mx)

³ Facultad de Contaduría y Administración, Posgrado, Universidad Autónoma de Zacatecas.

Index words: Diagnostic, production systems, farm size, yields, dry chili peppers.

INTRODUCCION

El estado de Zacatecas destaca como el principal productor de chile seco (*Capsicum annuum* L.) en México a partir de los años ochenta; en el periodo de 1991 a 1996, aportó un promedio de 29 032 t año⁻¹ de chile mirasol/guajillo y ancho, principalmente, que representa 51.16% de la oferta nacional (Cuadro 1). Además, se cultivan otros tipos de chile, entre los cuales predominan el chile puya y pasilla.

El chile seco es el más importante en este Estado, tanto por la superficie de riego sembrada, como por la derrama económica que genera. En el periodo de 1991 a 1996, en promedio, hubo un ingreso de 342 657 pesos por año, en comparación con el resto de las hortalizas cultivadas en la región (20 especies hortícolas). El cultivo para chile seco representó 61% de la superficie cosechada en 1995, que junto con el chile en verde, papa, cebolla, jitomate y brócoli ocuparon 91% de este grupo de cultivos, lo cual representa así una de las actividades agrícolas esenciales del sector rural. Cabe señalar que, del valor total de la producción estatal que se sembró bajo el sistema de riego, esta hortaliza aportó 18.9% en 1995. En el aspecto laboral, ocupa de 80 a 90 jornales ha⁻¹ durante el proceso productivo, aunque algunos autores estiman que se requieren de 150 a 165 jornales cuando se cosecha en seco (Ledezma y Ruíz, 1995), lo cual generaría una contratación de más de tres millones de jornales por ciclo en Zacatecas.

La trascendencia de esta entidad como productora de chile seco es resultado de la eficiencia en el sistema de producción, de las grandes extensiones de tierras

que se destinan para ello y del esfuerzo que los campesinos realizan para obtener el producto. Sin embargo, el sistema de producción extensivo que predomina en el cultivo de chile seco en el Estado, así como las tendencias negativas que se registran en el rendimiento por hectárea (Cuadro 2), inducen a este estudio, cuyo objetivo fue conocer la tecnología de producción que utilizan los pequeños, medianos y grandes productores de chile seco, con la hipótesis de que el uso de tecnología y el rendimiento de chile seco están relacionadas entre sí y en función al tamaño de predio.

MATERIALES Y METODOS

Para llevar a cabo el presente estudio se revisaron los datos existentes y se efectuó un levantamiento de información directa con los productores.

Fuentes Secundarias

La caracterización inicial del sistema de producción de chile seco se realizó a través del análisis de datos de un padrón de 1498 productores de chile en el estado de Zacatecas, proporcionado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR), delegación Zacatecas. Además se consideró información disponible de estadísticas y características generales de la producción de esta hortaliza [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI (1995); Fondo de Garantía de Fomento para la Agricultura, FIRA (1995); Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, ITESM (1996a,b); Nacional Financiera, NAFINSA (1992)]. Posterior a la caracterización inicial, y con

Cuadro 1. Participación por estado en la producción nacional de chile seco en el periodo de 1991 a 1996.

Estado	1991		1992		1993		1994		1995		1996	
	Prod.	Partic.										
	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%
Aguascalientes	688	2.1	2,091	2.6	1,977	2.9	1,371	3.1	1,337	2.5	1,442	3.2
Durango	750	2.3	3,748	4.6	1,409	2.0	2,017	4.6	2,524	4.7		0.0
Guanajuato	865	2.7	1,589	1.9	2,354	3.4	2,619	5.9	2,037	3.8	2,083	4.6
Jalisco	3,675	11.5	3,659	4.5	4,473	6.5	2,992	6.8	3,039	5.6	3,195	7.1
San Luis Potosí	2,213	6.9	12,059	14.8	22,380	32.5	15,207	34.4	14,459	26.9	13,480	30.1
Zacatecas	20,110	62.8	53,189	65.2	28,958	42.1	15,993	36.2	27,940	51.9	20,776	46.3
Subtotal	27,940	87.3	76,335	93.6	61,466	89.3	40,199	91.0	51,336	95.4	40,976	91.4
Otros Estados	4,062	12.7	5,225	6.4	7,382	10.7	3,955	9.0	2,461	4.6	3,849	8.6
Nacional	32,002	100	81,560	100	68,848	100	44,154	100	53,797	100	44,825	100

Prod. = Producción total estatal. Partic. = Participación del Estado a la producción total nacional).

Fuente: SAGAR (1999).

Cuadro 2. Cambios con respecto al año anterior en la superficie sembrada y cosechada, rendimiento y producción total de chile seco en Zacatecas durante 1985 a 1996.

Año	Superficie [†] ha	Cambio		Superficie [†] ha	Cambio		Rendimiento kg ha ⁻¹	Cambio		Rendimiento [§] t	Cambio	
		Anual	Total		Anual	Total		Anual	Total		Anual	Total
		----- % -----	----- % -----		----- % -----	----- % -----		----- % -----	----- % -----		----- % -----	----- % -----
1985	19,495		100.0	19,309		100.0	1,613		100.0	31,145		100.0
1986	14,482	-25.7	74.3	14,062	-27.2	72.8	1,431	-11.3	88.7	20,122	-35.4	64.6
1987	15,660	8.1	80.3	15,560	10.7	80.6	1,453	1.5	90.1	22,608	12.4	72.6
1988	24,611	57.2	126.2	24,436	57.0	126.6	1,258	-13.4	78.0	30,740	36.0	98.7
1989	25,622	4.1	131.4	25,554	4.58	132.3	1,493	18.7	92.6	38,153	24.1	122.5
1990	15,494	-39.5	79.5	15,274	-40.2	79.1	1,556	4.2	96.5	23,766	-37.7	76.3
1991	15,650	1.01	80.3	13,194	-13.6	68.3	1,471	-5.5	91.2	19,408	-18.3	62.3
1992	39,123	149.9	200.7	38,767	193.8	200.8	1,372	-6.7	85.1	53,188	174.1	170.8
1993	21,652	-44.7	111.1	21,652	-44.1	112.1	1,337	-2.6	82.9	28,948	-45.6	92.9
1994	11,613	-46.4	59.6	11,613	-46.4	60.1	1,377	3.0	85.4	15,991	-44.8	51.3
1995	18,363	58.1	94.2	18,363	58.1	95.1	1,522	10.6	94.3	27,940	74.7	89.7
1996	13,583	-26.0	69.7	13,283	-27.7	68.8	1,564	2.8	97.0	20,776	-25.6	66.7

[†] Superficie sembrada. [‡] Superficie cosechada. [§] Rendimiento total.

Fuente: SAGAR (1999).

base en ella, se procedió a analizar las características de estratos de productores por tamaño de predio a través de información directa de productores en el año 1996.

Procedimiento y Diseño de la Muestra a Productores

Para el diseño de la muestra se tomó información del padrón de 1498 productores de chile seco, registrados en 1994; con ello se determinaron los municipios con mayor número de superficie sembrada. De los municipios seleccionados, se consideraron para muestreo sólo las comunidades con más hectáreas sembradas con chile, dando un total de 27 y quedando distribuidas por municipio de la siguiente forma: Guadalupe (10), Pánfilo Natera (4), Pánuco (4), Villa Hidalgo (4), Zacatecas (4) y Enrique Estrada (2 comunidades). Además, se clasificaron los productores de acuerdo con el método de muestreo aleatorio estratificado, no proporcional, que consistió en dividir en subgrupos, denominados estratos (por tamaño de predio), en los cuales se seleccionó una muestra aleatoria (Mason y Lind, 1995). El tamaño de la muestra se determinó mediante la fórmula:

$$n = \frac{N}{N(d)^2 + 1}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población

d = Grado de precisión

$$n = \frac{1498}{1498(0.1)^2 + 1} = 93.74$$

Se consideró un grado de precisión de 10%, resultando en un tamaño de muestra de 94 productores. Sin embargo, se aplicaron 98 cuestionarios en total, en 27 comunidades de seis municipios. Estos municipios concentraron 55% de la superficie sembrada con chile seco, en 1994. Se formaron cuatro estratos por tamaño de predio de acuerdo con el número de hectáreas cultivadas: hasta 10 ha, más de 10 ha, más de 20 ha y más de 30 hectáreas. Con los resultados encontrados en las encuestas, se procedió a realizar un análisis estadístico para determinar si estos cuatro estratos eran diferentes o iguales estadísticamente ($P = 0.05$).

Los datos que se obtuvieron de las encuestas aplicadas fueron con relación a las variables: superficie plantada, tipos de chile, fertilización aplicada (N, P, K), agroquímicos usados (insecticidas, herbicidas, fungicidas), número de riegos, mano de obra utilizada (plantación, deshierbe y cosecha), prácticas mecánicas (preparación del suelo y cultivos) y rendimiento.

Para la identificación de las variables más importantes relacionadas con el rendimiento de chile seco, se realizaron correlaciones simples (Pearson). Una vez identificadas las variables asociadas a rendimiento, se compararon entre tratamientos (estratos de tamaño de predio) utilizando un diseño de bloques completamente al azar, con diferentes repeticiones para cada estrato. Además, se efectuó una comparación de medias (Tukey, $P = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

Tamaño de la Unidad de Producción

Con base en la caracterización realizada del sistema de producción de chile seco en la región del altiplano zacatecano, se comprobó que 91.6% de las unidades de producción se ubican dentro del Estrato 1, o sea, con menos de 10 ha. Este estrato de productores siembra 59.3% de la superficie cultivada con chile seco. Esto coincide con estudios previos, en los cuales se menciona que cerca de 50% de la superficie, cultivada en Zacatecas, corresponde a productores con menos de 10 hectáreas (Gómez y Schwentesius, 1994). Además, lo anterior indica una polarización importante del sistema de producción. En contraste, el Estrato 4 con unidades de producción de más de 30 ha representó 10.1% del total de superficie (Figura 1), cultivada por sólo 1.01% de los productores.

