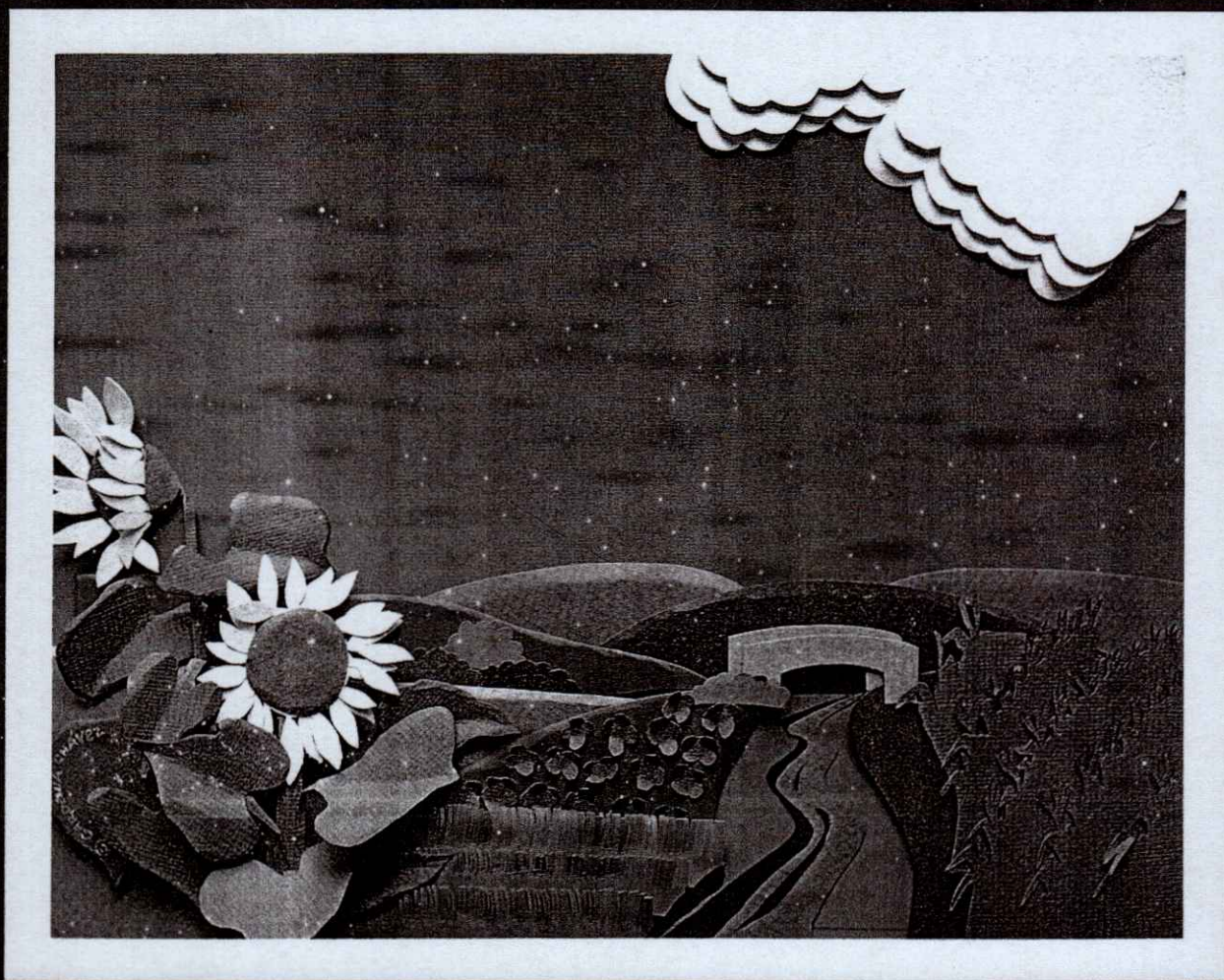


ISSN 0187-5779

# TERRA

JULIO - SEPTIEMBRE DE 2001 • VOLUMEN 19 • NUMERO 3



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

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

### División II: Relación Suelo - Clima - Biota

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

### División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

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

### División IV: Educación y Asistencia Técnica

- Educación
- Crédito y Asistencia Técnica

TERRA registro en trámite.  
Órgano Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.  
Julio - Septiembre de 2001 Volumen 19 Número 3

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 Luzzio Leighton	Chile
Dr. John T. Moraghan	E.U.A.
Dr. Héctor J. M. Morrás	Argentina
Dr. Christian Prat	Francia
Dr. Parker F. Pratt	E.U.A.
Dr. Paul Quantin	Francia
Dr. José Rodríguez	Chile
Dr. Karl Stahr	Alemania
Dr. Bernardo Van Raij	Brasil
Dr. Rafael Villegas	Cuba
Dr. Eduardo Zaffaroni	Brasil

# TERRA

## MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

### BOARD

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

## DIVISIONS AND DISCIPLINES

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

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

### Division II: Soil - Climate - Biota Relationship

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

### Division III: Use of the Soil Resource

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

### Division IV: Education and Technical Assistance

- Education
- Credit and Technical Assistance

**TERRA** Registration pending  
Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science  
July - September, 2001 Volume 19 Num. 3

**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

Cover design

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

NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

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

INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

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

# TERRA

JULIO - SEPTIEMBRE DE 2001 • VOLUMEN 19 • NUMERO 3  
JULY - SEPTEMBER, 2001 • VOLUME 19 • NUMBER 3

## DIVISION I

- 199 Acumulaciones tóxicas de níquel en el crecimiento y la nutrición de trigo.  
Toxic accumulations of nickel on growth and nutrition of wheat.  
*I. Díaz Aguilar, M.U. Larqué Saavedra, G. Alcántar González, A. Vázquez Alarcón, F. V. González Cossio y R. Carrillo González*
- 211 Comparación de la información edafológica de INEGI, con la generada por la Clasificación Campesina de Tierras en Oriental, Puebla México.  
Comparison of INEGI edafic information with Peasant Land Classification in Oriental Puebla, México.  
*Erasto Domingo Sotelo Ruiz y Carlos Alberto Ortiz Solorio*
- 219 Comparación de métodos de análisis mecánico de suelos.  
Comparison of methods in soil mechanical analysis.  
*Régulo León Arteta*
- 227 Clasificación de los suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán.  
Soil classification in the Meseta Tarasca, Michoacan.  
*María Alcalá de Jesús, Carlos A. Ortiz Solorio y Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena*

## DIVISION II

- 241 Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara.  
Vermicompost, arbuscular mycorrhizae and *Azospirillum brasilense* on tomatillo.  
*J. Velasco Velasco, R. Ferrera-Cerrato y J. J. Almaraz Suárez*
- 249 Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta.  
Substrate evaluation for container production of *Epipremnum aureum* and *Spathiphyllum wallisii*.  
*O. García C., G. Alcántar G., R. I. Cabrera, F. Gavi R. y V. Volke H.*

259 Hongos micorrízicos arbusculares como componente de control biológico de la pudrición causada por *Fusarium* sp. en gladiola. Arbuscular mycorrhizae fungi as a component of biological control root rot caused by *Fusarium* sp. in gladiola.  
*Abdul Khalil Gardezi, Victor Manuel Cetina Alcalá, Ronald Ferrera-Cerrato, Juan Velásquez Mendoza, Claudio A. Pérez Mercado y Mario Larqué Saavedra*

265 Efecto de los riegos de auxilio y densidad de población en el rendimiento y calidad de la fibra de algodón. Effect of postplanting irrigation and population density on cotton yield fiber quality.  
*Arturo Palomo Gil, Arturo Gaytán Mascorro y Salvador Godoy Avila*

### DIVISION III

273 Distribución de materia seca N, P y K en manzano Golden Delicious afectado por humedad, fertilización y portainjertos. Dry matter, N, P, and K partition in apple cv. Golden Delicious affected by humidity, fertilization and rootstocks.  
*Rafael A. Parra Quezada, A. Enrique Becerril Román, José J. Martínez Hernández y Rafael Acosta Hernández*

281 Comparación de algunos métodos micrometeorológicos para estimar la evapotranspiración, en el área de Montecillo, México. Comparison of some micrometeorological methods to estimate evapotranspiration in Montecillo area, Mexico.  
*Ramon Villaman Peña, Leonardo Tijerina Chávez, Abel Quevedo Nolasco y Guillermo Crespo Pichardo*

# ACUMULACIONES TOXICAS DE NIQUEL EN EL CRECIMIENTO Y LA NUTRICION DE TRIGO

## Toxic accumulations of Nickel on Growth and Nutrition of Wheat

I. Díaz Aguilar<sup>1</sup>, M.U. Larqué Saavedra<sup>2</sup>, G. Alcántar González<sup>1</sup>, A. Vázquez Alarcón<sup>3</sup>,  
F.V. González Cossio<sup>4</sup> y R. Carrillo González<sup>1</sup>

### RESUMEN

En las últimas décadas, se ha incrementado el interés por conocer detalladamente los efectos tóxicos de los metales pesados, producto de la contaminación, sobre el metabolismo y desarrollo de las plantas cultivadas, con el objetivo de generar información para el manejo adecuado de cultivos expuestos a contaminantes. El níquel puede estar presente en aguas residuales, usadas para riego agrícola, y en lodos residuales que se aplican al suelo a manera de fertilizantes o mejoradores; por esta razón, este elemento puede contaminar a las plantas expuestas a estos residuos. Con el fin de generar información sobre las bases fisiológicas de la toxicidad por níquel, se evaluó el efecto de su acumulación en plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.), tratadas con 10, 20, 50 y 100 mg Ni L<sup>-1</sup>, en un sistema hidropónico. Se hicieron observaciones de los cambios en el crecimiento y la nutrición mineral en tres etapas de desarrollo: vegetativa, espigamiento y madurez fisiológica y se utilizó el análisis discriminante canónico para el procesamiento estadístico de los datos. La adición de 10 mg Ni L<sup>-1</sup> a la solución nutritiva tuvo efectos tóxicos, limitó el crecimiento del trigo debido a la acumulación de 84.5 µg Ni g<sup>-1</sup> de peso seco en el follaje. Además, restringió la fotosíntesis, el contenido de clorofila y la asimilación de nutrientes cationes divalentes en la etapa vegetativa. La adición de 50 y 100 mg Ni L<sup>-1</sup> produjo la muerte de las plantas por acumulaciones altamente tóxicas de Ni. Las espigas

de las plantas que crecieron con 10 mg Ni L<sup>-1</sup> produjeron pocos y pequeños granos por severas deficiencias de micronutrientes causadas, aparentemente, por antagonismo con el Ni. Las espigas acumularon concentraciones de 236.6 µg Ni g<sup>-1</sup>, cuyo toxicidad originó deformaciones en las espigas.

*Palabras clave:* Metal pesado, toxicidad, análisis discriminante canónico, variable canónica, *Triticum aestivum*.

### SUMMARY

In recent decades, interest in detailed knowledge of the toxic effects of heavy metals, product of pollution, on plant growth and metabolism has grown. This information is needed for management of crops exposed to pollutants. Nickel can be present in waste water used for irrigation, and sewage sludge is applied on agricultural soils as fertilizer or soil amendments. To generate information on the physiological bases of toxicity caused by nickel, the effect of its accumulation in wheat (*Triticum aestivum* L.) was evaluated. Treatments applied in a hydroponics system were 10, 20, 50, and 100 mg Ni L<sup>-1</sup>. Changes in growth and mineral nutrition in three stages of development, vegetative growth, heading and physiological maturity, were recorded. The canonical discriminating analysis was used for statistical processing of the data. Addition of 10 mg Ni L<sup>-1</sup> in the nutritive solution had toxic effects; 84.5 µg Ni g<sup>-1</sup> dry weight in shoots was accumulated, limiting wheat growth. This accumulation limits photosynthesis, chlorophyll content and divalent cation nutrient uptake in the vegetative growth stage. The addition of 50 and 100 mg Ni L<sup>-1</sup> produced death of the plants from the toxic effects of Ni. The spikes produced few small grains because of severe micronutrient deficiencies, which are caused by antagonism with Ni. The spikes accumulated 236.6 µg Ni g<sup>-1</sup> dry weight as a result of Ni transport. Deformation of the spikes was also observed.

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, México (idiaz@colpos.colpos.mx)

<sup>2</sup> Departamento de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. México, DF.

<sup>3</sup> Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, México.

<sup>4</sup> Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, México.

*Index words:* Heavy metals, toxicity, canonical discriminating analysis, canonical variable, *Triticum aestivum*.

## INTRODUCCION

El efecto de los metales pesados sobre la calidad del ambiente es un tema de importancia en la investigación de las últimas décadas. Por esta razón, se ha incrementado el interés por conocer detalladamente los efectos tóxicos de los metales pesados, producto de la contaminación causada por el hombre, sobre el metabolismo y el desarrollo de las plantas cultivadas, con el fin de entender cómo es afectada la fisiología de las plantas cuando acumulan niveles tóxicos de un metal pesado, en su biomasa.

La contaminación por metales pesados se origina por la dispersión de sólidos, líquidos y partículas finas directamente en la atmósfera, que posteriormente se depositan en cuerpos de agua, sedimentos y suelos. Entre los metales pesados, el níquel es uno de los contaminantes presentes en las descargas de la industria minera, de la fundición, refinación de elementos metálicos y de diferentes tipos de industrias que utilizan este metal como materia prima. Su presencia, tanto en las aguas residuales utilizadas para riego, como en lodos residuales utilizados como fertilizantes o mejoradores del suelo, es una de las causas de la contaminación en suelos y plantas.

En 1988, el níquel se incluyó en la lista de los elementos esenciales para las plantas (Brown *et al.*, 1988). Sin embargo, este elemento es fitotóxico cuando está presente en altas concentraciones (Sheoran y Singh, 1993). Se absorbe como catión  $\text{Ni}^{2+}$  (Mishra y Kar, 1974; Uren, 1992) y es transportado rápidamente a los sitios metabólicamente activos, ocasionando múltiples efectos tóxicos en el crecimiento (Mishra y Kar, 1974; Sheoran y Singh, 1993; Krämer *et al.*, 1997), e interfiere en la absorción y translocación de otros nutrimentos a los diferentes órganos de las plantas (Rubio *et al.*, 1994), provocando serias deficiencias.

El efecto tóxico del níquel en diversos cultivos ha sido evaluado principalmente en los primeros estados de desarrollo de las plantas; por lo tanto, existe poca información de su toxicidad en el crecimiento y su efecto sobre la absorción de nutrimentos, a lo largo de todo el ciclo de desarrollo de un cultivo. Con base en lo anterior y en un esfuerzo por comprender mejor las bases fisiológicas de la toxicidad del Ni en las plantas cultivadas, el objetivo de este trabajo fue: evaluar el

efecto de diferentes concentraciones acumuladas en el follaje, espigas y granos de trigo, en el crecimiento y la nutrición vegetal durante tres etapas del desarrollo: vegetativa, espigamiento y madurez fisiológica, en un sistema de cultivo hidropónico.

## MATERIALES Y METODOS

Se estableció un experimento en invernadero con el cultivar Temporalera M87 de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.). El ciclo del cultivo se dividió en tres etapas de desarrollo: vegetativa, espigamiento y madurez fisiológica, para evaluar el efecto de cuatro tratamientos 10, 20, 50 y 100 mg Ni L<sup>-1</sup>, incluyéndose un testigo sin aplicación de Ni. Las unidades experimentales se arreglaron de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar, con cinco repeticiones. Cada unidad experimental contenía seis plantas, de las cuales dos se utilizaron por muestreo. En las plantas secas a peso constante y molidas en molino de ágata, se analizó el contenido de Ni, Ca, Mg y micronutrimentos por espectrofotometría de absorción atómica, previa solubilización con ácido nítrico-perclórico (Jones y Case, 1990). El contenido de N se cuantificó por el método semimicro-kjeldahl, el P por el método vanadato-molibdato y el K por flamometría; los resultados se expresaron con base en el peso seco de las plantas.

Se utilizó un sistema hidropónico de subirrigación manual, con agrolita como sustrato. La composición, en meq L<sup>-1</sup>, de la solución nutritiva fue la siguiente:  $\text{NO}_3^-$ , 5;  $\text{NH}_4^+$ , 2;  $\text{SO}_4^{2-}$ , 3.5;  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , 1;  $\text{Ca}^{2+}$ , 4;  $\text{Mg}^{2+}$ , 1; y  $\text{K}^+$ , 3.5. Los micronutrimentos B, Cu, Mn, Mo y Zn se adicionaron según la forma descrita por Hoagland y Arnon (1950), y el hierro se aplicó como Fe-EDTA (Hewitt, 1966). A la solución nutritiva se le adicionó el Ni en forma líquida a partir de una solución patrón de 1000 mg Ni L<sup>-1</sup>, preparada con nitrato de níquel hexahidratado [ $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ] y ésta se ajustó a un pH de 5.0. La solución nutritiva se reemplazó cada semana y cada 15 días se lavó el sustrato con agua destilada. El número de riegos fue de uno a dos diarios, dependiendo del tamaño de las plantas; después del último riego se reponía el agua evapotranspirada aforando con agua destilada y se ajustaba el pH a 5.0.

Con cada uno de los tratamientos de Ni se procedió a la creación de grupos, asignándoseles un símbolo de grupo, como se indica en el Cuadro 1. Las variables en estudio se reunieron en tres grupos: morfológicas, fisiológicas y nutrimentales (Cuadro 2).

**Cuadro 1. Configuración de grupos por etapa de desarrollo del cultivo de trigo y tratamiento de níquel en estudio, para la interpretación del análisis de los datos.**

Etapa de desarrollo	Muestreo	Tratamiento	Símbolo del grupo
		mg L <sup>-1</sup>	
Vegetativa (34 días después del transplante)	1	Testigo	0
	1	Ni10	1
	1	Ni20	2
	1	Ni50	3
	1	Ni100	4
Espigamiento (21 días después del primer muestreo)	2	Testigo	5
	2	Ni10	6
	2	Ni20	7
	2	Ni100	9
Madurez fisiológica (41 días después del segundo muestreo)	3	Testigo	A
	3	Ni10	B
	3	Ni20	C
	3	Ni50	D
	3	Ni100	E

Con el fin de considerar la estructura de covariación presente entre las variables y simplificar la estructura de los datos obtenidos, se utilizó la técnica estadística multivariada Análisis Discriminante Canónico, cuyo objetivo es el de considerar la variabilidad subyacente entre y dentro de las variables en estudio, y por medio de la reducción de la dimensionalidad de las variables, establecer una estructura fundamental (canónica) que ilustra, tan claro como es posible, la diferenciación entre grupos, lo que se logra por las combinaciones lineales de las observaciones (Krzanowsky, 1993).

El Análisis Discriminante Canónico se realizó por grupo de variables, como se indica en el Cuadro 2, incluyendo en cada análisis a la variable concentración de níquel en el follaje y/o espigas, según fuera el caso. Para el análisis de los datos, se utilizó el procedimiento CANDISC (discriminante canónico), incluido en el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) y las gráficas se

**Cuadro 2. Variables incluidas en el grupo de variables morfológicas, fisiológicas y nutrimentales, analizadas por el procedimiento CANDISC.**

Número de análisis	Grupo	Variable	Acrónimo
1	Variables morfológicas	Peso seco del follaje	PSFOLL
		Altura de la planta	ALT
		Número de macollos	NMAC
		Concentración de Ni en el follaje	CNIFOLL
2	Variables morfológicas, incluyendo al PSESP	Peso seco de las espigas	PSESP
		Concentración de Ni en las espigas	CNIESP
3	Variables fisiológicas	Contenido de clorofila	CLOROF
		Fotosíntesis	FOTOS
		Conductancia estomática	CONEST
		CO <sub>2</sub> intercelular	CO2INT
		Concentración de Ni en el follaje	CNIFOLL
4	Variables nutrimentales en follaje	Nitrógeno	NFOLL
		Fósforo	PFOLL
		Potasio	KFOLL
		Calcio	CaFOLL
		Magnesio	MgFOLL
		Zinc	ZnFOLL
		Manganeso	MnFOLL
		Hierro	FeFOLL
		Concentración de Níquel	CNIFOLL
		5	Variables nutrimentales en espigas
Fósforo	PESP		
Potasio	KESP		
Calcio	CaESP		
Magnesio	MgES		
Zinc	ZnESP		
Manganeso	MnESP		
Hierro	FeESP		
Concentración de Níquel	CNIESP		



diseñaron con el paquete de diseño asistido por computadora AutoCAD.

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### Efecto del Níquel en el Crecimiento

Las plantas que crecieron en los cuatro tratamientos: 10, 20, 50 y 100 mg Ni L<sup>-1</sup> se afectaron mucho en su fisiología. En la etapa vegetativa, el crecimiento de las plantas mostró un gradiente de disminución de acuerdo con la concentración de Ni en el follaje (Figura 1). En esta etapa de desarrollo, las plantas presentaron una clorosis en bandas longitudinales, también reportada por Mishra y Kar (1974) y Setia *et al.* (1988) como el síntoma característico de toxicidad por Ni. Las plantas que mostraron los más severos efectos tóxicos en su crecimiento fueron las que se desarrollaron con los tratamientos 50 y 100 mg Ni L<sup>-1</sup>, éstas acumularon 211.40 y 345.18 µg Ni g<sup>-1</sup> en el follaje, respectivamente (Cuadro 3). Considerándose casos

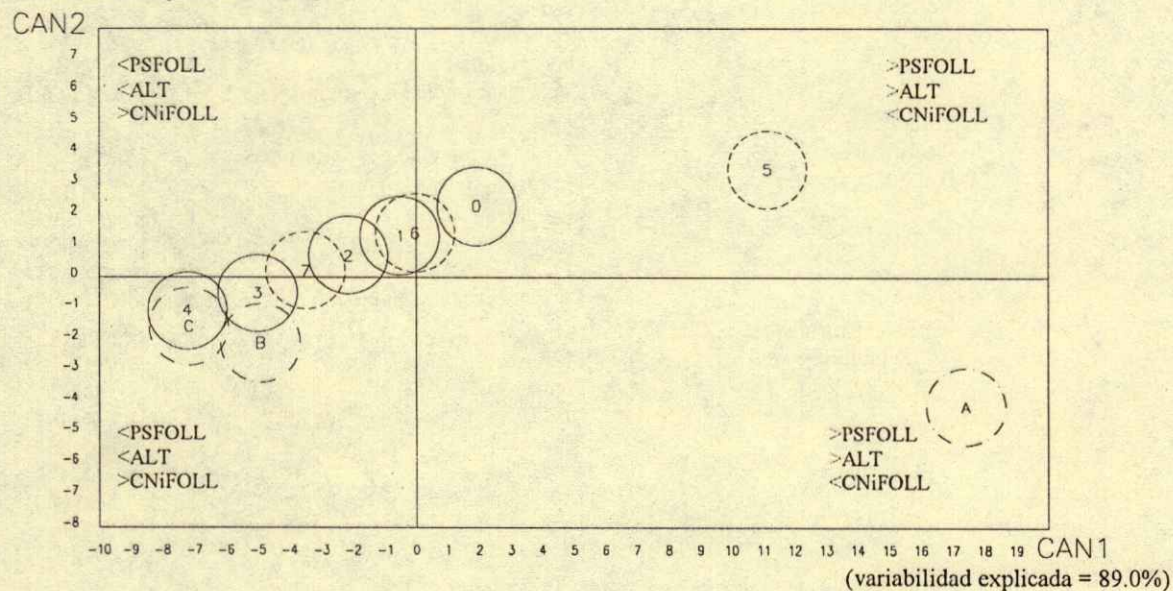
extremos de toxicidad, como lo indicaron Mishra y Kar (1974), por afectar irreversiblemente el crecimiento y producir la muerte de las plantas, lo cual es indicado por la ubicación de las plantas en el cuadrante inferior-izquierdo donde se localizan los grupos de plantas más afectadas (Figura 1). Al respecto, Guo y Marschner (1995) mencionaron que el Ni<sup>2+</sup> es rápidamente absorbido por las plantas y se acumula en altas concentraciones en diferentes órganos de las plantas.

Las ecuaciones de las variables canónicas (CAN) que explican el efecto de los cuatro tratamientos de Ni en el crecimiento, en las tres etapas de desarrollo, indican de acuerdo con los coeficientes que las variables que mejor discriminan a los grupos son la ALT en CAN1 y el PSFOLL en CAN2, ambas explican 96% de la variabilidad total como se señala:

$$CAN1 = 1.0338PSFOLL + 5.0562ALT + 0.5111NMAC - 1.9799CNiFOLL$$

$$CAN2 = -3.8373PSFOLL + 2.9001ALT + 0.0480NMAC - 0.5239CNiFOLL$$

(variabilidad explicada = 7.0%)



Etapa de desarrollo	Vegetativa				Espigamiento				Madurez fisiológica						
Tratamiento (mg Ni L <sup>-1</sup> )	Testigo	10	20	50	100	Testigo	10	20	50	100	Testigo	10	20	50	100
Símbolo de grupo		0	1	2	3	4	5	6	7	-	-	A	B	C	-

Figura 1. Efecto de los tratamientos de níquel en las tres etapas de desarrollo del trigo en el grupo de variables morfológicas: peso seco del follaje (PSFOLL), altura de planta (ALT) y número de macollos (NMAC), incluyendo a la concentración de Ni en el follaje (CNiFOLL).

Cuadro 3. Concentración de níquel en follaje, espigas y grano en las plantas de trigo.

Etapa de desarrollo	Cantidad de Ni en la solución nutritiva mg L <sup>-1</sup>	Concentración acumulada de Ni		
		Follaje	Espigas	Grano
		----- µg g <sup>-1</sup> de peso seco -----		
Vegetativa	10	84.48		
	20	147.74		
	50	211.40		
	100	345.18		
Espigamiento	10	301.31	28.17	
	20	182.53	12.15	
Madurez fisiológica	10	588.44	205.35	236.61
	20	367.85	86.14	57.08 <sup>†</sup>

<sup>†</sup> La concentración de níquel se cuantificó en los embriones rudimentarios.

Las concentraciones acumuladas de Ni en el follaje de las plantas, con 50 y 100 mg Ni L<sup>-1</sup>, ocasionaron disminuciones de la ALT de 27.5 y 31.4% y del PSFOLL de 38.5 y 56.3%, respectivamente, en comparación con el testigo. Acumulaciones de 84.48 µg Ni g<sup>-1</sup> en el follaje de las plantas que crecieron con 10 mg Ni L<sup>-1</sup>, disminuyeron en 9.1% la ALT y en 13.5% el PSFOLL, considerándose ésta una concentración tóxica para el crecimiento. Al respecto, Free y Thelease (1917), citados por Mishra y Kar (1974), indicaron que 5 mg Ni L<sup>-1</sup>, en la solución nutritiva, son tóxicos para plantas de trigo y valores mayores que 23.5 mg Ni L<sup>-1</sup> son extremadamente tóxicos para plantas de cebada (Brune y Dietz, 1995).

En las etapas de espigamiento y madurez fisiológica, solamente se evaluó el efecto en las plantas tratadas con 10 y 20 mg Ni L<sup>-1</sup>. En la etapa de espigamiento, no hubo crecimiento alguno, las plantas con 10 mg Ni L<sup>-1</sup> fueron estadísticamente iguales a las de su mismo nivel en la etapa vegetativa, en tanto que el crecimiento de las plantas del tratamiento 20 mg Ni L<sup>-1</sup> fue similar al crecimiento de las de los tratamientos 20 y 50 mg Ni L<sup>-1</sup> en la misma etapa de desarrollo (Figura 1).

Las plantas con 20 mg Ni L<sup>-1</sup> experimentaron una toxicidad gradual a través del tiempo. El efecto tóxico se igualó en la madurez fisiológica al de las plantas con 100 mg Ni L<sup>-1</sup> en la etapa vegetativa. Al final del ciclo de desarrollo, las plantas mostraron disminuciones de 57.9% en la ALT y de 93.1% en el PSFOLL, con respecto al testigo. Asimismo, las plantas que crecieron con 10 mg Ni L<sup>-1</sup> no desarrollaron, siendo su ALT similar a las de las plantas con el mismo tratamiento en la etapa vegetativa y éstas llegaron a acumular 558.44 µg Ni g<sup>-1</sup> en el follaje. Es de importancia

señalar, que las plantas de trigo son muy sensibles a la toxicidad por Ni a través de su ciclo de desarrollo, si éstas crecen con 10 mg Ni L<sup>-1</sup>.

Al introducir en el análisis discriminante canónico las variables PSESP y CNiESP (Cuadro 2), se observó que CAN1 y CAN2 en conjunto explicaban 96.8% de la variabilidad total. Las ecuaciones para este caso son:

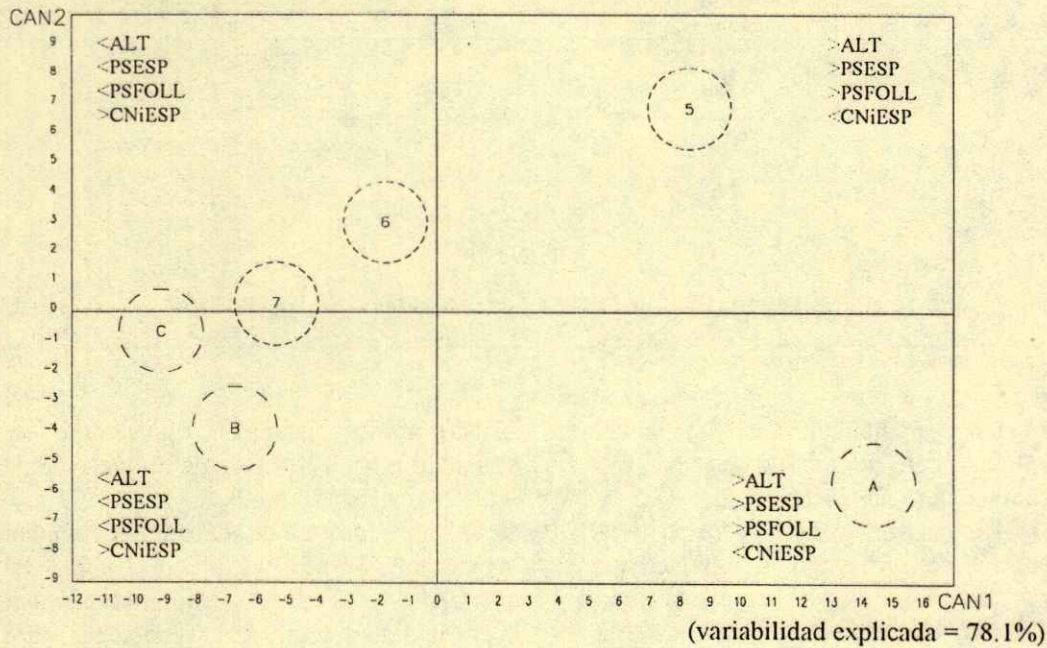
$$\text{CAN1} = -0.9370\text{PSFOLL} + 6.3255\text{ALT} + 0.6379\text{NMAC} + 1.6317\text{PSESP} - 1.7080\text{CNiFOLL} - 0.6878\text{CNiESP}$$

$$\text{CAN2} = 7.2558\text{PSFOLL} + 2.4348\text{ALT} - 0.6094\text{NMAC} - 11.0421\text{PSESP} + 0.0036\text{CNiFOLL} + 0.8210\text{CNiESP}$$

El coeficiente asociado al PSESP en CAN2 indicó que es una variable de importancia para analizar el efecto del Ni en el crecimiento, conjuntamente con el PSFOLL. Asimismo, la ALT sigue teniendo importancia en CAN1. El PSESP, el PSFOLL y la ALT en los grupos de las plantas testigo fueron los más altos en la etapa de espigamiento y madurez fisiológica (Figura 2); las plantas tratadas con 10 y 20 mg Ni L<sup>-1</sup> presentaron disminuciones de 79.3 y 96.6%, respectivamente, en el PSESP en la etapa de espigamiento. Por esta razón, las plantas en esta etapa de desarrollo se ubicaron en el cuadrante donde éstas presentan el menor tamaño de espigas (Figura 2), esta tendencia se mantuvo hasta la etapa de madurez fisiológica. Este efecto también se asoció al escaso amacollamiento, el cual presentó disminuciones de hasta 70% en las plantas con 20 mg Ni L<sup>-1</sup> en la etapa de madurez fisiológica.

Las espigas de las plantas con 10 mg Ni L<sup>-1</sup> fueron pequeñas y acumularon concentraciones de 205.35 µg Ni g<sup>-1</sup>, lo cual provocó que algunas de éstas presentaran encurvamientos (Figura 3). Las

(variabilidad explicada = 18.8%)



Etapa de desarrollo	Espigamiento				Madurez fisiológica					
Tratamiento (mg Ni L <sup>-1</sup> )	Testigo	10	20	50	100	Testigo	10	20	50	100
Símbolo de grupo	5	6	7	-	-	A	B	C	-	-

Figura 2. Efecto de los tratamientos de níquel en las etapas de espigamiento y madurez fisiológica del trigo en el grupo de las variables morfológicas: peso seco del follaje (PSFOLL), altura de planta (ALT) y número de macollos (NMAC), incluyendo la concentración de Ni en el follaje (CNiFOLL) y la concentración de Ni en las espigas (CNiESP).

malformaciones son otro síntoma de toxicidad por Ni (Mishra y Kar, 1974). Pocos y pequeños granos se produjeron en estas espigas, mostrando una disminución de 66.7% del PSGRA con respecto al testigo; en estos granos se acumularon concentraciones de 236.6  $\mu\text{g Ni g}^{-1}$ , contenidos similares a los observados en espigas (Cuadro 3). Estos resultados coinciden con los reportados por Sauerbeck (1991), quien sugirió una movilización del Ni de las partes vegetativas a las reproductivas, para posteriormente acumularse en grandes cantidades en los granos (Mishra y Kar, 1974), lo que resalta la importancia del gran potencial que tienen los granos de trigo para acumular Ni.

La hoja bandera de las plantas con 20 mg Ni L<sup>-1</sup> también presentó malformaciones que consistieron en enrollamientos que impidieron la normal emergencia de las espigas (Figura 4) y, con el tiempo, emergieron pequeñas y alargadas espigas, que no formaron

granos. La concentración acumulada en estas espigas fue de 86.14  $\mu\text{g Ni g}^{-1}$ , concentración que, al igual que en el follaje de las plantas con 10 mg Ni L<sup>-1</sup> en la etapa vegetativa (Cuadro 3), fue tóxica, por impedir el crecimiento de las estructuras reproductivas. En las espiguillas de las plantas de ambos tratamientos, también se observaron las típicas franjas cloróticas que caracterizan a la toxicidad por Ni.

### Efecto del Níquel en la Fotosíntesis

El contenido de clorofila, la fotosíntesis y la conductancia estomática se afectaron desde la etapa vegetativa, lo cual se señala por los coeficientes canónicos estandarizados de las dos primeras variables canónicas, que conjuntamente explican 91.1% de la variabilidad total, como se muestra a continuación:



Figura 3. Encurvamiento de las espigas de las plantas de trigo tratadas con 10 mg Ni L<sup>-1</sup>.

$$\text{CAN1} = \frac{2.7472\text{CLOROF} + 1.8274\text{FOTOS} + 0.6124\text{CONEST} + 0.4127\text{CO2INT} - 1.2991\text{CNiFOLL}}{1}$$

$$\text{CAN2} = \frac{-1.0799\text{CLOROF} + 0.5746\text{FOTOS} + 1.9948\text{CONEST} - 0.3509\text{CO2INT} + 1.6445\text{CNiFOLL}}{1}$$

Disminuciones de 50% de la tasa fotosintética en las plantas con 10 y 20 mg Ni L<sup>-1</sup> se cuantificaron en la etapa vegetativa y las plantas con los tratamientos 50 y 100 mg Ni L<sup>-1</sup> no mostraron actividad fotosintética, por lo que estas plantas quedaron ubicadas en el cuadrante izquierdo-inferior en donde los efectos tóxicos del Ni son muy severos (Figura 5). De acuerdo con los resultados, se demostró que la fijación fotosintética del CO<sub>2</sub> es un proceso fisiológico muy susceptible de afectarse por este metal, como lo indicaron Sheoran y Singh (1993), y posiblemente fue el primer efecto de la toxicidad del

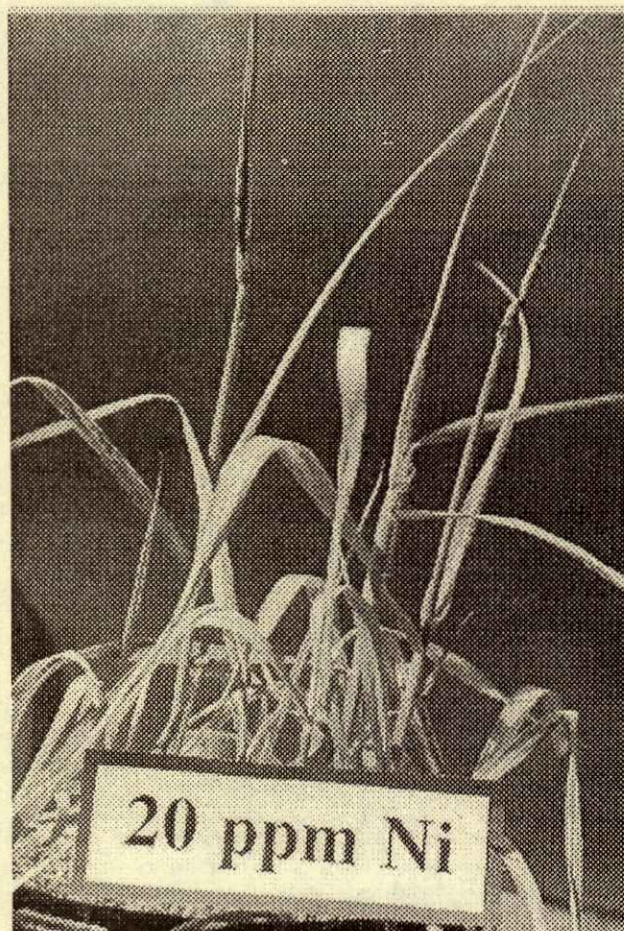


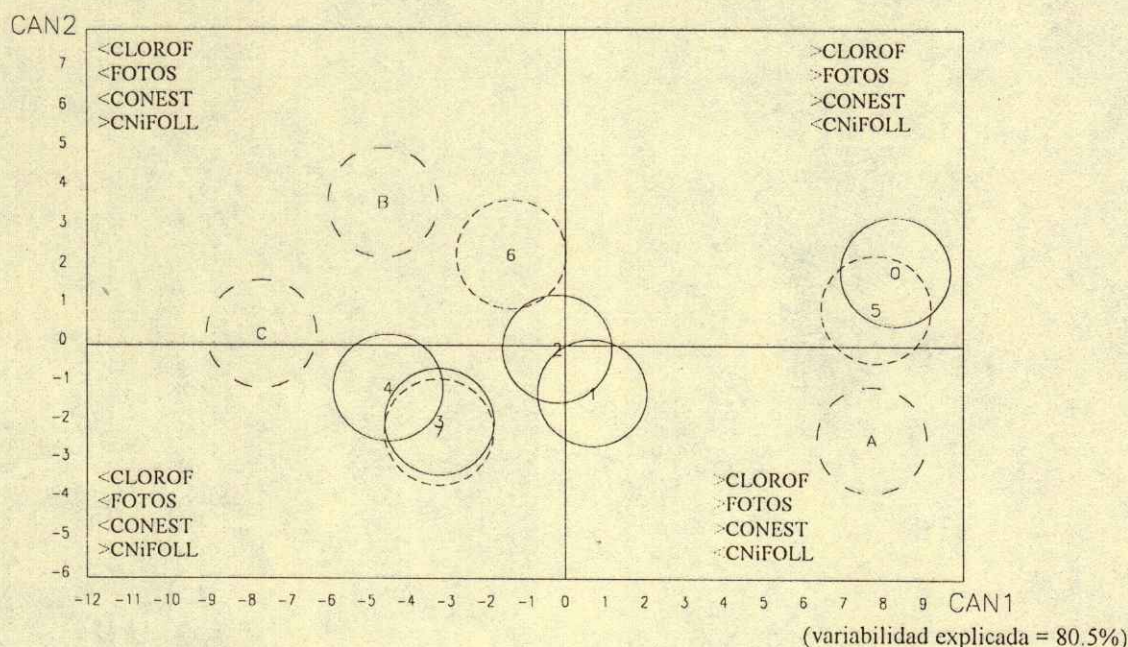
Figura 4. Enrollamientos de la hoja bandera en las plantas de trigo por efecto de 20 mg Ni L<sup>-1</sup>.

Ni de acuerdo con Krupa *et al.* (1993) en los primeros estados de desarrollo de las plantas, sugiriéndose que posiblemente fue el primer factor que contribuyó con la disminución del crecimiento.

La FOTOS de las plantas con 20 mg Ni L<sup>-1</sup> disminuyó y no se observó actividad fotosintética en la etapa de espigamiento, por ser estadísticamente igual a la FOTOS de las plantas con 50 mg Ni L<sup>-1</sup> en la etapa vegetativa (Figura 5). Las plantas con 10 mg Ni L<sup>-1</sup> mostraron una pequeña recuperación de su tasa fotosintética, por presentar disminuciones del 40% y sólo hasta la etapa de madurez fisiológica no mostraron actividad fotosintética.

Asimismo, desde la etapa vegetativa, las plantas con los tratamientos 50 y 100 mg Ni L<sup>-1</sup> presentaron disminuciones del CLOROF al 50% de las hojas de las plantas testigo. Brune y Dietz (1995) reportaron

(variabilidad explicada = 10.5%)



Etapa de desarrollo	Vegetativa				Espigamiento				Madurez fisiológica							
Tratamiento (mg Ni L <sup>-1</sup> )	Testigo	10	20	50	100	Testigo	10	20	50	100	Testigo	10	20	50	100	
Símbolo de grupo		0	1	2	3	4	5	6	7	-	-	A	B	C	-	-

Figura 5. Efecto de los tratamientos de níquel en las tres etapas de desarrollo del trigo para el grupo de las variables fisiológicas: contenido de clorofila (CLOROF), fotosíntesis (FOTOS), conductancia estomática (CONEST) y CO<sub>2</sub> intercelular (CO2INT), incluyendo a la concentración de Ni en el follaje CNiFOLL).

similares resultados con valores de 23.5 mg Ni L<sup>-1</sup> en la solución nutritiva y mencionaron que, en cebada, el contenido de clorofila es muy afectado, debió a que su síntesis es inhibida por el Ni. Este mismo porcentaje se cuantificó en la etapa de espigamiento en las hojas de las plantas con 10 y 20 mg Ni L<sup>-1</sup> y en la etapa de madurez fisiológica con el tratamiento 10 mg Ni L<sup>-1</sup>; se cuantificaron disminuciones del CLOROF de 60%, con respecto al testigo. Por lo tanto, concentraciones en el follaje de las plantas de trigo de 211.40 a 345.18 µg Ni g<sup>-1</sup>, disminuyeron a 50% el CLOROF y acumulaciones de 84.48 y 114.74 µg Ni g<sup>-1</sup> en las plantas con 10 y 20 mg Ni L<sup>-1</sup> la disminuyeron a 32 y 42%, respectivamente (Figura 5).

La CONEST disminuyó significativamente desde la etapa vegetativa y se observaron disminuciones de 75 y 80% en las plantas tratadas con 10 y 20 mg Ni L<sup>-1</sup> con respecto al testigo. Es de interés comentar los resultados obtenidos por Sheoran y Singh (1993), quienes indicaron que la fotosíntesis se afectó mucho por el Ni, pero el efecto sobre la

conductancia estomática fue de poca magnitud. Los resultados que presentaron se obtuvieron en la etapa vegetativa con solamente 10 días de exposición con Ni y, en este caso, las mediciones se hicieron en la misma etapa de desarrollo. No obstante, el tiempo de exposición fue desde el estado de plántula, lo cual posiblemente fue el factor que impidió que observaran el efecto tóxico del Ni sobre la CONEST, como se observó en este estudio y es indicado por la segunda variable canónica, la cual explica 10.5% de la variabilidad total.

#### Efecto del Ni en el Contenido de Nutrientos en el Follaje

Los valores de los coeficientes canónicos estandarizados de las variables NFOLL, PFOLL, MnFOLL y MgFOLL son los de mayor magnitud, en ambas variables canónicas. Por lo tanto, son las variables de interés que explican el efecto tóxico del Ni en la nutrición como a continuación se observa:

$$\begin{aligned} \text{CAN1} = & 13.6604\text{NFOLL} + 7.5531\text{PFOLL} - 7200\text{KFOLL} \\ & - 6.3718\text{CaFOLL} - 5.2215\text{MgFOLL} - 4.3945\text{ZnFOLL} \\ & + 10.3091\text{MnFOLL} + 1.1836\text{FeFOLL} + .3916\text{CNiFOLL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CAN2} = & - 0.2740\text{NFOLL} + 7.8118\text{PFOLL} - 1.4313\text{KFOLL} \\ & + 1.5181\text{CaFOLL} - 6.4503\text{MgFOLL} - 4.5510\text{ZnFOLL} \\ & + 5.4256\text{MnFOLL} - 1.3930\text{FeFOLL} + 2.9586\text{CNiFOLL} \end{aligned}$$

En la Figura 6, se muestra que el contenido de nutrimentos en el follaje es diferente en la etapa vegetativa en las plantas con los cuatro tratamientos, observándose una disminución gradual en correspondencia a la acumulación de Ni en el follaje, siendo la absorción de los cationes divalentes  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  los que primero disminuyeron. El mayor porcentaje de disminución fue en el contenido de MgFOLL y MnFOLL al comparar con el contenido de CaFOLL y FeFOLL. Al respecto, Körner *et al.* (1986) mencionaron que el ion  $\text{Ni}^{2+}$  puede competir por los sitios de transporte de los cationes divalentes.

Varios autores sugirieron que el sintoma de la clorosis intervenal en las hojas, causado por el Ni, se debe a una deficiencia de Fe (Baccouch *et al.*, 1998), pero también se atribuye a interferencias del Ni con la síntesis de clorofila (Brune y Dietz, 1995). En el follaje de las plantas con 10 mg Ni L<sup>-1</sup> en la etapa vegetativa, se acumularon concentraciones de 84.48 µg Ni g<sup>-1</sup>, disminución del CLOROF en 32% y del contenido de FeFOLL de 13.3%. Posiblemente, la interacción de estos tres factores fue la causa de la clorosis intervenal de las plantas desde la etapa vegetativa.

El contenido de NFOLL y PFOLL disminuyó en menor porcentaje. La disminución del contenido de NFOLL, posiblemente, fue consecuencia de la inhibición de la absorción de nitratos y de la actividad nitrato reductasa por el ion  $\text{Ni}^{2+}$ , como lo indicaron Bhandal y Kaur (1992); hay que recordar que los nitratos se encontraban en una mayor proporción que los amonios en la solución de crecimiento. El contenido de nutrimentos en el follaje de las plantas con los tratamientos 50 y 100 mg Ni L<sup>-1</sup> disminuyó en 40 a 70%, lo que indicó severas deficiencias de nutrimentos minerales. Esto se constató por la localización de estas plantas en el cuadrante izquierdo-superior donde se localizan los grupos con severas deficiencias nutrimentales (Figura 6), situación que posiblemente ocasionó cambios fisiológicos y bioquímicos en estas plantas, contribuyendo a su muerte.

En la etapa de espigamiento, las plantas con 10 y 20 mg Ni L<sup>-1</sup> presentaron disminuciones marcadas del

contenido de nutrimentos, siendo estadísticamente igual el contenido de las plantas con 20 mg Ni L<sup>-1</sup> a el de las plantas con 50 mg Ni L<sup>-1</sup>, en la etapa vegetativa. La inhibición de la absorción de nutrimentos y los aumentos de las concentraciones de Ni en el follaje, ocasionaron que en la etapa de madurez fisiológica se acumularan contenidos similares, a los de las plantas con 100 mg Ni L<sup>-1</sup> en la etapa vegetativa en las plantas con ambos tratamientos (Figura 6). Estos resultados son posiblemente consecuencia de los cambios de las propiedades de la membrana plasmática de las células de la raíz a favor de una mayor absorción de Ni, como lo reportaron Pandolfini *et al.* (1992).

### Efecto del Ni en el Contenido de Nutrimentos en las Espigas

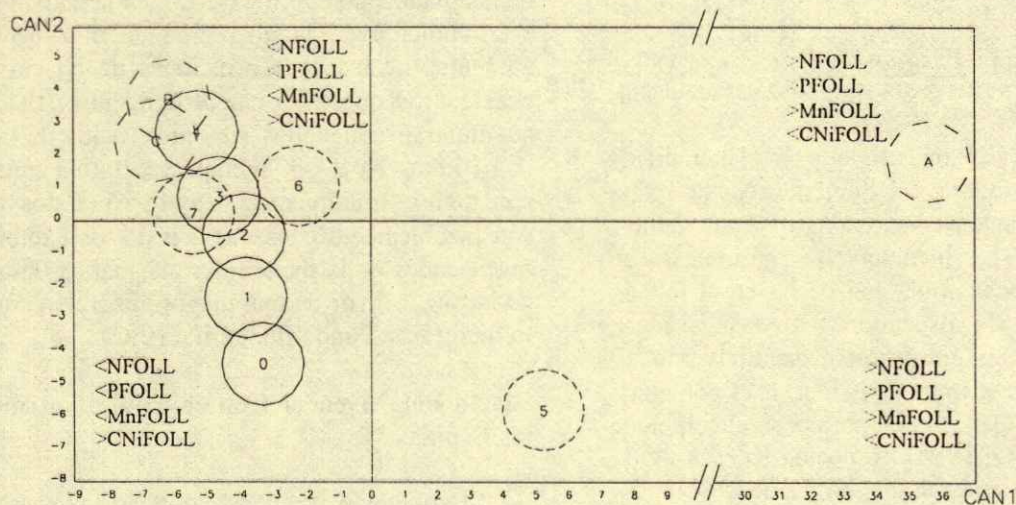
El contenido de nutrimentos en las espigas de las plantas con 10 y 20 mg Ni L<sup>-1</sup> se redujo considerablemente, posiblemente por el efecto de las altas acumulaciones de Ni cuantificadas en la etapa de espigamiento (Cuadro 3). Las disminuciones observadas fueron en un rango de 75 a 99%, y en la etapa de madurez fisiológica se agudizó el efecto. Al analizar el contenido de nutrimentos en las espigas de las plantas se tiene que, con las dos primeras variables canónicas, es posible explicar la mayor parte de la variabilidad total (99.4%), del efecto del Ni en el contenido de nutrimentos en las estructuras reproductivas, quedando expresadas de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{CAN1} = & 9.7111\text{NESP} + 10.9043\text{PESP} - 4.6104\text{KESP} \\ & - 19.0495\text{CaESP} - 31.8877\text{MgESP} + 31.5609\text{ZnESP} \\ & + 32.1199\text{MnESP} + 2.3728\text{FeESP} - 0.9412\text{CNiESP} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CAN2} = & 11.5576\text{NFOLL} + 9.7962\text{PESP} - 18.5721\text{KESP} \\ & - 22.6478\text{CaESP} - 5.3056\text{MgESP} + 22.8602\text{ZnESP} \\ & + 22.6226\text{MnESP} + 3.2250\text{ZnESP} + 8.2389\text{CNiESP} \end{aligned}$$

Las variables, que mejor discriminaron a los grupos, son el CaESP, MgESP, ZnESP y MnESP; de acuerdo con los resultados obtenidos, los contenidos de estos nutrimentos cationes divalentes se cuantificaron en menores cantidades. Se pudo constatar que las concentraciones acumuladas de Ni, afectaron la translocación de estos nutrimentos a los diferentes órganos de la planta, como lo mencionaron Rubio *et al.* (1994). Esto es corroborado por la ubicación de estas plantas en donde las deficiencias de nutrimentos en las espigas son muy severas (Figura 7). Es posible que las deficiencias de

(variabilidad explicada = 5.6%)

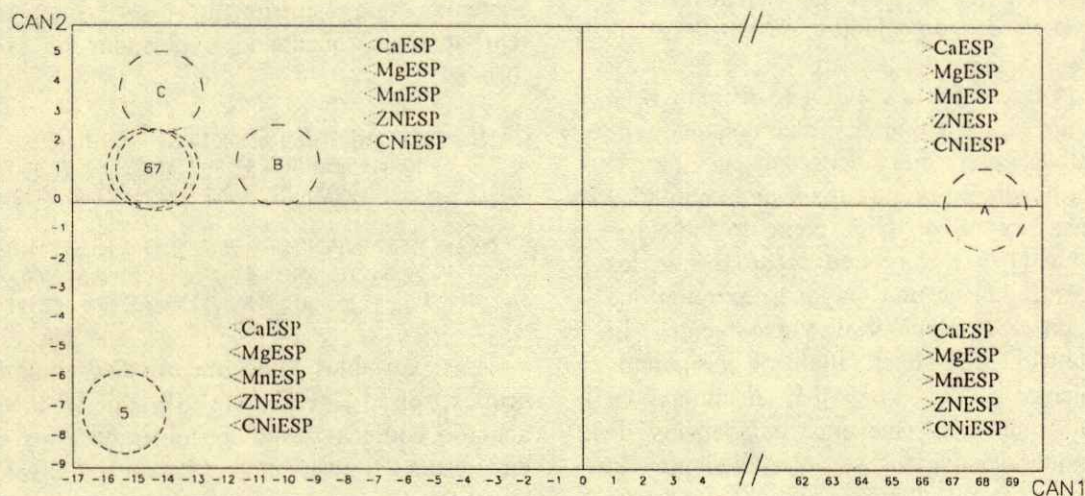


(variabilidad explicada = 91.8%)

Etapa de desarrollo	Vegetativa				Espigamiento				Madurez fisiológica						
Tratamiento (mg Ni L <sup>-1</sup> )	Testigo	10	20	50	100	Testigo	10	20	50	100	Testigo	10	20	50	100
Símbolo de grupo	0	1	2	3	4	5	6	7	-	-	A	B	C	-	-

Figura 6. Efecto de los tratamientos de níquel en las tres etapas de desarrollo del trigo en el contenido de nutrientes en el follaje: NFOLL, PFOLL, KFOLL, CaFOLL, MgFOLL, ZnFOLL, MnFOLL y FeFOLL, incluyendo a la concentración de Ni en el follaje (CNiFOLL).

(variabilidad explicada = 1.2%)



(variabilidad explicada = 98.2%)

Etapa de desarrollo	Espigamiento				Madurez fisiológica					
Tratamiento (mg Ni L <sup>-1</sup> )	Testigo	10	20	50	100	Testigo	10	20	50	100
Símbolo de grupo	5	6	7	-	-	A	B	C	-	-

Figura 7. Efecto de los tratamientos de níquel en las etapas de espigamiento y madurez fisiológica del trigo en el contenido de nutrientes en las espigas: NESP, PESP, KESP, CaESP, MgESP, ZnESP, MnESP y FeESP, incluyendo a la concentración de Ni en las espigas (CNiESP).

micronutrientes en las espigas de las plantas con 10 mg Ni L<sup>-1</sup> haya sido la causa de la escasa formación de granos, como lo indican Ambak y Tadano (1991) y, en especial, las deficiencias de Zn de acuerdo con Sharma *et al.* (1990). A lo anterior se añaden los disturbios citológicos que los iones Ni<sup>2+</sup> pueden ocasionar en la mitosis de las células (Mishra y Kar, 1974).

### CONCLUSIONES

La adición de 10 mg Ni L<sup>-1</sup> en la solución de crecimiento es considerada un grado tóxico para el crecimiento del trigo; en el follaje de estas plantas se acumularon concentraciones de 84.48 µg Ni g<sup>-1</sup>, que ocasionaron severas disminuciones en el crecimiento, la fotosíntesis, el contenido de clorofilas y la absorción y acumulación de nutrientes cationes divalentes en la etapa vegetativa.

Se consideraron casos extremos de toxicidad por níquel acumulaciones de 211.40 y 345.18 µg Ni g<sup>-1</sup> en el follaje de las plantas de trigo, que crecieron con 50 y 100 mg Ni L<sup>-1</sup>, por inducir la muerte de las plantas. Las espigas de las plantas que crecieron en 10 mg Ni L<sup>-1</sup> produjeron pocos y pequeños granos por severas deficiencias de micronutrientes por aparente antagonismo con el Ni. Por movilización del níquel se acumularon concentraciones de 236.61 µg Ni g<sup>-1</sup> en las espigas, cuya toxicidad originó deformaciones en las espigas.

### LITERATURA CITADA

- Ambak, K. y T. Tadano. 1991. Effect of micronutrient application on the growth and occurrence of sterility in barley and rice in a Malaysian deep peat soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37: 715-724.
- Baccouch, S., A. Chaoui y E. El Ferjani. 1998. Nickel toxicity: Effects on growth and metabolism of maize. *J. Plant Nutrition* 21: 577-588.
- Bhandal, I.S. y H. Kaur. 1992. Heavy metal inhibition of nitrate uptake and *in vivo* nitrate reductase in roots of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Indian J. Plant Physiol.* 35: 281-284.
- Brown, P.H., R.M. Welch y E.E. Cary. 1988. Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiol.* 85: 801-803.
- Brune, A. y K.J. Dietz. 1995. A comparative analysis of element composition of roots and leaves of barley seedlings grown in the presence of toxic cadmium, molybdenum, nickel and zinc concentrations. *J. Plant Nutrition* 18: 853-868.
- Guo, Y. y H. Marschner. 1995. Uptake, distribution, and binding of cadmium and nickel in different plant species. *J. Plant Nutrition* 18: 2691-2706.
- Hewitt, E.J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Commonwealth Agricultural Bureaux. Great Britain.
- Hoagland, D.R. y D.I. Arnon. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. *Circ.* 347. Berkeley Calif. Agric. Exp. Station. Univ. of Calif.
- Jones, J.B. y V.W. Case. 1990. Analyzing plant tissue samples. pp. 404-409. In: R.L. Westerman (ed.). *Soil testing and plant analysis*. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Krämer, U., R.D. Smith, W.W. Wenzel, I. Raskin y D.E. Salt. 1997. The role of metal transport and tolerance in nickel hyperaccumulation by *Thlaspi goesingense* Halácsy. *Plant Physiol.* 115: 1641-1650.
- Körner, L.E., I.M. Moller y P. Jensen. 1986. Free space uptake and influx of Ni<sup>2+</sup> in excised barley roots. *Physiol. Plantarum* 68: 583-588.
- Krupa, Z., A. Siedlecka, W. Maksymiec y T. Baszynski. 1993. *In vivo* response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. *J. Plant Physiol.* 142: 664-668.
- Krzanowsky, W.J. 1993. Principles of multivariate analysis: A user's perspective. Oxford Statistical Science Series: V3. Oxford Science Publications. Clarendon Press-Oxford, Northern Ireland.
- Mishra, D. y M. Kar. 1974. Nickel in plant growth and metabolism. *The Botanical Review* 40: 395-452.
- Pandolfini, T., R. Gabbriellini y C. Comparini. 1992. Nickel toxicity and peroxidase activity in seedlings of *Triticum aestivum* L. *Plant, Cell and Environment* 15: 719-725.
- Rubio, M.I., I. Escrig, C. Martínez-Cortina, F.J. López-Benet y A. Sanz. 1994. Cadmium and nickel accumulation in rice plants. Effects on mineral nutrition and possible interactions of abscisic and gibberellic acids. *Plant Growth Regulation* 14: 151-157.
- Sauerbeck, D.R. 1991. Plant, element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. *Water, Air, and Soil Pollution.* 57-58: 227-237.
- Setia, R.C., J. Kaila y C.P. Malik. 1988. Effects of NiCl<sub>2</sub> toxicity on stem growth and ear development in *Triticum aestivum* L. *Phytomorphology* 38: 21-27.
- Sharma, P.N., C. Chatterjee, S.C. Agarwala y C.P. Sharma. 1990. Zinc deficiency and pollen fertility in maize (*Zea mays*). pp. 261-265. In: M.L. van Beusichem (ed.). *Plant nutrition-physiology and applications*. Kluwer. Wageningen, The Netherlands.
- Sheoran, I.S. y R. Singh. 1993. Effect of heavy metals on photosynthesis in higher plants. pp. 451-468. In: Y.P. Abrol, P. Mohanty y Govindjee (eds.). *Photosynthesis: Photoreactions to plant productivity*. Kluwer. India.
- Uren, N.C. 1992. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. *Advances in Agronomy* 48: 141-203.



# COMPARACION DE LA INFORMACION EDAFOLOGICA DE INEGI, CON LA GENERADA POR LA CLASIFICACION CAMPESINA DE TIERRAS EN ORIENTAL, PUEBLA MEXICO

Comparison of INEGI Edafic Information with Peasant Land Classification in Oriental, Puebla, Mexico

Erasto Domingo Sotelo Ruiz<sup>1</sup> y Carlos Alberto Ortiz Solorio<sup>2</sup>

## RESUMEN

Esta investigación se realizó en Oriental, Puebla, en una superficie de 3619 ha, con el propósito de comparar la información de los suelos de la zona publicada por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y la generada a partir del conocimiento local (Clasificación Campesina). La metodología utilizada para la Clasificación Campesina de Tierras fue la propuesta por Ortiz *et al.* (1990). Esta metodología consiste en utilizar un mapa ejidal o topográfico, o fotografías aéreas; así como la información sobre las características de los terrenos proporcionada por los productores directamente en el campo. Los suelos, reportados por el INEGI con la clasificación FAO (1970), fueron: Feozem háplico, Regosol crómico, Solonchak takirico, Regosol eútrico, Litosol y Fluvisol eútrico. Mientras que los resultados para las clases de tierras clasificadas con FAO (1970) fueron: Regosol eútrico para las clases de tierras Arena Blanca, Arena Fina(1<sup>†</sup>), Arena y Tierra Fuerte(2<sup>†</sup>); Regosol calcárico para la Tierra Salitruda y Tierra Fuerte(1); y Fluvisol eútrico para la Tierra de Barrial, Tierra de Lama y Arena Fina(2). No existe coincidencia en los límites y Unidades de las Clases de Tierras Campesinas e INEGI de los suelos, presentes en la zona de estudio.

<sup>†</sup>1 y 2: Son las clases de tierras arena fina y tierra fuerte que se presentan en dos sitios de la zona de estudio.

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Toluca. Km 4.5 Vialidad Adolfo López Mateos, Zinacantepec, Estado de México. Tel. y Fax: 01(7)278-00-27. (sotelo@latinmail.com)

<sup>2</sup> Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Estado de México. (ortiz@colpos.colpos.mx)

Recibido: Noviembre de 1999. Aceptado: Abril de 2001.  
Publicado en Terra 19: 211-217.

*Palabras clave:* Tierra fuerte, tierra de barrial, tierra de lama, tierra salitruda, arena blanca, arena fina y arena.

## SUMMARY

This study was conducted in Oriental, Puebla, Mexico, to compare information on the soils of the zone published by the Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (National Institute of Statistics, Geography, and Cybernetics-INEGI) with that generated with local knowledge (Peasant Classification) in an area of 3619 ha. The methodology used for Peasant Land Classification (Clasificación Campesina de Tierras) was proposed by Ortiz *et al.* (1990) and consists of using an 'ejido', or topographic map, or aerial photographs together with information on land characteristics given by the peasants directly in the field. The soils reported by INEGI with the FAO classification (1970) were Haplic feozem, Chromic regosol, Takiric solonchak, Eutric regosol, Lithosol, and Eutric fluvisol, while the soils classified by FAO (1970) were Eutric regosol for land classes White Sand, Fine Sand(1<sup>†</sup>), Sand and Strong land(2<sup>†</sup>); Calcareous Regosol for Saline land and Strong land(1); Eutric fluvisol for Muddy and Silt land and Fine Sand(2). There was no coincidence between peasant soil land classes and INEGI in terms of limits and units of the soils present in the area under study.

<sup>†</sup>1 and 2: Fine sand and strong land classes that are present in two sites of the study zone.

*Index words:* White sand, fine sand, sand, strong land, salty land, muddy land and silt land.

## INTRODUCCION

Los levantamientos detallados de suelos actualmente resultan costosos, tardados y requieren de personal capacitado para realizarlos. En México, no

hay información edafológica que cumpla con los requisitos de un levantamiento detallado de suelos; además, la que existe requiere actualización. La Clasificación Campesina de Tierras es un método que proporciona información detallada, puntual y barata para realizar estudios de suelos, ya que se realiza a escala de parcela.

El suelo es uno de los recursos naturales más significativos en la vida del hombre por su relación directa con la producción de alimentos y fibras (Ortiz *et al.*, 1990). El procedimiento técnico para el estudio de los suelos es a través de "levantamientos" que se basan en el estudio del terreno y perfiles de suelos. Para realizar un estudio de suelos a escala de parcela, se requiere de un levantamiento detallado o un levantamiento intensivo de suelo (Ortiz *et al.*, 1990). Los levantamientos de suelos se realizan a diferentes grados de precisión y detalle, según las necesidades de conocimiento que se requiera, las características de la región y la disponibilidad de equipo, recursos económicos y humanos.

Los fines de los levantamientos de suelos son de utilidad práctica. Kellogg (1937) indicó que los estudios de suelos prevén un apoyo suficientemente exacto para realizar propósitos específicos. Se puede mencionar los siguientes: a) aplicación expedita de la experimentación y los nuevos descubrimientos en el manejo de suelos y cultivos; b) planeación de la investigación agrícola y la aplicación o divulgación de sus resultados; c) delimitación de la distribución potencial y la adaptabilidad de cultivos individuales y prácticas de manejo del suelo; d) el desarrollo de clasificaciones rurales; y e) la correlación de las condiciones de suelos de un área a otra, para transferir experiencias de agricultores, técnicos y científicos agrícolas.

Young (1976) mencionó que existe una jerarquía de mapas de suelos y levantamientos a diferentes escalas, en los que se emplean distintos métodos e intensidades de muestreo, y cada uno de ellos tiene diferentes propósitos.

La unidad de observación de los suelos es el perfil, el cual es una exposición vertical del terreno hasta el límite de profundidad de las raíces de las plantas perennes o hasta la profundidad de la capa que influye en su comportamiento. Un perfil de suelos muestra la variación vertical del suelo y una secuencia de perfiles muestra la variación lateral de los suelos.

La problemática para realizar levantamientos de suelos, de acuerdo con los estándares internacionales en México refleja tres restricciones: 1) costo;

2) tiempo y 3) personal calificado (Ortiz *et al.*, 1990). Para contar con una primera aproximación sobre el costo y el tiempo de los levantamientos de suelos pueden utilizarse las fórmulas propuestas por Bie y Beckett (1971), para:

costo:

$$\text{Log}_{10} C = 8.16 - 1.40 \text{Log}_{10} S$$

Donde: C es el costo en dólares km<sup>-2</sup> y S es el denominador de la escala;

tiempo:

$$\text{Log}_{10} E = 7.41 - 1.57 \text{Log}_{10} S$$

Donde: E es el esfuerzo en días-hombre km<sup>-2</sup>.

Dichas restricciones hacen poco atractiva la realización de levantamientos de suelos en el país, razón por la cual, en México, se buscaron alternativas para hacer estudios de suelos que fueran baratos, rápidos y detallados. Los levantamientos de suelos parten del supuesto básico de que existe **ausencia** de conocimiento sobre el recurso, de tal forma que al adoptar el método se va generando la información. Sin embargo, al cambiar el supuesto, es decir, si se considera la **existencia** de conocimientos, el procedimiento puede ser modificado, obteniendo resultados detallados como los de la Clasificación Campesina de Tierras (Ortiz *et al.*, 1990).

Williams y Ortiz (1981) señalaron que el concepto campesino de suelo es diferente al empleado por los técnicos. El suelo en el medio rural se denomina "tierra" y es considerada como la capa superficial que se trabaja a diferencia de considerarlo como un cuerpo natural. Para el campesino, la tierra es un ente aparentemente de dos dimensiones, diferente al concepto del técnico que considera al suelo como un cuerpo tridimensional.

La identificación, la observación y la comparación a través del tiempo son las herramientas metodológicas que generan el conocimiento del campesino. El conocimiento técnico se concreta al estudio exclusivo del recurso suelo, a través de la descripción de perfiles, la caracterización de horizontes o capas de suelos y los análisis de laboratorio. El campesino estudia la tierra relacionando al suelo con el ambiente (Ortiz, 1992).

Investigaciones sobre el conocimiento campesino de tierras muestran que su clasificación es de utilidad práctica, ya que se relaciona a las clases de tierras con: cultivos, abonos, manejo, arvenses y

recomendaciones de recuperación. Si al conocimiento campesino se le da un marco de referencia geográfico, puede generarse un levantamiento de tierras a escala de parcela equivalente a un estudio detallado de suelos. Para establecer un marco de referencia, es necesario contar con un mapa base, que técnicamente lo constituyen los mapas topográficos o las fotografías aéreas (Ortiz, 1992). Licona *et al.* (1993) mencionaron que el procedimiento de fotointerpretación es útil para la cartografía de Clases de Tierras Campesinas a escala regional, a partir de estudios en áreas piloto.

El objetivo del presente trabajo fue: 1) realizar un estudio de suelos con el método que considera a la Clasificación Campesina de Tierras y 2) en cada clase de tierra, clasificar científicamente a los suelos y comparar los resultados con los de la carta edafológica de INEGI, escala 1:50 000, de la misma área.

### MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en el municipio de Oriental, Puebla; entre los paralelos 19° 21' y 19° 25' N y los meridianos 97° 32' y 97° 38' O. El clima, de acuerdo con Köppen, modificado por García (1988), es BS1kw''(i') que corresponde al seco subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 15.9 °C y la precipitación de 601.4 mm anuales. La Clasificación Campesina de Tierras se realizó en marzo de 1998, en una superficie de 3619 ha.

Para el presente trabajo, se empleó la metodología propuesta por Ortiz *et al.* (1990). Para la Clasificación de Tierras, se usaron fotografías aéreas y el mapa topográfico, escala 1:50 000, de Oriental, Puebla. Sobre este material cartográfico se trazaron los límites de las Clases de Tierras identificadas en la zona de estudio.

Para la delimitación y clasificación de las tierras fue indispensable la participación de los productores. Para esto, se realizaron recorridos de campo por toda la zona, con productores que conocían el área; se trazaron los límites sobre las fotos aéreas y en el mapa topográfico. Se les preguntó ¿cuántas clases de tierras distinguían?, ¿cómo las identificaban? y ¿cuáles eran sus características? Una vez delimitadas e identificadas, se ubicaron los sitios representativos para realizar y describir los perfiles de suelos. Se tomaron muestras por horizontes y se le analizó en el laboratorio con los procedimientos y métodos descritos en el Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples (USDA, 1972), con metodologías específicas para clasificación

de suelos. Posteriormente se clasificaron los suelos con la leyenda FAO en sus versiones 1970 y 1988. La información cartográfica se procesó a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) Arc/info e Idrisi.

### RESULTADOS Y DISCUSION

Las clases de tierras identificadas son:

1. Arena Blanca: Esta clase de tierra se localiza en la parte central de la zona de estudio; ocupa una superficie de 139 ha; sus características son: color blanco, textura gruesa; se siembra en ella maíz y alfalfa.
2. Arena Fina: Se localiza en la parte sureste y noreste de la zona de estudio; ocupa una superficie de 493 ha; su característica es: textura fina; se usa para sembrar maíz.
3. Tierra Fuerte: Se localiza al sureste y noroeste; ocupa una superficie de 337 ha; es la más productiva; sus características son: textura más fina y forma terrones; se utiliza para sembrar maíz, papa, tomate, alfalfa y frijol.
4. Tierra Salitruca: Ocupa toda la parte central de la zona, va de norte a sur; ocupa una superficie de 1766 ha; es la más extensa; sus características son: presenta costras de sales en la superficie, textura arcillosa, forma terrones, no presenta ningún cultivo, sólo crece el pasto salado; se usa para pastorear ganado bovino, caprino y ovino.
5. Tierra de Barrial: Se localiza en la parte noroeste de la zona; ocupa una superficie de 275 ha; es muy productiva; sus características son: textura arcillosa, forma terrones y es muy difícil de manejar cuando está muy seca o muy húmeda; se usa para sembrar maíz y frijol.
6. Tierra de Lama: Se presenta en la parte noroeste de la zona; ocupa una superficie de 71 ha. su característica es la formación de gruesas costras en la superficie y texturas jabonosas; se utiliza para sembrar ajo, cebolla y papa.
7. Arena: Se localiza en la parte sureste de la zona; ocupa una superficie de 198 ha; su característica es textura gruesa; se utiliza para sembrar maíz, haba y trigo.