Características de Cada Tamaño de Unidad de Producción

Tipos de chile seco. Dentro de los tipos que se cultivaron, destacaron: mirasol/guajillo (55%), puya (26%), ancho (12%), pasilla (6%) y mulato (1%). Del área cultivada con estos tipos destacó el municipio Pánfilo Natera con 30%, seguido por Guadalupe con 26% y Pánuco con 16%; sin embargo, esta proporción se invierte al considerar el número de productores: el municipio Guadalupe concentró 47.9%, Pánuco 14.3% y Pánfilo Natera 11.6%. También se encontró cierta especialización por municipio para la siembra de diferentes tipos de chile; por ejemplo, en el caso del mirasol/guajillo se sembró en 31.3, 20.1 y 13.3% de la superficie sembrada en los municipios

Guadalupe, Pánuco y Villa Hidalgo, respectivamente. Por otro lado, para el caso del chile puya, sólo el municipio Pánfilo Natera cultivó 1564 ha (88.7%) del total de la superficie sembrada con este tipo. El pasilla se cultivó principalmente en el municipio Pánuco. Esta especialización se debe más a preferencias de productores e influencia de acopiadores en el proceso de comercialización, que a características agroecológicas entre áreas productoras o al tamaño del predio de producción (estratos).

Tecnología Aplicada para Cada Tamaño de Unidad de Producción

De acuerdo con el análisis estadístico, se determinó que la estratificación de productores en grupos de 10 ha fue adecuada (Cuadro 3). Por otro lado, una vez identificadas las variables más importantes relacionadas a rendimiento (Cuadro 4), se encontraron diferencias significativas para las variables de uso de tecnología y rendimiento por hectárea entre tratamientos (estratos tamaño de predio). Esta desigualdad entre los estratos significa que los diferentes niveles de tecnología, que se utilizan, tienen un efecto en el volumen de producción (Cuadro 3), lo cual coincide con resultados encontrados a nivel experimental por Locascio y Fiskell (1977), O'Sullivan (1979), Batal y Smittle (1981), Bravo *et al.* (2000) y Castellanos *et al.* (2000). Asimismo, de acuerdo con los resultados del análisis de correlación simple, considerando el total de la muestra, se puede distinguir que la variable con mayor coeficiente de correlación es el número de hectáreas con 0.653, al tomar como variable dependiente el rendimiento (Cuadro 4). Aun cuando por correlación simple no hubo diferencia estadística, sí se observó

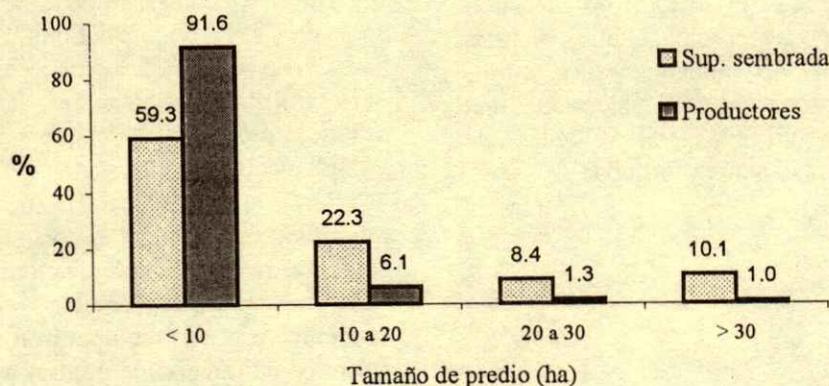


Figura 1. Porcentaje de la superficie sembrada de chile seco en el área de estudio y de productores que la cultivaron por tamaño de predio. 1994.

Cuadro 3. Uso de tecnología por tamaño de unidad de producción en el ciclo agrícola primavera verano de 1996.

Tamaño de predio	Superficie promedio	Aplicación nitrógeno	Aplicación fósforo	Agroquímicos	Número de riegos	Mano obra contratada	Rendimiento
----- ha -----	-----	----- kg ha ⁻¹ -----	-----	L ha ⁻¹		Jornal año ⁻¹	t ha ⁻¹
< 10	2.76 d	82.48 c	57.53 c	2.43 b	8.85 b	115.47 c	1.46 d
de 10 a 20	14.46 c	129.76 b	108.31 b	2.23 c	9.76 ab	133.86 b	1.85 c
de 20 a 30	26.66 b	147.50 ab	126.50 ab	2.57 b	10.16 a	139.91 b	2.10 b
> 30	43.33 a	153.67 a	150.00 a	3.11 a	9.11 b	148.54 a	2.28 a

Medias en las columnas con letra diferente son estadísticamente diferentes (P = 0.05).

Cuadro 4. Correlación del rendimiento de chile seco con variables de uso de tecnología para el ciclo agrícola primavera-verano 1996.

Variable dependiente	Variables independientes					
	Tamaño de predio	Nitrógeno	Fósforo	Agroquímicos	Número de riegos	Mano de obra contratada
	ha	----- kg ha ⁻¹ -----	-----	L ha ⁻¹		jornales
Rendimiento (t ha ⁻¹)	0.653	0.328	0.206	0.230	0.078	0.302

una diferencia significativa a obtener mayor rendimiento a medida que incrementó la superficie, cuando se analizó por tamaños de predio (Cuadro 3). Lo mismo sucede con las unidades de nitrógeno aplicado, cuya correlación con rendimiento se ubicó en 0.328 y la mano de obra en 0.302. No obstante que las variables de uso de agroquímicos y de unidades de fósforo aplicado tuvieron correlaciones menores (0.230 y 0.206, respectivamente), también se asocian con la producción de chile seco, tanto por su correlación positiva, como por la diferencia estadística entre estratos de tamaño de predio (Cuadro 3).

Es importante señalar que, en las unidades de producción con menos de 10 hectáreas, se contrata menos mano de obra que en los otros estratos, ya que la aplicación de insumos agrícolas se realiza con mano de obra familiar. Además, los productores con predio de tamaño pequeño (< 10 ha) utilizan menos fertilizantes (Cuadro 3), por una probable carencia de recursos económicos y por la desestimulación al uso de tecnología que se ha dado en el campo mexicano (Zamora, 1993; Salinas *et al.*, 1999). Esto explicaría porqué este tipo de productores tienden a asociarse más como aparceros que los productores de otros estratos. Por lo tanto, una amplia superficie de siembra en el Estado se da bajo este sistema de asociación de productores, quienes comparten costos de producción, buscando así que los gastos que se originan durante el proceso productivo disminuyan para cada una de las partes involucradas (Gómez y Schwentesius, 1994).

CONCLUSIONES

Los tipos de chile seco predominantes en el estado de Zacatecas fueron mirasol/guajillo y puya, además se observó la preferencia de ciertos tipos de chile por municipio.

De acuerdo con la caracterización realizada del sistema de producción de chile seco en la región, 91.6% de los productores cultivaron 59.3% de la superficie sembrada en 1994, en unidades de producción menores que 10 ha. De los productores, 6.1% sembró 22.3% en superficies entre 10 y 20 ha, y sólo 2.4% de los productores se ubicaron en los estratos de más de 20 ha, quienes cultivaron 18.5% de la extensión.

Se encontraron diferencias estadísticas en la utilización de tecnología entre los diferentes estratos (tamaño de predio). Se encontró un mayor uso de tecnología según aumentó el tamaño del predio; a la vez, se observó también un incremento en el rendimiento por hectárea. La producción de chile seco cambió hasta en 64.5%, al pasar del menor al mayor uso de tecnología.

LITERATURA CITADA

- Batal, K.M. y D.A. Smittle. 1981. Response of bell pepper to irrigation, nitrogen and plant population. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106: 259-262.
- Bravo L., A.G., B. Cabañas C., J. Mena C., R. Velázquez V., S. Rubio D. y F. Mojarro D. 2000. Guía para la producción de chile seco en el altiplano de Zacatecas. Folleto para productores. Campo Experimental Calera. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México (en prensa).

- Castellanos, J.Z., S. Villalobos, J.S. Ojodeagua y P. Vargas. 2000. Requerimiento nutrimental del chile poblano en el Bajío. *In*: 2o Congreso Internacional de Chiles Picosos. CONEXPO, León, Guanajuato, México.
- FIRA. Fondo de Garantía de Fomento para la Agricultura. 1995. Perfil del cultivo del chile en México y la participación del estado de Zacatecas, Zac. FIRA.
- Gómez C., M.A. y R. Schwentesius. 1994. El chile seco en Zacatecas y sus perspectivas en el TLC. pp. 63-92. *In*: El TLC y sus repercusiones en el sector agropecuario del Centro-Norte de México. Universidad Autónoma Chapingo, CRUCEN, Zacatecas.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1995. Anuarios estadísticos 1992, 1993, 1994. Zacatecas, Zac.
- ITESM. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 1996a. Diagnóstico y estrategia para el sector agropecuario de Zacatecas, Centro de Planeación Agropecuaria. Resumen ejecutivo ITESM-Campus Zacatecas.
- ITESM. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 1996b. Identificación de oportunidades y diseño de estrategias para el sector agropecuario del estado de Zacatecas: hortalizas, chile seco, ajo y cebolla. Centro de Planeación Agropecuaria, ITESM-Campus Zacatecas.
- Ledezma M., J.C. y R.R. Ruiz G. 1995. El sistema chile seco en México, problemática económica-productiva y alternativas de solución. Serie: Avances de Investigación. Universidad Autónoma Chapingo, Cruce, Zacatecas.
- Locascio, S.J. y J.G.A. Fiskell. 1977. Pepper production as influenced by mulch, fertilizer placement and nitrogen rate. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 36: 113-117.
- Mason R. y D.A. Lind. 1995. Estadística para administración y economía. The University of Toledo. Alfaomega, Ohio, USA.
- NAFINSA. Nacional Financiera S.A.. 1992. Proyecto de factibilidad técnica-económica para el establecimiento de una planta deshidratadora de chile en el ejido "El Lampotal", del municipio de Vetagrande, Zacatecas, Zac.
- O'Sullivan, J. 1979. Response of peppers to irrigation and nitrogen. *Can. J. Plant Sci.* 59: 1085-1091.
- SAGAR Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1999. Anuario Estadístico 1991 a 1998. Centro de Estadística Agropecuaria, SAGAR, México, DF.
- Salinas G., H., R. Ramirez y A. Rumayor-R. 1999. A whole-farm model for economic analysis in a goat production systems in Mexico. *Small Ruminant Res.* 31: 157-164.
- Zamora G., R. 1993. Crisis y modernización del agro en México. 1940-1990. Difusión Cultural. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

CUBIERTAS VEGETALES Y BARRERAS VIVAS: TECNOLOGIAS CON POTENCIAL PARA REDUCIR LA EROSION EN OAXACA, MEXICO¹

Cover Crops and Plant Barriers: Promising Technologies for Soil Erosion Control in Oaxaca, Mexico

J. Ruiz V.², M. Bravo E.³ y G.Loeza R.⁴

RESUMEN

Se evaluaron tratamientos de coberturas vegetales para la reducción de la erosión y conservación de la humedad, así como especies con potencial para barreras vivas a diferentes altitudes. En suelos de lomerío, la adición de 5 cm de cañuela de maíz, picada al momento de la primera labor, resultó en mayor contenido de humedad aprovechable y en mayor rendimiento de cacahuete y maíz. En suelos de roza-tumba-quema, la no quema de residuos de monte bajo resultó en reducciones importantes en las tasas de erosión, pero no se alcanzaron los límites de tolerancia requeridos para su uso sostenible. La presencia de residuos sobre la superficie también resultó en mayor rendimiento de maíz al propiciar una mayor conservación de humedad. Dentro de las especies con potencial para barrera viva a diferentes altitudes se identificaron a la higuera y nopal tunero (1500 a 1700 m), maguey mezcalero (1600 a 1800 m), pasto vetiver (1700 a 2000 m) y durazno criollo (2000 a 2200 m).