Las Clases de Tierras son siete, pero la Arena Fina y la Tierra Fuerte se presentan en dos áreas. En la Figura 1, se observan las Clases de Tierras y su distribución. Se observan en la Figura 2, las Unidades y Subunidades de suelos clasificadas por el INEGI, con la versión FAO (1970). Los suelos clasificados

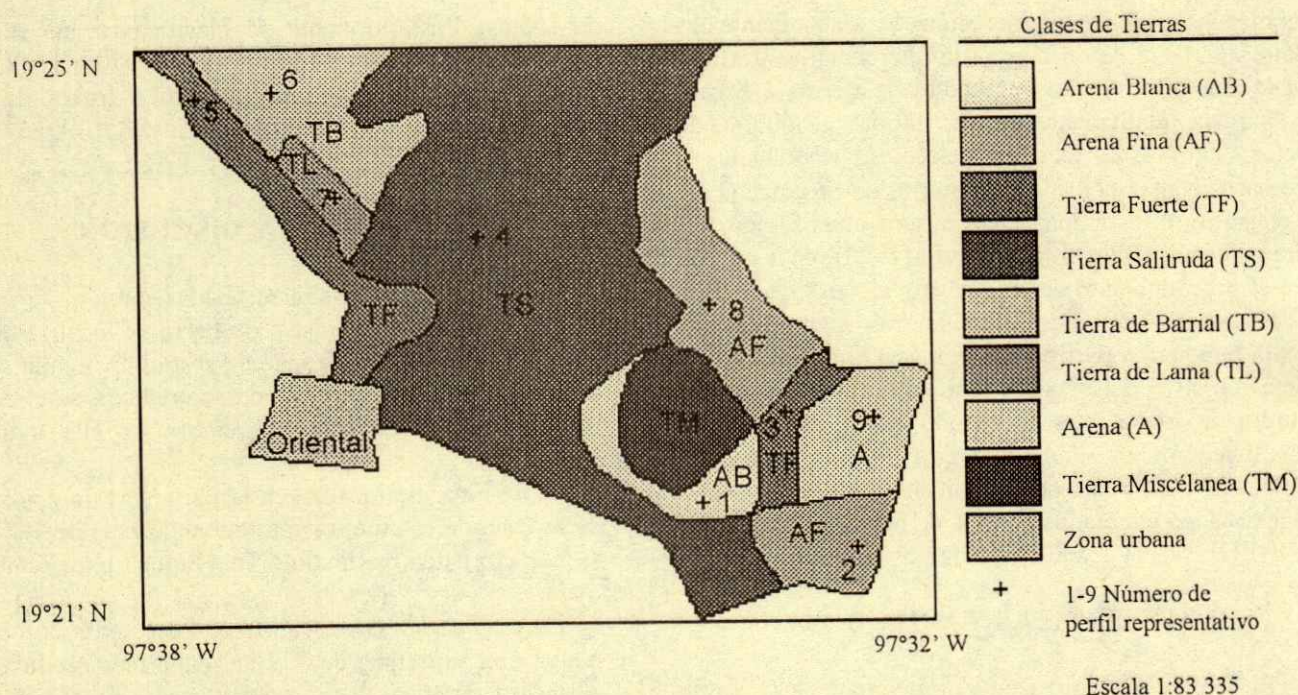


Figura 1. Distribución de las Clases de Tierras Campesinas en Oriental, Puebla.

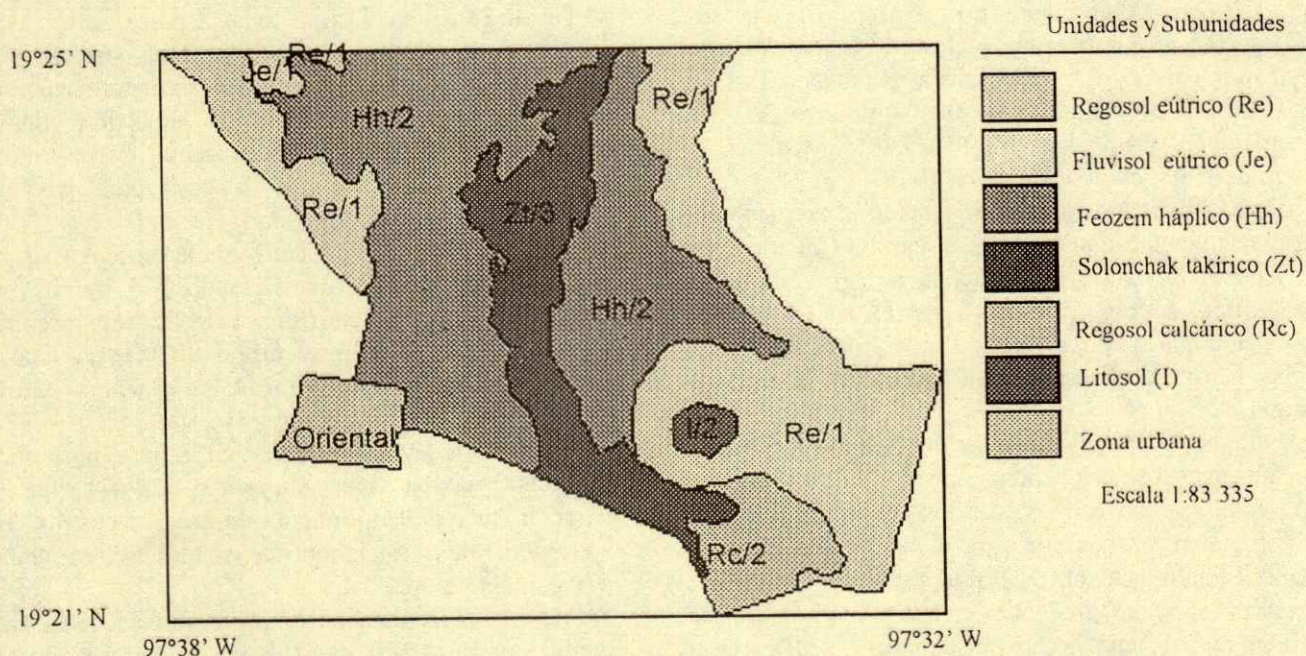


Figura 2. Unidades y Subunidades de suelos según INEGI (FAO, 1970) en Oriental, Puebla.

con FAO (1970, 1988), se presentan en el Cuadro 1 y la distribución se muestra en las Figuras 3 y 4, respectivamente.

Las Unidades y Subunidades de suelos, clasificadas con la versión FAO (1970, 1988), en este

estudio, coinciden con las Clases de Tierras: Arena Blanca, Arena Fina(1), Tierra Fuerte(2) y Arena, donde los suelos se clasifican como: Regosol eútrico: para la Tierra de Barrial, Tierra de Lama y Arena Fina(2), el suelo se clasifica como: Fluvisol eútrico:

las demás cambian debido a la separación de algunas unidades de suelos como: los Regosoles de texturas gruesas que se han incorporado a los Arenosoles y la nueva unidad Calcisoles. Existe similitud en lo que dice el productor de las características de cada una de las clases de tierras como: textura, color y uso, y los suelos resultantes con la clasificación FAO (1970).

Los suelos que reporta el INEGI, así como la superficie, se presentan en el Cuadro 2; la distribución se observa en la Figura 2. La Unidad de suelos que se clasifica igual con INEGI y con el estudio, con la versión de FAO (1970) son: la Tierra Fuerte(1), Arena Blanca, Arena Fina(1), Tierra Fuerte(2) y Arena. La unidad de suelos es: Regosol eútrico. En la Tierra

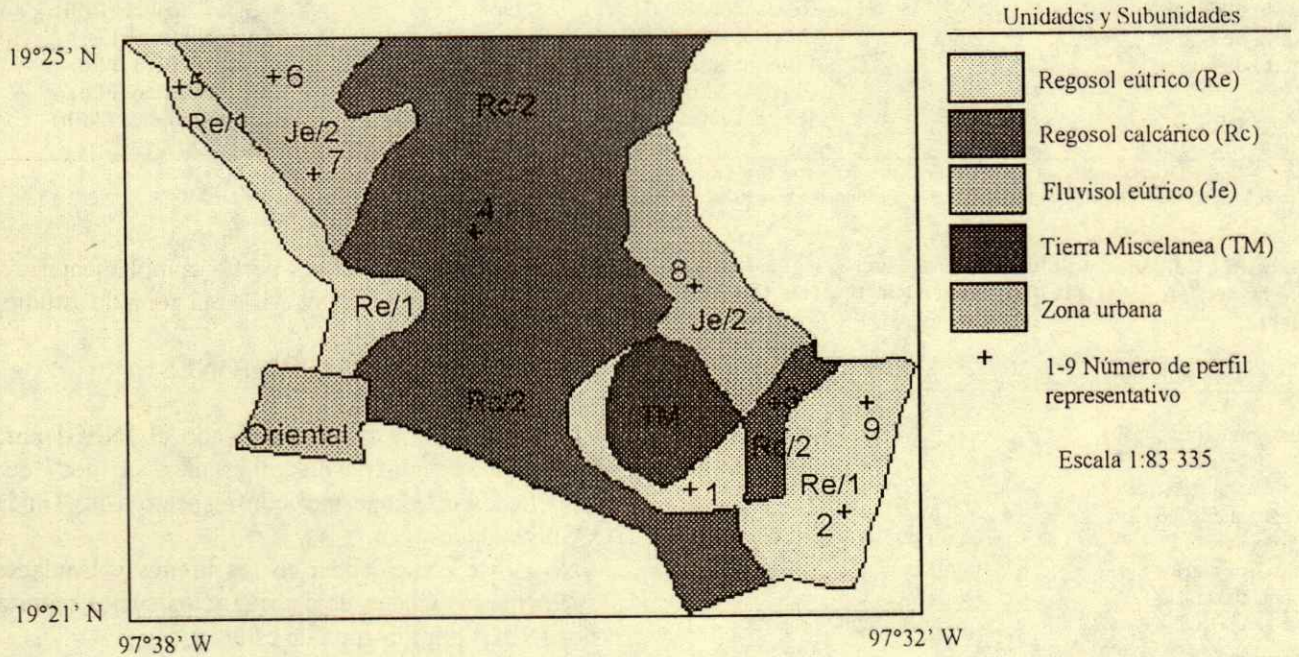


Figura .3. Unidades y Subunidades de suelos (FAO, 1970) de las Tierras Campesinas de Oriental, Puebla.

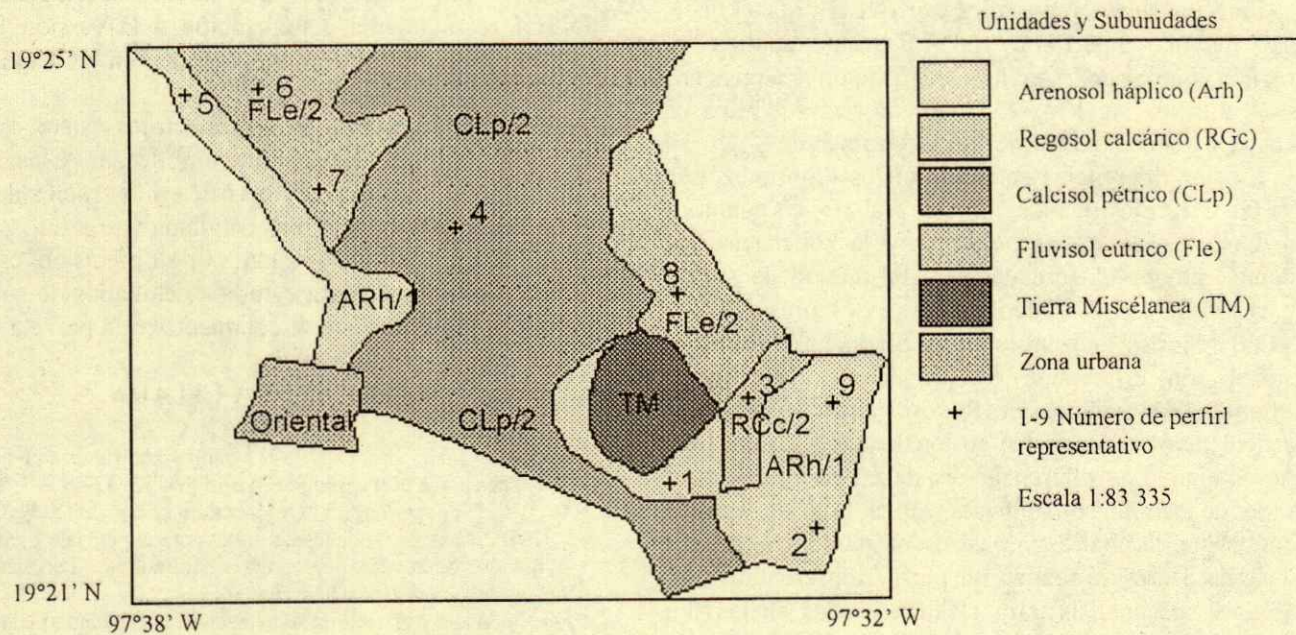


Figura 4. Unidades y Subunidades de suelos (FAO, 1988) de las Tierras Campesinas en Oriental, Puebla.

**Cuadro 1. Clases de Tierras Campesinas, Unidades y Subunidades de suelos con la clasificación FAO (1970, 1988) en Oriental, Puebla.**

Clases de tierras	Unidades y Subunidades de suelos	
	FAO, 1970	FAO, 1988
Arena Blanca	Regosol eútrico (Re)	Arenosol háplico (ARh)
Arena Fina(1 <sup>1</sup> )	Regosol eútrico (Re)	Arenosol háplico (ARh)
Tierra Fuerte(1 <sup>1</sup> )	Regosol calcárico (Rc)	Regosol calcárico (RGc)
Tierra Salitruada	Regosol calcárico (Rc)	Calcisol pétrico (CLp)
Tierra Fuerte(2 <sup>1</sup> )	Regosol eútrico (Re)	Arenosol háplico (PHh)
Tierra de Barrial	Fluvisol eútrico (Je)	Fluvisol eútrico (FLe)
Tierra de Lama	Fluvisol eútrico (Je)	Fluvisol eútrico (FLe)
Arena Fina(2 <sup>1</sup> )	Fluvisol eútrico (Je)	Fluvisol eútrico (FLe)
Arena	Regosol eútrico (Re)	Arenosol háplico (ARh)
Tierra Miscelánea <sup>2</sup>	-	-

<sup>1</sup> 1 y 2 = clases de tierras que se presentan en dos sitios de la zona (ver Figura 1).

<sup>2</sup> Tierra Miscelánea = aquella que presenta algún impedimento para su estudio (definida por los técnicos).

**Cuadro 2. Unidades y Subunidades de suelos según INEGI, con la versión FAO (1970) y superficie (ha) en Oriental, Puebla.**

Unidades y Subunidades de suelos	Superficie ha
Feozem háplico (Hh)	1,507
Regosol calcárico (Rc)	116
Solonchak takírico (Zt)	567
Regosol eútrico (Re)	1,093
Litosol (I)	45
Fluvisol eútrico (Je)	13
Zona Urbana (ZU) <sup>1</sup>	139

<sup>1</sup> No es una Unidad de suelo, sólo se agrega, para cuantificar superficie.

Salitruada, Tierra de Barrial, Tierra de Lama y Arena Fina(2) son diferentes las unidades de suelos.

Para los suelos reportados por INEGI, que ocupan una mayor superficie son: Feozem háplico y Solonchak takírico; con la Clasificación Campesina, estos mismos suelos se clasifican como: Fluvisol eútrico y Regosol calcárico, respectivamente.

Existen diferencias entre los suelos reportados por INEGI y los clasificados con este trabajo, en cuanto a las unidades de suelos presentes y la superficie que ocupan: ambos clasificados con la versión de suelos de la FAO (1970) (Cuadros 1 y 2; Figuras 2 y 3); INEGI reportó: Feozem háplico, Solonchak takírico y Litosol son diferentes; en las demás Unidades y Subunidades coinciden en: Regosol eútrico y Fluvisol eútrico, pero no coinciden su localización y superficie que ocupan. Las diferencias se deben en principio al grado de detalle con que se realiza la Clasificación Campesina, la cual está a escala de parcela y en cada Clase de Tierra se realiza un perfil representativo de suelos y sus análisis para clasificar a los suelos. La carta edafológica E14B25 (INEGI, 1983) reportó un perfil de suelos con descripción y análisis detallado

con el número 27 y un perfil complementario con descripción con el número 24, en la zona de estudio.

## CONCLUSIONES

- Los suelos, que tiene clasificado el INEGI para la zona de estudio, son diferentes a los de la Clasificación Campesina, con respecto a las Unidades y Subunidades.
- No existe coincidencia en los límites y Unidades de suelos de las Clases de Tierras y los suelos reportados por INEGI para la zona de estudio.
- Hay diferencias en las Unidades y Subunidades clasificadas con la versión FAO (1970, 1988); por lo tanto, la información de las cartas edafológicas de INEGI requiere una actualización a la versión FAO (1988), debido a los cambios que hay en las Unidades y Subunidades de suelos.
- La experiencia de los productores sirve como herramienta para la delimitación de las Clases de Tierras, porque describe y clasifica a los suelos de sus parcelas de una manera más detallada y precisa.
- La Clasificación Campesina, por su precisión, es una buena metodología para estudios detallados de suelos, debido a que se realiza directamente en la parcela.

## LITERATURA CITADA

- Bie, S.W. y P.H.T. Beckett. 1971. Quality control in soil survey. I. The choice of mapping unit. *Soil Sci.* 22: 32-49.
- FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 1970. Clave de unidades de suelos para el mapa de suelos del mundo. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección de Agrología. México, DF.
- FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 1988. Soil map of the world. Revised legend. World soil resources report 60. Rome, Italy.

- García M., E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México, DF.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1983. Carta edafológica, E14B25, 1:50 000. Primera impresión. Aguascalientes, Ags., México.
- Kellogg, C.E. 1937. Soil survey manual. US Department of Agriculture. Misc. Pub. 274. Washington, DC.
- Licona, V.A., C.A. Ortiz S. y D. Pájaro H. 1992. El uso de la fotointerpretación en la cartografía de clases de tierras campesinas. *Geografía Agrícola* 18: 84-93.
- Ortiz S., C.A. 1992. Hablemos de suelos. *Agroproductividad* 1: 3-10.
- Ortiz S., C.A., D. Pájaro H. y V.M. Ordaz C. 1990. Manual para la cartografía de las Clases de Tierras Campesinas. Serie cuadernos de edafología 15. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México.
- SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos). 1974. Clave de unidades de suelos para el mapa de suelos del mundo. Proyecto FAO/UNESCO. Dirección General de Estudios. Dirección de Agrología. México, DF.
- USDA (Soil Conservation Service). 1972. Revised ed. 1982. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Soil Survey Investigations Report 1. US Govt. Printing Office, Washington, DC.
- Williams, B.J. y C.A. Ortiz S. 1981. Middle American folk soil taxonomy. *Ann. Assoc. Am. Geographers* 71: 335-358.
- Young, A. 1976. Tropical soils and survey. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.

# COMPARACION DE METODOS DE ANALISIS MECANICO DE SUELOS

## Comparison of Methods in Soil Mechanical Analysis

Régulo León Arteta<sup>1</sup>

### RESUMEN

El análisis mecánico, a pesar de ser tradicionalmente rutinario en los laboratorios de suelos, aún presenta disparidad significativa en sus resultados debido, principalmente, a la gran heterogeneidad entre las metodologías empleadas. En los trabajos desarrollados en la sección de Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos del Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, se cuantificaron las diferencias entre las observaciones de campo y los resultados obtenidos en el laboratorio, con el método de Bouyoucos. En el presente trabajo, se hizo una comparación entre el método modificado de Day, el de la pipeta y el Internacional; se consideraron los tratamientos con agua oxigenada, ultrasonido, disolución de alófano y de los dispersantes, metasilicato-oxalato, hexametafosfato de sodio y nitrato de circonio; se trabajó con seis suelos con características físicas y químicas contrastantes. Para el análisis estadístico, se consideraron como variables dependientes los porcentajes de arcilla y arena; la arena resultó la variable dependiente más consistente, con un coeficiente de variación de 13.23%. Los resultados obtenidos muestran que las metodologías agrupadas de mayor a menor precisión fueron: Internacional, pipeta y Bouyoucos-Day. El mejor dispersante fue el hexametafosfato. En suelos de ando, el nitrato de circonio no produjo dispersión y no se recomienda la disolución del alófano. Los tratamientos de agua oxigenada y ultrasonido mejoraron la dispersión, incrementando los porcentajes de arcilla y disminuyendo los de arena. Para ambas variables fueron estadísticamente significativos los efectos de los dispersantes y las interacciones suelo-dispersante y suelo-métodos. A la temperatura que se trabajó (21 °C), se inicia la sedimentación de las arcillas entre

las 8 y 12 h de reposo. De ahí que las lecturas a las 2 h de inicio de la sedimentación, del método de Bouyoucos son insuficientes, toda vez que junto con las arcillas se cuantifican limos, como se observa en la modificación de Day. La metodología de análisis mecánico de suelos, que mejores perspectivas ofrece para los laboratorios de servicio de la República Mexicana, es la de Bouyoucos-Day, aun sin el gabinete de sedimentación.

*Palabras clave:* Textura del suelo, arcilla, arena, Bouyoucos-Day.

### SUMMARY

Although soil mechanical analysis is a routine determination in soil laboratories, the results are highly variable because the methodologies are heterogeneous. For studies conducted in the Genesis, Morphology and Soil Classification Section of the Natural Resources Institute (Colegio de Postgraduados), differences between observations in the field and results obtained in the laboratory with the Bouyoucos method were found and quantified. In the search for a better option, the traditional Bouyoucos method was compared with the Day modification of Bouyoucos, the pipette method, and the international method. Treatments with hydrogen peroxide, ultrasound, and allophane dissolution were considered, as well as the dispersants metasilicate oxalate, sodium hexametaphosphate and zirconium nitrate. Six chemically and physically contrasting soils were used. For the statistical analysis, the dependent variables were percentages of clay and sand. Sand was found to be the more consistent variable, with a coefficient of variation of 13.23%. The results show that the methods, ordered from most to least precise, were the international, pipette, and Bouyoucos-Day. Hexametaphosphate was the best dispersant. In Ando soils, zirconium nitrate did not produce dispersion, while allophane dissolution is not recommended. Hydrogen peroxide and ultrasound treatments improved dispersion, increasing the percentages of clay and decreasing the percentages of

<sup>1</sup> Mártires del 28 de Agosto 210, 91020 Xalapa, Ver. (oluger@hotmail.com)



sand. For both variables the effects of the dispersants and the interactions soil-dispersant and soil-method were statistically significant. At the temperature of 21 °C clay sedimentation begins after 8 to 12 h; thus the two hours in the Bouyoucos method are insufficient and readings yield erroneous conclusions, since, as with the Day modification, clays are quantified together with silt. It is concluded that the methodology of mechanical analysis of soils that offers the best perspectives for laboratories servicing the Mexican Republic is the Bouyoucos-Day method.

*Index words:* Soil texture, clay, sand, Bouyoucos-Day.

## INTRODUCCION

El análisis mecánico indica la proporción de partículas primarias de los suelos acorde con su tamaño y es una determinación básica en muchos laboratorios. Este análisis permite tener acceso a información cualitativa y cuantitativa, sobre otras propiedades físicas importantes que influyen en el manejo del suelo y el agua, como la humedad a capacidad de campo (CC), la humedad equivalente, el punto de saturación (Ps), el punto de marchitez permanente (PMP) y la densidad aparente (Da), (Lugo-López, 1953; Baver, 1966; Valdivia y Pina, 1980) o bien, en la estimación de curvas de retención de humedad (Palacios y Jaspeado, 1980). La estimación de las "constantes" de humedad y la densidad aparente puede llevar a cálculos erróneos, como puede ser el caso del cálculo de las láminas de riego, que provocarán el desperdicio o deficiencia de agua en los cultivos (García, 1973; González *et al.*, 1974; Palacios, 1979).

Algunos autores toman como base dicha proporción de partículas, para el cálculo de dosis de encalado y fertilización (Tamhane *et al.*, 1970). Otro uso del análisis mecánico es la estimación de la conductividad hidráulica (Ordaz y Gallegos, 1990), la adaptación de especies (Ortiz y Ortiz-Villanueva, 1990), además de permitir calcular la infiltración básica e inclusive estimar el potencial productivo (Gupta y Padmaraju, 1994). Así mismo, la determinación de la textura tiene especial importancia en el estudio de la morfología, la génesis y la clasificación de los suelos (Buol *et al.*, 1971). Por ejemplo, un horizonte argillic o argic debe tener una

diferencia mínima de 3% de arcilla respecto al horizonte inmediato superior (Soil Survey Staff, 1975; ISSS- ISRIC-FAO, 1994).

## Situación Actual de las Metodologías

Uno de los dilemas del análisis mecánico es la selección de los pretratamientos y los agentes dispersantes, considerando su efecto en los agentes cementantes naturales. Aunque algunos autores siguen proponiendo el método de Bouyoucos (Del Valle y Pulido, 1978; Ojeda, 1987), o bien, el de Kachinsky (Oleschko y Etchevers, 1988), en este último convendría comprobar su utilidad en suelos calcáreos, dado que utiliza ácido clorhídrico que disuelve las partículas finas y disgrega las mayores cementadas por carbonatos. Las partículas resultantes indudablemente reaccionan física y químicamente, como partículas menores que sus predecesoras, cosa que no sucede en la naturaleza y, por lo tanto, proporcionará datos alterados. Tal es el efecto de este y el de otros agentes cementantes, como son la materia orgánica, arcilla coloidal, y los sesquióxidos de hierro y aluminio (Baver, 1966), que debe ser tomado en cuenta en el momento de planear e interpretar un análisis mecánico.

En forma relativamente reciente, la Sociedad Veracruzana para el Conocimiento de los Suelos observó divergencias notables en el análisis mecánico de un suelo considerado franco al tacto, pero varios laboratorios lo identificaron con sus métodos rutinarios como: franco, migajón arcillo arenoso y arcilloso (León-Arteta, 1995). Esto ratifica la necesidad de normalizar las metodologías para hacer comparables los resultados, cuando menos en México.

Por otra parte, en los suelos cafetaleros de Colombia, la determinación se hace al tacto (CENICAFE, s/f). Dichas propuestas se contraponen a la mayor precisión de la pipeta en la investigación (Day, 1965a; Ordaz y Gallegos, 1990) y del método de Bouyoucos modificado por Day (1965b), al cual se hará referencia como Bouyoucos-Day para laboratorios de servicio.

En el último trabajo citado, los porcentajes promedio de arcilla tuvieron diferencias de 11.20% entre la pipeta y el Bouyoucos-Day, mismos que aumentaron a 12.47% entre Bouyoucos y Bouyoucos-Day. Es decir, que el método que más se acercó a la precisión de la pipeta es el Bouyoucos-Day.

## Dispersantes

En los laboratorios se realizan algunos tratamientos previos a la dispersión, como el uso del agua oxigenada  $H_2O_2$  para disminuir el efecto cementante de la materia orgánica, el cual utilizó Day (1965a) y lo propuso para todos los suelos. En los Andepts, Espinoza (1969) recomendó eliminar el alófano con un tratamiento de citrato y ditionito, este autor consideró que el alófano provoca la floculación de las partículas finas del suelo. En los suelos carbonatados puede presentarse cementación o floculación por el calcio intercambiable, por lo que éste es substituido por el potasio, mediante un tratamiento con cloruro de potasio  $KCl^1$ , junto con un tratamiento de ultrasonido que facilita la dispersión. La dispersión generalmente se ha realizado con metasilicato y oxalato de sodio, incluidos en la metodología de Bouyoucos (1936). Para los Andepts, Ahmad y Prashad (1970) indicaron una mejor dispersión con nitrato de circonio  $Zr(NO_3)_4$ .

## Consideraciones Metodológicas

Al evaluar las metodologías rutinarias de análisis mecánico de suelos, utilizadas por laboratorios, surgió la inquietud de revisar los supuestos que las sostienen. Entre las que sobresalen, considerar como ciertos los supuestos de la Ley de Stokes, los cuales pueden provocar errores en la determinación y éstos aumentan cuando no se produce una dispersión y cuantificación adecuada de las partículas primarias (Baver, 1966).

Generalmente, las determinaciones rutinarias las realiza personal apenas entrenado empíricamente, mientras que el de mayor preparación realiza otras labores, lo cual hace necesario disminuir al mínimo las fuentes de errores.

En las determinaciones de textura con pipeta, se toman alícuotas de la mezcla suelo-agua-dispersante de una botella. El primer muestreo no presenta problemas, pero en los subsiguientes el volumen y la profundidad de muestreo son menores. Además de que en cada alícuota tomada, el cono de succión atrae partículas de profundidades inferiores a las consideradas, por efecto de la bomba de vacío y el diseño de la pipeta, por lo

cual se introduce un error en la toma de muestras al momento de pipetear.

En el método de Bouyoucos-Day, se incluye el uso de un densímetro más aerodinámico, con la punta donde está el lastre en forma de cono, contrastante con el de Bouyoucos donde el lastre está en una esfera. Además, en el Bouyoucos-Day se hacen cálculos para cada una de las alícuotas tomadas desde 30 s hasta 12 horas. Estos datos se grafican en papel semilogarítmico, donde mediante interpolación se obtienen los porcentajes de arenas, limos y arcillas; además, en los cálculos se toma en consideración una densidad de partículas de  $2.75 \text{ g cm}^{-3}$ . Mientras que con el Bouyoucos se hacen dos lecturas para determinar arenas y arcillas en 2 h, se calculan los limos por diferencias y considera una densidad de partículas de  $2.65 \text{ g cm}^{-3}$ .

El objetivo principal de este trabajo fue hacer una comparación lo más amplia posible de las metodologías de análisis mecánico de suelos, en las condiciones habituales de nuestros laboratorios, para lo cual se consideraron: las metodologías de Bouyoucos, pipeta, Bouyoucos-Day e Internacional. Se planearon comparaciones en la exactitud de las determinaciones, de los efectos de los pretratamientos y de los dispersantes, así como el de sus combinaciones. Esto nos permitirá proponer una metodología aceptable, o bien, algunas alternativas, para las condiciones de los laboratorios de rutina de la República Mexicana y, quizá, de otros países de condiciones socioeconómicas similares.

## MATERIALES Y METODOS

### Características Generales del Experimento

Las características químicas de los suelos utilizados se muestran en el Cuadro 1.

Dado que una crítica que se ha hecho al método de Bouyoucos original (1936), ha sido el haber utilizado suelos de textura media, en este trabajo se tomaron muestras de tres suelos de textura fina y tres de textura gruesa.

Se diseñó un experimento factorial  $6 \times 2$  con parcelas subdivididas, donde la primera clase fueron los suelos, la segunda clase los pretratamientos, las parcelas grandes fueron los dispersantes y las parcelas chicas los métodos; con dos repeticiones. En este caso,

<sup>1</sup> Prácticas de Pedología. 1969. Universidad Paul Sabatier. Toulouse, Francia.

Cuadro 1. Características de los suelos muestreados.

Suelo	MO	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Agua	pH 1:2 CaCl <sub>2</sub>	Alófano Disolución selectiva <sup>†</sup>	Textura al tacto	Pretrata- miento
--- % ---				%			
1	1.00	4	7.96	6.83	-	Gruesa	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
2	1.67	0	4.97	4.22	-	Fina	Ultrason
3	0.94	15	8.07	6.46	-	Gruesa	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
4	0.90	0	5.33	4.30	-	Fina	Ultrason
5	0.60	2	8.45	8.00	5	Gruesa	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
6	13.10	0	6.70	6.52	70	Fina	Ultrason

<sup>†</sup> Comunicación personal. Jean Claude Revel. (1974) Laboratorio de Genesis Morfología y Clasificación de Suelos. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados.

el diseño se adaptó a las características del experimento, por lo que el diseño no fue ninguno de los clásicos.

El experimento se hizo en dos fases. En la primera, los tratamientos fueron: aplicaciones de agua oxigenada, ultrasonido, disolución de alófano, cloruro de potasio 1N y los dispersantes: hexametáfosfato de sodio y nitrato de circonio. En la segunda fase, el tratamiento general fue con ultrasonido, al que se adicionó agua oxigenada para el Internacional, por ser este último el que se utilizó como referencia y como dispersante el calgón.

### Pretratamientos

El tratamiento de agua oxigenada al 6% tuvo un mínimo de dos y un máximo de cinco aplicaciones, hasta el aclareamiento de la muestra de suelo. Cada aplicación consistió en agregar una relación 1:1 de agua oxigenada respecto al volumen de suelo considerado por cada metodología, en un vaso de precipitado, donde la espuma se controló con alcohol etílico. Conviene recordar que después de cada tratamiento con agua oxigenada, el agua se evapora y existe pérdida de suelo por proyección al efervescer con el agua oxigenada, y también hay proyecciones al secarse, por lo que se debe recuperar el peso original para su análisis.

El tratamiento de ultrasonido consistió en colocar cada muestra de suelo en un matraz Erlenmeyer con agua en el limpiador ultrasónico por espacio de 1.5 horas.

La disolución de alófano se realizó mediante un tratamiento con citrato y ditionito, de acuerdo con la metodología propuesta por Espinoza (1969). El tratamiento de cloruro de potasio 1N consistió en su agitación con la muestra de suelo por 2 h, con la

relación 2:1, solución:suelo, después de añadir el dispersante y agitar por 18 horas. El tratamiento de agua oxigenada se hizo en los Suelos 1, 3 y 5; el de ultrasonido en los Suelos 2, 4 y 6; el tratamiento de disolución de alófano en forma específica para cada determinación de partículas en el Suelo 5.

### Dispersantes

Los dispersantes fueron: hexametáfosfato de sodio o calgón, en una proporción 2:1 o sea 20 mL de calgón por cada 10 g de suelo, hexametáfosfato de sodio con tratamiento de cloruro de potasio y nitrato de circonio a razón de 30 mL de solución 1M por cada 10 g de suelo (Ahmad y Prashad, 1970).

### Adecuaciones Metodológicas

En el método, que aquí se denomina Bouyoucos-Day, se utilizaron sólo dos lecturas a las 8 y 12 h, que es cuando empiezan a sedimentar las arcillas a la temperatura trabajada (21 °C), debido a que no se contó con el gabinete de sedimentación sugerido por Day (1965a). Para la pipeta se obtuvo una sola alícuota a los 30 min aproximadamente, dependiendo de la temperatura. Las arenas en estos casos se obtuvieron por tamizado, con un tamiz con poro de 60µ, de un promedio de 10 lecturas al azar en el microscopio.

En la segunda fase, la determinación de las texturas de las seis muestras de suelo se realizó con el método Internacional por considerarse el más exacto y para utilizarlo como patrón. Este se realizó con 10 g de suelo previo tratamiento con agua oxigenada, ultrasonido y se usó calgón como dispersante. Se sifoneó a 30 cm de profundidad cada 24 h, dentro de una probeta aforada aproximadamente a 1 L, procurando uniformizar la altura del espejo del agua dentro de ellas, para evitar mover la altura del sifón; se dejó de sifonear cuando el líquido era transparente hasta la profundidad de absorción del sifón.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Dispersantes y sus Interacciones

De la simple comparación de las observaciones se puede inferir que el nitrato de circonio no produjo dispersión, como es el caso de los suelos con alófano

(Suelos 5 y 6). Además, durante las determinaciones se observó que se producía la floculación completa a los 30 min de suspendida la agitación. Cuando se tomaron como variables dependientes a los porcentajes de arcillas y arenas, en el análisis de varianza, se encontró una diferencia altamente significativa en el efecto de los dispersantes, de la interacción suelo-dispersante y la interacción suelo-método de determinación o metodología (Cuadro 2). El coeficiente de variación, en el análisis de varianza de las arcillas fue de 33.5% y de las arenas de 13.23%.

La evaluación del mejor dispersante para los porcentajes promedio de arcilla, se realizó mediante la prueba de Tukey, como se muestra a continuación:

Calgón	Calgón + KCl	Zr (NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>
22.60a	19.44b	5.85c

La diferencia mínima significativa al 5% es de 0.75 y al 1% de 3.50.

Se puede concluir que los valores más altos de arcillas son dados por el hexametáfosfato de sodio o calgón y los más bajos por el nitrato de circonio. El uso del cloruro de potasio tuvo un efecto significativo, pero negativo en el porcentaje de arcilla determinado. Aunque la interacción suelo-dispersante es muy importante, la mejor dispersión se obtuvo con el hexametáfosfato. En el caso de la comparación del Bouyoucos-Day con la pipeta, para lo cual se utilizó como variable a la arena, se corroboró que fue estadísticamente igual a lo observado con la arcilla.

Tanto el análisis de varianza de las arcillas como el de las arenas indicaron que la interacción suelo-método de determinación resultó estadísticamente significativa (Cuadro 2). Esto quizá debido al tamaño de la muestra y a la proporción de los diferentes tamaños de partículas, lo cual puede sugerir la necesidad de una

**Cuadro 2. Comparación entre los efectos de los dispersantes, métodos de determinación y sus interacciones en los análisis de varianza de los porcentajes de arcilla y arena.**

Fuente de variación	F calculada	
	Arcilla	Arena
Dispersante	578.08	49.73
Metodología	n. s.	30.32
Interacciones:		
Suelo-dispersante	102.37	13.49
Suelo-metodología	5.20	10.17
Tratamiento-metodología	1.49	n. s.

Con las excepciones donde n.s. indica que estadísticamente no fueron significativas, en el resto sí lo fueron y altamente.

mejor calibración de los métodos para disminuir este efecto.

### Efecto del Agua Oxigenada

En la siguiente comparación se puede observar el efecto en el porcentaje medio de arena, del tratamiento del agua oxigenada en los Suelos 2, 4 y 6 con los métodos Bouyoucos-Day y pipeta y se adicionó el de ultrasonidos al Internacional.

Internacional	Pipeta	Bouyoucos-Day
57.88a	30.91b	20.14c

La diferencia mínima significativa según Tukey al 0.01% fue de 7.22.

### Variable Porcentaje de Arenas

Mientras que estos tres métodos fueron sensiblemente iguales para la determinación de arcillas, para las arenas ésta fue altamente diferente (Cuadro 2). Cabe asentar que también con el método Internacional se recurrió al tamiz para obtener las arenas, pero rescatando los limos para obtener proporciones más reales. Al sumar las cantidades de partículas primarias, éstas fueron de  $9.0 \pm 0.5$  g y con base en este total se calculó el porcentaje. En resumen, se puede considerar que las arenas son mejores indicadores que las arcillas, para la calibración de las metodologías de análisis mecánico.

La comparación de los porcentajes promedio de arenas de los Suelos 1, 3 y 5 donde las muestras analizadas con los métodos de la pipeta y Bouyoucos-Day tuvieron un tratamiento de ultrasonido y al Internacional se adicionó el del agua oxigenada, se muestra a continuación:

Internacional	Pipeta	Bouyoucos-Day
19.72	13.73	10.50

La diferencia mínima significativa según el método de Tukey fue de 5.98 al 0.05% y 8.05 al 0.01%.

A pesar de ser menores que los porcentajes promedio de arena de estos suelos, respecto a los de los Suelos 1, 4 y 6, existen diferencias significativas entre el método Internacional y la pipeta y altamente significativa entre éste y el Bouyoucos-Day. Con todo y eso, el promedio de las arenas resultó para la pipeta de 66.78% y para Bouyoucos-Day de 55.62%, debido, quizá, al tamaño de la muestra. Se observa que es más

determinante el tratamiento de agua oxigenada para aumentar la dispersión que el de ultrasonido. Las metodologías se colocaron de menor a mayor tamaño de muestra y se observa que la precisión disminuye en sentido inverso, aun cuando todas se hayan cuantificado por tamizado.

En los porcentajes promedio de arcillas y arenas de 12 muestras del Suelo 5, obtenidos de los tres métodos de cuantificación, para hacer más claros los efectos de los tratamientos aun en suelos arenosos y con bajos porcentajes de materia orgánica (Cuadro 3).

Se observó que la disolución de alófono como era de esperarse disminuye los porcentajes relativos de arcillas e incluso de limos, por lo que no se le considera una solución al problema de la dispersión deficiente. Mientras que los tratamientos de agua oxigenada como los de ultrasonido incrementan los porcentajes de arcilla, disminuyen los de arena. Una explicación de la interacción entre suelo y método de determinación puede deberse a que, a bajos porcentajes de arcilla y altos de arena, 30% o más, existe una correlación estrecha entre estos dos tamaños de partículas (Cuadro 3). Inclusive para un rango más amplio de suelos con el método Bouyoucos-Day ésta es de 0.80 (León-Arteta, 1995). Esto indica la posibilidad de realizar la estimación del porcentaje de arcilla en función del de arena y, por ende, de la textura. Dado que la determinación de la arena puede realizarse con un tamiz, pueden estimarse directamente las arcillas y el porcentaje de limos por su diferencia, como lo propuso el método de Bouyoucos (1936).

**Cuadro 3. Efectos de los tratamientos en los porcentajes promedios de arcilla y arena del Suelo 5.**

Tamaño de partículas	Tratamientos			
	Ultrasonidos, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y disolución de alófono	Disolución de alófono	Ultrasonidos	Ultrasonidos y H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Arcilla	1.70	1.95	2.48	3.30
Arena	89.05	92.86	88.54	84.55

### CONCLUSIONES

- Las metodologías estudiadas por su precisión de mayor a menor son: Internacional, pipeta y Bouyoucos-Day.

- La metodología de análisis mecánico de suelos, que mejores perspectivas ofrece para los laboratorios de servicio como los de la República Mexicana, es la de Bouyoucos-Day, aún sin el gabinete de sedimentación.

- Los pretratamientos de agua oxigenada y ultrasonido mejoran la dispersión de los suelos.

- No es recomendable la disolución de alófono, porque reduce el porcentaje de partículas finas.

- El mejor dispersante es el hexametáfosfato de sodio.

### AGRADECIMIENTOS

In memoriam del colega y amigo Dr. Andrés Aguilar Santelises. Con agradecimiento a la M.C. Lourdes Cruz Huerta, por las atinadas observaciones de ambos. Los errores sobrevivientes son propiedad exclusiva del autor.

### LITERATURA CITADA

- Ahmad, N. y S. Prashad. 1970. Dispersion, mechanical composition and fractionation of West Indian volcanic yellow earth soil (Andepts). *Soil Sci.* 21: 63-71.
- Baver, L.D. 1966. *Soil physics.* John Wiley, NY.
- Buol, S.W., F.D. Hole y R.J. McCracken. 1971. *Soil genesis and classification.* The Iowa State University Press. Ames, IA.
- Bouyoucos, G.S. 1936. Directions for making mechanical analysis of soil by hydrometer method. *Soil Sci.* 4: 225-228.
- CENICAFE. s/f. Avances técnicos. Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia. Chinchiná, Caldas, Colombia.
- Day, R.P. 1965. Hydrometer method of particle size analysis. pp. 545-552. *In: Methods of soil analysis.* Agronomy 9. ASA. USA.
- Day, R.P. 1965. Pipette method of particle size analysis. pp. 553-562. *In: Methods of soil analysis.* Agronomy 9. ASA. USA.
- Del Valle F., H. y R. Pulido A. 1978. Instructivo para el análisis de suelos y aguas para riego. Departamento de Irrigación. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Espinoza, W. 1969. Caracterización química de los suelos volcánicos de la provincia de Ñube: Arrayan y Santa Bárbara. I. Método de dispersión de suelos de origen volcánico de la Provincia de Ñube. *Agricultura Técnica (Chile)* 29: 34-39.
- García E., A. 1973. Manual de campo de caña de azúcar. IMPA. Comisión Nacional de la Industria Azucarera. Libro 3. México, DF.
- González G., A., B. Ortiz-Villanueva y C. I. Pascual P. 1974. Sazonado y maduración de la caña de azúcar. Comisión Nacional de la Industria Azucarera. Libro 6. México, DF.
- Gupta, R.P. y A. Padmaraju. 1994. Physical rating of coarse textural soils to quantify production potential for sorghum. Vol 5a: 306-311. *In: Transactions XV Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo.* Acapulco, Gro.
- ISSS-ISRIC-FAO. 1994. Word reference base for resources. O.C. Spaargaren (Comp.) Wageningen-Rome. p. 14-15.
- León-Arteta, R. 1995. Ajustes metodológicos y fórmulas empíricas para el laboratorio de suelos. pp. 30. *In:*

- J.L. Tovar S., V. Ordaz Ch. y R. Quintero L. (eds.). La investigación edafológica en México 1992-1995. Cd. Victoria, Tamps. , México.
- Lugo-López, M.A. 1953. Moisture relations of Puerto Rico soils. Univ. Puerto Rico Agr. Exp. Sta. R. P. Tech. Pap. 9.
- Ojeda O., D. 1987. Empleo de los análisis de suelos para dar recomendaciones a nivel regional. p. 119. *In*: J.F. Tah Iuit (Coord.) El análisis químico de suelos. Patronato Universitario. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México.
- Oleschko, K. y J.D. Etchevers B. 1988. Problemas asociados con el método de Bouyoucos para la determinación de textura. *Terra* 6: 10-18.
- Ordaz Ch., V.M. y S.G. Gallegos E. 1990. Diferencias entre análisis mecánico y estimación de la conductividad hidráulica a partir del tamaño de partículas de seis unidades de suelos. p. 26. *In*: A. Aguilar S., G. Alcántar G. y J. Etchevers B. (eds.). Memorias XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera, México.
- Ortiz S., C.A. y B. Ortiz-Villanueva, 1990. Edafología. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Palacios V., E. 1979. Manual de operación de Distritos de Riego. Departamento de Irrigación. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Palacios V., E. y J.L. Jaspeado C. 1980. Método para estimar la tensión de humedad del suelo en función de su contenido de humedad. pp. 1-35. *In*: Bol. Tec. 14. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Soil Survey Staff. 1975. Soil taxonomy. Soil Conservation Service. USDA. Washington, DC.
- Tamhanc, R.V., D.P. Motiramani y Y.P. Bali, 1970. Suelos, su química y fertilidad en zonas tropicales. Trad. Romeo del V. A. Diana, México.
- Valdivia V., S. y J. Pina C. 1980. Relación entre la densidad aparente y las condiciones de humedad en suelos de textura media y moderadamente fina y el manejo del agua. *Revista Latinoamericana de Ciencias Agrícolas (México)* 15: 57-76.

# CLASIFICACION DE LOS SUELOS DE LA MESETA TARASCA, MICHOACAN

## Soil Classification in the Meseta Tarasca, Michoacan

María Alcalá de Jesús<sup>1</sup>, Carlos A. Ortiz Solorio<sup>1</sup> y Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena<sup>1</sup>

### RESUMEN

En la Meseta Tarasca, estado de Michoacán, la mayoría de los suelos que la integran se han clasificado como Andisoles. Sin embargo, dicha clasificación se realizó con datos faltantes, es decir, sin contar con los requisitos que debe cumplir un Andisol, lo que conduce a una clasificación errónea. Además, actualmente, los sistemas de clasificación requieren de información específica como el régimen de humedad del suelo, aunque es un dato difícil de obtener por la falta de datos climáticos confiables. Los objetivos de la presente investigación fueron: evaluar el régimen de humedad del suelo de acuerdo con la relación precipitación/temperatura y generar la información requerida para la clasificación con los sistemas más recientes de 14 suelos de la Meseta Tarasca, Mich. y compararlos con la clasificación reportada por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). La relación precipitación/temperatura de 63.3 y la isoyeta de 1060 mm determinaron los regímenes de humedad ústico y údico en la zona de estudio. Con la Taxonomía de Suelos de los Estados Unidos se identificaron un Entisol y 13 Andisols, éstos se subdividieron en Vitrands, Ustands y Udands que a nivel Suborden presentan características diferentes de importancia en su manejo o transferencia. Con la Leyenda FAO-UNESCO-ISRIC se clasificó un Fluvisol y 13 Andosoles, y con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) tres Fluvisoles y 11 Andosoles. Estas clasificaciones no son comparables con la del INEGI porque los requisitos son diferentes. De la reclasificación de suelos con la FAO-UNESCO (1970) y su comparación con la del INEGI, sólo cinco son Andosoles y el resto pertenece a otras unidades, debido a que el INEGI clasifica con datos faltantes.

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, México. (moreli12@hotmail.com)

Recibido: Septiembre de 2000. Aceptado: Mayo de 2001.  
Publicado en Terra 19: 227-239.

*Palabras clave: Andisoles, régimen de humedad.*

### SUMMARY

The majority of soils from the Meseta Tarasca in the state of Michoacan have been classified as Andisols. However, the classification was performed without the requirements that an Andisol should meet, hence, concluding in an erroneous classification. Currently, classification systems require specific information such as moisture regime, but this is difficult to obtain because there is no reliable climate information. The objectives of this research were to evaluate soil moisture regime according to the precipitation/temperature ratio to generate the required information for the classification of 14 soils in the Meseta Tarasca by comparing the current system with the classification reported by INEGI (National Institute of Statistics, Geography and Information). The precipitation/temperature ratio of 63.3 and the precipitation line of 1060 mm, determined ustic and udic moisture regimes in the study zone. Using the Soil Taxonomy of the United States Department of Agriculture, an Entisol and 13 Andisols were identified; afterwards they were subdivided into Vitrands, Ustands and Udands, that showed different important characteristics for management and transference at a Suborder level. Using the acronyms FAO-UNESCO-ISRIC, one Fluvisol and 13 Andosols, and with the World Reference Base for Soil Resources (WRB), three Fluvisols and 11 Andosols were classified. These classifications are not comparable with that of INEGI, due to differences in requirements. According to FAO-UNESCO (1970) soil classification and its comparison with that of INEGI, there are only five Andosols and the rest belongs to other units, because INEGI's classification lacks some data.

*Index words: Andisols, moisture regime.*

## INTRODUCCION

Los Andisoles son suelos que presentan propiedades ándicas resultantes de la presencia de cantidades significativas de materiales amorfos, los cuales consisten de minerales de un orden de rango corto como el alófano, imogolita, ferrihidrita, complejos de aluminio-humus o cantidades específicas de vidrio volcánico (Parfitt y Clayden, 1991; Soil Survey Staff, 1999). Estos suelos se forman durante el intemperismo de tefras y materiales con vidrio volcánico (Soil Survey Staff, 1999), presentan un horizonte A oscuro de gran espesor, son friables con alto contenido de materia orgánica, tienen baja densidad aparente y alta capacidad de retención de agua (Ishizuka y Black, 1977).

En México, a lo largo del Eje Neovolcánico, se localizan vastas regiones constituidas por depósitos de cenizas volcánicas (Aguilera, 1963), donde se han realizado algunos trabajos sobre clasificación de suelos. Aguilera (1961), Cortés (1966), Vallejo y Aguilera (1969) y Valera (1993) reportaron Andisoles.

En la Meseta Tarasca se ha identificado a los suelos de "Ando" desde los sesenta; Aguilera (1961) y Cervantes (1965) reportaron suelos de tres Grandes Grupos del Orden Inceptisol (Durandept, Ochrandept y Umbrandept) y aunque éstos corresponden a la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos no lo mencionaron y, además, no mostraron evidencias de los parámetros utilizados en la clasificación; Cervantes (1965) clasificó cinco suelos en tres Grandes Grupos del Orden Intrazonal, por comparación con el sistema de Nueva Zelanda, sin mencionar los datos requeridos. Por otra parte, al caracterizar física, química y mineralógicamente a tres perfiles de suelos, Guajardo (1967) también se refirió a los suelos de Ando, sin haberlos clasificado. La mayoría de estos trabajos dan información parcial y cuando se recurre a la cita, existen dudas sobre qué procedimiento utilizaron para clasificarlos como Andisoles.

En trabajos más recientes, de acuerdo con la FAO-UNESCO-ISRIC (1988), Cabrera (1992) y Gudiño (1992) reportaron Andosoles. DETENAL (1979) los ubicó en tres Subunidades: Andosol ócrico, Andosol húmico y Andosol vitrico. Estos autores, no cumplieron estrictamente con la información requerida, es decir, clasificaron con datos faltantes, en especial de laboratorio; además, la información con la que

contaron pierde confiabilidad al utilizar técnicas analíticas diferentes a las requeridas en la taxonomía, lo que originó una falsa clasificación de suelos (Ortiz y Ortiz, 1990). De modo que existe la incertidumbre de que sean Andisoles o sólo se trate de suelos pertenecientes a otros grupos, los cuales cuenten con algunas propiedades ándicas.

Para clasificar a nivel de Suborden y de Gran Grupo en la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1999) se requiere el edafoclima a través del régimen de humedad del suelo (RH). A escala internacional, los Andisoles con RH údico representan 75% de la base de datos; en cambio, los del RH ústico son poco comunes y se dispone de poca información sobre su distribución (Parfitt y Clayden, 1991). A diferencia de la Taxonomía de Suelos de Estados Unidos, tanto FAO-UNESCO-ISRIC (1988) como la WRB (FAO-ISRIC-SICS, 1998) no consideran el RH en la definición de unidades de suelos a pesar de ser importante para interpretar a los suelos en relación con su uso y manejo. Esto se debe a la dificultad que existe en muchas partes del mundo para disponer de datos climáticos fiables y, en algunos casos, a la falta de observatorios meteorológicos. Por esta razón, se han desarrollado modelos de simulación para estimar el RH (Porta *et al.*, 1999).

En México, se han hecho intentos para estimar el RH: Van Wambeke (1987) utilizó el modelo matemático Newhall con datos de varias estaciones climáticas del país; algunos puntos caen dentro del estado de Michoacán, pero ninguno corresponde a la zona de estudio, además de ser muy general por tratarse de una zona amplia. Valera (1993) utilizó el método de Thornthwaite, en el estado de Puebla, y Ortiz y Pájaro (1991) propusieron la relación Precipitación/ Temperatura (P/T); sin embargo, estas propuestas no se han probado ni comprobado. Ante el requerimiento de contar con el RH y el antecedente de no haber utilizado este dato en los suelos clasificados de la Meseta Tarasca (Aguilera, 1961, 1965; Cervantes, 1965; Guajardo, 1967; Cabrera, 1992; Gudiño, 1992), se siguió una estrategia diferente a estos autores, tomando como punto de partida a las variables P/T propuestas por Ortiz y Pájaro (1991).

Con el tiempo, los sistemas de clasificación han sufrido modificaciones y, actualmente, los usados en México son obsoletos, lo cual demanda su actualización en la clasificación de suelos. La presente investigación tuvo como objetivos: evaluar el régimen



de humedad del suelo de acuerdo con la relación precipitación/temperatura y generar la información requerida para la clasificación de 14 suelos de la Meseta Tarasca, Mich., con los sistemas más recientes y compararlos con la clasificación reportada por la DETENAL (1979) y la DGG (1983).

## MATERIALES Y METODOS

### Caracterización de la Zona de Estudio

La zona de estudio se localiza en la Meseta Tarasca, estado de Michoacán, entre los paralelos  $19^{\circ}15'$  y  $19^{\circ}50'$  de latitud norte y  $101^{\circ}15'$  y  $102^{\circ}25'$  de longitud oeste (Figura 1).

La Meseta Tarasca se encuentra a una altitud promedio de 2700 m, se caracteriza por un vulcanismo reciente (Plioceno-cuaternario) de productos

piroclásticos con una composición de basalto, andesita y riolita, resaltando grandes cantidades de olivino como mineral característico (INEGI, 1985).

El clima que domina es templado y en algunas áreas es semifrío. El templado es semicálido (A)C(m)(w) y húmedo C(m)(w) así como semifrío húmedo C(E)(m)(w) y subhúmedo C(E)(w2)(w). Con una temperatura media anual que varía de  $11$  a  $18^{\circ}\text{C}$  y precipitaciones desde  $800$  a más de  $1500$  mm anuales (DIGETENAL, 1985). La vegetación es 40% bosque de pino (*Pinus patula*, *P. montezumae*, *P. pseudostrabus*, *P. oocarpa*, *P. leiophylla* y *P. michoacana*), el cual se explota por su madera y resina, y 9% de bosque de encino (*Quercus crassipes* y *Q. laurena*). El uso agrícola es de temporal, principalmente; sin embargo, hay pequeñas zonas con riego (INEGI, 1985).

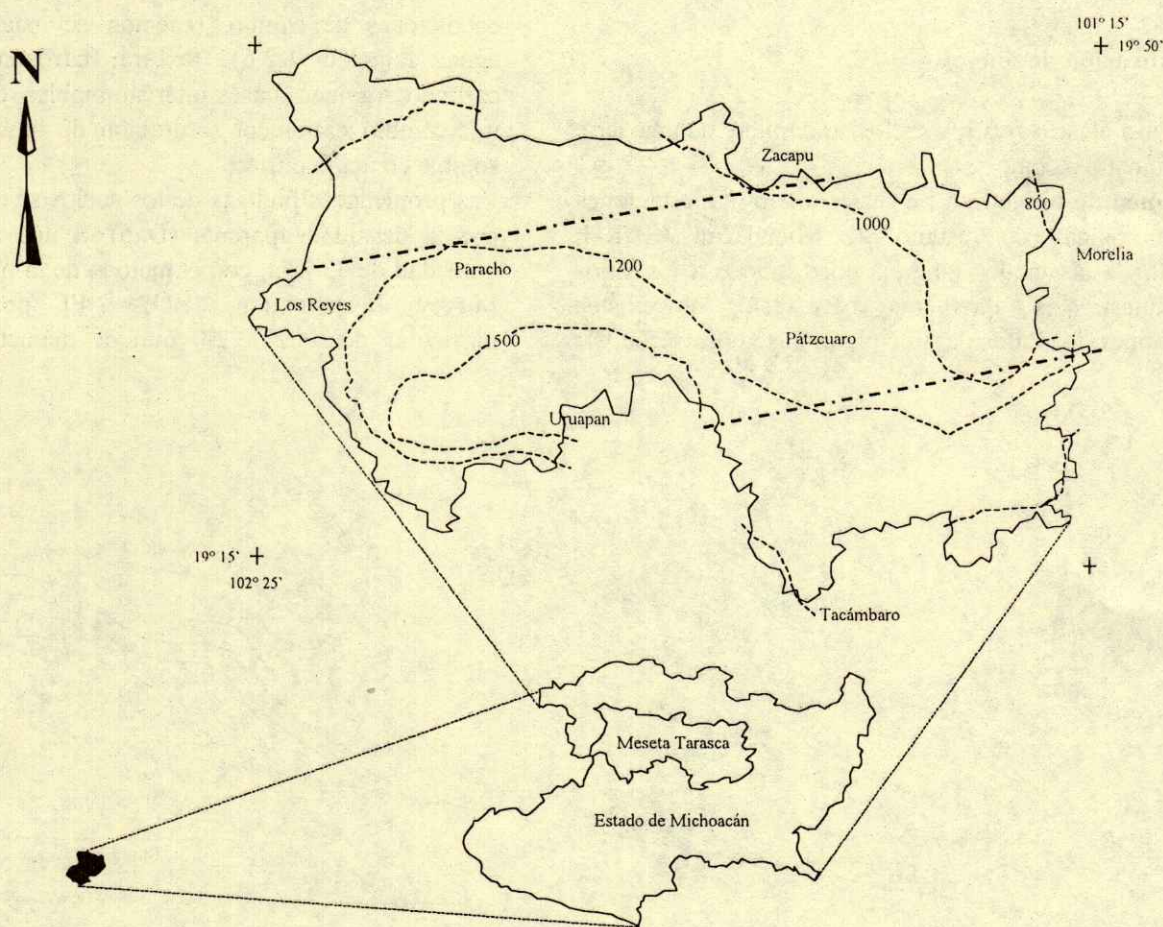


Figura 1. Localización de la Meseta Tarasca, estado de Michoacán.

### Selección de Sitios de Muestreo

Se seleccionaron 14 sitios de muestreo, tomando como referencia a las áreas que el INEGI reporta como Andosoles y que los productores reconocen como Tierras de "Tupuri" y de "Polvilla". En estas áreas, y con base en la carta de isoyetas (DIGETENAL, 1985, actualmente INEGI), se distribuyeron los sitios entre 800 a más de 1500 mm. Doce sitios se localizan en la Meseta Tarasca y dos perfiles (el cinco y seis) en los municipios de Huajúbaro y Zinapécuaro, Mich., seleccionados para apoyar al trabajo (Figura 2).

### Trabajo de Campo

Los perfiles se describieron morfológicamente con base en el manual de Cuanalo (1990). Se muestreó por horizontes hasta una profundidad de 1.5 m y se colectaron muestras alteradas de suelos para el análisis de laboratorio.

### Clasificación de Suelos

Para clasificar a los suelos se requiere de una serie de requisitos, como son:

**Régimen de humedad.** Se seleccionaron 45 estaciones climatológicas del estado de Michoacán (SARH, 1988), de las cuales ninguna corresponde a los sitios de muestreo y, dado que para éstos no existen estaciones, los datos de precipitación se obtuvieron por

extrapolación entre las isoyetas reportadas por el INEGI (1981) y los datos de temperatura, a partir de una regresión lineal, con datos de las estaciones climáticas registradas por la SARH (1988).

Tomando como punto de partida a las variables P/T, propuestas por Ortiz y Pájaro (1991), se agruparon aquellos datos según la relación P/T (valores menores que o iguales a 50 corresponden a un régimen de humedad ústico y mayores que éste, a un údico). La modificación de este método consistió en someter a un análisis discriminante los resultados de la relación P/T, con el fin de establecer los límites de clase que definieron a los nuevos regímenes de humedad en la zona de estudio.

**Trabajo de laboratorio.** Las muestras colectadas se secaron a temperatura ambiente y se pasaron por un tamiz de 2 mm de diámetro. Los métodos analíticos utilizados con fines de clasificación se describieron en Van Reeuwijk (ISRIC, 1995) y se determinaron con peso de suelo secado al aire: color, humedad en condiciones de campo, reacción del suelo (pH) (en agua, relación 1:2.5), textura, carbonatos totales, carbono orgánico, bases intercambiables, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y fósforo soluble en ácido cítrico.

Las propiedades ándicas de los suelos se determinaron por la densidad aparente (Dap), a una retención de humedad de 33 kPa, con el método de la parafina (Soil Survey Investigation, 1992). El porcentaje de partículas de 0.02 a 2.0 mm de diámetro (fracción

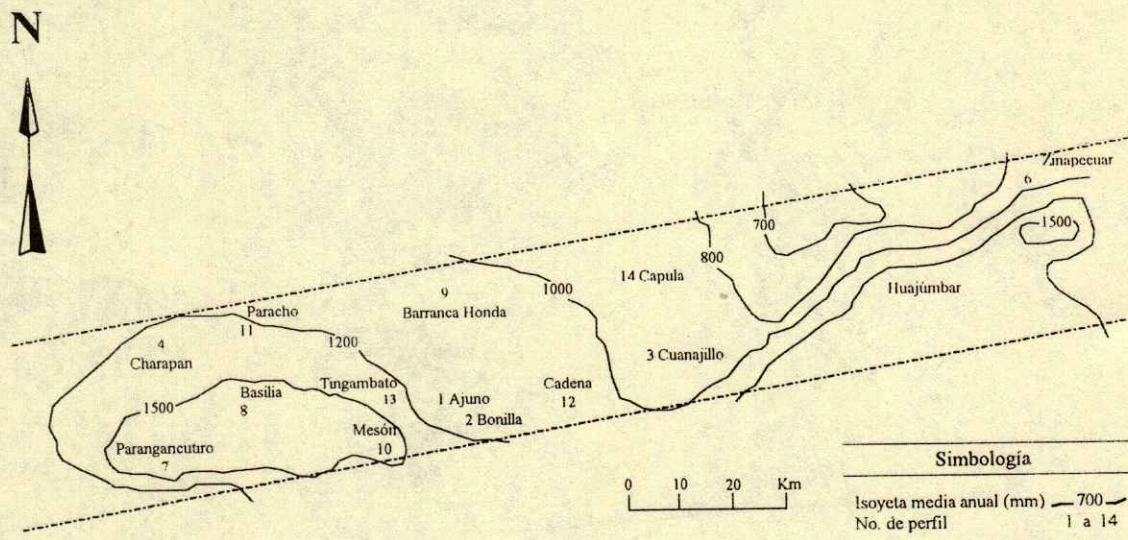


Figura 2. Localización de los perfiles de la Meseta Tarasca.

arenosa más limo grueso) se determinó a partir de la textura, por el método de la pipeta; de la fracción de minerales ligeros (0.047 a 2 mm de diámetro) montada en porta objetos, se cuantificó del total de granos al vidrio volcánico, tomando como base 100 (Moreno, 1985). La retención de fósforo se estimó por el método de Blakemore *et al.* (1987) y el aluminio y el hierro amorfos se extrajeron con oxalato ácido (Mehra y Jackson, 1960). El alófono se calculó de acuerdo con Mizota y Van Reeuwijk (1989) y Parfitt y Clayden (1991).

Para clasificar a nivel de suborden, se determinó la retención de humedad del suelo a 1500 kPa con el método de la membrana de presión, en muestras de suelo secado al aire y con humedad de campo (Soil Survey Investigation, 1992).

Los suelos se clasificaron de acuerdo con Soil Survey Staff (1999), con la Leyenda revisada del Mapa Mundial de Suelos (FAO-UNESCO-ISRIC, 1988), con la Leyenda original (FAO-UNESCO, 1970) y con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (FAO-ISRIC-SICS, 1998). También se revisaron las unidades de suelos publicadas en las Cartas Edafológicas por DETENAL (1979) y la DGG (1983), actualmente el INEGI.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Régimen de Humedad de los Suelos

En el Cuadro 1 se muestran dos funciones (F) generadas para determinar el régimen de humedad del suelo (RH): en la primera (F1), se consideró a la precipitación (P) y en la segunda (F2), a la relación precipitación/temperatura (P/T).

El límite de clase (1.20) indica que la precipitación que separa a los RH es de 1060 mm y el límite de clase (1.63) señala que la relación P/T es 63.3, valores menores que o iguales a éste pertenecen al RH ústico y los mayores al RH údico.

La isoyeta de 1060 mm diferenció la distribución de los suelos estudiados en la Meseta Tarasca, la mayoría presentan un RH údico y los Perfiles 3, 6, 9 y 14 un RH ústico (Cuadro 2). Estos últimos perfiles, excepto el seis, permiten contribuir al conocimiento al corroborar que sí es posible la formación de Andisoles en un RH ústico.

El régimen de humedad ha permitido distribuir a los suelos de la Meseta Tarasca en ústico y údico, y fuera del ámbito de esta zona; Rodríguez (1999) utilizó el RH publicado por Van Wambeke (1987), quien reportó un Typic haplustand; sin embargo, no presentó datos de precipitación para comparar las condiciones de humedad con los suelos estudiados. Valera (1993) estableció dos RH del suelo con base en el sistema de Thornthwaite, los valores menores que 800 mm corresponden al régimen de humedad ústico y los mayores que o iguales a 1200 mm, al údico. Sin embargo, 800 mm es diferente a 1060 mm, valor generado en el presente trabajo, lo cual indica que, de haber utilizado el criterio de Valera (1993) en los suelos estudiados, todos serían údicos; es decir, suelos de climas húmedos con una distribución regular de lluvia en todo el año (Porta *et al.*, 1999). Esta situación no se presenta en toda la Meseta; por consiguiente, la propuesta de este autor no sería funcional para los suelos del presente estudio.

La relación P/T de Ortiz y Pájaro (1991) difiere de la generada en el presente trabajo, 50 contra 63.3. Si este criterio se hubiera utilizado en la Meseta, 12 suelos serían údicos y dos ústicos; sin embargo, se obtuvieron cuatro ústicos en áreas con limitaciones de agua y con disposición de ésta por el suelo sólo en periodos de lluvia correspondientes al ambiente reportado para un suelo con RH ústico (Porta *et al.*, 1999). Los resultados obtenidos en el presente estudio son específicos para la Meseta Tarasca, por lo cual se propone y recomienda utilizar la relación P/T modificada en este trabajo en zonas donde no exista información sobre el régimen de humedad, por ajustarse más a las condiciones ambientales reales.

Cuadro 1. Análisis discriminante y regimenes de humedad (RH) de los suelos.

Modelo	CC	LC	RH ústico	RH údico
F1 = 0.00766(P) - 6.91431	0.752	1.20	< 1060 mm	≥ 1060 mm
F2 = 0.1014(P/T) - 4.79576	0.839	1.63	≤ 63.3	> 63.3

P = Precipitación. T = Temperatura. CC = Correlación canónica. LC = Límites de clase.

Cuadro 2. Sitios de muestreo en relación con las isoyetas y los regímenes de humedad.

Isoyeta	Perfil	P	T	P/T	RH
mm		mm	°C		
800 a 1000	6	850	18.5	46.0	ústico
	3	925	18.5	50.0	ústico
	14	936	18.5	50.6	ústico
1000 a 1060	9	1027	18.4	55.8	ústico
1060 a 1200	12	1140	17.7	64.4	údicó
	5	1173	16.5	71.1	údicó
	2	1175	18.2	64.5	údicó
	1	1189	18.5	64.3	údicó
1200 a 1500	11	1233	17.9	68.9	údicó
	4	1265	15.0	84.3	údicó
	13	1400	18.5	75.7	údicó
> 1500	7	1500	17.5	85.7	údicó
	8	1500	19.5	76.9	údicó
	10	1523	20.8	73.2	údicó

P = Precipitación. T = Temperatura ambiental + 2.5 °C. RH = Régimen de humedad del suelo.

### Morfología

En general, la morfología de los suelos estudiados es semejante entre sí y con las mismas características a las reportadas por autores como Mizota y Van Recuwijk (1989), Ping *et al.* (1989), Takahashi *et al.* (1989) y Rodríguez (1999) y, en algunos casos, Valera (1993), por sus colores pardo oscuro en húmedo y pardo a pardo amarillento oscuro en seco, con value en húmedo <3 y chroma entre 2 y 4. Dentro de los primeros 50 cm se presenta una estructura grumosa, sola o combinada con la granular por la alta actividad biológica, y cambia a poliédrica subangular con la profundidad. En todos los casos, la consistencia es friable aun cuando en la superficie puede ser muy friable y en la profundidad firme. El color oscuro de los horizontes, la estructura granular y la consistencia de friable a muy friable son el reflejo de la descomposición y acumulación de la materia orgánica (Ping *et al.*, 1989). Egawa (1977) mencionó que es común encontrar estructura granular en las capas superficiales de los Andisoles y los agregados mayores que 0.25 mm de diámetro son estables en agua, lo que implica buena agregación y permeabilidad. En los primeros 30 cm de espesor en los suelos agrícolas estudiados hay abundantes raíces y, en los de bosque y pastizal, éstas son extremadamente abundantes, todas son delgadas y finas, y disminuyen con la profundidad.

Existen numerosos poros de varios tamaños en todo el espesor que son comunes en los Andisoles. Según Egawa (1977), los poros en este tipo de suelos pueden presentar valores >69% y una capilaridad >14%, además, existe una estrecha relación entre la estructura granular y la porosidad, las cuales dan al suelo una permeabilidad rápida. Aproximadamente 50% de los suelos son ligeramente pedregosos (1 a 5%) y los demás pedregosos (5 a 20%) con diferentes tamaños (gravas y piedras pequeñas), lo cual afirma la presencia de discontinuidades litológicas en todos los perfiles, algunas de ellas desde los 20 cm por las constantes emisiones de piroclastos en la zona.