Palabras clave: Erosión hídrica, prácticas vegetativas de control.

SUMMARY

Plant residues and several plant species considered to have potential for use as live barriers were evaluated

¹ Proyecto DEPI-IPN No. 945 277 y SIBEJ-CONACYT RNMA-012.

² Becario COFAA, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Calle Hornos 1003, 71230 Sta. Cruz Xoxocotlán, Oax. (jvega@redipn.ipn.mx)

³ Centro Nacional de Investigación para Producción Sostenible, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Apartado Postal 7-116, Morelia, Mich.

⁴ Ex Investigador del CAE Valles Centrales de Oaxaca, INIFAP, SAGAR.

Recibido: Junio de 2000. Aceptado: Abril de 2001.
Publicado en Terra 19: 89-95.

for soil water conservation and erosion control at different altitudes. In soils on slopes, the addition of a 5-cm layer of chopped maize residue induced higher soil water contents which resulted in larger seed yield in both maize and peanuts. In mountain soils where slash-and-burn is practiced, not burning the scrub vegetation resulted in important reductions in soil erosion, but not sufficient to reach the tolerance rates for sustainable soil use. The presence of the slashed vegetation resulted in higher maize yields by better conserving soil moisture. Some of the promising species for live barriers at different altitudes were castor bean and prickly pear (1500 to 1700 m), agave (1600 to 1800 m) vetiver grass (1700 to 2000 m) and local race peach (2000 to 2200 m).

Index words: Water erosion, plant control practices, conservation.

INTRODUCCION

La erosión del suelo es uno de los factores más importantes que determinan la productividad y sostenibilidad agrícola de las áreas de ladera. Los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo, que favorecen el crecimiento y rendimiento de las plantas, pueden ser severamente minimizados por la erosión y, por consiguiente, amenazar la sostenibilidad de la agricultura. En Oaxaca, se carece de información definitiva sobre el manejo para la conservación de áreas agrícolas ubicadas en suelos de ladera.

Los recursos naturales se manejan en forma no sostenible por diversas causas. De acuerdo con el International Development Research Centre (IDRC, 1994), en los países en desarrollo, ello se debe a la pobreza y a la cultura de explotación colonialista de los recursos, a un enfoque de producción orientado a la exportación (monocultivos, dependencia tecnológica), a conflictos agrarios y destrucción de organizaciones tradicionales, y a formas de tenencia de la tierra. Para resolver la relación entre pobreza y sostenibilidad de

los recursos en México, según Urquidi (1996), se requiere de inversiones y técnicas que eviten el deterioro de los recursos y que aumenten los ingresos, principalmente de la población más empobrecida.

De acuerdo con la FAO (1991), las acciones estratégicas para alcanzar la sostenibilidad en áreas de temporal son: irrigación en pequeña escala, conservación de suelo y agua, mejoramiento en el manejo del ganado, y mejoramiento del abasto de forrajes para la época seca. En áreas de montaña y lomerío, debe realizarse el control de la erosión y manejo de cuencas, uso adecuado de la tierra, promoción de la Agroforestería y reducción del sobrepastoreo. Dos características importantes que deben poseer las tecnologías para pequeños productores son: reducir la dependencia sobre recursos externos y mantener y mejorar la biodiversidad en el sistema (Altieri y Anderson, 1986).

Dentro de las opciones técnicas para lograr una reducción importante de la erosión hídrica, se tiene a la labranza de conservación y las barreras vivas para la formación paulatina de terrazas.

En la labranza de conservación, se persiguen la retención máxima de residuos en la superficie y la no-labranza o la mínima remoción del suelo. Esta tecnología debe permitir que, después de la siembra, no menos de 30% de la superficie del suelo debe quedar cubierta con residuos de vegetales (Figuroa y Morales, 1992). La cubierta vegetal protege al suelo del impacto erosivo de las gotas de lluvia y, además, actúa como una protección mecánica contra el esfuerzo cortante del escurrimiento.

Según Hayes y Kimberlin (1978), no es aconsejable la remoción de residuos de cosecha de los terrenos con pendiente, debido al incremento del riesgo de erosión hídrica. De los terrenos planos pueden retirarse sólo si no existe riesgo de erosión eólica.

Las barreras vivas son obstáculos densos al nivel de la superficie del suelo formados con plantas (pastos, arbustos, etc.) con el propósito de modificar y reducir la velocidad y el esfuerzo cortante del escurrimiento en una ladera. Por lo tanto, los principales beneficios de las barreras son: (1) reducir la erosión del suelo (laminar, en canalillos y en cárcavas) a través de la disminución, tanto de la longitud como del gradiente de la pendiente; (2) retener sedimentos en la parcela donde se originan, evitando la contaminación de cuerpos de agua localizados fuera de la parcela; y (3) aumentar la

humedad del suelo y con ello favorecer el buen desarrollo de las plantas (Dabney *et al.*, 1993; Meyer *et al.*, 1995; Van Dijk *et al.*, 1996). Las barreras vivas se han utilizado con éxito en algunas regiones tropicales de México (Zúñiga *et al.*, 1993). Especies como *Gliricida sepium* han probado su utilidad para reducir la escorrentía y propiciar la formación paulatina de terrazas.

El propósito del presente trabajo es: evaluar el potencial que tienen la labranza de conservación y las barreras vivas para reducir la erosión del suelo en regiones de agricultura tradicional del estado de Oaxaca en los agrosistemas de agricultura de ladera y de roza-tumba y quema (RTQ).

MATERIALES Y METODOS

Coberteras de Cañuela de Maíz

En 1995 y 1996, se realizó la aplicación de una capa de cañuela de maíz picada con machete, equivalente a 3 t ha⁻¹, en dos parcelas comerciales de cacahuete y maíz de temporal, establecidas en un suelo de ladera de baja fertilidad, de textura media y con pendiente moderada (Cuadro 1), clasificado como Regosol (INEGI, 1988). La cañuela se aplicó inmediatamente después de realizada la primera labor. La cañuela de maíz es la porción rechazada por el ganado al alimentarlos en el traspasio de la casa.

Las densidades de siembra estimadas fueron de 66 000 plantas ha⁻¹ para cacahuete y de 37 000 plantas ha⁻¹ para maíz, utilizando en ambos casos las variedades criollas regionales conocidas como maíz "Criollo Bolita" y cacahuete "Poblano". La fecha de

Cuadro 1. Características edáficas de dos suelos de ladera. Magdalena Mixtepec, Oaxaca.

Características	Cacahuete o maíz	Maíz de Cerro	Maíz de Valle
pH (1:2 en agua)	6.6	6.24	5.2
Materia orgánica (%)	0.37	3.28	5.7
Nitrógeno (%)	0.19	0.15	0.3
Fósforo (mg kg ⁻¹)	9.0	3.5	4.8
Potasio (cmol kg ⁻¹)	2.2	0.67	1.4
Pendiente (%)	5.0	70.0	55.0
Arcilla (%)	15.0	25.14	10.6
Arena (%)	70.1	58.2	68.7
Textura superficial	Migajón arenoso	Migajón arcillo-arenoso	Migajón arcillo-arenoso

siembra para ambos cultivos fue a fines de abril para cacahuete y a mediados de junio para maíz. De acuerdo con la dosis y método de fertilización tradicionales, sólo el maíz recibió una fertilización con base en sulfato de amonio a razón de cuatro bultos ha^{-1} . Cada tratamiento se estableció en una franja de 20 surcos de 60 cm de ancho y 50 m de largo, lográndose una cobertura inicial cercana al 100%.

Las variables medidas incluyeron: humedad del suelo por el método gravimétrico (0 a 15 cm) y desarrollo fenológico a nivel semanal, y rendimiento de grano y forraje al final del ciclo. Para evaluar el rendimiento, se realizaron ocho muestreos por tratamiento, cosechando dos surcos de 10 m de largo por repetición. Se realizó el análisis de varianza para determinar la desviación de medias.

Labranza de Conservación

A fines de mayo de 1996, se establecieron dos parcelas de maíz de 0.50 ha de extensión, cada una bajo el sistema de roza-tumba-quema con dos productores cooperantes en Magdalena Mixtepec. En un predio, se sembró la variedad criolla local conocida como "Maíz de Valle" y, en el otro, la variedad "Maíz de Cerro". La primera variedad es de porte intermedio y tiene una duración de 135 días de la siembra a la madurez, mientras que la segunda es de porte alto y tiene un ciclo de 190 días (Ruiz, 1998). Las características edáficas de los predios se muestran en el Cuadro 1.

El productor realizó la roza y tumba durante el mes de marzo y la quema se llevó a cabo a principios de mayo. En la mitad del predio no se hizo la quema, quedando los residuos formando una cubierta uniforme de 5 a 10 cm de espesor, la cual alcanzó un porcentaje de cobertura cercana a 90. La siembra se realizó a espeque, depositando tres a cuatro semillas cada 90 a 100 cm, para obtener una densidad de siembra cercana a 38 000 plantas ha^{-1} . Durante el desarrollo del cultivo, se midieron semanalmente la humedad del suelo (0 a 20 cm), los escurrimientos utilizando lotes de 1x3 m, y la erosión por medio de 10 rondanas distribuidas en cada tratamiento. Para realizar esta estimación, se determinó la densidad aparente del suelo (Da) por el método de excavación, determinando la pérdida de suelo (Ps) como:

$$Ps = Da \text{ (g cm}^{-3}\text{)} \times (1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}\text{)} \times \text{espesor erosionado (cm)}$$

Al final del ciclo, se estimó el rendimiento de grano y forraje realizando ocho muestreos por tratamiento, cosechando 16 matas de maíz por repetición. Se realizó el análisis de varianza para la determinación de la desviación de medias.