### Propiedades Físicas

El Cuadro 3 muestra los datos de las propiedades físicas y químicas, hasta un espesor de 60 cm. La mayoría de los suelos (65%) son de textura franco limosa y en el resto varía de franco limosa a arena francosa. La franco limosa le da al suelo untuosidad y es ocasionada por materiales amorfos producto del intemperismo del vidrio volcánico (Ping *et al.*, 1988), principalmente de alófano (Ping *et al.*, 1989). Las propiedades tixotrópicas son un fenómeno característico de los Andisoles y se manifiestan, también, por la untuosidad del suelo y el desprendimiento de agua; este fenómeno se presentó en grado moderado en los horizontes más profundos de los suelos estudiados.

La densidad aparente ( $Dap$ )  $\leq 0.9 \text{ g cm}^{-3}$  en los Andisoles se atribuye al desarrollo de microagregados estables con alta porosidad (Shoji *et al.*, 1996) y, de manera parcial, al alto contenido de humus (Shoji *et al.*, 1985) y la fase sólida ocupa sólo 20 a 30% de su volumen; sin embargo, aunque la mayoría de los suelos estudiados presentan estas características, la  $Dap$  es  $>1.0 \text{ g cm}^{-3}$ , valor que no corresponde a un criterio para señalar la presencia de propiedades ándicas. Ping *et al.* (1989) mencionaron que  $Dap >0.9 \text{ g cm}^{-3}$  se presentan en suelos de cenizas recientes. Por otra parte, si los valores de la  $Dap$  de los suelos estudiados son erróneos, éstos son el resultado por cambiar la técnica analítica, es decir, la parafina por la resina Saran; o bien, si los resultados son correctos, se deben a la gran cantidad de ceniza volcánica y vidrio volcánico inalterado que aún se presenta en los suelos.

Cuadro 3. Principales propiedades de los suelos estudiados.

Horizonte genético	espesor	Textura			Dap	Rh		pH 1:2.5	MO	CIC	SB	RF	Al	Fe	Al+½Fe	VV	Alof
		A	L	R		secado	húmedo										
<i>Perfil 1</i>																	
A	0-9	39	48	12	1.0	34	40	6.0	5.7	36	55	95	3.9	1.4	4.6	10	13
A	9-35	21	65	14	1.2	35	40	6.4	3.2	40	30	95	4.5	3.7	6.4	18	17
AC	35-55	20	63	17	<1.0	47	85	6.8	2.0	42	43	96	5.4	3.6	7.2	12	26
2AC	55-75	30	55	15	<1.0	44	71	6.8	2.0	47	31	94	3.7	2.5	5.0	23	13
<i>Perfil 2</i>																	
Ap	0-7	39	49	13	1.2	31	35	6.2	6.3	43	49	95	3.3	1.9	4.3	64	13
Ap	7-34	27	61	12	1.2	32	34	6.0	5.0	53	39	82	4.1	4.4	6.3	85	16
A	34-56	27	62	11	1.3	32	34	6.1	4.5	74	30	85	3.9	3.3	5.6	63	16
2A	56-82	33	53	14	1.3	31	35	6.6	6.8	75	38	95	3.0	1.2	3.6	52	12
<i>Perfil 3</i>																	
Ap	0-11	29	60	11	1.4	21	nd	5.8	6.7	36	53	86	2.8	1.1	3.3	68	10
Ap	11-30	11	76	13	1.2	25	27	6.6	5.1	51	53	87	3.6	1.5	4.4	58	12
2A1	30-58	14	73	13	1.2	28	34	6.3	1.8	44	76	89	3.5	1.5	4.3	71	12
<i>Perfil 4</i>																	
A	0-6	55	40	5	1.2	22	26	6.2	6.7	30	43	95	4.1	2.9	5.6	22	16
A	6-29	31	62	7	1.1	21	25	5.6	4.9	32	31	90	4.5	3.7	6.4	7	18
2A1	29-49	23	70	8	1.2	29	39	6.1	5.5	75	13	99	5.6	1.4	6.3	25	22
2A2	49-70	29	62	9	<1.0	33	47	6.4	4.3	65	9	98	5.8	5.2	8.4	45	23
<i>Perfil 5</i>																	
A	0-6	57	37	6	1.0	20	nd	5.6	5.8	58	26	75	1.8	0.8	2.2	27	7
A	6-37	46	46	7	1.4	12	15	5.4	3.0	52	18	82	2.8	0.9	3.3	52	11
A	37-67	42	50	8	1.4	14	21	6.0	1.5	35	31	46	3.3	1.2	3.9	40	13
<i>Perfil 6</i>																	
Ap	0-30	79	14	7	1.4	4	nd	4.9	1.5	13	48	13	nd	nd	nd	nd	nd
C	30-43	77	16	7	1.3	nd	nd	5.2	0.7	22	29	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2C	43-55	74	20	6	1.4	5	nd	5.6	0.4	15	39	13	nd	nd	nd	nd	nd
3C	55-85	58	35	7	1.6	nd	nd	6.6	0.4	19	41	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<i>Perfil 7</i>																	
A	0-20	44	54	2	1.2	17	nd	6.0	5.1	25	40	83	3.9	4.4	6.0	9	17
2AC	20-35	74	25	1	1.4	8	9	6.6	1.3	19	35	76	1.8	2.0	3.0	30	9
3C	35-45	90	9	1	1.3	2	4	6.5	0.4	12	51	5	0.4	0.6	1.0	11	3
4A	45-60	25	72	4	1.1	23	30	6.5	4.1	39	19	98	5.5	5.5	8.0	11	19
<i>Perfil 8</i>																	
A	0-3	63	34	3	1.1	19	nd	6.4	6.0	24	77	69	2.7	2.4	4.0	15	10
A	3-22	51	46	4	1.3	15	nd	5.9	4.7	24	56	71	3.4	3.5	5.0	10	12
2C	22-63	49	47	4	1.4	14	14	6.2	4.0	21	45	71	4.0	2.2	5.0	5	14
<i>Perfil 9</i>																	
Ap	0-23	18	63	19	1.2	28	nd	6.6	9.6	55	64	64	2.6	2.0	4.0	27	10
ABt	23-50	16	58	26	1.2	29	31	6.7	2.1	65	49	73	2.4	3.5	4.0	41	10
Btw	50-78	22	47	31	1.1	30	33	6.4	0.5	45	66	79	2.0	3.8	4.0	53	8
<i>Perfil 10</i>																	
A	0-3	58	37	5	1.3	22	nd	6.2	3.6	30	66	90	3.1	2.2	4.0	40	12
A	3-30	36	56	8	1.2	22	nd	5.9	2.1	43	41	84	2.7	1.6	4.0	73	11
A	30-44	39	55	5	1.4	22	24	6.2	1.4	32	58	91	2.9	1.8	4.0	63	12
2A	44-70	33	56	11	1.1	24	29	6.9	2.1	41	53	81	2.7	1.9	4.0	79	11
<i>Perfil 11</i>																	
Ap	0-15	66	28	5	1.4	17	nd	5.9	2.2	39	30	53	1.9	3.3	4.0	46	8
Ap	15-25	45	49	6	1.3	18	21	6.2	2.0	39	41	51	2.4	5.0	5.0	46	10
A/C	25-44	48	47	5	1.3	17	21	6.0	1.1	31	71	55	1.9	4.7	4.0	36	8
2A	44-80	44	51	5	1.3	21	23	6.0	0.5	46	33	73	2.3	4.0	4.0	30	9
<i>Perfil 12</i>																	
Ap	0-2	37	54	9	1.4	19	nd	6.6	4.9	55	30	67	3.0	1.0	3.0	50	12
Ap	2-23	27	62	12	1.4	19	nd	6.2	4.0	63	22	62	4.4	2.4	6.0	46	18
A	23-40	37	53	10	1.4	21	nd	6.5	2.9	43	27	69	4.1	1.6	5.0	51	16
2A	40-68	24	66	10	1.3	21	26	6.5	2.4	44	45	57	3.2	1.8	4.0	48	13
<i>Perfil 13</i>																	
A	0-6	36	58	6	1.1	32	nd	6.9	6.9	63	37	92	3.4	1.2	4.0	41	14
A	6-25	18	78	4	1.1	32	33	5.8	4.9	48	28	98	5.1	3.2	7.0	61	20
A	25-48	29	63	7	1.1	36	54	5.6	3.5	41	53	98	3.4	2.7	5.0	68	14
2A	48-82	46	53	1	1.2	52	68	5.6	2.4	45	36	101	6.4	2.1	7.0	96	26
<i>Perfil 14</i>																	
Ap	0-25	34	55	11	1.5	13	nd	5.3	3.4	53	39	29	2.3	2.9	4.0	6	8
A	25-55	31	56	12	1.4	14	18	5.5	3.1	45	44	32	2.1	3.1	4.0	6	7
2C	55-75	38	51	11	1.4	17	19	6.1	5.1	41	57	42	1.6	3.1	3.0	9	7

A = arena. L = limo. R = arcilla. Dap = densidad aparente. Rh = retención de humedad a 1500 kPa. MO = materia orgánica. CIC = capacidad de intercambio catiónico. SB = saturación de bases. RF = retención de fósforo. VV = vidrio volcánico. Al = aluminio. Fe = hierro. Alof = alófano. nd = no determinada.

En la mayoría de los trabajos realizados en México en donde se clasifica a los Andisoles (Alvarez, 1982; Cabrera, 1992; Gudiño, 1992; Valera, 1993; Rodríguez, 1999) la Dap no se realiza a capacidad de campo (33 kPa) con resina Saran, sin embargo, se ha determinado por otros métodos; por ejemplo, con cilindro y excavación en campo, mediante probeta, con terrones secados al aire y con humedad de campo o aun a 33 KPa, como en el caso de Hidalgo *et al.* (1986); no obstante, se ha impregnado al suelo con parafina. Lo más relevante de esto es que, en algunos trabajos, donde la Dap ha resultado  $<0.9 \text{ g cm}^{-3}$ , sin importar el método, se ha considerado que cumple como una propiedad ándica, lo cual carece de rigor científico. Ante esta situación, y con el antecedente de que en México se utiliza el método de la parafina, se debería realizar un trabajo de calibración entre éste y el de la resina Saran.

La retención de humedad del suelo a 1500 kPa (Rh) en suelo seco fue de 24% (13 a 40) y en húmedo de 28% (14 a 59); estos valores son moderados con respecto a Rh  $>100\%$  de suelos con propiedades hídricas y alta tixotropía, las cuales son propiedades relacionadas directamente con los coloides de materiales no cristalinos (Shoji *et al.*, 1996). Esto explica que, en los suelos estudiados, el fenómeno de la tixotropía se manifestó en forma parcial por tener Rh moderados. La Rh en suelo seco disminuye con respecto a la del suelo no seco, debido a la existencia de materiales amorfos que ocasionan cambios irreversibles en las propiedades físicas (Ping *et al.*, 1989).

Para clasificar a nivel de Suborden, es importante el régimen de humedad del suelo; sin embargo, los Andisoles clasificados no cuentan con este dato y aún así se han reportado casos hasta nivel de Gran Grupo (Valera, 1993) y de Subgrupo (Rodríguez, 1999), lo cual pone en duda la clasificación de los suelos, ya que si alguno de éstos cumple con la Rh, se clasificaría como Vitrand y en el caso de omitir el requisito, como Udands o Ustands. Los Rh de los suelos estudiados son semejantes a los reportados por Ping *et al.* (1988) y Shoji *et al.* (1988).

### Propiedades Químicas

La clasificación de las propiedades químicas se basa en el OGCEUM (2000) y su interpretación es la siguiente: debido a los constantes depósitos

piroclásticos, el contenido de materia orgánica (MO) decrece en forma irregular con la profundidad, de media a muy baja (9.6 a 0.4%) y los valores más altos, en su mayoría, se localizan en los primeros 10 cm y, en menor proporción, a los 30 cm. La acumulación de la MO es aportada por la vegetación que estos suelos soportan (pastizal, forestal y zonas de cultivo). La reacción de los suelos (pH) es de acidez fuerte a neutra (4.9 a 6.9) y los suelos de acidez moderada (6.3) predominan. En la mayoría de los horizontes superficiales, la MO influye en el pH con acidez moderada (5.3 a 6.2) y después de 60 cm de profundidad, incrementa hasta 6.9; sin embargo, no siempre los horizontes con más MO son los más ácidos. Wada (1989) señaló que reacciones del suelo de 4.0 a 6.5 se originan, principalmente, de la MO y, en pH de 5.0 a 7.0 se presentan el alófano y la imogolita, característicos de los Andisoles, por lo cual, los suelos estudiados son alofánicos y semejantes a los reportados por Takahashi *et al.* (1989).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es muy alta ( $>40$  a  $75 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ) en 52% de los horizontes y, en los demás, es de baja a alta (12 a  $<40 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ), valores que se presentan, tanto en pH muy ácido como en pH neutro ( $<5.5$  a 6.9); por esto, no existe una relación directa entre la CIC y el pH, quizá por las propiedades anfotéricas de los Andisoles (cargas positivas y negativas) que dependen del pH (Egawa, 1977). Los valores de la CIC son semejantes a los reportados por Lulli y Bidini (1980), Wada *et al.* (1986) y Mizota y Van Reeuwijk (1989).

La saturación de bases (SB) promedio es 42% y varía de 13 a 77%. En igual cantidad de horizontes (25%) se presenta una SB  $<50\%$  en pH  $<6.0$  y una SB  $>50\%$  en pH de 6.1 a 6.9. Wada (1985) señaló que a pH más ácido, la SB es menor porque su carga negativa es más pequeña con el decremento del pH, es decir, los sitios de intercambio de cationes tienen más afinidad por los protones.

Se presenta un alto contenido de materiales no cristalinos como el Alo y Feo (aluminio y hierro extraídos con oxalato ácido), el Alo (1.6 a 6.4%) y el Feo (0.8 a 5.5%); su formación y la acumulación de MO son procesos dominantes en la mayoría de los Andisoles originados de ejetas volcánicas (Shoji *et al.*, 1993). Estos valores son similares a los reportados por Mizota y Van Reeuwijk (1989). Cuando existe Alo  $\geq 2.0\%$  es equivalente a 8.0% de alófano (Parfitt y Clayden, 1991) y, en promedio, se presenta 13% de

alófano (3 a 26%). En 57% de los horizontes, el Alo y el pH se relacionan inversamente.

La retención de fósforo (RF) en 50% de los suelos es >33%, pero <85% y en los demás  $\geq$ 85%, excepto en el Perfil 6, resultados similares a los reportados por Nezeyimana (1997) y Nezeyimana *et al.* (1997). La RF >85% es una propiedad de los Andisoles y tiene relación directa con el Alo activo (Shoji *et al.*, 1985); esta relación se presenta en los Perfiles 1, 7, 8 y 13; es decir, al aumentar el Alo, el pH es más ácido y el fósforo menos soluble. Wada (1985) señaló que el alófano influye en la RF por tener un comportamiento ácido débil.

Todos los horizontes muestran que el material parental es de ceniza volcánica y, en la mayoría, está dominado por vidrio volcánico pardo básico (VV), denominado Sideromelane (Soil Survey Investigation, 1992). El VV (40% en promedio) se presenta en un intervalo amplio (5 a 95%) el cual aumenta y disminuye de manera irregular con la profundidad. Estos valores son comparables con los reportados por Ping *et al.* (1988). En 57% de los horizontes, el Alo y en 49% el Feo se relacionan en forma inversa con el VV. De acuerdo con Shoji *et al.* (1996), el VV muestra resistencia química al intemperismo y los primeros productos liberados son el Al y Fe activos, por lo cual la concentración de éstos es inversa a los procesos de intemperismo del VV.

### Clasificación de Suelos

**Taxonomía de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.** Los porcentajes de los suelos, a los cuales se hace referencia en este párrafo, tienen como base a los 14 perfiles que representan 100%. Primero se designaron los epipedones que, en general, se localizaron dentro de los 30 cm y corresponden al horizonte Ap en suelos cultivados o al A en suelos forestales y de pastizal. Estos suelos no presentan horizontes de diagnóstico subsuperficiales. En la zona se presentan tres epipedones: ócrico (79%), mólico (14%) y úmbrico (7%), y las características de diagnóstico fueron las propiedades ándicas. El ócrico y el mólico se presentaron en suelos, tanto en el régimen de humedad (RH) ústico como el údico, y el úmbrico sólo en el údico.

Los suelos se clasificaron en dos Ordenes (Cuadro 4; Figura 3): un Entisol y 13 Andisols. El Entisol

**Cuadro 4. Clasificación de suelos de acuerdo con Soil Survey Staff (1999).**

Perfil	Orden	Suborden	Gran Grupo	Subgrupo		
14	Andisol	Vitrand	Ustivitrant	Typic Ustivitrant		
8			Udivitrant	Humic Udivitrant		
5				Typic Udivitrant		
9			Ustand	Haplustand	Humic Haplustand	
3					Typic Haplustand	
7			Udand	Hapludand	Vitric Hapludand	
1					Hydric Hapludand	
2,					Eutric Hapludand	
4, 10,					Typic Hapludand	
11, 12,						
13						
6			Entisol	Fluvent	Ustifluvent	Mollic ustifluvent

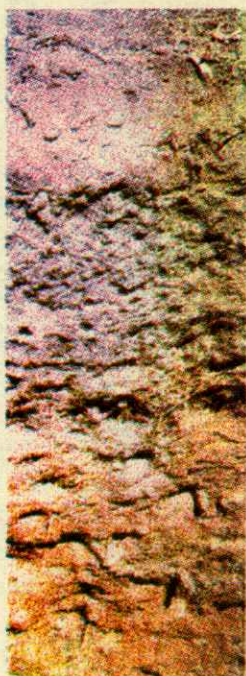
(Perfil 6) se clasifica en el Suborden Fluvent por no reunir las características de un Andisol y se localiza en el municipio de Zinapécuaro, Mich. (Figura 2).

Los Andisols se subdividieron, por sus RH, en tres Subórdenes: Vitrands (23%), caracterizados por su baja retención de humedad a 1500 kPa (Rh), Udands (62%) y Ustands (15%).

Los Humic se caracterizan por la presencia de un epipedón mólico y los Vitric e Hydric se definen por la Rh. El Vitric presenta características relacionadas con el Suborden Vitrands; sin embargo, no se clasificó en este Suborden por no cumplir con la Rh en el espesor requerido. Los Eutric se identificaron por una alta saturación de bases extractables y los Typic son suelos simples que se caracterizan sólo por sus propiedades ándicas.

Aunque la mayoría de los suelos son Andisoles, el hecho de clasificar a niveles jerárquicos bajos, permite identificar diferentes propiedades físicas y químicas importantes en su fertilidad (Parfitt y Clayden, 1991; Shoji *et al.*, 1996), motivo por el cual, su manejo o transferencia no debe generalizarse. Por ejemplo, los Andisoles con características vítricas muestran baja productividad como resultado de la baja capacidad de retención de nutrimentos y de agua, pero la disponibilidad de fósforo, en general, es adecuada.

Los Andisoles cútricos se caracterizan por una reacción del suelo neutra a ligeramente ácida, son ricos en bases y tienen alto potencial de fertilidad. Los Andisoles con alta capacidad de retención de fósforo ( $\geq$ 90%) requieren gran cantidad de fertilizantes fosfatados para mejorar la deficiencia de fósforo en las plantas (Shoji *et al.*, 1996).



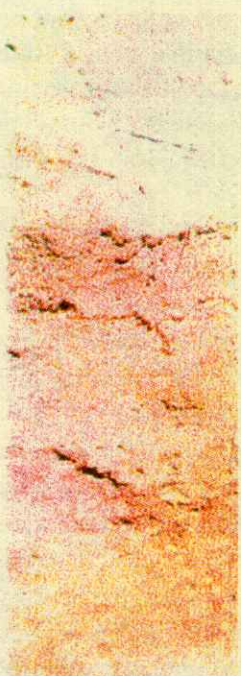
*Typic Ustivitrando*



*Humic Udivitrando*



*Humic Haplustando*



*Typic Haplustando*



*Hydric Hapludana*



*Eutric Hapludana*

Figura 3. Clasificación taxonómica de Andisols de la Meseta Tarasca.



Cuadro 5. Clasificación de suelos con la Leyenda del Mapa Mundial de Suelos y con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo.

Unidad	Perfiles	Subunidad	Perfiles	Subunidad	Perfiles	Perfiles
	FAO-ISRIC-SICS (1998)		FAO-UNESCO-ISRIC (1988)		FAO-UNESCO (1970)	DETENAL (1979) DGG (1983)
ANvi	1, 2, 3, 4, 5	ANh ANz ANu ANm	1, 2, 3, 7, 10, 12, 13, 14 5, 8, 11 4 9	To Th Tv Ao	1, 2, 3, 10, 13	1, 3, 7, 14
	7, 9, 10, 11					4, 8, 9, 10, 11, 12, 13
	12, 13					5, 6
						2
FLdy	8, 14	FLd	6	Rd	4, 5, 7, 8	
FLar	6			Jd	6, 9, 11, 12, 14	

ANh = Andosol háplico. ANz = Andosol vítrico. ANu = Andosol úmbrico. ANm = Andosol mólico. To = Andosol ócrico. Th = Andosol húmico. Tv = Andosol vítrico. Ao = Acrisol órtico. Rd = Regosol dístico. Jd y FLd = Fluvisol dístico. ANvi = Andosol vítrico. FLdy = fluvisol dístico. FLar = Fluvisol arénico.

**Leyenda FAO-UNESCO, FAO-ISRIC-SICS y Sistema de clasificación WRB.** Se presenta la clasificación de los suelos en el Cuadro 5, de acuerdo con la Leyenda del Mapa Mundial de Suelos (1970, 1988) y con la WRB (1998). Con la Leyenda del Mapa Mundial, los horizontes superficiales que ocurren son: el A ócrico, el A mólico y el A úmbrico, sin ningún otro horizonte de diagnóstico. En su versión original, los suelos se clasificaron a nivel de Subunidad: cinco Andosoles ócricos (To), cinco Fluvisoles dísticos (Jd) y cuatro Regosoles dísticos (Rd). Con la versión 1988 de la Leyenda, se clasificaron 13 Andosoles y un Fluvisol. Los Andosoles se dividieron en cuatro Subunidades: ocho háplicos (ANh), tres vítricos (ANz) y, en menor proporción, un mólico (ANm) y un úmbrico (ANu), y el Fluvisol es dístico (FLd). Con la WRB, los horizontes son: vítrico, ócrico y úmbrico; 11 perfiles son Andosoles vítricos (ANvi) y tres son Fluvisoles: dos dísticos (FLdy) y uno arénico (FLar).

De acuerdo con las modificaciones que sufrió la leyenda, los Andosoles ócricos (To) y Andosoles húmicos (Th) equivalen a los Andosoles háplicos (ANh) y Andosoles úmbricos (Th), respectivamente, de la versión original. Con la versión 1988, la clasificación de suelos incrementó el número de perfiles clasificados como Andosoles, debido al cambio que hubo en el "Complejo de intercambio dominado por material amorfo", sustituido por el de "Propiedades ándicas".

En la WRB, la Unidad (segunda categoría) corresponde a la Subunidad de la FAO-UNESCO-ISRIC (1988). Con la WRB disminuyó el número de Andosoles clasificados y el número de unidades se reduce a una, lo cual se debe al cambio que hubo de propiedades ándicas por un horizonte vítrico o un

ándico. El horizonte ándico de la WRB es similar al primer requisito de las propiedades ándicas de la Leyenda FAO-UNESCO-ISRIC (1988); sin embargo, el horizonte vítrico sólo se incluye en una de varias opciones que ofrecían las propiedades ándicas, motivo que limita la posibilidad de incluir a los suelos que presenten tanto propiedades ándicas como vítricas.

**INEGI.** Para la zona de estudio, 13 de las Unidades de suelos publicadas en las cartas edafológicas por DETENAL (1979) y DGG (1983) corresponden a Andosoles (T) y una a un Acrisol (A). A nivel de Subunidad son: siete húmicos, cuatro ócricos, dos vítricos y un Acrisol órtico.

De 14 perfiles, el INEGI reporta 13 Andosoles y un Acrisol (Perfil 2); en cambio, en el presente estudio y, según la FAO-UNESCO (1970), sólo clasifica a cinco Andosoles y, al resto, Regosoles y Fluvisoles, por no cumplir con los requerimientos de los Andosoles. Al clasificar a los suelos con la Leyenda original, ésta requiere contar con la Dap y un complejo de intercambio dominado por materiales amorfos o con  $\geq 60\%$  de vidrio volcánico en el suelo, información que en las cartas del INEGI no se da a conocer. A partir del presente estudio, puede apreciarse que el INEGI clasifica a los suelos con poco rigor científico, por lo tanto, no puede establecerse una comparación; en primer lugar, porque los suelos reportados en las cartas edafológicas se presentan en asociación con otros suelos y no se indican sus porcentajes de ocurrencia, además de no presentar los datos de laboratorio que avalan su clasificación.

## CONCLUSIONES

- La relación precipitación/temperatura de 63.3 y la isoyeta de 1060 determinaron la distribución de los

suelos en los RH údico y ústico. Se contribuye al conocimiento de Andisoles con un RH ústico.

- Con la Taxonomía de Suelos, se identificaron un Entisol y 13 Andisols, éstos se subdividieron en Vitrandis, Ustandis y Udands en donde influyó el régimen de humedad del suelo y el material parental. A nivel Suborden presentan características diferentes que son de importancia en su manejo o transferencia.

- La clasificación con la Taxonomía de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la FAO-UNESCO-ISRIC (1988) y la WRB no pueden compararse con la clasificación de los suelos reportada por el INEGI, debido a que los requerimientos para clasificar son diferentes. Aunque el INEGI clasifica con la FAO-UNESCO (1970), al reclasificar a los suelos con esta última, sólo cinco cumplen con todos los requisitos y el resto pertenece a otras unidades, debido a que clasifica con datos faltantes.

### AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al M.C. Jorge Alvarado López, sus correcciones y sugerencias.

### LITERATURA CITADA

- Aguilera H., N. 1961. Génesis y clasificación de algunos suelos de la Meseta Tarasca, Mich., México. Folleto técnico 1. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Aguilera H., N. 1963. Algunas consideraciones, características, génesis y clasificación de los suelos de Ando. pp. 233-247. *In: Memorias del 1er Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México, DF.
- Aguilera H., N. 1965. Suelos de ando: Génesis, morfología y su clasificación. Serie de Investigación 6. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Alvarez V., V.H. 1982. Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfatos en la evaluación del fósforo disponible, de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca, Michoacán. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Blackemore, L.C., P.L. Searle y B.K. Daly. 1987. Methods for chemical analysis of soils. NZ Soil Bureau Sci. Rep. 80. Soil Bureau, Lower Hutt, New Zealand.
- Cabrera A., M.A. 1992. Clasificación y caracterización al norte del río Grande de Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.
- Cervantes R., L.G. 1965. Génesis y clasificación de algunos suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Cortés L., A. 1966. Estudio pedológico de la zona oriental del Iztaccihuatl en suelos derivados de rocas y cenizas volcánicas andesíticas. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Cuanalo C., H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelos en el campo. 3a ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- DETENAL (Dirección de Estadística del Territorio Nacional). 1979. Cartas Edafológicas E 14A14 Zinapécuaro, E 14A22 Pátzcuaro y E 14A24 Tzitzio. Escala 1:50 000. México.
- DGG (Dirección General de Geografía). 1983. Cartas Edafológicas E 14A21 Cherán, E 14A31 Taretan, E 13B29 Paracho. Escala 1:50 000 y E 133 Colima. Escala 1:250 000. México.
- DIGETENAL (Dirección de Geografía y Estadística del Territorio Nacional). 1985. Carta Estatal de Climas de Michoacán. México, DF.
- Egawa, T. 1977. Properties of soils derived from volcanic ash. pp. 11-64. *In: Y. Ishizuka y C.A. Black (ed.). Soils derived from volcanic ash in Japan.* Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT). México, DF.
- FAO-ISRIC-SICS. 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports 84. FAO. Rome.
- FAO-UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 1970. Clave de unidades de suelos para el mapa de suelos del mundo. Proyecto FAO/UNESCO. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección General de Estudios. Dirección de Agrología. México, DF.
- FAO-UNESCO-ISRIC (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos). 1988. Mapa mundial de suelos. Leyenda Revisada. Traducción al español de T. Carballas, F. Macías, F. Díaz-Fierros, M. Carballas y J. A. Fernández-Urrutia. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 60. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Guajardo V., R. 1967. Caracterización de algunos suelos de Ando de la Sierra Tarasca. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Gudiño C., M.A. 1992. Caracterización física y química de los suelos de la microcuenca "Chiquimitío", municipio de Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Hidalgo M., C., J.D. Etchevers B. y B. Martínez H. 1986. Determinación de la densidad aparente en suelos de Ando. *Terra* 4: 3-9.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1981. Carta estatal de Michoacán. Fenómenos climatológicos. Precipitación media anual. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, DF.

- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1985. Síntesis geográfica del estado de Michoacán. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, DF.
- Ishizuka, Y. y C.A. Black. 1977. Soils derived from volcanic ash in Japan. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México, DF.
- ISRIC (Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos). 1995. Procedimientos para análisis de suelos. pp. 1-145. In: L.P. van Reeuwijk (ed.). Procedures for soil analysis. M.C. Gutiérrez C., C.A. Tavarez E. y C.A. Ortiz S. (trads.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Lulli, C. y D. Bidini. 1980. A climosequence of soils from tuffs on slopes of an extinct volcano in southern Italy. *Geoderma* 24: 129-142.
- Mehra, O.P. y M.L. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soil and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals* 5: 317-327.
- Mizota, C. y L.P. van Reeuwijk. 1989. Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic material in diverse climatic regions. Soil Monograph 2. Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos. Wageningen, The Netherlands.
- Moreno, C. 1985. Mineralogía de las arenas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México.
- Nezeyimana, E. 1997. A toposequence of soils derived from volcanic materials in Rwanda: Morphological, chemical and physical properties. *Soil Sci.* 162: 351-360.
- Nezeyimana, E., T.J. Bicki y P.A. Agbu. 1997. An assessment of colloidal constituents and clay mineralogy of soils derived from volcanic material along a toposequence in Rwanda. *Soil Sci.* 162: 361-371.
- OGCEUM (Organo del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos). 2000. Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000. Tomo DLXV No. 12: 7-74. Diario Oficial de la Federación. México, DF.
- Ortiz S., C.A. y D. Pájaro H. 1991. Introducción a la Taxonomía de Suelos versión 1990. Colección manuales. Colegio de Postgraduados. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Montecillo, Méx.
- Ortiz V., B. y C.A. Ortiz S. 1990. Edafología. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Parfitt, R.L. y B. Clayden. 1991. Andisols: The development of a new order in Soil Taxonomy. *Geoderma* 49: 181-198.
- Ping, C.L., S. Shoji y T. Ito. 1988. Properties and classification of three volcanic ash-derived pedons from Allutian Islands and Alaska Peninsula, Alaska. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 455-462.
- Ping, C.L., S. Shoji, T. Ito, T. Takahashi y J.P. Moore. 1989. Characteristics and classification of volcanic-ash-derived soils in Alaska. *Soil Sci.* 148: 8-28.
- Porta C., J., M. López-Acevedo R. y C. Roquero de L. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2a ed. Mundi-Prensa, España.
- Rodríguez T., S.A. 1999. Procesos de intemperismo en tepetates y su influencia en la formación de suelos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1988. Normales climatológicas (1941-1970). 2a ed. México, DF.
- Shoji, S., M. Nanzio y R.A. Dahlgren. 1993. Volcanic ash soils. Genesis, properties, and utilization. *Dev. Soil Sci.* 21. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Shoji, S., M. Nanzio, R.A. Dahlgren y P. Quantin. 1996. Evaluation and proposed revisions of criteria for Andosols in the World Reference Base for Soil Resources. *Soil Sci.* 161: 605-615.
- Shoji, S., T. Ito, M. Saigusa e I. Yamada. 1985. Properties of nonallophanic Andisols from Japan. *Soil Sci.* 148: 264-277.
- Shoji, S., T. Takahashi, T. Ito y C.L. Ping. 1988. Properties and classification of selected volcanic ash soils from Kenai Peninsula, Alaska. *Soil Sci.* 145: 395-413.
- Soil Survey Investigation. 1992. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Report 42. United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service. National Soil Survey Center. Washington, DC.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Agriculture Handbook 436. Washington, DC.
- Takahashi, T., S. Shoji y A. Sato. 1989. Clayed Spodosols and Andisols showing a biosequential relation from Shimokita Peninsula, Northeastern Japan. *Soil Sci.* 148: 204-217.
- Valera P., M.A. 1993. Fisicoquímica y mineralogía de Andosoles de la región de Teziutlán, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de México. México, DF.
- Vallejo G., E. y N. Aguilera H. 1969. Génesis de suelos del volcán Popocatepetl. pp. 92-106. In: Memorias del Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México, DF.
- Van Wambeke, A. 1987. Soil moisture and temperature regimes of Central America Caribbean, Mexico. Soil Management Support Services. Soil Cons. Serv. US Department of Agriculture. Tech. Monog. 16. Cornell University.
- Wada, K. 1985. The distinctive properties of Andosols. *Adv. Soil Sci.* 2: 173-229.
- Wada, K. 1989. Allophane and imogolite. pp. 1051-1087. In: J.B. Dixon and S.B. Weed (eds.). Minerals in soil environment. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am. Book Ser. 1. Madison WI, USA.
- Wada, K., Y. Kakuto y H. Ikawa. 1986. Clay minerals, humus complexes, and classification of four "Andepts" of Maui, Hawaii. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1007-1013.

# VERMICOMPOSTA, MICORRIZA ARBUSCULAR Y *Azospirillum brasilense* EN TOMATE DE CÁSCARA

Vermicompost, Arbuscular Mycorrhizae and *Azospirillum brasilense* on Tomatillo

J. Velasco Velasco<sup>1</sup>, R. Ferrera-Cerrato<sup>1</sup> y J.J. Almaraz Suárez<sup>1</sup>

## RESUMEN

Se estudió el efecto de la adición de vermicomposta e inoculación con el hongo endomicorrízico arbuscular *Glomus intraradix* y la bacteria *Azospirillum brasilense* sobre la producción de tomate de cáscara. Se observaron poblaciones de *A. brasilense* de  $3.26 \times 10^3$  y  $4.17 \times 10^5$  unidades formadoras de colonias  $g^{-1}$  de suelo en rizósfera y rizoplane de tomate, respectivamente, mientras que en endorrizósfera se cuantificó 72% de infección. La fijación de nitrógeno por *A. brasilense* + *G. intraradix* superó al testigo en 100%. La inoculación por separado de *G. intraradix* y *A. brasilense* presentó efectos positivos en la tasa fotosintética de plantas inoculadas comparados con el tratamiento no inoculado, debido a que la bacteria aportó nitrógeno a través de la fijación biológica y el hongo facilitó la absorción de fósforo por la planta. La adición de vermicomposta, ya sea sola o combinada con *G. intraradix* y *A. brasilense*, mostró efecto positivo sobre la tasa fotosintética, acumulación de materia seca y rendimiento de tomate de cáscara. Se observó efecto sinérgico en la combinación de vermicomposta + *G. intraradix*; este tratamiento superó al testigo en peso seco total en 120% y en rendimiento en 26%. La micorriza arbuscular y la vermicomposta pueden ser buena herramienta en la producción orgánica de tomate de cáscara.