A fin de establecer una relación más cuantitativa entre los escurrimientos, la lluvia y la erosión, en 1997, se establecieron dos lotes de escurrimiento de 1.5 m^2 por parcela con quema y no quema de residuos, en un terreno sembrado con maíz, con una pendiente media de 47%. Las variables registradas fueron: precipitación, humedad del suelo y volumen de los escurrimientos, todas a nivel semanal. La cantidad de sedimentos presentes se determinó tomando una muestra de 0.5 L del total de escurrimientos colectados, previa agitación. La muestra se secó en estufa a 100 °C hasta peso constante.

Barreras Vivas

Con el propósito de evaluar el grado de adaptación de distintas especies con potencial para barrera, durante la segunda quincena de junio de 1997 se establecieron parcelas de observación de especies con potencial para barreras vivas, como higuera (*Ricinus communis*), leucaena (*Leucaena glauca*) y pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides*). Las parcelas se ubicaron en suelos de ladera con pendientes cercanas a 15% y a diferentes altitudes en las localidades de Magdalena Mixtepec, Sn. Bernardo Mixtepec y Sto. Tomás Mazaltepec. En 1998, se establecieron barreras de maguey (*Agave angustifolia*) y nopal tunero (*Opuntia* spp.) en las localidades de Magdalena Mixtepec y Sto. Tomás Mazaltepec.

Las barreras vivas se establecieron al mismo tiempo que el maíz, dejando 10 surcos de maíz entre las hileras de especies para barrera. La leucaena, higuera y pasto vetiver se sembraron cada 20 cm, el maguey cada 100 cm y el nopal tunero cada 4.5 m. Se establecieron dos repeticiones de las especies vegetales en un diseño experimental de bloques al azar.

Los datos de planta registrados fueron: desarrollo fenológico y altura, por conteos semanales de 10 plantas, escogidas al azar en las parcelas. Otros datos registrados fueron: precipitación pluvial y daño por plagas de insectos, además de daño por herbívoros.

Se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSION

Coberteras de Cañuela Molida

En el cultivo de cacahuete, con cubierta de residuos de cañuela de maíz molida, se obtuvo mayor rendimiento que en el testigo del productor (Cuadro 2). Durante el periodo de principios de junio a mediados de julio se presentaron condiciones de deficiencias de humedad.

El mayor rendimiento se debió a un mejor régimen de humedad bajo cubierta del suelo, ya que, en promedio, el cacahuete sin cobertera mostró un contenido de humedad inferior en 2.3% al registrado bajo cobertera, lo cual representó 5 mm más de agua disponible. En términos de rendimiento unitario, el tratamiento con residuos produjo 488 kg ha⁻¹ más de almendra limpia con relación al testigo sin cobertera. El mayor rendimiento se asoció con un mayor número de vainas y mayor peso por semilla.

En el cultivo de maíz existió, en promedio, 1.2% más humedad en el tratamiento que llevó los residuos vegetales, lo cual representó una lámina extra de agua de 3.2 mm en los primeros 20 cm de profundidad. El rendimiento de maíz se afectó favorablemente por el mayor contenido de humedad (Cuadro 3). En la evaluación con la participación de 12 productores, se consensó que, aun cuando es una práctica laboriosa,

Cuadro 2. Vainas por planta y rendimiento de cacahuete limpio con y sin cobertera de Cañuela de maíz en Tlanichico, Zaachila. 1995.

Tratamiento	Vainas planta ⁻¹		Semilla	
	Número	Desv. estándar	kg ha ⁻¹	Desv. estándar
Sin cobertera	18.7	0.86	1048	154.9
Con cobertera	23.5	1.45	1600 a	379.0

Cuadro 3. Rendimiento de forraje y grano (kg ha⁻¹) en maíz de temporal con y sin cobertera de residuos, Sn. Lucas Tlanichico, 1996.

Tratamiento	Forraje seco		Grano	
	kg ha ⁻¹	Desv. estándar	kg ha ⁻¹	Desv. estándar
Con residuos	2905	371.1	1604	227.4
Sin residuos	2820	410.4	1355	181.9

es benéfica y puede realizarse con los materiales disponibles. La maleza conocida como acahual (*Tithonia tubaeformis*), podría emplearse. Esta maleza crece profusamente en los terrenos de textura intermedia a fina, llegando a superar en altura al maíz. En un estudio previo, el acahual mostró ser una buena opción para la conservación de humedad cuando se aplica a razón de 12 t ha⁻¹ en verde y las lluvias individuales son mayores que 40 mm (Baray *et al.*, 1996).

Labranza de Conservación

La no quema de residuos resultó en una disminución importante de la pérdida de suelo con relación al tratamiento tradicional (Cuadro 4). Sin embargo, el cociente, entre las pérdidas de suelo con residuo respecto a las pérdidas sin residuo, muestra que esta relación fue mayor (0.5) para el suelo con pendiente de 55%, respecto al suelo con mayor pendiente (70%), cuyo cociente fue de 0.33. Esta tendencia probablemente se influyó por la mayor precipitación que ocurrió en el sitio más escarpado. En igualdad de circunstancias y manejo se esperaría un menor cociente en el suelo con menor pendiente. Las pérdidas de suelo con quema obtenidas en este trabajo son comparables con las pérdidas documentadas en trabajos realizados en México. Maass *et al.* (1988), por ejemplo, en lotes de escurrimiento con pendientes menores que 42%, reportaron pérdidas de suelo de hasta 130 t ha⁻¹ año⁻¹ para el tratamiento de maíz sin residuos y con quema, pero hay que mantener presente que se emplearon diferentes metodologías para la medición de la remoción de sedimentos.

La cantidad de suelo erosionado en las dos condiciones de pendiente sobrepasó a las cantidades tolerables para suelos de ladera, la cual no debe exceder 34 t ha⁻¹ año⁻¹ (Delgado y López, 1998).

Cuadro 4. Pérdidas de suelo para dos sitios cultivados con maíz en dos pendientes y en condiciones de quema y no quema de residuos. 1996.

Variedad	Pendiente %	Lluvia total mm	Tratamiento aplicado	Erosión	
				t ha ⁻¹ año ⁻¹	Desv. estándar
Maíz valle	55	283	Con quema	270	52.4
			Sin quema	135	23.1
Maíz cerro	70	383	Con quema	360	60.3
			Sin quema	120	21.5

Cuadro 5. Rendimiento de forraje seco y grano para dos variedades de maíz con y sin quema de residuos, Magdalena Mixtepec, 1996.

Variedad	Tratamiento	Forraje		Grano	
		kg ha ⁻¹	Desv. estándar	kg ha ⁻¹	Desv. estándar
Maíz de Valle	Con quema	2089	185.7	745	111.5
	Sin quema	2051	199.2	916	132.6
Maíz de Cerro	Con quema	6528	735.4	3001	599.5
	Sin quema	6559	843.0	3468	647.1

Cuadro 6. Variación del porcentaje de humedad observado bajo dos sistemas de labranza, Magdalena Mixtepec, 1997.

Sistema	Ago 15	Ago 22	Ago 29	Sep 5	Sep 12	Sep 19	Sep 26	Media
Sin quema	2.2	2.4	5.8	6.1	11.6	8.3	9.3	6.5 a
Con quema	1.8	1.6	5.2	5.7	6.7	7.6	7.1	5.1 b

Valores con letras iguales en columna no difieren estadísticamente. Tukey al 0.05.

Estos autores recomiendan que, además de aplicar los residuos sobre la superficie del suelo, debe de establecerse una barrera física para la captura de los sedimentos. Estas barreras podrían construirse con los troncos y ramas de los árboles talados (NAS, 1979).

En cuanto al efecto de los residuos sobre la conservación de la humedad, se observó que, cuando no se quemaron, la humedad fue 0.5% mayor con relación al tratamiento con quema de residuos. El rendimiento de maíz obtenido en ambos sitios fue mayor en el tratamiento de no quema de residuos (Cuadro 5). Van der Wal (1992) reportó un efecto positivo sobre el rendimiento de maíz al no realizar la quema en este sistema.

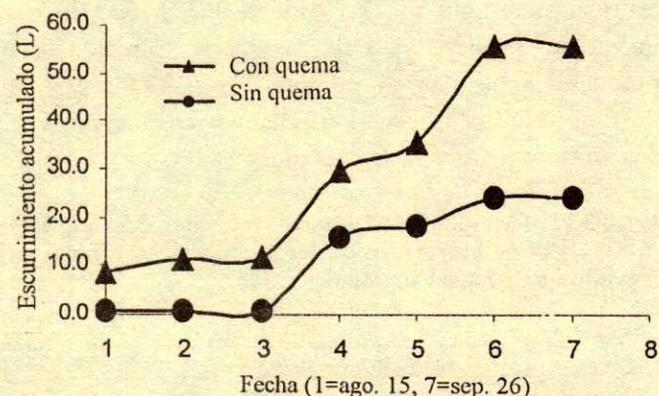
En 1997, se observó consistentemente mayor contenido de humedad bajo el tratamiento sin quema de residuos (Cuadro 6). El volumen de los escurrimientos (Figura 1) y la cantidad de sedimentos acumulados (Figura 2) fueron mayores en el tratamiento con quema. El escurrimiento acumulado fue tres veces mayor en el tratamiento con quema, mientras que la pérdida de suelo fue cinco veces de la observada en el tratamiento sin quema. Las curvas en el tratamiento con quema mostraron un comportamiento exponencial, mientras que, en el tratamiento sin quema, la relación fue más bien lineal, especialmente para pérdidas de suelo.

Al consultar a los productores sobre la factibilidad de la no quema para la siembra del maíz bajo el sistema de RTQ, opinaron que esta práctica sólo podría hacerse en terrenos con monte delgado (joven), ya que en aquéllos con monte grueso (maduro) la quema es necesaria para poder sembrar. También

manifestaron que el trabajo para las limpias y siembra se incrementa considerablemente y que hay más roedores perjudiciales donde no se quema. Sin embargo, reconocieron que los residuos pueden proteger al suelo de la erosión y además conservar la humedad.