**Palabras clave:** Bioproducción, vermicomposta, micorriza arbuscular, *Azospirillum brasilense*, *Physalis ixocarpa*.

## SUMMARY

The effect of the vermicompost incorporation and inoculation with the arbuscular endomycorrhizal fungus *Glomus intraradix* and the bacterium *Azospirillum brasilense* on tomatillo was studied. Great population of

*A. brasilense* were present in tomatillo rhizosphere, rhizoplane and endorhizosphere. Nitrogen fixation caused by *A. brasilense* increased 100% compared with the control when the bacterium was combined with the endomycorrhizal fungus. The individual inoculation of *G. intraradix* and *A. brasilense* produced higher photosynthetic rate in the tomatillo plants. This effect was caused probably because of the N fixation and P translocation caused by microbial inoculation. Vermicompost incorporation alone or in combination with *G. intraradix* or *A. brasilense* increased the photosynthetic rate, dry matter accumulation and tomatillo yield. A synergic effect was produced between vermicompost and *G. intraradix*; increasing 120% the dry weight and 26% the yield compared with the control. The arbuscular endomycorrhizae and vermicompost could be very helpful in the organic production of tomatillo.

**Index words:** Bioproduction, vermicompost, arbuscular mycorrhizae, *Azospirillum brasilense*, *Physalis ixocarpa*.

## INTRODUCCION

En México, el deterioro ecológico causado por la agricultura tiene diversas causas, dentro de las cuales están: el manejo inadecuado de los recursos naturales, intenso uso de agroquímicos, prácticas agrícolas mal empleadas y fuerte dependencia de insumos externos. Esto hace necesario implementar técnicas de producción agrícola enfocadas al uso eficiente de los recursos que tiende hacia una agricultura sostenible. En este sentido, la aplicación de abonos orgánicos, la inoculación de hongos endomicorrízicos y microorganismos fijadores de nitrógeno son alternativas que pueden emplearse en la producción agrícola.

La vermicomposta es el producto de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar a través del tracto digestivo de las lombrices (Edwards *et al.*, 1984); al utilizar este biofertilizante, puede reducirse el uso de fertilizantes químicos. Los hongos micorrízicos son importantes en las plantas porque penetran y colonizan

<sup>1</sup>Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Edo. de México. (joel42ts@colpos.colpos.mx)

las células radicales del hospedante, forman un sistema de transferencia bidireccional, llevan nutrientes minerales del suelo a la planta y compuestos orgánicos de la planta al suelo. De este modo, la asociación posibilita, mediante mecanismos bioquímicos, mayor absorción de nutrientes, principalmente fósforo (Bethlenfalvay, 1993; González, 1993). Referente a la bacteria fijadora de nitrógeno *Azospirillum brasilense*, ésta se ha probado principalmente en gramíneas con resultados positivos; sin embargo, no se descarta la posibilidad de que tenga buenos resultados en solanáceas como tomate de cáscara. Hay pocas investigaciones que demuestren la efectividad de la vermicomposta y no hay referencias sobre la inoculación en campo de *A. brasilense* y endomicorriza arbuscular a tomate de cáscara. El objetivo planteado fue evaluar el efecto de vermicomposta, endomicorriza arbuscular *Glomus intraradix* y *A. brasilense* en la producción de materia seca, el contenido de nitrógeno y fósforo en la planta y el rendimiento de tomate; así como evaluar la supervivencia de *A. brasilense* en rizósfera, rizoplano y endorrizósfera, y el efecto en la actividad nitrogenasa.

## MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se realizó en el Lote 4B del campo experimental del Colegio de Postgraduados, ubicado en Montecillo, estado de México. Se utilizó semilla de tomate de cáscara variedad Rendidora. La siembra se realizó directamente en surcos de 1 m de ancho con distancia entre matas de 50 cm. Se aclaró a 25 días después de la siembra (dds), dejando dos plantas por mata para tener una densidad de población de 40 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Se probó la dosis de 10 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta, la cual se incorporó al suelo 30 días antes de la siembra; el inóculo de *A. brasilense* se obtuvo a partir de la cepa CPMEX 167 marcada con 500 µg espectinomicina (sp)/500 µg estreptomycin (st); la carga bacteriana de la semilla fue 4.7 x 10<sup>6</sup> bacterias por semilla. El hongo micorrízico utilizado fue *G. intraradix*; la inoculación se hizo al momento de la siembra, aplicando 30 g por mata de una mezcla de arena y raíz de alfalfa colonizada con el hongo. Se utilizó un diseño experimental factorial 2<sup>3</sup> en bloques al azar con cuatro repeticiones. El tamaño de la parcela fue de 24 m<sup>2</sup> y se estudiaron ocho tratamientos: testigo, *G. intraradix*, vermicomposta, *A. brasilense*, vermicomposta + *A. brasilense*, *G. intraradix* + *A. brasilense*, vermicomposta + *G. intraradix*, vermicomposta + *G. intraradix*, vermicomposta +

*G. intraradix* + *A. brasilense*. Se realizaron tres muestreos destructivos a 40, 60 y 90 dds; se determinó peso seco total (PST), área foliar (AF), volumen radical (VR), contenido de nitrógeno y fósforo en la planta por los métodos de microkjeldahl y mezcla biácida (HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>-digestión), respectivamente (Etchevers, 1988); actividad nitrogenasa por el método de reducción de acetileno (Rennie, 1981), colonización micorrízica por el método de Phillips y Hayman (1970); supervivencia de *A. brasilense* en suelo de rizoplano y rizósfera por el método de dilución en placa; la supervivencia en endorrizósfera se determinó a través de la siembra de segmentos de raíz en tubo con medio de cultivo de carbón combinado semisólido (Rennie, 1981). La tasa fotosintética (TF) se determinó a 47, 58 y 64 dds con el medidor portátil de fotosíntesis (Photosynthesis System Li-COR, inc. modelo Li-6200). Los datos generados se analizaron estadísticamente y se sometieron a la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Supervivencia de *Azospirillum brasilense*

En el suelo rizosférico, el tratamiento *A. brasilense* presentó la mayor población con 3.26 x 10<sup>3</sup> unidades formadoras de colonias (UFC) g<sup>-1</sup> de suelo seco y el más bajo fue el tratamiento *A. brasilense* + *G. intraradix* con 1.2 x 10<sup>3</sup> UFC g<sup>-1</sup> de suelo. En rizoplano, nuevamente el tratamiento *A. brasilense* presentó mayor población con 4.17 x 10<sup>5</sup> UFC g<sup>-1</sup> de raíz y le siguió la combinación entre *A. brasilense* + *G. intraradix* con 3.57 x 10<sup>5</sup> UFC g<sup>-1</sup> de raíz; ambos superaron a los tratamientos *A. brasilense* + vermicomposta y *A. brasilense* + vermicomposta + *G. intraradix* en más de 50% (Cuadro 1).

En la zona de la endorrizósfera, el tratamiento *G. intraradix* + *A. brasilense* mostró 72% de raíces infectadas, le siguió *A. brasilense* + vermicomposta + *G. intraradix* con 58% y 44% del tratamiento *A. brasilense* (Cuadro 1). La infección de *A. brasilense* a la raíz de tomate, se afectó positivamente con la inoculación del hongo micorrízico arbuscular y se presentó un efecto sinérgico entre ambos. Se observó un incremento de las UFC de rizósfera a rizoplano, esto probablemente se debe a que esta última es la zona que está más cerca de la raíz, tiene mayor influencia de los exudados radicales y favorece el incremento de las poblaciones de microorganismos, en este caso de *A. brasilense* (Campbell y Greaves, 1990). La

Cuadro 1. Supervivencia de *Azospirillum brasilense* (500 µg sp/500 µg st)<sup>1</sup> en rizósfera, rizoplano y endorrizósfera de tomate de cáscara, a 60 días después de la siembra (dds).

Tratamiento	Rizósfera	Rizoplano	Endorrizósfera
	UFCx10 <sup>4</sup> g <sup>-1</sup> suelo	UFCx10 <sup>5</sup> g <sup>-1</sup> raíz	% <sup>1</sup>
<i>A. brasilense</i>	3.26	4.17	44
<i>A. brasilense</i> + Vermicomposta	2.43	1.46	16
<i>A. brasilense</i> + <i>Glomus intraradix</i>	1.20	3.57	72
<i>A. brasilense</i> + Vermicomposta+ <i>G. intraradix</i>	2.88	1.90	58

<sup>1</sup> sp = espectinomicina, st = estreptomina.

<sup>1</sup> Porcentaje de infección radical.

interacción sinérgica entre *A. brasilense* y endomicorriza arbuscular se ha observado en varios estudios, aunque el mecanismo es controversial ya que, en algunas ocasiones, se incrementa la biomasa de la planta o la producción de grano, también hay un incremento en la colonización micorrizica de las plantas, pero hay un decremento en la fijación de N posiblemente por la competencia de C entre el hongo y la bacteria (Linderman, 1992). Aunado a esto, Harris *et al.* (1985) mencionaron que la presencia de micorriza redujo la fijación de N<sub>2</sub> por *A. brasilense* en 60% y decreció la fijación neta de CO<sub>2</sub> aunque la presencia de endomicorriza arbuscular incrementó la distribución de C en la raíz de 4 a 7%.

### Actividad Nitrogenasa

La doble inoculación produjo un incremento y, aunque no fue estadísticamente significativo, todos los tratamientos superaron al testigo. El tratamiento *G. intraradix* superó en más de 50% al testigo; le siguió el tratamiento *A. brasilense* y finalmente el tratamiento de vermicomposta (Figura 1). La comparación de medias para las combinaciones del factorial mostró que *A. brasilense* + *G. intraradix* y vermicomposta +

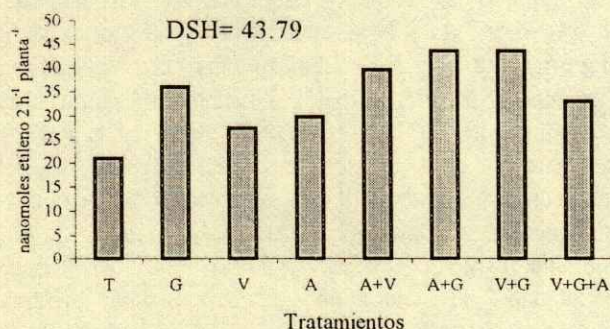


Figura 1. Actividad nitrogenasa en tomate de cáscara inoculado con *A. brasilense*, *G. intraradix* y adición de vermicomposta a 60 dds. T = testigo, G = *G. intraradix*, V = vermicomposta, A = *A. brasilense* ( $\alpha = 0.05$ ).

*G. intraradix* alcanzaron la mayor actividad nitrogenasa, ambos redujeron 43.16 nmoles de etileno en 2 h de incubación planta<sup>-1</sup> y la más baja correspondió al testigo con 20.81 nmoles de etileno en 2 h de incubación planta<sup>-1</sup> (Figura 1).

De los tres factores estudiados, el tratamiento con adición de vermicomposta mostró menor reducción de acetileno y, por consiguiente, menor fijación de N debido a que este biofertilizante aportó 1.49% de N total al suelo, lo que posiblemente inhibió la actividad de la enzima nitrogenasa, ya que un organismo no fija N<sub>2</sub> si este elemento es abundante en el suelo y, principalmente, si se encuentra en formas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y también como compuestos inorgánicos simples (Alexander, 1994).

### Colonización Micorrizica

En esta variable no se observaron diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, en colonización total (%CT) y arbusculos (%AR), los tratamientos vermicomposta, *G. intraradix* y *A. brasilense* mostraron diferencias numéricas con respecto al testigo. En la etapa de plena floración (60 dds), %CT del tratamiento *G. intraradix* superó al testigo en 200%; la inoculación de la bacteria y/o adición de vermicomposta presentó efecto positivo sobre la colonización micorrizica (Cuadro 2). A los 60 dds el %CT de las combinaciones entre los factores presentaron la misma tendencia que la observada cuando se aplicaron por separado (Cuadro 2); el tratamiento con mayor valor fue vermicomposta + *G. intraradix* con 62% a 60 dds, mientras que el testigo tuvo 26%. En lo que respecta a %AR, el tratamiento vermicomposta + *G. intraradix* a 60 dds superó al testigo en más de 100% [37.4 y 15.3%, respectivamente (Cuadro 2)]. Matías-Crisóstomo y Ferrera-Cerrato (1993) mencionaron que en un suelo tepetatoso, la adición de materia orgánica incrementó la incidencia de la endomicorriza V-A en la asociación maíz-frijol-haba. Jodice y Nappi (1987) observaron que las sustancias

Cuadro 2. Porcentaje de colonización micorrizica en tomate de cáscara inoculado con *Glomus intraradix* (G), *Azospirillum brasilense* (A), adición de vermicomposta (V), testigo (T) y las combinaciones del factorial.

Tratamiento	40 dds <sup>1</sup>		60 dds		90 dds	
	Arb. <sup>2</sup>	Col. tot. <sup>3</sup>	Arb.	Col. tot.	Arb.	Col. tot.
T	2.99	15.32	15.33	26	8.66	15.99
G	6.99	19.32	38.32	62	22.66	32.32
V	1.9	11.66	21.49	43.67	15.49	20.99
A	9.33	21.66	22.33	38.83	16.99	22.66
A + V	6.99	17.99	23.83	35	21.66	31.99
A + G	6.99	11.65	14.16	33.66	24.33	31.66
G + V	10.99	22.99	37.41	60.42	23.53	35.16
V + G + A	6.66	13.32	27.58	53.58	11.99	20.66

<sup>1</sup> dds = días después de la siembra, <sup>2</sup> Arb. = arbusculos, <sup>3</sup> Col. tot. = colonización total.

orgánicas de las compostas tienen influencia benéfica sobre el número y funciones de los fijadores de nitrógeno heterotróficos y hongos micorrizicos arbusculares; la aplicación de ciertas cantidades de sustancias húmicas favorece el establecimiento y la funcionalidad de estas simbiosis, en cambio al aplicar altas cantidades de materia orgánica, la efectividad de los hongos micorrizicos arbusculares disminuye e incluso afecta también el crecimiento de las plantas (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1995).

Datnoff *et al.* (1991) observaron resultados similares en invernadero en tomate (*Lycopersicon esculentum*); la colonización micorrizica total después de seis semanas varió de 3 a 59%. En este trabajo, se observó que las vesículas aparecieron en la raíz en bajo porcentaje, a 90 dds; el tratamiento *G. intraradix* presentó 0.99% de vesículas y *G. intraradix* + *A. brasilense* 1.33%. Van Duin *et al.* (1989) señalaron que, al colonizarse nuevas raíces, el hongo micorrizico vesículo arbuscular rápidamente produce arbusculos y posibilita el intercambio de nutrientes y sólo forma vesículas al final de la época de crecimiento como dispositivos de almacén. Sin embargo, la evaluación de la colonización micorrizica en campo es crítica, ya que el hongo micorrizico compite con poblaciones microbianas nativas; existen investigaciones que refieren que nemátodos micófagos, habitantes comunes de la zona rizosférica, reducen el potencial del hongo micorrizico arbuscular, ya que se alimentan de la hifa extramatricial (Linderman, 1992).

### Tasa Fotosintética (TF)

Las combinaciones del factorial mostraron valores similares entre sí y sólo se presentan los resultados de los factores individuales. La mayor actividad

fotosintética en las plantas de tomate se observó en la etapa de floración (58 dds); esto concuerda con lo observado por Shishido *et al.* (1990), quienes mencionaron que la mayor tasa fotosintética por unidad de área foliar se encontró en hojas jóvenes bien extendidas al inicio de la floración de *L. esculentum*, esto alrededor de 50 días después de la siembra.

En el presente trabajo, los tratamientos vermicomposta, *G. intraradix* y *A. brasilense* presentaron mayor TF respecto al testigo (Figuras 2a, 2b y 2c). A 47 dds, el tratamiento con vermicomposta mostró 12.55  $\mu\text{moles de CO}_2$  fijado  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , el tratamiento con *G. intraradix* 12.81  $\mu\text{moles de CO}_2$  fijado  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y el testigo 11.58  $\mu\text{moles de CO}_2$  fijado  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 2b). Linderman (1992) mencionó que el micelio extramatricial de las raíces colonizadas por los hongos micorrizicos arbusculares exploran mayor volumen de suelo y traslocan más eficientemente nutrientes del suelo a la planta, el cual repercute positivamente en la nutrición de la planta.

La nutrición de la planta juega un papel fundamental en la actividad fotosintética, se observó que cuando se inoculó endomicorriza arbuscular y *A. brasilense*, la TF se incrementó respecto al testigo (Figuras 2b y 2c). Las plantas con adición de vermicomposta fueron mejor nutridas y presentaron alto contenido de N, alto porcentaje de P y mayor TF comparado con el testigo. Este efecto se debe posiblemente a que la planta, al no tener deficiencias de nutrientes, produce mayor área foliar fotosintéticamente activa, por lo que tiene mayor capacidad de captación de luz solar afectando positivamente la fotosíntesis, ya que el N es componente estructural de la clorofila y aminoácidos utilizados en las reacciones fotosintéticas (Marschner, 1990).

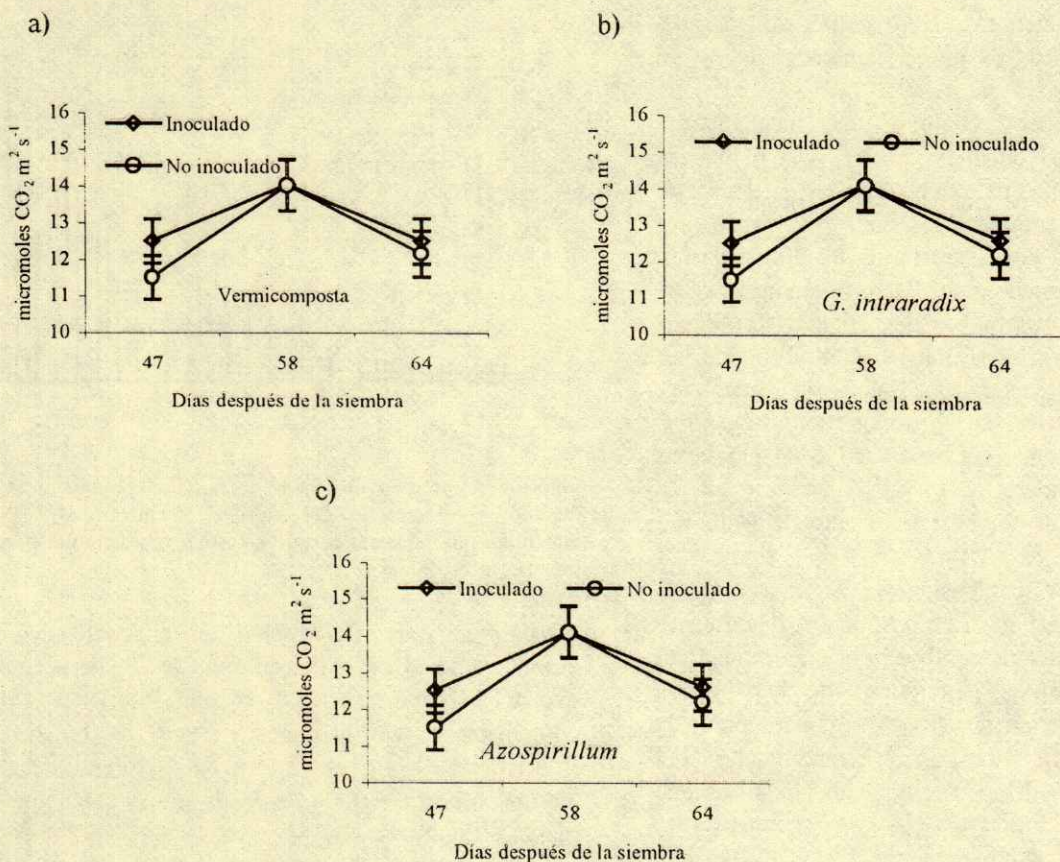


Figura 2. Tasa fotosintética en plantas de tomate de cáscara con adición de vermicomposta (a), e inoculación con *G. intraradix* (b) y *A. brasilense* (c); a 47, 58 y 64 días.

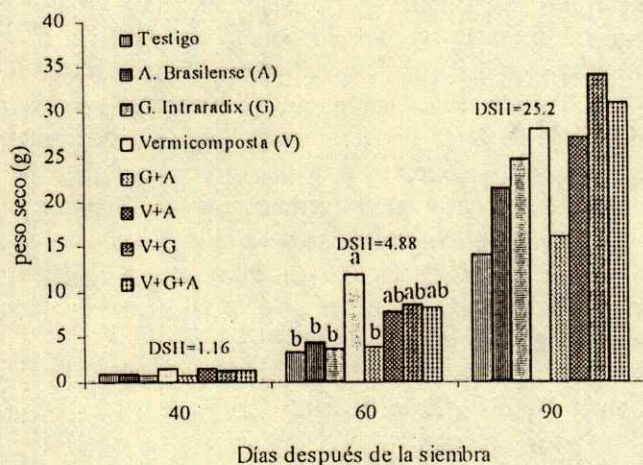


Figura 3. Producción de materia seca de tomate de cáscara con adición de vermicomposta (V), *G. intraradix* (G), *A. brasilense* (A) y testigo.

### Acumulación de Materia Seca y Rendimiento

En acumulación de materia seca total (PST), a 60 dds, se observaron diferencias estadísticas significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre tratamientos. Los mayores valores correspondieron a los tratamientos: vermicomposta; vermicomposta + *G. intraradix*; vermicomposta + *A. brasilense* y vermicomposta + *G. intraradix* + *A. brasilense*. Al final del ciclo de cultivo, los tratamientos vermicomposta y vermicomposta + *G. intraradix* mostraron valores de 28.62 y 34.1 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 3).

La disponibilidad de nutrientes es determinante en la acumulación de materia seca; así la vermicomposta aporta al suelo 1.49% de N total, 6000 mg kg<sup>-1</sup> de P, 12 000 mg kg<sup>-1</sup> de K total y cantidades considerables de otros elementos; esto se refleja en la producción de materia seca. Se observó efecto sinérgico en este parámetro cuando se combinó



el hongo endomicorrizico mas vermicomposta, ya que este tratamiento resultó ser numéricamente superior a los demás tratamientos.

Al respecto, Jodice y Nappi (1987) mencionaron que la vermicomposta contiene y provee a la planta de elementos minerales poco móviles en el suelo cuya absorción puede aumentarse con la micorriza arbuscular, que afecta positivamente la absorción de los nutrimentos proporcionados por la vermicomposta; en este sentido, el efecto es mayor que cuando se utilizan por separado. Smith *et al.* (1986) encontraron que las plantas de cebolla inoculadas con la micorriza arbuscular incrementaron la absorción de nitrógeno y fósforo y, en consecuencia, el peso seco de la planta en condiciones de invernadero.

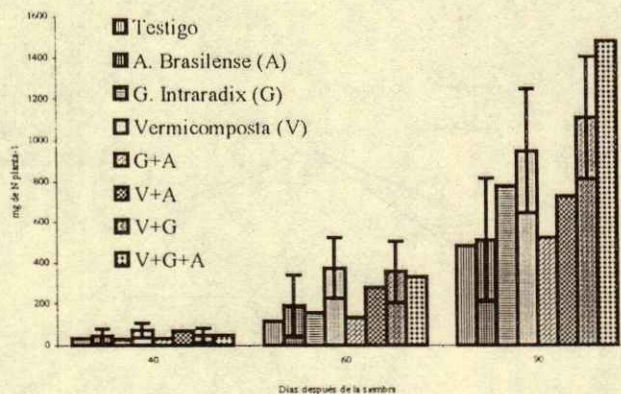
El tratamiento con mayor rendimiento de fruto fue vermicomposta + *G. intraradix*, le siguió la combinación de vermicomposta + *G. intraradix* + *A. brasilense* y el testigo tuvo el menor rendimiento (Cuadro 3). Los resultados confirman la importancia del uso de microorganismos simbióticos de las plantas cultivadas y la aplicación de abonos orgánicos como la vermicomposta; sin embargo, el rendimiento del experimento fue bajo debido, principalmente, al ataque severo de plagas. Flores-García y Ferrera-Cerrato (1995) encontraron rendimientos de 7.9 y 11.9 t ha<sup>-1</sup> con una dosis de vermicomposta de 5 y 15 t ha<sup>-1</sup> y mencionaron que hay efecto positivo en el desarrollo vegetativo y rendimiento de tomate de cáscara debido a la adición de vermicomposta. En el presente trabajo, se observó efecto sinérgico entre el hongo micorrizico y la vermicomposta sobre el rendimiento y el peso seco total de las plantas de tomate.

### Contenido de Nitrógeno

La dinámica de absorción de N se presenta en la Figura 4; las plantas con adición de vermicomposta

**Cuadro 3.** Rendimiento de tomate de cáscara con adición de vermicomposta, e inoculación con *Glomus intraradix* y *Azospirillum brasilense*.

Tratamiento	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>
<i>G. intraradix</i> + vermicomposta	5.5 a
<i>G. intraradix</i> + <i>A. brasilense</i> + vermicomposta	5.1 a
Vermicomposta	4.9 a
<i>G. intraradix</i>	4.5 a
<i>G. intraradix</i> + <i>A. Brasilense</i>	4.4 a
<i>A. brasilense</i>	4.4 a
<i>A. brasilense</i> + vermicomposta	4.3 a
Testigo	4.0 a



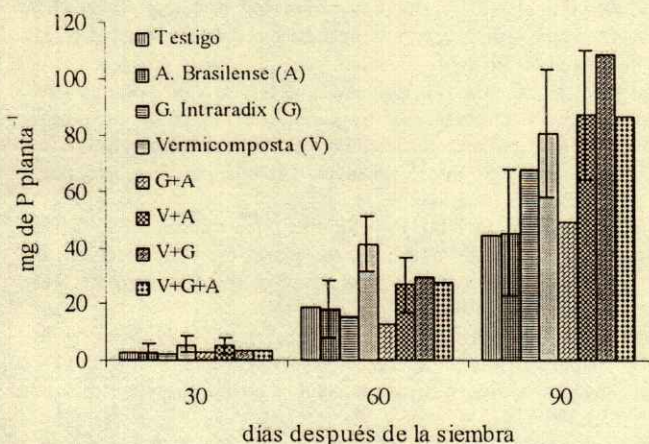
**Figura 4.** Contenido de N en la planta de tomate de cáscara durante el desarrollo del cultivo. Vermicomposta (V), *G. intraradix* (G), *A. brasilense* (A), testigo y la combinación entre factores individuales.

presentaron mayores valores en el contenido de N durante todo el ciclo del cultivo. A 90 dds se observó que el tratamiento que resultó superior fue la combinación Vermicomposta + *G. intraradix* + *A. brasilense* con 1488.3 mg de N planta<sup>-1</sup>, le siguió Vermicomposta + *G. intraradix* con 1111.3 mg de N planta<sup>-1</sup> (Figura 4).

El contenido de nitrógeno en órganos de plantas cultivadas depende de la disponibilidad del elemento en el suelo y la cantidad de N aplicado; cuando el suplemento de N es escaso, el crecimiento es retardado (Greenwood *et al.*, 1980; Marschner, 1990). Dependiendo de la especie de planta, la edad de desarrollo y órgano, el contenido de nitrógeno requerido para el crecimiento óptimo varía de 2 a 5% del peso seco de la planta (Marschner, 1990). Arévalo y Marín (1992) mencionaron que para tomate verde el porcentaje de N en parte aérea es de aproximadamente 2.4 y en fruto 2.2 en 100 g de peso seco. En el presente estudio, se encontró que la vermicomposta proveyó a la planta del N necesario para su desarrollo. En el caso del N total, en la parte aérea se encontró de 2 a 3% y en fruto alrededor de 3%; estos valores se asemejan a los referidos por Arévalo y Marín (1992).

### Contenido de Fósforo

La superioridad de la vermicomposta respecto a la inoculación del hongo micorrizico y *A. brasilense*, cuando se inoculan solos a la planta, fue evidente; sin embargo, cuando se combinó vermicomposta + *G. intraradix* y vermicomposta + *A. brasilense* se



Figuras 5. Contenido de P en la planta de tomate de cáscara durante el desarrollo del cultivo. Vermicomposta (V), *G. intraradix* (G), *A. brasilense* (A), testigo y la combinación entre factores individuales.

observó mayor contenido de P en la planta en los tres muestreos, aunque éste fue mayor a 90 dds (Figura 5). Se observó que el hongo micorrízico incrementó la absorción de P por la planta cuando se adicionó vermicomposta; el tratamiento vermicomposta + *G. intraradix* fue mayor con 108.8 mg de P planta<sup>-1</sup> contra 44.5 mg de P planta<sup>-1</sup> del testigo (Figura 5).

### CONCLUSIONES

*Azospirillum brasilense* inoculado a tomate de cáscara en campo presentó poblaciones de  $3.26 \times 10^3$  UFC g<sup>-1</sup> de suelo seco en rizósfera y  $4.17 \times 10^5$  UFC g<sup>-1</sup> de raíz en rizopiano en la etapa de floración; en endorizósfera el porcentaje de infección se afectó positivamente por la inoculación de *G. intraradix* con 72% de infección.

La mayor colonización micorrízica en tomate de cáscara se observó en la etapa de floración (60 dds). En general, la vermicomposta incrementó el porcentaje de colonización total y el contenido de P y N en planta; en consecuencia, mayor área foliar fotosintéticamente activa y la tasa fotosintética fue mayor en los tratamientos inoculados ya sea con hongo o bacteria, así como por la adición de vermicomposta. En general, la adición de 10 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta, ya sea sola o combinada con *G. intraradix* o *A. brasilense*, incrementó el contenido de materia seca y rendimiento de tomate de cáscara.

### LITERATURA CITADA

- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1995. Niveles de vermicomposta y micorriza arbuscular, en el desarrollo de plántulas de *Casuarina equisetifolia* a nivel de vivero. pp. 84. In: Memorias de la I Reunión Internacional de Ecología Microbiana. CINVESTAV-IPN. Distrito Federal, México.
- Alexander, M. 1994. Introducción a la microbiología del suelo. Trad. al español por J. Peña C. 2a reimposición. AGT. Distrito Federal, México.
- Arévalo G., G. y M.A. Marín C. 1992. Contenidos de nitrógeno en diferentes cultivos hortícolas, cultivados en el bajo Guanajuatense. pp. 140. In: J.L. Tovar S. y R. Quintero L. (eds.). Memorias del XXV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Guerrero. México.
- Bethlenfalvai, G.J. 1993. The mycorrhizal plant-soil system in sustainable agriculture. pp. 127-133. In: R. Ferrera-Cerrato y R. Quintero Lizaola (eds.). Agroecología, sostenibilidad y educación. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Campbell, R. y M.P. Greaves. 1990. Anatomy and community structure of the rhizosphere. pp. 11-31. In: J.M. Lynch (ed.). The rhizosphere. John Wiley. Chichester, England.
- Datnoff, L.E., S. Nemeč y R.N. Raid. 1991. Influence of various vegetable potting mixes on colonization of tomato by *Glomus intraradix*. pp. 253-257. In: Proc. 104th Annual Meeting of the Florida State Horticultural Society. Micor Beach, FL.
- Edwards, C.A., I. Burrows, K.E. Fletcher y B.A. Jones. 1984. The use of earthworms for composting farm wastes. pp. 229-241. In: J.K.R. Gasser (ed.). Composting of agricultural and other wastes. Els. App. Sci. Publ. London and New York.
- Etchevers B., J.D. 1988. Análisis químico de suelos y plantas. Vol. 1. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Flores-García, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1995. Uso de la vermicomposta en la producción de hortalizas. pp. 138. In: Memorias de la I Reunión Internacional de Ecología Microbiana. CINVESTAV-IPN. Distrito Federal, México.
- González Ch., M.C. 1993. La endomicorriza vesículo-arbuscular. pp. 53-91. In: R. Ferrera Cerrato, M.C. González y M.N. Rodríguez (eds.). Manual de agromicrobiología. Trillas. México.
- Greenwood, D.J., T.J. Cleaver, M.K. Turner, J. Hunt, K.B. Niendorf y S.M.H. Loquens. 1980. Comparison of the effects of nitrogen fertilizer on the yield, nitrogen content and quality of 21 different vegetable and agricultural crops. J. Agric. Sci. Camb. 95: 471-485.
- Harris, D., R.S. Pacovsky y E.A. Paul. 1985. C-flow and N<sub>2</sub> fixation in sorghum-*Azospirillum-Glomus* associations. pp. 374. In: R. Molina (ed.). Proc. 6th North Am. Conf. on Mycorrhizae. Corvallis, Oregon.
- Jodice, R. y P. Nappi. 1987. Microbial aspects of compost application in relation to mycorrhizae and nitrogen fixing microorganisms. pp. 115-125. In: M. de Bertoldi, M.P. Ferranti, P.L. Hermite y F. Zucchini (eds.). Compost: production, quality and use. Els. Appl. Sci. Italy.
- Linderman, R.G. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions. pp. 45-70. In: G.J. Bethlenfalvai and R.G. Linderman (eds.). Mycorrhizae in sustainable agriculture. Special Publication 54. American Society of agronomy. Madison, WI.

- Marschner, H. 1990. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. San Diego, CA.
- Matías-Crisóstomo, J.S. y R. Ferrera-Cerrato. 1993. Efecto de microorganismos y adición de materia orgánica en la colonización micorrízica en la recuperación de tepetates. pp. 53-61. In: J. Pérez M. y Ferrera-Cerrato R. (eds.). Avances de investigación. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Pérez B., J.C. 1994. Efecto de la micorriza vesículo-arbuscular sobre el enraizamiento de esquejes de la planta de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.). Tesis profesional. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Phillips, J.M. y D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc. 55: 158-161.
- Rennie, R.J. 1981. A single medium for isolation of acetylene reducing (dinitrogen fixing) bacteria from soils. Can. J. Microbiol. 27: 8-14.
- Shishido, Y., K. Arai, H. Kumakura, C.J. Yun y N. Seyama. 1990. Effects of developmental stages and topping on photosynthesis, translocation and distribution of <sup>14</sup>C-assimilates in tomato. Bull. Nat. Res. Inst. Vegetables, Ornamental Plants and Tea 1: 63-73.
- Smith, S.E., B.J. St John, F.A. Smith y J.L. Bromley. 1986. Effects of mycorrhizal infection on plant growth, nitrogen and phosphorus nutrition in glass house-grown *Allium cepa* L. New Phytol. 103: 359-373.
- Van Duin, W.E., J. Rosema y W.H.D. Ernest. 1989. Seasonal and spatial variation in the occurrence of vesicular-arbuscular (V-A) mycorrhizae in salt marsh plant. Agric. Ecosystems Environ. 29: 107-110.

# EVALUACION DE SUSTRATOS PARA LA PRODUCCION DE *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* CULTIVADAS EN MACETA

## Substrate Evaluation for Container Production of *Epipremnum aureum* and *Spathiphyllum wallisii*

O. García C.<sup>1</sup>, G. Alcántar G.<sup>1†</sup>, R.I. Cabrera<sup>2</sup>, F. Gavi R.<sup>1</sup> y V. Volke H.<sup>1</sup>

### RESUMEN

En México, la mayor parte de los sustratos usados en la producción de plantas ornamentales en contenedores, se componen principalmente de tierra de monte o turba en combinación con tezontle, piedra pómez o agrolita. Con el propósito de encontrar alternativas y de tratar de reducir el impacto ambiental que ocasiona el uso de tierra de monte y turba, se evaluaron subproductos orgánicos agroindustriales (cascarilla de arroz, polvo de coco, corteza de pino y composta de jardinería) en combinación con materiales inorgánicos (piedra pómez y tezontle) en la producción comercial de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii*. Los sustratos utilizados se constituyeron de 70% material orgánico y 30% inorgánico (v/v). La evaluación de los sustratos resultantes y su efecto en la producción de estas dos especies ornamentales requirió de la caracterización física (densidad aparente, densidad real, porosidad de aire, retención de humedad, porosidad total y tamaño de partículas) y química (pH, conductividad eléctrica, N total, y P, K Ca y Mg solubles). Se observó que el componente orgánico de los sustratos tuvo una influencia significativa sobre las variables respuesta de los cultivos, mientras que el efecto del componente inorgánico fue mínimo. En general, se observó que la mejor productividad y calidad, tanto en *E. aureum* como en *S. wallisii*, se dieron en sustratos de polvo de coco y de turba, incluyendo el sustrato estándar internacional de turba-agrolita; todos ellos fueron superiores al sustrato estándar nacional basado en tierra de monte.