Barreras Vivas

La evaluación de especies para barrera viva en altitudes cercanas a 2000 m indica que la leucaena no prospera tan bien como la higuera (Cuadro 7), el maguey o el pasto vetiver, (Cuadro 8), este último evaluado en términos de materia seca producida por metro lineal de barrera. En Sn. Bernardo Mixtepec, ubicado a 1740 m de altitud, la barrera de maguey se desarrolló satisfactoriamente, mas no la de leucaena. En cuatro meses, el maguey incrementó su altura en 23 cm superando ampliamente la altura de 13 cm de

**Figura 1. Comparación del escurrimiento acumulado con dos manejos de residuos, en 1997.**

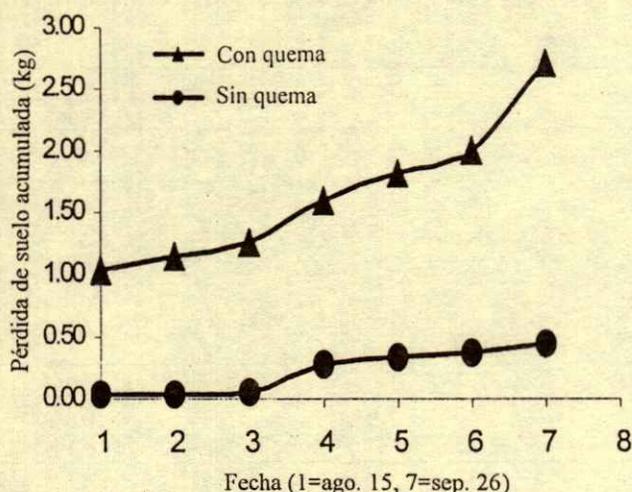


Figura 2. Comparación de las pérdidas de suelo acumuladas con dos manejos de residuos, en 1997.

la leucaena. En Sto. Tomás Mazaltepec, ubicado a una altitud de 1680 m, la leucaena alcanzó una altura promedio de 30 cm en cinco meses; sin embargo, fue atacada severamente por hormigas arrieras y ovicaprinos.

En las parcelas de maíz de roza-quema de Magdalena Mixtepec se observó que los productores sembraban amaranto (*Amaranthus* spp.) intercalado con maíz, el cual presentaba un buen desarrollo. Se espera que alguna especie de amaranto, de preferencia semiperenne, puede ser otra especie promisorio como barrera viva para altitudes mayores que 2000 m.

En evaluación de campo, los productores prefirieron especies que, además de proteger el suelo, les proporcionaran alimento o un ingreso extra. En terrenos forestales, el durazno criollo (*Prunus persica*) es una alternativa. En Magdalena Mixtepec, a iniciativa propia y con asesoría técnica, seis productores produjeron un total de 1330 plantas de durazno criollo en bolsas, las cuales transplantaron en sus terrenos siguiendo curvas a nivel.

Cuadro 7. Desarrollo en altura (cm) de dos especies utilizadas como barrera viva a los 90 días de sembradas en tres altitudes, Magdalena Mixtepec, 1997.

Especie	Altitud		
	2140 m	2060 m	1860 m
Higuerilla	40 a	60 a	100 a
Leucaena	10 b	12 b	17 b

Valores con letras iguales en columna no difieren estadísticamente. Tukey al 0.05.

Cuadro 8. Incremento en altura de barreras de pasto vetiver a los 40 días de podadas y materia seca producida por metro de barrera al momento de la poda en dos altitudes, Magdalena Mixtepec, 1997.

Altitud	Altura	Materia seca
m	cm	g m ⁻¹
2060	45.3 a	31.6 b
1960	48.0 a	88.2 a

Valores con letras iguales en columna no difieren estadísticamente. Tukey al 0.05.

CONCLUSIONES

La utilización de residuos de cosecha como cobertera contribuyó a un mayor rendimiento de cacahuate y maíz al propiciar una mayor conservación de la humedad; sin embargo, la oferta de residuos es escasa. Algunas alternativas para resolver este problema son la siembra de cultivos de invierno bajo humedad residual y la utilización de malezas como el acahual (*Tithonia tubaeformis*).

Utilizando información generada en este estudio y observaciones de campo, puede establecerse tentativamente que las altitudes de adaptación para la fase de desarrollo vegetativo de las especies evaluadas oscilaron de 1500 a 1700 m para higuerilla y nopal tunero, de 1600 a 1800 m para maguey mezcalero, de 1700 a 2000 m para pasto vetiver y de 2000 a 2200 m para durazno criollo.

En suelos de ladera a 2000 m de altitud, la utilización de la labranza de conservación resultó en una mayor disponibilidad de humedad para el cultivo y en una disminución de las pérdidas de suelo. Sin embargo, en monte muy grueso (viejo), los residuos pueden dificultar el trabajo y no proporcionar una cobertera adecuada, por lo que deben evaluarse otras fuentes de residuos vegetales.

La no quema de residuos, combinada con barreras vivas de especies con buen crecimiento, se postula como alternativa viable para el manejo de suelos bajo el sistema de roza-tumba-quema. Asimismo, se sugiere el establecimiento de barreras mecánicas temporales, las cuales pueden implementarse con los troncos que quedan después de la quema.

Las tendencias actuales indican que la agricultura de ladera y la roza-tumba-quema se incrementarán en el futuro, por lo que es importante realizar estudios más precisos sobre la magnitud de la disminución de la erosión, así como de la redituabilidad económica de las

prácticas. Los resultados aquí presentados podrían ser aplicables a condiciones edáficas y climatológicas similares.

REFERENCIAS

- Altieri, M.A. y M.K. Anderson, 1986. An ecological basis for the development of alternative agricultural systems for small farmers in the third world. *Am. J. Alternative Agric.* 1: 30-38.
- Baray T., M., J. Ruiz V., J.V. Rojo S. y V. Velasco V. 1996. Evaluación de sistemas de labranza y variedades de frijol bajo temporal limitativo. *Terra* 14: 417-424.
- Dabney, S.M., K.C. McGregor, L.D. Meyer, E.H. Grissiger y G.R. Foster, 1993. Vegetative barriers for runoff and sediment control. pp. 60-70. *In*: J.K. Mitchell (ed.). *Integrated resources management and landscape modification for environmental protection*. ASAE, St. Joseph, Mich. USA.
- Delgado, F. y R. López. 1998. Evaluation of soil degradation impact on the productivity of Venezuelan soils. *Adv. Geocol.* 31: 133-142.
- FAO. 1991. *FAO/Netherlands Conference on Agriculture and the Environment*. Food and Agriculture Organization. s'-Hertogenbosch, The Netherlands.
- Figueroa S., B. y F.J. Morales. 1992. *Manual de producción de cultivos con labranza de conservación*. Colegio de Postgraduados, Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas, Mexico.
- Hayes, W.A. y L.W. Kimberlin. 1978. A guide for determining crop residue for water erosion control. pp. 35-48. *In*: *Crop residue management systems*. ASA Special Publication 31. Madison.
- IDRC. International Development Research Centre. 1994. *Desertification: A background for journalists*. Toronto, Canada.
- INEGI. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. 1988. Mapas a escala 1: 1 000 000. Aguascalientes, México.
- Maass, J.M., C.F. Jordan y J. Sarukhan, 1988. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques. *J. App. Ecol.* 25: 595-607.
- Meyer, L.D., S.M. Dabney y W.C. Harmon. 1993. Sediment-trapping effectiveness of stiff-grass hedges. *Trans. of the ASAE* 38(3): 809-815.
- NAS. National Academy of Sciences. 1979. *Leucaena, promising forage and three crop for the tropics*. National Academy of Sciences. Washington, D.C.
- Ruiz V., J. 1998. Diversidad de cultivos de maíz y prácticas de producción en los Valles Centrales de Oaxaca. pp. 69-73. *Memorias del Seminario Mesoamericano sobre Agrodiversidad en la Agricultura Campesina*. Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias y Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Méx.
- Urquidi L., V. 1996. Pobreza rural y manejo sustentable: Una perspectiva mexicana. *Quorum* 15-22.
- Van der Wal, H. 1992. El cultivo de maíz en la Chinantla, problemática y alternativas. pp. 133-157. *In*: S. Anta F. (Coord.) *Ecología y manejo de recursos naturales en la Región de la Chinantla*, Oax. Fundación Friedrich Ebert, México, DF.
- Van Dijk, P.M., F.J.P. Kwaad y M. Klapwijk, 1996. Retention of water and sediment by grass strips. *Hydrological Processes* 10: 1069-1080.
- Zúñiga, G., R. Camacho C., S. Uribe G., N. Francisco N. y A. Turrent F. 1993. Terrazas de muro vivo para sustentar la productividad en terrenos agrícolas de ladera. Folleto técnico 6. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CIRGOC, Isla, Ver.

POTENCIAL DE LA MIEL DE ABEJA EN LA NUTRICION DE PLANTULAS DE TOMATE

Potential of Bee-Honey in the Nutrition of Tomato Plants

Oscar G. Villegas Torres¹, Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza¹, Libia Iris Trejo Téllez¹
y Gabriel Alcántar González¹

RESUMEN

Se utilizó miel de abeja como complemento nutrimental de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), con la finalidad de obtener plantas de alto vigor y buena calidad al trasplante. Se sembraron semillas de tomate de la variedad Río Grande en recipientes de unicel de 120 cavidades con tezontle o composta de tule y lirio como sustrato; se regaron únicamente con agua hasta la emergencia de la plántula. Cuando se presentaron las primeras hojas, se aplicaron ocho tratamientos, resultado de un experimento factorial 2³. Los factores y niveles evaluados fueron: 1) sustrato, tezontle y composta; 2) riego con solución Steiner a 50%, con miel de abeja a 1% y sin miel de abeja; 3) aplicación foliar de miel de abeja a 2%, con y sin ella. El diseño experimental empleado fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. Los resultados demostraron que la aplicación foliar de miel de abeja a 2% incrementó la altura de la planta en 138.4%, cuando se utilizó tezontle como sustrato, y en 40%, cuando se utilizó composta; el diámetro de tallo se incrementó de 0.37 a 0.80 cm, así como la absorción de N, P, K; el área foliar se duplicó en las plántulas asperjadas con miel y se incrementó ocho veces, al combinarse la aplicación de miel de abeja vía foliar y en el riego. Los anteriores parámetros son importantes de considerar en el vigor de las plántulas antes del trasplante.

Palabras clave: Almacigos, vigor de plántula, fertilización foliar.

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

Recibido: Mayo de 2000. Aceptado: Marzo de 2001.
Publicado en Terra 19: 97-102.

SUMMARY

Bee-honey was used as a nutrient complement for tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.) with the objective of obtaining vigorous plants of high quality for transplanting. Tomato seeds of the variety Río Grande were sown in polystyrene recipients with 120 cavities filled with a substrate of volcanic sand (tezontle) or a compost made from rushes and water hyacinth. The seeds were watered until emergence of the seedlings. When the first leaves appeared, eight treatments were applied, resulting in a 2³ factorial test. The factors and levels evaluated were 1) substrate, tezontle and compost, 2) irrigation with 50% Steiner solution, with and without 1% honey, and 3) with and without foliage application of 2% honey. The experimental design used was complete blocks at random with four replications per treatment. The results showed that foliar application of 2% honey increased the height of the plant by 138.4% when tezontle was used as the substrate and 40% when compost was used. Stem diameter increased from 0.37 to 0.80 cm, and N, P, and K uptake also increased. Leaf area duplicated in seedlings sprayed with honey, and when foliar application of honey was combined with irrigation with honey, it increased eight times. These parameters are important in judging the vigor of seedlings before transplant.