**Palabras clave:** Plantas ornamentales, medio de cultivo.

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Estado de México.

<sup>†</sup> (alcantar@colpos.colpos.mx)

<sup>2</sup> Texas A&M University, Research and Extension Center, 17360 Coit Road, Dallas, TX 75252.

Recibido: Septiembre de 1999. Aceptado: Marzo de 2001.  
Publicado en Terra 19: 249-258.

### SUMMARY

In this study several agro-industrial byproducts were evaluated as cost-effective and environmental-friendly alternatives to the use of forest topsoil and peat moss in the production of *Epipremnum aureum* and *Spathiphyllum wallisii*. Growing media were prepared with a 70% (v/v) organic fraction consisting of pine bark, composted rice hulls, coconut coir dust or a green-waste compost. The inorganic fraction accounted for 30% (v/v) of the media was either pumice or lava. The evaluation of the resultant substrates and their effect on plant production required the characterization of their physical properties (bulk and specific density, air-filled porosity, water holding capacity, total porosity and particle size distribution) and chemical properties (pH, electric conductivity, total N, and exchangeable P, K, Ca, and Mg). The growth response of the two foliage plants was significantly influenced by the organic component in the growing media, but it was hardly affected by the inorganic component. Overall it was observed that the best plant productivity and quality were present in those substrates based on either coconut coir dust and peat, including the widely known peat:perlite medium, and all these substrates proved to be far superior to the standard forest topsoil-based medium used in Mexico.

**Index words:** Ornamental plants, growing media

### INTRODUCCION

La calidad de las plantas ornamentales en maceta depende, fundamentalmente, del tipo de sustrato que se utilice para cultivarlas y, en particular, de sus características físico-químicas, ya que el desarrollo y el funcionamiento de las raíces están directamente ligados a las condiciones de aireación y contenido de agua, además de tener una influencia directa sobre el suministro de nutrimentos necesarios para las especies que se desarrollen en él. Todas estas interacciones se reflejarán positiva o negativamente en la presentación

comercial final de las especies cultivadas (Bunt, 1988).

En México, actualmente se usa, como materia prima principal para la elaboración de sustratos, la turba (peat moss) y la tierra de monte. Estudios recientes han indicado que la tierra de monte sola o combinada con diferentes materiales (arena de río, perlita) es un sustrato adecuado para la producción de plántulas de hortalizas, plantas ornamentales en maceta y plantas forestales (Quiñones, 1995; Velázquez, 1995; Arias, 1998). Sin embargo, si se considera que actualmente se cultivan en México alrededor de 3075 ha de plantas ornamentales en contenedores, las cuales ocupan aproximadamente 500 000 m<sup>3</sup> de sustrato, el uso de tierra de monte como principal componente de estos sustratos ocasiona un impacto ambiental indeseable. Sin embargo, en algunas zonas productoras de plantas ornamentales existen subproductos de la agroindustria y otros materiales naturales que podrían usarse, como una alternativa, para mejorar los sustratos y sustituir el uso de la tierra de monte.

La cascarilla de arroz se ha utilizado, principalmente, para aumentar el espacio poroso en los sustratos, pero este uso no ha tomado en consideración la contribución que este material puede hacer al carbono total de los sustratos una vez que se somete a un proceso de composteo en mezcla con materiales ricos en nitrógeno, como estiércol o purín. Genevini (1997) propuso la obtención de dos productos comerciales durante el composteo de la cascarilla de arroz con purín. Uno, obtenido a 56 días, para ser aplicado sólo en campos de cultivo, y el otro, obtenido después de 254 días, para ser utilizado como sustituto de sustratos orgánicos en invernaderos.

La corteza de pino puede constituir entre 25 y 100% de las mezclas para producción de plantas ornamentales en maceta y una de sus principales características es su baja reducción de volumen con el transcurso del tiempo. No obstante, su capacidad para retener humedad puede ser relativamente baja, que puede corregirse al seleccionar su granulometría o mezclándola con otros materiales, como turba, sustrato agotado del cultivo de champiñón y arena. En la evaluación de algunas mezclas con corteza de pino sobre el desarrollo de arbustos ornamentales, se encontró que la presencia o ausencia de arena no tuvo influencia sobre el crecimiento de las plantas y que los sustratos mejorados con composta de champiñón mostraron los menores valores de compactación (Chong *et al.*, 1994; Reis, 1995). Por otra parte,

Niemiera *et al.* (1994) señalaron que la adición de 20% de arena a la corteza de pino aumentó en 9% el agua disponible con respecto al uso de corteza de pino sola.

En varias investigaciones (Handreck, 1993; Meerow, 1994) se ha comprobado que el polvo de coco tiene características físicas, químicas y biológicas adecuadas para ser usado como medio de cultivo. Cuando se mezcla con arena (1:1 v/v), se mejora su humectabilidad en más de 33% y se obtiene una porosidad de aire de 24 a 35%, de acuerdo con los niveles de fibra que el polvo de coco contenga. Esto le permite mantener un nivel satisfactorio de agua fácilmente disponible, por lo cual se ha señalado como un material que parece ser un sustituto aceptable de la turba, ya que también presenta menor compactación (pérdida de volumen) que ésta (Meerow, 1994; Awang y Razi, 1997; Prasad, 1997). Con polvo de coco también se han obtenido buenos resultados en la producción de miniazalea (*Rhododendron indicum*), crisantemo (*Dendrathera* spp) y plántulas de brócoli (*Brassica oleracea*) (Jaimes, 1994; Velasco, 1995; Zárate, 1995). Sin embargo, estos estudios no incluyeron la caracterización física y química específica para sustratos y, por ello, es necesario su estudio, considerando la información generada en otros países.

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar algunos de los materiales disponibles en la zona productora de plantas ornamentales en maceta más importante del país, el estado de Morelos, además de otros materiales foráneos de bajo costo o de alto potencial para incluirse como parte de los sustratos.

## MATERIALES Y METODOS

La fase experimental se realizó en Viveros PLANTEC de Amacuzac, Morelos, México, que se ubica entre 18° 35' N y 99° 22' O con una altitud de 900 m. El clima es Aw (cálido subhúmedo) con una isoterma de 24 °C y una isoyeta anual de 1000 mm, con la mayor precipitación en los meses de julio y septiembre (INEGI, 1996). El periodo de evaluación fue de mayo de 1998 a enero de 1999.

Previo a la elaboración de sustratos, se preparó una composta a partir de cascarilla de arroz. Este proceso consistió en humedecer la cascarilla, agregarle estiércol fresco de bovino en una proporción de 20% del volumen total, y mezclar homogéneamente para después formar una pila que se cubrió con

plástico para acelerar el proceso, que duró 16 semanas. Durante ese tiempo se aireó el material a través de traspaleos. Los demás materiales usados en la elaboración de los sustratos fueron: corteza de pino, parcialmente descompuesta, proveniente de Zitácuaro, Michoacán; composta de jardinería, producida por la empresa Tip-Mor de Jiutepec, Morelos; polvo de coco, subproducto de la industria coprera, procedente de Tecmán, Colima; turba (de *Sphagnum* canadiense), comercializada por la empresa Hummert de México; tierra y hoja de monte parcialmente humificada, proveniente del bosque de Huitzilac, Morelos; arena mineral y piedra pómez del municipio de Amacuzac, Morelos; y tezontle del municipio de Texcoco, México.

Se diseñaron diversos sustratos con base en los siguientes factores: sustrato inorgánico (factor A) con dos niveles: piedra pómez y tezontle; sustrato orgánico (factor B) con seis niveles: polvo de coco, composta de jardinería, corteza de pino, cascarilla de arroz, tierra de monte y turba más arena y combinaciones de ellos (Cuadro 1); así como los tratamientos adicionales que a continuación se describen. Los sustratos Mez 3 y Mez 4 son utilizados en Viveros PLANTEC. El primero contiene 30% de piedra pómez, 30% de polvo de coco y 40% de composta y el segundo contiene los mismos materiales pero se sustituye 40% de composta por tierra de monte. Se incluyó la mezcla turba-agrolita, considerada como sustrato universal en la producción de plantas en maceta, así como tres tratamientos más con el objeto de ampliar el rango de exploración de algunos materiales utilizados. Cada tratamiento se repitió cinco veces, lo cual resultó en un total de 150 unidades experimentales (macetas de 1.5 L) para cada especie cultivada. El diseño experimental fue completamente al azar.

Todos los sustratos se esterilizaron con inyección de vapor de agua por el tiempo necesario para alcanzar una temperatura de 90 °C. Posteriormente, se adicionaron a la turba 3.5 kg de  $\text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ m}^{-3}$  para aumentar el pH a 6.5 y a las mezclas con pH mayor que 7 se agregó  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para llevar el pH a 6.5. Se realizó un lavado a los sustratos con conductividad eléctrica (CE) mayor que 3 dS  $\text{m}^{-1}$ , para lo cual se utilizaron dos volúmenes de agua por cada volumen de sustrato.

La caracterización física y química de los sustratos se realizó según las metodologías propuestas por Ansorena (1994) y Warncke (1988), respectivamente. Se realizaron las determinaciones de:

Cuadro 1. Tratamientos evaluados.

Sustrato inorgánico 30% v/v	Sustrato orgánico y combinaciones <sup>1</sup> 70% v/v
Piedra pómez (A) o Tezontle (B)	Polvo de coco (PC) Composta jardinería (CJ) Cascarilla de arroz composteada (CAC) Tierra de monte (TM) Turba (T) PC-CJ PC-CPC (Corteza de pino composteada) PC-CAC PC-Arena mineral (A) CJ-A CPC-CAC CAC-A
Tratamientos adicionales	CJ-CAC CJ-CPC CPC-A Turba-Agrolita (50:50 v/v) Mez 3 <sup>2</sup> Mez 4 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Se obtuvieron mezclando proporciones iguales (v/v).

<sup>2</sup> Mez 3 y Mez 4= sustratos utilizados en Viveros PLANTEC.

densidad aparente y real, porosidad de aire, retención de humedad, análisis granulométrico, compactaciones, materia orgánica, macronutrientes solubles, CE, pH, N total, relación C:N y capacidad de intercambio catiónico (CIC), por triplicado.

Los sustratos elaborados se evaluaron en la producción de dos plantas de follaje: teléfono (*Epipremnum aureum*) y cuna de moisés (*Spathiphyllum wallisii* 'Viscount') (Joiner, 1981). Las plántulas de teléfono se obtuvieron por segmentos de tallos de plantas madres de Viveros PLANTEC y las de cuna de moisés provenían del laboratorio de cultivo de tejidos de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), ubicado en Tezoyuca, Morelos. El cultivo de *E. aureum* se desarrolló debajo de malla con 30% de sombra, densidad de 10 plantas  $\text{m}^{-2}$  y con un ciclo de producción de 17 semanas. Para *S. wallisii* se utilizó malla con 50% de sombra, densidad de 13 plantas  $\text{m}^{-2}$  y un ciclo de 36 semanas. Las temperaturas registradas oscilaron entre 36 y 40 °C (máximas) y 10 y 15 °C (mínimas). Para la fertilización se colocaron, en la superficie de cada maceta, 5 g de fertilizante Osmocote 18-6-12 de lenta liberación. Manualmente se dieron tres riegos a saturación por semana y, cuando inició el periodo de lluvias, se ajustaron la frecuencia y la lámina de riego de acuerdo con las condiciones ambientales prevaletentes. El agua de riego se trató con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para ajustar el pH a un valor

entre 6.3 y 6.5. Se fertilizó quincenalmente agregando en el agua de riego sulfato de amonio ( $0.6$  a  $2.5 \text{ g L}^{-1}$ ), nitrato de amonio ( $0.6$  a  $2.5 \text{ g L}^{-1}$ ) y el complejo triple 17 ( $0.6$  a  $0.8 \text{ g L}^{-1}$ ) que contiene N, P y K. Se realizaron revisiones semanales para detectar la presencia de plagas y enfermedades, para tomar las medidas correctivas o preventivas.

Cuando la primera planta alcanzó el tamaño y la calidad comerciales, se midieron las variables: calidad comercial final (escala subjetiva visual de 1 a 3 para *E. aureum* y 1 a 5 para *S. wallisii*), medición indirecta del contenido de clorofila en las hojas (con medidor Minolta SPAD 502, cuya lectura se denominará Unidades SPAD), altura final de las plantas (*E. aureum*), número de hojas, peso fresco y seco de la parte aérea de las plantas, área foliar (*S. wallisii*), compactación del sustrato (con medidor de resistencia a la penetración) y peso seco de raíces. Además de las respuestas de productividad (altura, peso seco y fresco de follaje, área foliar, peso seco de raíces) y calidad (Unidades SPAD y calidad comercial) evaluadas, se calculó un índice combinado de productividad-calidad, para cuyo cálculo se le asignó un valor arbitrario de 10 a cada sustrato-combinación con la media (valor numérico) más alta en cada variable respuesta, para enseguida calcular el valor relativo correspondiente al resto de los sustratos dentro de cada variable respuesta. Los valores relativos de cada variable respuesta dentro de cada sustrato se utilizaron para calcular una media general que se denomina Índice General de Productividad-Calidad. Este índice permite una integración de la respuesta general del cultivo a los sustratos y permite, de manera más fácil, la identificación de aquellos sustratos con el mejor potencial de productividad y calidad para cada cultivo.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Para la presentación de los resultados, por especie estudiada, los sustratos se dividieron de acuerdo con los factores principales (componente inorgánico y orgánico) y sus combinaciones.

Por ejemplo, cuando en los cuadros de comparación de medias se señalan sustratos inorgánicos, se refiere al promedio de todos los tratamientos que se combinaron con piedra pómez o con tezontle, etc. Los tratamientos adicionales al factorial evaluado también se presentan y discuten en función de su significancia estadística.

## Propiedades Físicas

Las propiedades físicas de un sustrato son consideradas las más importantes, ya que si éstas son inadecuadas, difícilmente se podrán mejorar una vez que se ha establecido el cultivo, por lo que su caracterización previa es imperativa (Ansorena, 1994; Cabrera, 1999).

La totalidad de los sustratos preparados, con la excepción del control principal turba:agrolita (TA), presentaron densidades aparentes ( $D_a$ ) y reales ( $D_r$ ) (Cuadro 2) dentro de los rangos óptimos de  $0.15$  a  $0.60 \text{ g mL}^{-1}$  y de  $1.45$  a  $2.65 \text{ g mL}^{-1}$ , respectivamente (Nappi, 1993; Handreck y Black, 1994). En forma general, se observó que los sustratos conteniendo piedra pómez presentaron valores de  $D_a$  y  $D_r$  inferiores a aquéllos conteniendo tezontle y/o combinaciones con arena. Los valores relativamente bajos de  $D_a$  y  $D_r$  del sustrato TA son comparables con los reportados en la literatura (Bunt, 1988; Ansorena, 1994), los cuales son muy favorecidos para la producción de cultivos de invernadero en maceta. Sin embargo, mientras que  $D_a$  y  $D_r$  bajas reducen los pesos y costos de manejo y transporte de plantas en maceta, estas densidades no son deseables en sustratos usados en viverismo, ya que incrementan significativamente el riesgo de volcado de macetas por el viento (Cabrera, 1999). De hecho, el uso de arena en sustratos para vivero es, en principio, con el objetivo de aumentar la  $D_a$  de sustratos altamente orgánicos (Bunt, 1988).

La porosidad total y, en particular, su distribución entre porosidad de aire y retención de humedad son consideradas las características físicas más importantes para el crecimiento y desarrollo de un cultivo en maceta (Cabrera, 1999). A pesar de diferencias significativas en porosidad total y retención de humedad en los sustratos, la presencia de piedra pómez o tezontle no causó diferencias mayores que 4.5% entre estos parámetros (Cuadro 2). Los valores promedio de porosidad total y porosidad de aire fueron comparativamente más bajos que los del sustrato control TA, pero dentro de los rangos considerados adecuados por la literatura. Estos rangos contemplan una porosidad total, porosidad de aire y retención de humedad de 60 a 80, 10 a 30, y 40 a 60% (con base en el volumen), respectivamente (De Boodt y Verdonck, 1972; Bunt, 1988; Ansorena, 1994; Handreck y Black, 1994). Con estos criterios, se observó que la retención de humedad de los sustratos

Cuadro 2. Comparación de medias de características físicas de sustratos al inicio del experimento.

Sustrato	Características físicas				
	Densidad aparente	Densidad real	Retención de humedad	Porosidad de aire	Porosidad total
	g mL <sup>-1</sup>			%	
Inorgánico					
Piedra pómez	0.32 b <sup>†</sup>	2.13 b	45.2 a	21.4 a	66.6 a
Tezontle	0.42 a	2.24 a	43.3 b	20.5 a	63.8 b
Orgánico y combinaciones					
Polvo de coco (PC)	0.24 h	2.18 bcd	58.2 b	13.5 ef	71.7 b
Composta jardinería (CJ)	0.42 d	2.07 de	53.6 c	18.5 cd	72.1 b
Cascarilla arroz (CAC)	0.24 gh	2.16 cd	17.4 j	56.4 a	73.8 ab
Tierra y hoja de monte (TM)	0.36 e	2.01 e	36.5 g	18.2 cde	54.7 d
Turba (T)	0.27 g	2.12 cde	64.5 a	12.3 f	76.8 a
PC-CJ	0.34 ef	2.25 bc	59.9 b	6.9 g	66.8 c
PC-Corteza de pino (CPC)	0.33 f	2.01 e	48.3 de	15.0 def	63.3 c
PC-CAC	0.27 g	2.09 de	43.9 f	22.4 c	66.3 c
PC-Arena (A)	0.49 c	2.45 a	51.7 cd	6.3 g	58.0 d
CJ-A	0.61 a	2.30 b	44.5 ef	12.1 f	56.6 d
CPC-CAC	0.34 ef	2.05 de	28.7 h	36.6 b	65.3 c
CAC-A	0.56 b	2.46 a	23.8 i	32.8 b	56.6 d
Tratamientos adicionales <sup>†</sup>					
CJ-CAC	0.29 c	2.07 b	37.9 e	29.2 a	67.1 c
CJ-CPC	0.45 b	2.03 b	42.2 d	19.6 c	61.8 d
CPC-A	0.66 a	2.21 a	30.3 f	16.8 d	47.1 e
Mez 3	0.24 d	1.93 c	52.2 b	26.0 b	78.2 a
Mez 4	0.22 e	2.13 a	50.6 b	26.6 b	77.2 a
T-A (Turba-Agrolita)	0.08 f	1.18 d	46.4 c	31.6 a	78.0 a

<sup>†</sup>Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P = \alpha 0.05$ ).

<sup>†</sup> Se compararon únicamente con el tratamiento PC.

orgánicos y combinaciones, con excepción de CAC, TM, CAC-A y CPC-CAC, está en el rango óptimo (Cuadro 2). En cuanto a porosidad de aire, considerada la propiedad física más crítica (Ansorena, 1994; Cabrera, 1999), los tratamientos PC-CJ y PC-A estuvieron por debajo del mínimo de 10% sugerido en la literatura, mientras que los cinco sustratos basados en cascarilla de arroz, además del control TA, se aproximaron o sobrepasaron el límite máximo de 30%.

### Propiedades Químicas

A diferencia de las propiedades físicas iniciales de un sustrato, las propiedades químicas pueden ser, y son, modificadas a lo largo de un ciclo de producción, en particular, cuando se recurre a programas intensivos de fertirriego y uso de fertilizantes de lenta liberación (Bunt, 1988; Cabrera, 1999). Así pues, la evaluación inicial de las propiedades químicas de un sustrato se concentra principalmente en aquellos parámetros que podrían afectar más significativamente el cultivo en su fase de establecimiento, en

especial pH y CE. En cuanto a pH, la mayoría de los sustratos se agruparon alrededor de 7, y sólo aquellos sustratos basados en turba se ubicaron originalmente entre 4.2 y 4.6 (Cuadro 3). Estos últimos valores podrían explicarse con base en que la enmienda de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  hecha a la turba aún no había tenido suficiente tiempo de activación y equilibrio químico, los cuales normalmente se aprecian en producción hasta después de varios riegos.

Con respecto a CE, la literatura recomienda que sus valores no deberían exceder 3 dS m<sup>-1</sup> (Bunt, 1988; Warncke, 1988). En este estudio, se observó que todos los sustratos basados en composta de jardinería (CJ, PC-CJ, CJ-A, CJ-CAC y CJ-CPC) tuvieron la CE más alta, la cual osciló entre 4.1 y 5.6 dS m<sup>-1</sup> (Cuadro 3). El análisis nutrimental de los extractos de saturación de estos sustratos reveló un alto coeficiente de correlación (0.96) del potasio con CE, con concentraciones de dos a casi siete veces mayores que el límite óptimo de K recomendado de 250 mg L<sup>-1</sup> (Warncke, 1988). El resto de los nutrientes se encontraron dentro rangos aceptables en la mayoría de los sustratos (Ansorena, 1994; SUNGRO, 1997;



Cuadro 3. Comparación de medias de características químicas de sustratos al inicio del experimento.

Sustrato	Características químicas						
	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	N Total %	P - - - - (mg L <sup>-1</sup> en extracto de saturación)	K	Ca	Mg - - - -
<b>Inorgánico</b>							
Piedra pómez	6.9 a	2.4 b	0.85 a	7.7 a	628 a	45 b	26 b
Tezontle	6.9 a	2.7 a	0.61 b	7.6 a	580 b	48 a	30 a
<b>Orgánico y combinaciones</b>							
Polvo de coco (PC)	6.8 c	3.4 c	0.49 cd	20.0 a	594 d	19 cf	25 de
Composta de jardinería (C J)	7.6 b	5.6 a	0.87 ab	7.7 d	1670 a	110 a	64 a
Cascarilla de arroz (CAC)	7.8 ab	0.7 f	0.62 bcd	4.1 g	132 fg	25 e	12 f
Tierra de monte (TM)	7.4 c	0.9 f	0.91 ab	3.5 g	177 f	60 c	29 d
Turba (T)	4.2 g	0.5 f	0.84 abc	5.2 f	15 h	10 f	7 f
PC-CJ	7.1 d	5.3 ab	1.07 a	12.2 c	1581 a	62 c	41 c
PC-Corteza de pino (CPC)	6.3 f	2.3 e	0.60 bcd	0.9 i	405 e	40 d	26 de
PC-CAC	7.1 d	2.7 de	0.82 abc	14.4 b	576 d	23 e	23 e
PC-Arena (A)	7.1 d	3.0 cd	0.34 d	12.1 c	713 c	58 c	42 c
CJ-A	7.1 d	4.8 b	0.91 ab	6.6 e	1235 b	98 b	48 b
CPC-CAC	7.1 d	0.7 f	0.55 bcd	3.1 gh	57 gh	25 e	10 f
CAC-A	7.8 a	0.6 f	0.76 abc	2.6 h	90 fgh	27 e	11 f
<b>Tratamientos adicionales<sup>†</sup></b>							
CJ - CAC	7.2 c	4.1 b	0.9 b	6.2 c	995 b	47 d	28 d
CJ - CPC	7.2 c	4.4 a	0.8 b	2.2 d	1209 a	111 b	60 a
CPC - A	7.1 d	0.5 f	0.5 d	0.0 g	32 f	25 e	9 f
Mez 3	7.4 b	2.3 e	1.2 a	0.4 e	575 e	112 b	48 b
Mez 4	7.6 a	2.5 e	1.1 a	1.0 f	653 d	129 a	62 a
T-A (Turba-Agrolita)	4.6 e	0.1 f	1.0 a	0.0 g	3 f	3 f	2 g

Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P = \infty 0.05$ ).

<sup>†</sup> Se compararon únicamente con el tratamiento PC.

Warncke, 1988). Los sustratos basados en polvo de coco (PC, PC-CJ, PC-CPC, PC-CAC y PC-A) también presentaron valores relativamente altos de CE y potasio, aún con los lavados que se les practicaron antes de ser mezclados. Estos datos reafirman resultados de otros estudios (Lamanna *et al.*, 1991; Handreck, 1993; Meerow, 1994; Awang y Razi, 1997), además de realzar la recomendación de monitorear y ajustar sistemáticamente el contenido de sales solubles en sustratos basados en componentes orgánicos de fuente dudosa o incierta, como lo serían compostas de jardinería y polvo de coco (Ansorena, 1994; Handreck y Black, 1994). Otros parámetros químicos, evaluados en los sustratos, fueron: capacidad de intercambio catiónico y relación C:N que, aunque importantes, no se presentarán o discutirán por su inconsistencia como buenos indicadores de la calidad de sustratos (Lemaire, 1997).

### Respuesta de *Epipremnum aureum* a los Sustratos

Las variables respuesta de la planta de teléfono (*E. aureum*) para los sustratos se presentan en el Cuadro 4. Los componentes inorgánicos piedra pómez

y tezontle mostraron diferencias relativamente mínimas para la mayoría de las respuestas de rendimiento y calidad y, por ello, no son presentados aquí. En términos generales, se observó que las variables respuesta relacionadas con productividad (altura, peso seco y fresco de follaje, y peso seco de raíces) tuvieron una separación de medias más clara que las variables respuesta de calidad (Unidades SPAD y calidad comercial). El índice general de productividad-calidad permitió identificar que la planta de teléfono se favoreció más por los sustratos PC, PC-CPC y PC-A, aún y por encima del sustrato universal TA que ocupó un sexto lugar después de Mez 4 y T. El resto de los sustratos basados en combinaciones de PC, CPC, TM y CJ ocuparon lugares intermedios, mientras que la mayoría de los sustratos basados en CAC, y Mez 3 tuvieron el peor desempeño en esta planta. Los resultados prometedores registrados con los sustratos basados en PC (polvo de coco) corroboran los observados en diversas especies hortícolas, así como por investigadores en distintas regiones del mundo (Handreck, 1993; Jaimes, 1994; Meerow, 1994; Velasco, 1995; Zárate, 1995; Awang y Razi, 1997;

Cuadro 4. Comparación de medias de variables de respuesta de *Epipremnum aureum*.

Sustrato	Altura	Peso fresco follaje	Peso seco follaje	Número de hojas	Peso seco raíces	Unidades SPAD	Calidad comercial	Índice general de productividad-calidad <sup>†</sup>
		----- g -----			g			
Orgánico y combinaciones								
Polvo de coco (PC)	65.3 a	341 a	27.5 a	13.0 a	12.2 a	55.2 ab	3.0 a	9.9
Composta de jardinería (CJ)	57.8 abc	327 abc	24.6 ab	10.8 b	6.0 b	50.8 bc	2.9 a	8.3
Cascarilla arroz (CAC)	49.0 c	239 f	19.5 c	10.9 b	8.4 ab	49.4 c	1.9 b	7.3
Tierra y hoja de monte (TM)	51.1 bc	284 cde	22.6 bc	11.3 ab	9.1 ab	55.3 ab	2.6 a	8.4
Turba (T)	55.3 abc	289 bcd	24.1 ab	12.3 ab	10.5 ab	50.9 bc	2.4 a	8.7
PC-CJ	55.9 abc	310 abc	24.0 ab	11.9 ab	8.3 ab	50.2 bc	2.5 a	8.6
PC-Corteza de pino (CPC)	58.9 ab	333 abc	25.0 ab	12.0 ab	11.2 ab	54.3 abc	3.0 a	9.5
PC-CAC	57.4 abc	273 def	21.9 bc	12.1 ab	9.4 ab	53.8 abc	2.0 b	8.5
PC-Arena (A)	59.0 ab	306 abcd	23.8 ab	12.4 ab	12.2 a	56.2 a	2.6 a	9.3
CJ-A	54.4 abc	305 abcd	24.1 ab	11.6 ab	7.6 b	51.8 abc	2.6 a	8.4
CPC-CAC	49.0 c	259 ef	19.9 c	11.0 b	9.2 ab	51.0 bc	2.7 a	8.1
CAC-A	49.3 bc	254 ef	19.7 c	11.0 b	9.3 ab	52.0 abc	2.5 a	7.8
Tratamientos adicionales <sup>‡</sup>								
CJ - CAC	49.3 b	258 b	21.5 b	11.0 b	10.3 a	51.2 b	2.5 a	8.2
CJ - CPC	49.0 b	305 b	23.0 b	10.2 b	8.8 b	51.4 b	2.8 a	8.3
CPC - A	52.9 b	270 b	22.5 b	11.4 b	10.8 a	51.3 b	2.4 a	8.2
Mez 3	51.0 b	301 b	24.7 a	11.7 a	4.2 b	53.9 a	2.3 a	8.1
Mez 4	54.0 b	308 b	26.4 a	11.0 b	10.6 a	55.8 a	2.3 a	8.9
T-A (Turba-Agrolita)	56.3 b	304 b	24.8 b	12.0 a	8.1 b	53.2 a	3.0 a	8.9

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

<sup>†</sup> Ver texto para descripción de su cálculo. Valores permiten comparación general entre todos los tratamientos (incluyendo los adicionales).

<sup>‡</sup> Se compararon únicamente con el tratamiento PC (excepto el índice general de productividad-calidad).

Prasad, 1997), y por cierto ofrecen una alternativa viable al uso de tierra de monte y la turba. Aunque los sustratos basados en composta de jardinería serían más factibles para muchas localidades; su alta variabilidad en cuanto a composición y propiedades físico-químicas son la causa por la que su utilización comercial sea tan limitada y evitada a la vez (Handreck y Black, 1994).

#### Respuesta de *Spathiphyllum wallisii* a los Sustratos

La experiencia práctica, así como la literatura en plantas de follaje (Joiner, 1981), indica que las plantas *S. wallisii* son relativamente más sensibles que las de teléfono (*E. aureum*) en cuanto a prácticas y condiciones de manejo en producción y post-producción. Este conocimiento anticipó un mayor efecto de los sustratos en el cultivo de *S. wallisii*, el cual puede apreciarse en el rango más amplio del índice general de productividad-calidad [6.0 a 9.7 (Cuadro 5)] en comparación con el rango observado en plantas de *E. aureum* [7.3 a 9.9 (Cuadro 4)]. Este índice, así como un análisis detenido de cada variable respuesta, indicó que el mejor rendimiento y calidad de *S. wallisii* se presentó en el sustrato universal TA, seguido inmediatamente por

PC-A, T y PC (Cuadro 5) y éstos, a su vez, fueron seguidos por el resto de los sustratos basados en PC, CPC, TM, Mez 3 y CAC. La peor respuesta de esta planta se observó en los sustratos basados en composta de jardinería (CJ, CJ-CAC, CJ-A y CJ-CPC) y Mez 4.

Conviene notar que, aunque los sustratos basados en turba tuvieron, en promedio, una mejor respuesta que aquéllos basados en polvo de coco, el desempeño de estos últimos, tanto en *S. wallisii* como en *E. aureum* también apoyan la aseveración de su gran potencial como alternativa viable y costeable en México con respecto a la turba y la tierra de monte (Jaimes, 1994; Velasco, 1995; Zárate, 1995).

La categorización de *S. wallisii* como planta sensible a altos niveles de sales solubles (Campos y Reed, 1993) muy probablemente fue la causa principal de su pobre respuesta a sustratos basados en composta de jardinería, los cuales mostraron los valores más elevados de CE (Cuadro 3). Por otro lado, y al igual que en *E. aureum*, los sustratos basados en cascarilla de arroz produjeron respuestas muy marginales, las que se asociaron, en general, con capacidades de retención de humedad muy bajas (Cuadro 2). Aun cuando la relación C:N observada en sustratos con CAC (datos no presentados) no dio indicios de un mal

Cuadro 5. Comparación de medias de variables de respuesta de *Spathiphyllum wallisii*.

Sustrato	Peso fresco follaje	Peso seco follaje	Area foliar	Número de hojas	Peso seco raíces	Unidades SPAD	Calidad comercial	Indice general de productividad-calidad <sup>†</sup>
	----- g -----		cm <sup>2</sup>		g			
Orgánico y combinaciones								
Polvo de coco (PC)	148 ab	19.0 ab	2355 ab	26.9 a	10.2 a	58.6 a	4.3 a	9.1
Composta de jardinería (CJ)	95 de	12.6 c	1587 cd	21.9 a	7.5 a	55.4 a	3.0 b	6.8
Cascarilla arroz (CAC)	98 de	14.2 bc	1764 bcd	22.6 a	6.3 a	58.2 a	3.2 a	7.0
Tierra y hoja de monte (TM)	115 abcde	16.2 abc	2038 abcd	25.5 a	8.4 a	57.1 a	4.1 a	8.1
Turba (T)	145 ab	19.5 ab	2423 ab	28.8 a	10.8 a	58.5 a	4.6 a	9.4
PC-CJ	114 abcde	15.5 abc	1776 bcd	24.0 a	7.7 a	55.6 a	3.7 a	7.6
PC-Corteza de pino (CPC)	126 abcd	17.0 abc	2106 abcd	27.4 a	8.6 a	58.6 a	3.7 a	8.3
PC-CAC	135 abc	18.9 ab	2269 abc	24.1 a	10.0 a	60.4 a	4.4 a	8.9
PC-Arena (A)	153 a	20.8 a	2624 a	28.8 a	10.4 a	59.3 a	4.4 a	9.6
CJ-A	90 e	11.9 c	1509 de	21.2 a	6.5 a	56.6 a	3.3 a	6.6
CPC-CAC	110 bcde	14.3 bc	1939 abcd	23.1 a	9.5 a	58.2 a	3.7 a	7.8
CAC-A	102 cde	14.4 bc	1747 bcd	20.8 a	7.5 a	58.9 a	3.2 a	7.1
Tratamientos adicionales <sup>‡</sup>								
CJ - CAC	98 b	13.6 b	1605 b	20.6 b	6.3 b	56.7 a	3.2 b	6.7
CJ - CPC	93 b	13.0 b	1456 b	18.6 b	6.4 b	57.7 a	2.8 b	6.4
CPC - A	125 a	17.4 b	2178 a	22.8 b	9.5 a	59.0 a	4.2 a	8.4
Mez 3	113 b	15.6 b	2034 b	28.4 a	7.3 b	57.0 a	3.4 a	7.8
Mez 4	79 b	11.7 b	1321 b	21.3 b	6.2 b	55.7 b	2.3 b	6.0
T-A (Turba-Agrolita)	155 a	21.6 a	2407 a	25.8 a	11.6 a	61.9 a	4.8 a	9.7

Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P = \infty 0.05$ ).

<sup>†</sup> Ver texto para descripción de su cálculo. Valores permiten comparación general entre todos los tratamientos (incluyendo los adicionales).

<sup>‡</sup> Se compararon únicamente con el tratamiento PC (excepto el índice general de productividad-calidad).

composteo en el presente estudio, esta situación, además de tener baja retención de humedad, es por lo común citada como la causa principal de su uso limitado como componente en sustratos comerciales (Handreck y Black, 1994).

### Correlaciones de las Características Físicas y Químicas de los Sustratos con las Variables Respuesta de las Plantas

El análisis de regresión indicó un efecto consistente de porosidad de aire, retención de humedad, compactación (Cuadro 6), pH, CE y N total sobre la mayoría de las respuestas variable tanto en *E. aureum* como en *S. wallisii* (Cuadros 7 y 8). Estos resultados concuerdan con el consenso general de la literatura en cuanto a la mayor significancia en la respuesta de los cultivos en relación con el resto de las características fisico-químicas evaluadas (Bunt, 1988; Ansorena, 1994; Handreck y Black, 1994; Cabrera, 1999).

Modelos de regresión múltiple entre las variables de respuesta y las propiedades de los sustratos de las plantas no sólo permitieron identificar las características fisico-químicas más relevantes, sino también su rango de mayor efectividad. Los

Cuadros 7 y 8 presentan los modelos de regresión múltiple obtenidos para las variables de respuesta de *E. aureum* y *S. wallisii*, respectivamente. De acuerdo con los modelos de regresión, los intervalos de valores en los que se ubican las características importantes de los sustratos que presentaron los mejores valores de las variables de respuesta en *E. aureum* fueron: porosidad de aire, entre 6.3 y 15.0% v/v; compactación, entre 0.194 y 0.356 kg cm<sup>-2</sup>, valores que permiten deducir que esta planta requiere

Cuadro 6. Compactación en sustratos.