Index words: Nursery, seedling vigor, foliar fertilization.

INTRODUCCION

La producción de almacigos de alta calidad es uno de los principales intereses de los productores de hortalizas, ya que plántulas con raíces bien desarrolladas pueden adaptarse más rápido a condiciones de estrés, causadas por el trasplante al campo. Los indicadores del vigor de las plántulas de tomate son: altura, que va de 20 a 30 cm; grosor en el tallo y número de hojas, que van entre seis y siete

hojas; dichos factores aseguran el éxito en el trasplante en campo (Marković *et al.*, 1997).

Con la hidratación de la semilla se inicia la movilización de las reservas, como el almidón que es desdoblado por acción de la amilasa hasta monosacáridos, los cuales se utilizan para la división celular en el embrión y el desarrollo posterior de la plántula (Miller, 1994). Una vez que emerge la plántula y se forman las hojas verdaderas, las reservas localizadas en la semilla disminuyen; en estas condiciones, la planta requiere de la adición de nutrimentos por vía radical o foliar.

La miel de abeja, cuya calidad y constituyentes varían según las flores de las que procede, está constituida, principalmente, por carbohidratos, minerales, proteínas, vitaminas, aminoácidos y agua (Crane, 1985; Piana *et al.*, 1989; Rodríguez-Otero *et al.*, 1992; Martínez *et al.*, 1993). Dentro de los carbohidratos, la glucosa y la fructosa están presentes en una proporción de 85 a 95% del total. En cuanto a las proteínas, presentes en muy pequeñas cantidades en la miel (0.38% aproximadamente), se han identificado algunas enzimas, como la invertasa, la amilasa y la glucosidasa (Crane, 1985; Piana *et al.*, 1989; Prior, 1989). La miel de abeja también contiene, en promedio, 0.22% de sales minerales, entre las que se incluyen compuestos de potasio, fósforo, sodio, magnesio, calcio, hierro, cobre, manganeso, cromo, níquel y hierro, así como las vitaminas C, B₁, B₂, y niacina. De los aminoácidos, la prolina es el más abundante de todos, le siguen la lisina, el ácido glutámico y el ácido aspártico (Davies, 1975; Davies y Harris, 1982). El rico balance de sus componentes es la base de que la miel sea tan ampliamente utilizada como complemento alimenticio en la nutrición humana; sin embargo, en aspectos relacionados con la nutrición de las plantas, apenas se reportan algunos trabajos de investigación donde indican que la miel de abeja se ha utilizado con ese fin (Rodríguez, 1997; Trejo *et al.*, 1998). El alto contenido de carbohidratos (fuente de energía de fácil disposición) y la presencia de hormonas, vitaminas, minerales, aminoácidos, proteínas y otros constituyentes orgánicos, le confieren a este producto un gran potencial que merece ser estudiado.

En la producción de plántulas es de vital importancia el manejo dado desde la germinación hasta la emergencia de las hojas verdaderas; cuando esto ocurre, las reservas de la planta se agotan, entonces la posibilidad de aportar carbohidratos y

otros nutrimentos a través de la miel, permitiría obtener plantas más grandes, mejor nutridas y con mayor vigor.

Con base en lo antes expuesto, el objetivo del presente trabajo es confirmar que la utilización de la miel de abeja, como fuente complementaria de nutrimentos para las plántulas de tomate en almácigo, incrementa el tamaño y vigor de las mismas y mejora su condición previa al trasplante.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero, en el Colegio de Postgraduados, en Montecillo, estado de México. Los almácigos se establecieron en charolas de poliestireno con 120 perforaciones de 3 cm de diámetro cada una, en cada cavidad se colocaron conos de polietileno y se llenaron con dos sustratos: uno inerte, con tezontle de 0.3 cm de diámetro y otro orgánico, con composta de tule y lirio.

Desde la siembra hasta la germinación, se regó dos veces al día con agua destilada y, a partir de la emergencia, se instalaron ocho tratamientos (Cuadro 1).

Se manejó un arreglo factorial 2³, donde los factores y niveles fueron: 1) sustrato, tezontle y composta; 2) riego de solución Steiner a 50%, con miel de abeja a 1% y sin miel; 3) fertilización foliar con miel de abeja a 2% y sin miel. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental contó con 20 plántulas. Los resultados obtenidos se procesaron estadísticamente conforme al diseño experimental empleado, con el fin de efectuar el análisis de varianza, la comparación de medias y establecer las interacciones entre sustrato, riego y aplicación foliar (SAS Institute, 1990).

En el momento de la cosecha, 30 días después de la siembra, se registraron: a) altura de plántula, considerada como la distancia de la base a la parte apical (cm); b) diámetro de tallo, determinado en la base del tallo utilizando un vernier; c) área foliar, con la ayuda de un integrador de área foliar modelo L-3000; d) peso seco de follaje y de raíz, después de colocar las muestras en un horno de secado a 70 °C por 72 horas; y e) análisis químico de tejido vegetal, para cuantificar la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en la parte aérea de las plántulas (Alcántar y Sandoval, 1999).

Cuadro 1. Tratamientos establecidos en el experimento.

Tratamiento	Descripción
T ₁	Tezontle + riego con solución Steiner a 50%
T ₂	Tezontle + riego con solución Steiner a 50% y miel de abeja a 1%
T ₃	Tezontle + riego con solución Steiner a 50% + fertilización foliar con miel de abeja a 2%
T ₄	Tezontle + riego con solución Steiner a 50% y miel de abeja a 1% + fertilización foliar con miel de abeja a 2%
T ₅	Composta + riego con solución Steiner a 50%
T ₆	Composta + riego con solución Steiner a 50% y miel de abeja a 1%
T ₇	Composta + riego con solución Steiner a 50% + fertilización foliar con miel de abeja a 2%
T ₈	Composta + riego con solución Steiner a 50% y miel de abeja a 1% + fertilización foliar con miel de abeja a 2%

RESULTADOS Y DISCUSION

A 30 días después de la siembra, las plantas ya mostraban diferencias considerables en vigor y desarrollo entre los tratamientos.

La altura de plántula presentó un incremento notable por efecto de la aplicación de la miel de abeja en el riego y al follaje (Figura 1). Independientemente del sustrato utilizado, el análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($\alpha = 0.05$). Para las plántulas que se desarrollaron en tezontle y se les aplicó la miel de abeja al follaje (T3), el incremento fue más del doble (138.54%) con relación a aquéllas que sólo recibieron el riego con solución Steiner (T1). Cuando se utilizó

como sustrato la composta, el incremento en altura por la aplicación foliar de miel de abeja fue sólo de 40% (T7) con relación al testigo con ese sustrato (T5).

La incorporación de la miel de abeja en el riego disminuyó la altura (T6), incluso cuando se combinó con la aplicación foliar (T8). Sin embargo, las plantas, a las cuales se les aplicó miel de abeja en el riego o al follaje, presentaron la altura reportada como ideal para el trasplante (Marković *et al.*, 1997).

El diámetro de tallo varió desde 0.37 cm en las plántulas desarrolladas en tezontle y regadas sólo con solución Steiner, hasta 0.8 cm en plantas que crecieron en tezontle con la aplicación de miel de abeja en la solución nutritiva y al follaje (T4). El análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($\alpha = 0.05$).

Las interacciones indican que el incremento en el vigor de las plántulas se presenta por efecto del sustrato, del riego y la interacción entre ambos. En el diámetro de tallo se presentaron diferencias altamente significativas en la interacción sustrato y aplicación foliar de miel. La respuesta de la plántula a la miel de abeja fue casi inmediata, por lo cual se infiere que al agotarse las reservas de la semilla, la planta utilizó los nutrientes que están en la solución nutritiva y los carbohidratos y otros componentes de la miel como fuente de energía para la división celular y el desarrollo del tejido vegetal (Van 't-Hof, 1968; Gregory, 1994; Marschner, 1995).

Estas variables, asociadas con el vigor de la plántula, se modificaron principalmente por la aplicación de la miel de abeja y, en menor intensidad, por el sustrato donde se desarrollaron.

El área foliar y la longitud de raíz también mostraron respuesta, tanto por la aplicación foliar de la miel de abeja como por el sustrato. En ambas variables se manifiestan diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos ($\alpha = 0.05$). En las plántulas que crecieron en tezontle, la aplicación de miel de abeja al follaje y combinada con el riego incrementó el área foliar hasta ocho veces

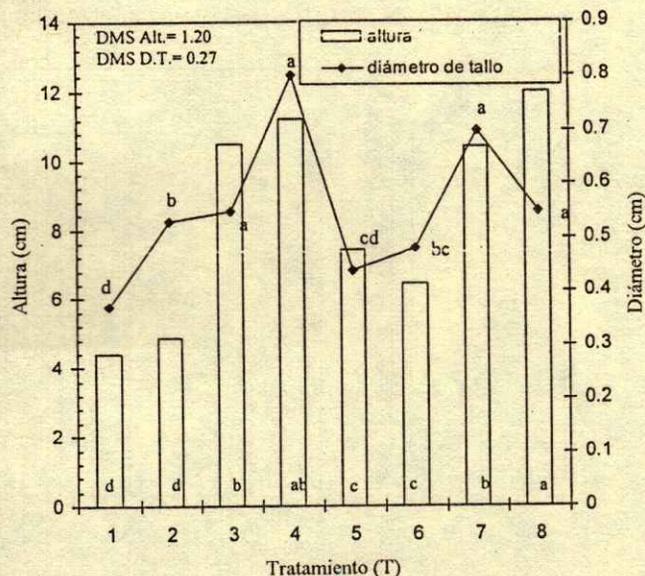


Figura 1. Altura y diámetro de tallo de plántulas de tomate regadas y fertilizadas vía foliar con miel de abeja.

(T₁ = Tezontle (t) con solución Steiner (SS) a 50%; T₂ = t con SS a 50% y miel de abeja a 1%; T₃ = t con SS a 50% y fertilización foliar con miel de abeja a 2%; T₄ = t con SS a 50% y miel de abeja a 1% y fertilización foliar con miel de abeja a 2%; T₅ = Composta con SS a 50%; T₆ = Composta con SS a 50% y miel de abeja a 1%; T₇ = Composta con SS a 50% y fertilización foliar con miel de abeja a 2%; T₈ = Composta con SS a 50% y miel de abeja a 1% y fertilización foliar con miel de abeja a 2%).

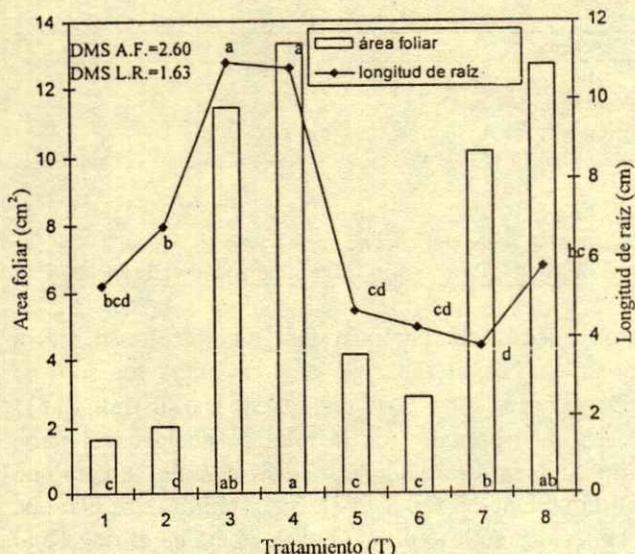


Figura 2. Longitud de raíz y área foliar de plántulas de tomate regadas y fertilizadas vía foliar con miel de abeja.

(T₁ = Tezontle (t) con solución Steiner (SS) a 50%; T₂ = t con SS a 50% y miel de abeja a 1%; T₃ = t con SS a 50% y fertilización foliar con miel de abeja a 2%; T₄ = t con SS a 50% y miel de abeja a 1% y fertilización foliar con miel de abeja a 2%; T₅ = Composta con SS a 50%; T₆ = Composta con SS a 50% y miel de abeja a 1%; T₇ = Composta con SS a 50% y fertilización foliar con miel de abeja a 2%; T₈ = Composta con SS a 50% y miel de abeja a 1% y fertilización foliar con miel de abeja a 2%).

más que el testigo; sin embargo, no se observó la misma respuesta en las plántulas que crecieron en composta, de hecho, el área foliar sólo se duplicó en aquellas plántulas a las cuales se les hizo aspersión foliar de miel (Figura 2). El área foliar y el número de hojas son parámetros que deben tomarse en cuenta cuando se evalúa la calidad de las plántulas (Marković *et al.*, 1997).

La longitud de la raíz en plantas regadas con solución Steiner y miel fue menor que en las que solamente se regaron con solución Steiner. Aparentemente las raíces fueron más gruesas, y aunque no se hicieron estudios de microscopía, se cree que la miel formó una barrera en las células de elongación impidiendo su crecimiento al crear una barrera física que disminuyó la absorción de nutrientes y el tamaño de la planta (Gregory, 1994). La disminución en la longitud de la raíz no se observó cuando se aplicó la miel de abeja al follaje o en combinación vía foliar y en el riego. El incremento en la longitud de raíz en estos tratamientos refuerza observaciones anteriores realizadas por Rodríguez (1997) y Trejo *et al.* (1998), quienes encontraron, que aplicaciones de miel de abeja en las hojas incrementan las fuentes de energía necesaria para el desarrollo del

cultivo. En esta variable se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas por efecto de los tres factores evaluados, así como de la interacción entre ellos.

El peso seco del follaje y de la raíz presentaron la misma tendencia que el área foliar y la altura, los pesos más bajos fueron de las plantas que crecieron en composta y se regaron con solución Steiner y miel de abeja, así como las que se regaron sólo con solución Steiner y crecieron en tezontle (Figura 3). Una vez más, al disminuir la elongación de la raíz, se reduce la capacidad de absorción de los iones. En estas variables se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas en la interacción sustrato y riego.

El contenido nutricional mostró respuesta a la aplicación foliar de miel (Cuadro 2). De los dos sustratos utilizados, tezontle y composta, el primero, a pesar de ser inerte, incrementó el contenido de nitrógeno en las plantas. Cuando se regaron con solución Steiner únicamente, el contenido de fósforo y potasio fue mayor en las plantas que estaban en tezontle, que en las que crecieron en composta; sin embargo, cuando se aplicó miel de abeja en el riego, la absorción disminuyó. En las plántulas que crecieron en la composta, la disminución en el porcentaje de los nutrientes, respecto a los tratamientos con tezontle,

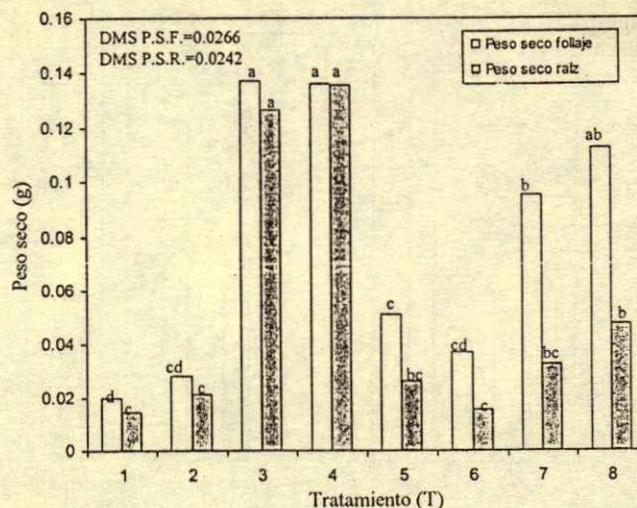


Figura 3. Peso seco de follaje de plántulas de tomate regadas y fertilizadas vía foliar con miel de abeja.

(T₁ = Tezontle (t) con solución Steiner (SS) a 50%; T₂ = t con SS a 50% y miel de abeja a 1%; T₃ = t con SS a 50% y fertilización foliar con miel de abeja a 2%; T₄ = t con SS a 50% y miel de abeja a 1% y fertilización foliar con miel de abeja a 2%; T₅ = Composta con SS a 50%; T₆ = Composta con SS a 50% y miel de abeja a 1%; T₇ = Composta con SS a 50% y fertilización foliar con miel de abeja a 2%; T₈ = Composta con SS a 50% y miel de abeja a 1% y fertilización foliar con miel de abeja a 2%).

Cuadro 2. Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en plántulas de tomate a las que se les aplicó miel de abeja en el riego y vía foliar

Tratamiento	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
	----- % -----		
Tezontle			
Riego con solución Steiner (T ₁)	3.92 c	0.81 a	5.99 a
Riego con solución Steiner y miel de abeja a 1 % (T ₂)	3.67 c	0.41 d	2.94 c
Riego con solución Steiner + fertilización foliar con miel de abeja a 2 % (T ₃)	5.18 a	0.29 d	3.85 c
Riego con solución Steiner y miel de abeja a 1% + fertilización foliar con miel de abeja a 2% (T ₄)	5.32 a	0.69 b	3.62 c
Composta			
Riego con solución Steiner (T ₅)	3.43 bc	0.74 ab	4.93 b
Riego con solución Steiner y miel de abeja a 1% (T ₆)	3.99 c	0.51 c	3.59 c
Riego con solución Steiner + fertilización foliar con miel de abeja a 2 % (T ₇)	4.96 a	0.23 d	3.67 c
Riego con solución Steiner y miel de abeja a 1% + fertilización foliar con miel de abeja a 2% (T ₈)	4.25 b	0.63 bc	5.77 a
DMS	0.639	0.061	0.893

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

no se observa tan severa, esto pudo ser porque la composta no estuvo estéril y los microorganismos participan a nivel rizosfera en la disponibilidad de nutrimentos. Al analizar la extracción total de N, P y K por planta (Cuadro 3), se concluye que en las plántulas que se desarrollaron en tezontle, la aplicación de miel de abeja al follaje y en combinación con el riego favoreció notablemente la extracción de nitrógeno, fósforo y potasio, no así cuando las plántulas se desarrollaron en composta.

Se considera que la fotosíntesis genera energía, la cual se utiliza en la absorción de nutrimentos, se podría suponer que la aplicación de carbohidratos al follaje, provenientes de la miel de abeja, incrementa la energía química necesaria para la absorción, sin embargo, no de todos los iones; el nitrógeno se incrementó no sólo por lo obtenido por la raíz sino también por la actividad fotosintética de la planta.

Los resultados obtenidos indican que la aplicación de la miel de abeja al follaje favorece el desarrollo de la planta. Con relación al sustrato, es recomendable utilizar uno inerte.

CONCLUSIONES

- La aplicación de la miel de abeja a 2% vía foliar incrementó la altura de planta, área foliar y diámetro de tallo, variables que caracterizan el vigor de las plántulas.
- Aparentemente la aplicación foliar de miel de abeja aportó sustancias que permitieron que la raíz se desarrollara y, en consecuencia, favoreció la absorción nutrimental.
- La aplicación de la miel de abeja a 1% en el riego redujo, en algunos casos, la elongación de la raíz y disminuyó la absorción nutrimental.

Cuadro 3. Extracción total de nitrógeno, fósforo y potasio en plántulas de tomate a las que se le aplicó miel de abeja en el riego y vía foliar.

Tratamiento	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
	----- mg planta ⁻¹ -----		
Tezontle			
Riego con solución Steiner (T ₁)	81.34	16.80	124.29
Riego con solución Steiner y miel de abeja a 1% (T ₂)	104.59	11.68	83.79
Riego con solución Steiner + fertilización foliar con miel de abeja a 2% (T ₃)	710.95	39.80	528.41
Riego con solución Steiner y miel de abeja a 1%+ fertilización foliar con miel de abeja a 2% (T ₄)	726.18	94.18	525.52
Composta			
Riego con solución Steiner (T ₅)	177.50	38.29	255.12
Riego con solución Steiner y miel de abeja a 1% (T ₆)	150.62	19.25	135.52
Riego con solución Steiner + fertilización foliar con miel de abeja a 2% (T ₇)	405.76	21.90	349.56
Riego con solución Steiner y miel de abeja a 1% + fertilización foliar con miel de abeja a 2% (T ₈)	561.82	71.50	654.89

- De los dos soportes utilizados, en el tezontle se incrementó la mayoría de las variables en estudio y el desarrollo de las plántulas.

LITERATURA CITADA

- Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México.
- Crane, E. 1985. El libro de la miel. Fondo de Cultura Económica. México, DF.
- Davies, A.M.C. 1975. Amino acid analysis of honeys from eleven countries. *J. Apic. Res.* 14: 29-39.
- Davies, A.M.C. y R.G. Harris. 1982. Free amino acid analysis of honey from England and Wales application to geographical origin of honeys. *J. Apic. Res.* 21: 166-173.
- Gregory, P.J. 1994. Root growth and activity. pp. 64-65. *In*: K.L. Boote, J.M. Bennett, T.R. Sinclair y G.M. Paulsen (eds.). Physiology and determination of crop yield. ASA. Madison, Wisconsin, USA.
- Marković, V., M. Djurovka y Z. Ellin. 1997. The effect of seedling quality on tomato yield, plant and fruit characteristics. *Acta Hort.* 162: 163-169.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, London.
- Martínez M., E., E. Guerra H., J. Montilla G., J.L. Molina M. 1993. Physicochemical analysis of Spanish commercial eucalyptus honeys. *J. Apic. Res.* 32: 121-126.
- Miller, McD. 1994. Seed germination and seedling establishment. pp. 37-60. *In*: K.L. Boote, J.M. Bennet, T.R. Sinclair y G.M. Paulsen (eds.). Physiology and determination of crop yield. ASA, Madison, Wisconsin, USA.
- Piana, G., G. Recceardelle y A.I. Dálbores. 1989. La miel. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Prior, C.M.L. 1989. La miel en la alimentación humana. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- Rodríguez M., M.N. 1997. Fertilización foliar en el cultivo del tomate en condiciones de invernadero. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Rodríguez-Otero, J.L., P. Paseiro, J. Simal; L. Terradillos; A. Cepesa. 1992. Determination of Na, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and total cationic miliequivalents in Spanish commercial honey. *J. Apic. Res.* 31: 65-69.
- SAS (Statistical Analysis System) Institute. 1990. SAS (STAT User's guide) Ver. 6. SAS Institute. Cary, NC.
- Trejo T., L., A. Enríquez M., M.N. Rodríguez M. 1998. Aplicación foliar de miel de abeja en la producción de almácigos hortícolas. 1er Simposio Nacional sobre Nutrición de cultivos. Querétaro, Qro.
- Van't-Hof, J. 1968. Control of cell progression through the mitotic cycle by carbohydrate provision. *J. Cell Biology* 37: 773-780.

CARTA AL EDITOR

COMENTARIO: ACTUALIZACION DE LA TAXONOMIA DE LOS GLOMALES

Con base en la relevante importancia que se le ha dado a los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) por su trascendente función en los aspectos evolutivos, fisiológicos y productivos de las plantas (en particular aquéllas de importancia agrícola, frutícola, hortícola y forestal), la investigación aplicada de estos hongos ha tenido un considerable aumento. Sin embargo, en algunos trabajos se denota que la ubicación taxonómica de estos hongos no es del todo comprendida e incluso desconocida. Con base en lo anterior, el presente comentario trata de contribuir a la divulgación de los avances de la taxonomía de los Glomales y mencionar la nueva clasificación de estos hongos, con la intención de hacer del conocimiento estos aspectos que deben ser bien entendidos por aquellos investigadores relacionados con la simbiosis micorrízica arbuscular y quienes no tienen la posibilidad de consultar revistas internacionales especializadas, las cuales no se encuentran disponibles en la mayoría de las bibliotecas de México.

Los HMA pertenecen a la División Eumicota y a la Clase de los Zygomycetos (hongos con micelio cenocítico, sin septos, cuyo principal componente estructural de la pared celular es la Quitina). El Orden a que pertenecen estos hongos es de los Glomales y su clasificación se basaba en características morfológicas de la pared de las esporas (asexuales) producidas por estos hongos. Este tipo de clasificación permitía describir lo que se denomina morfoespecies fúngicas. Con base en lo anterior, en 1990, las aproximadamente 150 especies de HMA conocidas, se clasificaron en dos subórdenes (Glomineae y Gigasporineae), tres familias (Glomaceae, Acaulosporaceae y Gigasporaceae) y seis géneros (*Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora* y *Scutellospora*).

Recientemente, con base en los avances en lo que se refiere a técnicas moleculares y relacionándolas con las características morfológicas de las esporas, Morton y Redecker (2001) han realizado cambios significativos en la taxonomía de los hongos formadores micorriza arbuscular. El uso de nuevas técnicas que involucran la secuenciación de ADN, determinaciones de perfiles de ácidos grasos, reacciones inmunológicas hacia anticuerpos monoclonales específicos y junto con la caracterización de la morfología de las esporas y hábitos de colonización de los HMA, han permitido tener avances sustanciales en la taxonomía de estos hongos. Con base en el análisis de la información obtenida por las técnicas mencionadas, en el Cuadro 1 se presenta la nueva clasificación de los hongos arbusculares.

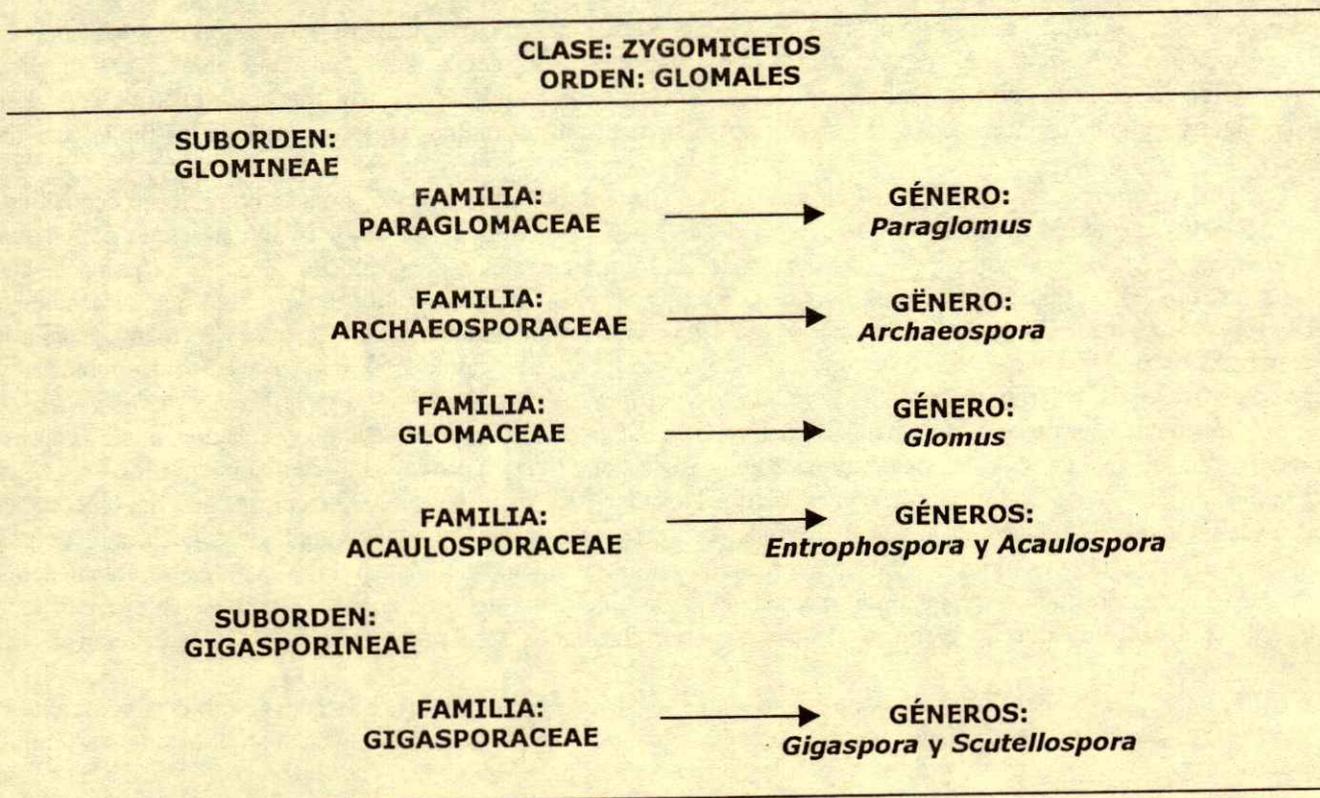
Esta nueva clasificación trata de describir la ruta filogenética de los HMA. Las nuevas familias comprenden especies que presentaban características morfológicas atípicas a los géneros en los que estaban ubicados. La familia Archaeosporaceae incluye tres especies que forman esporas atípicas a las de *Acaulospora* y dos de ellas son dimórficas y forman esporas de tipo Glomoide. Esta familia contiene un solo género, *Archaeospora*, en el que se incluyen a las siguientes especies:

- *Archaeospora trapei* (Ames & Linderman) Morton et Redecker, comb. nov. (Basionimia de *Acaulospora trapeii* Ames & Linderman)
- *Archaeospora leptoticha* (Schenck & Smith) Morton et Redecker, comb. nov. (Basionimia de *Acaulospora gerdemanii* Schenck & Nicolson; sinonimia de *Acaulospora apendiculata* Sieverding & Schenck; Basionimia de *Glomus leptotichum* Schenck y Smith; Sinonimia de *Glomus fecundisporum* Schenck & Smith)
- *Archaeospora gerdemanii* (Rose, Daniels & Trappe) Morton et Redecker, comb. nov. (Basionimia de *Glomus gerdemanii* Rose, Daniels & Trappe)

Por otra parte, la familia Paraglomaceae incluye dos especies formadoras de esporas que no son distinguibles con aquellas especies del género *Glomus* y su creación se basa en características del hábito de colonización y su morfología es muy similar a los miembros de la familia Archaeosporaceae. La descripción de esta familia se basa en características moleculares (ácidos grasos y secuenciación de ADNr 18S), lo que permite considerarla como un grupo ancestral de los Glomales y son distantes de otras familias de los Glomales. Esta familia incluye un solo género *Paraglomus*, en el que se ubican dos especies:

- *Paraglomus occultum* (Walker) Morton et Redecker, comb. nov. (Basionimia de *Glomus occultum* Walker)
- *Paraglomus brasilianum* (Spain & Miranda) Morton et Redecker, comb. nov. (Basionimia de *Glomus brasilianum* Spain & Miranda)

Cuadro 1. Nueva clasificación taxonómica de los hongos formadores de micorriza arbuscular, propuesta por Morton y Redecker (2001).



Para mayor información y apreciar con detalle la clasificación actual de los HMA se recomienda visitar la página Web del Dr. Joseph B. Morton: <http://invam.caf.wvu.edu> así como consultar la siguiente referencia:

Morton, J.B. and D. Redecker (2001). Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters. *Mycologia* 93(1): 181-195.

M. en C. Alejandro Alarcón