Sustrato	Piedra pómez				Tezontle	
	----- kg cm <sup>-2</sup> -----					
	(1)	(2)	(1)	(2)		
Polvo de coco	0.230	0.124	0.159	0.185		
Composta de jardinería	0.255	1.283	0.327	1.258		
Cascarilla de arroz	0.388	0.607	0.218	0.907		
Tierra de monte	0.477	1.019	0.382	1.926		
Turba	0.408	0.846	0.205	0.625		
PC-CJ	0.331	0.435	0.323	0.218		
PC-CPC	0.401	1.027	0.312	1.168		
PC-CAC	0.344	0.612	0.221	0.511		
PC-A	0.333	0.303	0.255	0.750		
CJ-A	0.373	1.787	0.234	1.107		
CPC-CAC	0.492	1.424	0.293	0.984		
CAC-A	0.469	1.285	0.226	1.148		

(1) Macetas con *Epipremnum aureum*. (2) Macetas sin planta.

**Cuadro 7. Modelos de regresión para las variables de respuesta como función de las características químicas y físicas de los sustratos en *Epipremnum aureum*.**

Variable de respuesta	Modelo de regresión <sup>1</sup>	Pr > F	R <sup>2</sup>
Altura (cm)	$Y = 65.5 - 3.0870 N - 0.3168 P - 0.0027 A^2 - 29.612 C$	0.0001	0.806
Número de hojas	$Y = 13.063 - 0.8498 N - 0.0595 P - 0.0630 H^2 - 0.1147 A^{0.5}$	0.0001	0.701
Peso fresco de follaje (g) <sup>†</sup>	$Y = 213.032 - 17.9508 N^2 - 22.3584 E^{0.5} - 1.2686 U$	0.0001	0.742
Peso seco de follaje (g) <sup>†</sup>	$Y = 15.772 - 2.1590 N - 0.2814 U - 0.0016 U^2$	0.0001	0.730
Peso seco de raíces (g)	$Y = 15.931 - 9.287 Z - 1.4561 H - 1.4637 E - 0.3187 E^2 - 10.886 C^{0.5}$	0.0001	0.669
SPAD	$Y = 52.300 - 2.6334 E - 0.5093 E^2 - 0.0703 A$	0.0001	0.598
Calidad comercial	$Y = 2.804 - 0.3934 N^2 - 0.0033 M - 0.0002 A^2$	0.0001	0.485

<sup>†</sup>N = nitrógeno total (%), E = Conductividad eléctrica (dS m<sup>-1</sup>), H = pH, P = fósforo (mg L<sup>-1</sup>), M = magnesio (mg L<sup>-1</sup>), A = porosidad de aire (% v/v), C = compactación (kg cm<sup>-2</sup>), U = retención de humedad (% v/v), Z = variable auxiliar asociada a un valor de pH del sustrato igual o mayor que 6.8.

<sup>1</sup> Para estas variables el mejor modelo se obtuvo con retención de humedad en vez de porosidad de aire.

**Cuadro 8. Modelos de regresión para las variables de respuesta como función de las características químicas y físicas de los sustratos en *Spathiphyllum wallisii*.**

Variable de respuesta	Modelo de regresión <sup>1</sup>	Pr > F	R <sup>2</sup>
Area foliar (cm <sup>2</sup> )	$Y = 3557.4 - 538.44 N^{0.5} - 20.999 E^2 - 138.24 A^{0.5} - 319.84 C$	0.0001	0.782
Número de hojas	$Y = 31.255 - 17.597 Z - 2.754 H - 0.047 E^2 - 0.642 A^{0.5} - 12.200 D^2$	0.0001	0.748
Peso fresco de follaje (g)	$Y = 194.78 - 37.741 N^{0.5} - 0.9838 E^2 - 0.0155 A^2 - 27.332 C$	0.0001	0.845
Peso seco de follaje (g)	$Y = 27.206 - 2.2725 N^{0.5} - 0.1541 E^2 - 1.1496 A^{0.5} - 3.1800 C$	0.0001	0.756
Peso seco de raíces (g)	$Y = 12.418 - 2.2593 N - 0.0574 E^2 - 0.0010 A^2 - 1.1546 C$	0.0001	0.685
SPAD	$Y = 59.039 - 1.1188 N - 1.0895 E - 0.2690 E^2 - 0.3517 C$	0.0001	0.624
Calidad comercial	$Y = 4.309 - 0.04116 E^2 - 0.0908 P - 0.0033 P^2 - 0.0004 A^2 - 0.2433 C^2$	0.0001	0.700

<sup>†</sup>N = nitrógeno total (%), E = conductividad eléctrica (dS m<sup>-1</sup>), H = pH, P = fósforo (mg L<sup>-1</sup>), D = densidad aparente (mg L<sup>-1</sup>), A = porosidad de aire (% v/v), C = compactación (kg cm<sup>-2</sup>), Z = variable auxiliar asociada a un valor de pH del sustrato igual o mayor que 6.8.

sustratos que ofrezcan resistencia a la compactación; pH, entre 6.3 y 7.1; CE, entre 2.3 y 3.4 dS m<sup>-1</sup>; N total, entre 0.34 y 0.60%; P soluble, entre 1 y 20 mg L<sup>-1</sup>. Otros sustratos también presentaron valores de porosidad de aire y compactación dentro de los intervalos arriba señalados, pero seguramente no alcanzaron valores altos en todas las variables de respuesta porque los valores de CE y N no se encontraban dentro de lo óptimo, lo cual indica que, además de la importancia que reiteradamente se da a las características físicas, las características químicas juegan un papel igual de importante en la calidad de los sustratos a pesar de que se les ajusten al inicio del ciclo de cultivo.

Por otra parte, los intervalos de valores de las características importantes de los sustratos que presentaron las mejores variables de respuesta en *S. wallisii* fueron: porosidad de aire, entre 6.3 y 22.4% v/v y compactación, entre 0.154 y 1.472 kg cm<sup>-2</sup>, lo que sugiere un amplio rango de adaptación de esta especie a propiedades físicas de sustratos; pH, entre 4.2 y 7.1; CE, entre 0.5 y 3.4 dS m<sup>-1</sup>, que resultó en un efecto negativo cuando el valor fue superior a 3.0 dS m<sup>-1</sup>; N total, entre 0.34 y 0.82%, P soluble, entre 1 y 20 mg L<sup>-1</sup>. También en esta planta, otros sustratos presentaron valores de porosidad de aire y

compactación dentro de los intervalos mencionados, pero los altos valores de CE fueron mayores que los sugeridos como óptimos para esta especie que, como ya se mencionó, es sensible a conductividad eléctrica alta (Campos y Reed, 1993).

## CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio corroboran la existencia de alternativas viables para la sustitución tanto de la turba (costosa), como de la tierra de monte (ambientalmente indeseable), en la elaboración de sustratos a usarse en la producción de plantas ornamentales. Comparando con sustratos basados en turba (turba-agrolita y turba), sustratos y combinaciones basadas en polvo de coco, en particular polvo de coco, polvo de coco-arena mineral y polvo de coco-corteza de pino composteada, fueron los más prometedores en plantas de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* y superiores a la tierra de monte. La respuesta de estas plantas a composta de jardinería y cascarilla de arroz fueron, en general, inferiores a polvo de coco, además de variable, reflejando lo común de su heterogeneidad físico-química y origen. Un riguroso control de calidad y monitoreo de características físicas y

químicas de cada lote de material de composta de jardinería y cascarilla de arroz composteada a utilizarse se haría indispensable para asegurar su utilidad y desempeño en la producción de plantas ornamentales de calidad. Por otra parte, la combinación de los materiales orgánicos con piedra pómez o con tezontle tiene, en general, el mismo efecto en el desarrollo de las plantas, por lo que su uso dependerá de su facilidad de adquisición, de su costo y de la manera en que se afecte el peso final de la planta.

### LITERATURA CITADA

- Ansorena, M.J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Arias A., S.E. 1998. Sustratos para la producción de plántulas de lechuga "Great Lakes 407" bajo invernadero. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Awang, Y. e I.M. Razi. 1997. The growth and flowering of some annual ornamentals on coconut dust. *Acta Hort.* 450: 31-37.
- Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Hyman. London, Great Britain.
- Cabrera R., I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo-Serie Horticultura*. 5: 5-11.
- Campos, R. y D.W. Reed. 1993. Determination of constant-feed liquid fertilization rates for *Spathiphyllum* 'Petite' and *Dieffenbachia* 'Camille'. *J. Environ. Hort.* 11: 22-24.
- Chong, C., R.A. Cline y D.L. Rinker. 1994. Bark- and peat-amended spent mushroom compost for containerized culture of shrubs. *HortScience* 29: 781-784.
- De Boodt, M. y O. Verdonck. 1972. The physical properties of substrates in horticulture. *Acta Hort.* 26: 337-344.
- Genevini, P. 1997. Rice hull degradation by co-composting with dairy cattle slurry. *Soil Sci. Plant Nutrition* 43: 135-147.
- Handreck, K.A. 1993. Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 349-363.
- Handreck, K.A. y N. Black. 1994. Growing media for ornamental plants and turf. Revised ed. New South Wales University Press. Kensington, Australia.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1996. Anuario estadístico del estado de Morelos. INEGI. Aguascalientes, Ags., México.
- Jaimes J., G. 1994. Producción de plántula de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) en contenedores con soluciones nutritivas y sustratos especiales bajo invernadero. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Joiner, J.N. 1981. Foliage plant production. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Lamanna, D., M. Castelnuovo y G. D'Angelo. 1991. Compost based media as alternative to peat on ten pot ornamentals. *Acta Hort.* 294: 125-129.
- Lemaire, F. 1997. The problem of bioestability in organic substrates. *Acta Hort.* 450: 63-69.
- Meerow, A.W. 1994. Growth of two subtropical ornamentals using coir (coconut mesocarp pith) as a peat substitute. *HortScience* 29: 1484-1486.
- Niemiera, A.X., T.E. Bilderback y C.E. Leda. 1994. Pine bark physical characteristics influence pour-through nitrogen concentrations. *HortScience* 29: 789-791.
- Nappi, P. 1993. Compost as growing medium: Chemical, physical and biological aspects. *Acta Hort.* 342: 249-256.
- Prasad, M. 1997. Physical, chemical and biological properties of coir dust. *Acta Hort.* 450: 21-29.
- Quiñones P., R. 1995. Influencia del sustrato y fertilización en el crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* bajo condiciones de vivero. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Reis, M. 1995. Evaluation of composted pine bark and carob pods as components for horticultural substrates. *Acta Hort.* 401: 243-249.
- SUNGRO Analytical Laboratories. 1997. Graphic interpretation guide. 177 Sanfordville Road. Warwick, New York 10990 USA.
- Velasco G., S. 1995. Evaluación de cuatro sustratos en el trasplante y desarrollo de miniazalea (*Rhododendron indicum*) en condiciones de invernadero en Chapingo, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Velázquez R., J.M. 1995. Evaluación de *Quercus crassipes* en vivero bajo diferentes tipos de sustrato e intensidades de luz. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Warncke, D. 1988. Recommended test procedure for greenhouse growth media. pp. 34-37, *In: Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region*. Bulletin 499. North Dakota Agricultural Experiment Station. Fargo, ND.
- Zarate S., J. 1995. Evaluación de cinco sustratos y dos cultivares de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium*) para maceta bajo invernadero en la región de Texcoco, Edo. México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

# HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES COMO COMPONENTE DE CONTROL BIOLÓGICO DE LA PUDRICIÓN CAUSADA POR *Fusarium* SP. EN GLADIOLA

Arbuscular Mycorrhizae Fungi as a Component of Biological Control of Root Rot Caused by *Fusarium* sp. in Gladiola

Abdul Khalil Gardezi<sup>1</sup>, Víctor Manuel Cetina Alcalá<sup>1</sup>, Ronald Ferrera-Cerrato<sup>1</sup>, Juan Velásquez Mendoza<sup>1</sup>, Claudio A. Pérez Mercado<sup>2</sup> y Mario Larqué Saavedra<sup>3</sup>

## RESUMEN

Se realizó un experimento en condiciones de invernadero con gladiolas (*Gladiolus grandiflorus*), variedad Fany Roja, con el propósito de evaluar el efecto de la micorriza arbuscular en el control de la pudrición radical causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*. Se utilizó un diseño de tratamientos completamente al azar con 10 repeticiones, en arreglo factorial 3 x 2, conformado por los factores micorriza y suelo. Se aplicaron tres tratamientos de micorriza (*Glomus* sp. Zac. 19, *G. aggregatum* y sin micorriza) en dos niveles de suelo (infestado naturalmente y pasteurizado). Las siguientes variables se evaluaron 120 días después del trasplante: altura de planta, peso seco de la parte aérea, peso seco de raíz, peso fresco de bulbos e índice de pudrición radical. Los resultados muestran que la adición de *Glomus* spp. mejoró la resistencia a pudrición radical en suelos infestados ( $P > 0.05$ ). Además, se indica que el tratamiento sin micorriza en suelo pasteurizado produjo los valores más altos en la mayoría de las variables evaluadas. Por otra parte, los valores más bajos de altura de planta y peso seco de la parte aérea se obtuvieron en el tratamiento compuesto por suelo infestado sin micorriza, además de que éste presentó el mayor índice de pudrición radical. Los factores micorriza, suelo e interacción micorriza \* suelo influyeron en la variable altura de planta en una forma altamente significativa. En el caso de la variable peso seco de la parte aérea, sólo hubo diferencias

altamente significativas en el factor suelo. Se puede mencionar que los tratamientos con *Glomus aggregatum* y *G. sp. Zac. 19* presentaron mayor control de la pudrición en comparación con suelos infestados sin micorriza.

**Palabras clave:** *Gladiolus grandiflorus*, pudrición radical, *Glomus* spp.

## SUMMARY

The experiment was conducted under greenhouse conditions with *Gladiolus grandiflorus* cv. Fany Roja to evaluate the effect of arbuscular mycorrhiza on the control of root rot caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*. The treatments were replicated 10 times in a completely randomized experimental design. They were distributed in a factorial arrangement 3 x 2 with three treatments of arbuscular mycorrhiza (*Glomus* sp. Zac. 19, *G. aggregatum* and without mycorrhiza) in two types of soil (naturally infested soil and pasteurized soil). The following variables were measured 120 days later: plant height, dry weight of the aerial portion, dry weight of roots, fresh weight of bulb, and degree of root rot damage. The results show that the addition of *Glomus* spp. improved the resistance of *Gladiolus* to root rot in infested soils. The results obtained indicated that the treatments without mycorrhiza in pasteurized soil produced the highest value in most of the evaluated variables. The lowest values of plant height and dry weight of the aerial part were obtained with the treatment-infested soil without mycorrhiza, which also showed the highest degree of root rot damage. The factors mycorrhiza, soil, and micorrhiza-soil interaction had a highly significant influence on the variable plant height. In the case of dry weight of the aerial part, there was a highly significant difference due to the soil factor. The arbuscular mycorrhiza may be able to contribute to biological control of root rot.

<sup>1</sup>Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Estado de México. Tel. y Fax: (5) 9520256. (kabdul@colpos.colpos.mx, vicmac@colpos.colpos.mx)

<sup>2</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Estado de México.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México. (mls@hp9000a1.uam.mx)

*G. aggregatum* produced better control and less damage.

**Index words:** *Gladiolus grandiflorus*, root rot, *Glomus spp.*

## INTRODUCCION

La gladiola (*Gladiolus grandiflorus*) es una de las flores más importantes en el mundo. Ocupa el quinto lugar entre las plantas bulbosas y es una de las flores más apreciadas dentro de las plantas ornamentales. Se utilizan como plantas de paisaje en jardines y como especímenes de exhibición y para corte; sus vistosas flores pueden ser prácticamente de cualquier color, excepto azul, aunque tonos violetas parecen casi azules con luz tenue (Larson, 1988). El género *Gladiolus* pertenece a la clase Monocotyledoneae familia Liliaceae. El nombre del género proviene de la palabra griega gladius, que significa sable, por la forma de sus hojas. La mayoría de las gladiolas crecen en estado natural en África del sur, en el cabo de Buena Esperanza. De este lugar se han originado también varias especies silvestres que crecen en Europa en la región del Mediterráneo. Se conocen más de 200 especies de gladiolas, pero pocas tienen realmente interés en horticultura ornamental. Algunas se han empleado en trabajos de hibridación, los cuales se hacen actualmente en Inglaterra, Holanda, EUA y Canadá. Hoy en día existen más de tres mil variedades de gladiolas, de las cuales se aprovechan aproximadamente 300 en la producción comercial (Leszczyńska y Borys, 1984).

En México, esta especie ocupa el primer lugar entre las geofitas; actualmente, se cultivan 2568 ha en los estados de Puebla (San Martín Texmelucan), Morelos, Michoacán, estado de México (Villa Guerrero, Chalma, Malinalco, valle de Bravo) y Veracruz (Leszczyńska, 1989). En México, se cultiva la gladiola mediante rotaciones periódicas en las diferentes áreas, debido, principalmente, al serio problema de diseminación de enfermedades fungosas de gran persistencia en el suelo, como es el caso de *Stromatina* y *Fusarium*. La diseminación tan vertiginosa de las enfermedades se ocasiona principalmente por el sistema de propagación vegetativa tan eficiente que presenta la especie, ya que un solo cormo, el cual se utiliza durante varias generaciones, produce, en cada ciclo, decenas y, a veces, cientos de cormillos, muchos de los cuales se

quedan en el suelo y otros pasan a formar parte del material que se empleará en sucesivas plantaciones. De tal manera, que si un solo cormo se encuentra enfermo o con daños o se ha cultivado en un suelo infestado, esto es suficiente para asegurar que las plantas y el suelo quedarán contaminados con la enfermedad (*Stromatina*, *Fusarium*, *Phyitium*, etc.). Esto hace necesario establecer un programa de rotación de cultivos, aplicar un control químico muy severo y establecer un programa de control biológico mediante la aplicación de hongos micorrizicos arbusculares contra hongos fitopatógenos del suelo, los cuales son eficientes en el control de enfermedades edáficas (Gardezi *et al.*, 1999). Forsburg (1975) mencionó a los hongos *Fusarium oxysporum*, *Penicillium gladioli* y a la bacteria *Pseudomonas marginata* como los principales patógenos que atacan a los cormos o bulbillos de gladiola.

Por otra parte, Leyva (1992) mencionó que la pudrición del bulbo, la pudrición de la raíz y el marchitamiento vascular de la gladiola se han asociado a *Fusarium oxysporum* f. sp. *Gladioli*, que es el patógeno más importante de este cultivo, tanto para la producción de flor, como para la obtención de bulbo (Ochoa, 1994). Woltz y Magie (1977) señalaron que aún no es posible asegurar si se trata de diferentes etapas de la misma enfermedad (originadas todas por el mismo agente causal), o si se trata de diferentes fitopatógenos (hongos y/o bacterias) involucrados en un complejo. Cuando *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* afecta los cormos, se observa pudrición en los anillos concéntricos de su estructura y las lesiones inician en la parte inferior de éste, justo donde inician las raicillas, por lo que los síntomas son amarillamiento foliar y, posteriormente, la muerte de las plantas. Es común que, al extraer la planta, ya no exista el cormo debido a su total pudrición o se encuentren sólo vestigios de éste (López, 1989).

Actualmente, en las condiciones de producción comercial de gladiolas, sólo es posible sembrar una vez (o dos en el mejor de los casos) estas plantas en el mismo terreno y esperar de seis a ocho años para volver a cultivarlas en el mismo lugar, sin el riesgo de tener problemas fitopatológicos fuertes (Leszczyńska-Borys, 1994). En algunos casos, ha sido posible disminuir la enfermedad causada por *Fusarium* al incorporar suficiente cal al suelo para mantener valores de pH entre 6.5 a 7.0. Además, se ha evaluado que una fertilización nitrogenada en forma de nitratos (90%) y amoniacal (10%) permite un mejor control de la enfermedad. Por otra parte, una alta fertilización

nitrogenada favorece la pudrición del bulbo (Woltz y Magie, 1975).

La pudrición y marchitamiento ocasionados por especies de *Fusarium* (Forsburg, 1975), es uno de los problemas más graves a los que se enfrenta el cultivo de la gladiola en todo el mundo, por lo que se hace necesario generar material propagativo sano, resistente a la enfermedad o aplicar algún tipo de control biológico. La endomicorriza arbuscular es una simbiosis que se establece entre ciertos hongos del orden Glomales y una alta diversidad de especies vegetales que mejora la nutrición de la planta (Gerdemann, 1975; Gardezi *et al.*, 1995, 1999, 2000) y que puede proveer a las plantas de cierta defensa contra el ataque de patógenos (Schonbeck y Dehne, 1977). Por tal motivo se estableció el siguiente objetivo:

### OBJETIVO

Conocer el efecto de la micorriza arbuscular en el control de la pudrición radical ocasionada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* y el desarrollo de plantas de gladiola en dos tipos de suelo: uno naturalmente infestado y otro pasteurizado.

### MATERIALES Y METODOS

Se realizó un experimento en condiciones de invernadero utilizando suelo infestado de Villa Guerrero, México, donde previamente se había cultivado gladiola, la cual presentaba claros síntomas de pudrición radical. Se estudiaron los factores suelo y micorriza; el factor suelo tuvo dos niveles: pasteurizado y no pasteurizado; el factor micorriza tuvo tres niveles: *Glomus* sp. Zac-19, *G. aggregatum* y sin micorriza. La cepa se proporcionó por la sección de Microbiología, Especialidad de Edafología del Colegio de Postgraduados. La inoculación con el hongo endomicorrízico arbuscular se realizó en el momento de que los cormos ya habían brotado, empleando 3 g de inoculante (suelo más 1.5 g de raíz con un promedio de 450 esporas/g de suelo de alfalfa colonizada) de *Glomus* sp. Zac-19 y 3 g de inoculante más 1.5 g de raíz colonizada de *G. aggregatum*. El material vegetativo se obtuvo de la región de Villa Guerrero, el cual presentaba síntomas de ataque por *Fusarium*; el cultivar fue Fany Roja, de calibre 12-14. Se utilizó un diseño completamente al azar con 10 repeticiones, en arreglo factorial completo 3 x 2. La

combinación de los valores y factores originó seis tratamientos. Se pasteurizó el suelo con vapor de agua a 75 °C por un período de 3 h durante dos días seguidos. La textura del suelo fue franca (arena 42%, limo 38% y arcilla 20%) con pH, en suspensión suelo:agua 1:2, de 5.3, la conductividad eléctrica 1.1 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C, el porcentaje de nitrógeno total fue 0.03 y el de materia orgánica 5.0; presentó 40 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo disponible, determinado por el método de Bray-1. Estos datos no son básicos para la clasificación taxonómica del suelo, del cual no se dispone de información para tal propósito). Después de 120 días se registraron altura de planta, peso seco de la parte aérea, peso seco de raíz, peso fresco de bulbillos o hijuelos e índice de pudrición radical (IPR) mediante la siguiente escala: (1 = sin pudrición, 2 = ligera pudrición, 3 = pudrición moderada, 4 = pudrición severa y desarrollo radical pobre). También se evaluó el porcentaje de colonización micorrízica en raíces de gladiola (Phillips y Hayman, 1970).

### RESULTADOS Y DISCUSION

Al final del experimento, se aislaron en medio de cultivo papa-destrosa-agar tres cepas de *Fusarium* de raíces necrosadas y las pruebas de patogenicidad indicaron que dos de ellas eran patógenas. Para la variable altura de planta e índice de pudrición radical, el análisis de varianza indicó diferencia altamente significativa para los factores micorriza, suelo y la interacción micorriza \* suelo (Cuadro 1).

En este cuadro, se puede observar que las variables peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz y peso fresco de bulbillos tuvieron efecto altamente significativo para el factor suelo; mientras que para el factor micorriza, sólo hubo significancia estadística en la variable peso seco de raíz. En ninguna de las tres últimas variables existió significancia para la interacción micorriza \* suelo.

Respecto a la pudrición radical (Cuadro 2), el mayor índice (IPR) correspondió al suelo infestado y sin micorriza (testigo), mientras que la utilización de micorriza permitió disminuir el IPR en suelo infestado, reduciendo el daño al aplicar *Glomus* sp. Zac-19 de 3.30 hasta 1.35 y a 0.90 al usar *Glomus aggregatum*; el promedio de estos dos es estadísticamente igual y diferente al testigo. La esterilización del suelo, sin el uso de micorriza, disminuyó el IPR a 0.35 y, al combinar el suelo esterilizado con *Glomus* sp. Zac-19, la pudrición



**Cuadro 1. Análisis de varianza para las variables, altura de planta, peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz, peso fresco de bulbillos e índice de pudrición radical de gladiola (*Gladiolus grandiflorus*) tratado con inoculación micorriza en suelo estéril y no estéril.**

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	PR>F
Variables:					
Altura (cm)					
Micorriza (M)	2	265.21	132.60	5.05	0.0079**
Suelo (S)	1	208.03	208.03	7.92	0.0058**
M * S	2	985.31	492.65	18.76	0.0001**
Peso seco de la parte aérea (g)					
Micorriza	2	1.70	0.852	0.24	0.7867 NS
Suelo	1	212.28	212.27	59.85	0.0001**
M * S	2	14.59	7.30	2.06	0.1324 NS
Peso seco de raíz (g)					
Micorriza	2	1.37	0.69	7.53	0.0008**
Suelo	1	1.40	1.41	15.39	0.0002**
M * S	2	0.26	0.13	1.45	0.2384 NS
Peso fresco de bulbillos (g)					
Micorriza	2	263.61	126.80	0.40	0.6738 NS
Suelo	1	5718.72	5718.72	17.86	0.0001**
M * S	2	200.58	100.29	0.31	0.7317 NS
Índice de pudrición radical					
Micorriza	2	37.06	18.53	26.46	0.0001**
Suelo	1	75.20	75.20	107.37	0.0001**
M * S	2	28.46	14.23	20.32	0.0001**

\*\* Diferencia altamente significativa. NS = No significativo.

radical alcanzó un índice de 0.3, reduciéndose aún más (0.15) al utilizar *G. aggregatum*. El promedio de los tres tratamientos que incluyeron suelo estéril es estadísticamente igual. Ahora bien, las raíces de las plantas de los tratamientos con suelo estéril mostraron una ligera pudrición, posiblemente debido a contaminación. Cuando se evaluó el porcentaje de colonización micorrizica, en ninguno de los tratamientos inoculados con micorriza no se observó una alta colonización en las raíces de gladiolo. Tal vez, el alto grado de infestación de suelo proveniente del patosistema edáfico eliminó la eficiencia de la micorriza arbuscular. Sin embargo, la presencia de la endomicorriza, aunque a bajo nivel, se confirmó por inspección directa. Como todas las unidades experimentales se manejaron en condiciones similares, excepto por la presencia o ausencia de la endomicorriza, las diferencias observadas entre tratamientos se consideran atribuibles a la presencia de *Glomus* sp. Zac-19 y *G. aggregatum* (Cuadro 2). El grado de colonización de *Glomus* spp. es muy variable, pero su efectividad en el control de patógenos del suelo ha sido previamente demostrada en otros cultivos (Gardezi *et al.* (1999). Los hongos endomicorrizicos arbusculares son constituyentes esenciales de la microflora natural del suelo en ecosistemas naturales y, probablemente, colonizan

más tejidos vegetales que cualquier otro tipo fúngico. Su abundancia y la influencia en la nutrición y en el crecimiento de las plantas hospederas es de gran trascendencia fisiológica y ecológica para el buen funcionamiento y estabilidad de las comunidades vegetales (Gardezi *et al.*, 1999, 2000).

Para la variable altura de planta, se tuvo un efecto significativo del factor micorriza, del factor suelo y de la interacción micorriza \* suelo. En la Figura 1, se puede observar que el Tratamiento 3 (suelo infestado más *G. aggregatum*) produjo los mayores valores, mientras que el Tratamiento 1 (suelo infestado sin micorriza) provocó la menor altura de las gladiolas.

**Cuadro 2. Índice de pudrición radical (IPR) de Gladiola (*Gladiolus grandiflorus*) tratado con micorriza arbuscular en suelo estéril (pasteurizado) y no estéril.**

Tratamiento	IPR
1. Suelo infestado sin micorriza	3.30 a
2. Suelo infestado + <i>Glomus</i> sp. Zac-19	1.35 b
3. Suelo infestado + <i>Glomus aggregatum</i>	0.90 bc
4. Suelo pasteurizado sin micorriza	0.35 c
5. Suelo pasteurizado + <i>Glomus</i> sp. Zac-19	0.30 c
6. Suelo pasteurizado + <i>Glomus aggregatum</i>	0.15 c

Cifras seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey  $\alpha = 0.05$ )

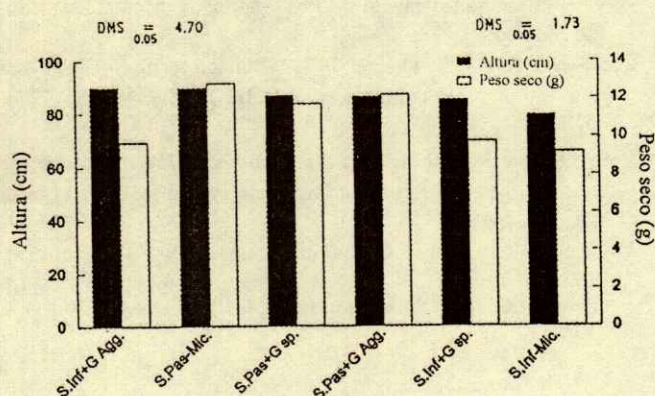


Figura 1. Efecto de inoculación micorrizica arbuscular en dos tipos de suelo, pasteurizado y no pasteurizado, sobre altura de planta y peso seco de parte aérea de gladiola (*Gladiolus grandiflorus*).

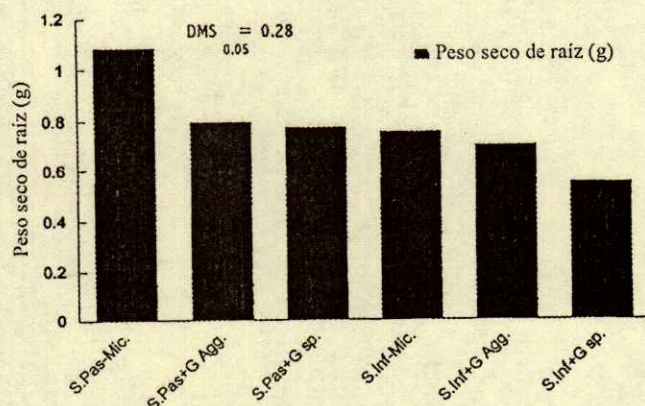


Figura 2. Peso seco de raíz de gladiola (*Gladiolus grandiflorus*) inoculada con hongos micorrizicos arbusculares en dos tipos de suelo, pasteurizado y no pasteurizado.

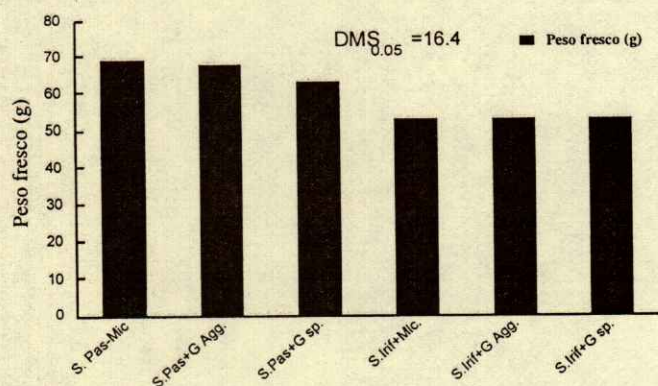


Figura 3. Peso fresco de bulbillos de gladiola (*Gladiolus grandiflorus*) inoculada con hongos micorrizicos arbusculares en dos tipos de suelo, pasteurizado y no pasteurizado.

El peso seco de la parte aérea presentó diferencias altamente significativas, debido al factor suelo. En la Figura 1 se puede observar que el suelo pasteurizado promovió la mayor producción de biomasa.

Con relación al peso seco de raíz, los factores micorriza y suelo tuvieron un efecto altamente significativo, sin presentar interacción evidente entre ambos factores. En la Figura 2 se muestra que el Tratamiento 4 (suelo pasteurizado sin micorriza) tuvo la mayor producción de biomasa radical, mientras que el Tratamiento 2 (suelo infestado más *Glomus* sp. Zac-19) promovió la menor pudrición de raíces. El peso seco de bulbillos se influenció significativamente por la variable suelo. En la Figura 3 se encuentra que la mayor producción de bulbillos se obtuvo en el suelo pasteurizado, tanto sin micorriza como con *Glomus aggregatum*.

## CONCLUSION

La utilización de micorriza arbuscular, tanto *Glomus* sp. Zac-19 como *G. aggregatum*, favorece el control biológico del daño ocasionado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* cuando se produce gladiola en suelos contaminados por este fitopatógeno, que causa mayores daños, tanto en la producción de flor como en la obtención de bulbo.

## LITERATURA CITADA

- Forsburq, J.L. 1975. Diseases of ornamental plants. University of Illinois Press. USA.
- Gardezi, A.K., R. García E., R. Ferrera C. y C.A. Pérez M. 1995. Endomicorriza, rock phosphate, and organic matter effects on growth of *Erythrina americana*. Nitrogen Fixing Tree Res. Rep. 13: 48-50.
- Gardezi, A.K., R. García E., R. Ferrera C. y M. Larqué S. 1999. Effect of arbuscular mycorrhizae on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) in naturally infested soil with *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. Rev. Mexicana de Fitopatología 17: 23-28.
- Gardezi, A.K., V.M. Cetina A., D. Talavera M., R. Ferrera-Cerrato, F. Rodríguez N. y M. Larqué S. 2000. Efecto de inoculación con endomicorriza arbuscular y dosis creciente de fertilización fosfatada en el crecimiento de chapulixtle (*Dodonaea viscosa*). Terra 18: 153-159.
- Gerdemann, J.W. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhizae: The development and function of roots. pp. 575-591. In: J.G. Torrey y D.T. Clarkson (eds.). Academic Press, New York.
- Larson, R.A. 1988. Introducción a la floricultura. AGT, México, DF.
- Leszczyńska B., H. 1989. Cultivo de gladiola. pp. 248-264. Memorias Primer Congreso Nacional sobre Floricultura en México. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Méx.

- Leszczyńska B., H. y M.W. Boris. 1994. Gladiola. EDAMEX. México, DF.
- Leyva M., S.G. 1992. Enfermedades del gladiolo. pp. 61-73. Memoria del curso de acreditación técnica en el manejo y certificación fitosanitaria de ornamentales. Chapingo, México.
- López M., J. 1989. Producción de claveles y gladiolos. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Ochoa M., D.L. 1994. Detección y factores epidemiológicos de la virosis del crisantemo (*Dendanthema grandiflora* cv. "Polaris") y prácticas de manejo para la marchitez del clavel (*Dianthus caryophyllus*) y pudrición del tallo del gladiolo (*Gladiolus grandiflorus*). Tesis Maestro en Ciencias. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México.
- Schonbeck, F. y H.S. Dehne. 1977. Damage to mycorrhizal and non-mycorrhizal cotton seedlings by *Thielaviopsis basicola*. Plant Disease Rep. 62: 266.
- Woltz, S.S. y R.O. Magic. 1975. *Gladiolus Fusarium* disease reduction by soil fertility adjustment. Proc. Fla. St. Hort. Soc. 88: 559-562.
- Woltz, S.S., R.O. Magic, C. Switkin, P.E. Nelson y T.A. Tousson. 1977. *Gladiolus* disease response to pre-storage corn inoculation with *Fusarium* species. Plant Disease Rep. 62: 134-137.

# EFECTO DE LOS RIEGOS DE AUXILIO Y DENSIDAD DE POBLACION EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA FIBRA DEL ALGODON

Effect of Postplanting Irrigation and Population Density on Cotton Yield and Fiber Quality

Arturo Palomo Gil<sup>1</sup>, Arturo Gaytán Mascorro<sup>2</sup> y Salvador Godoy Avila<sup>2</sup>

## RESUMEN

En 1997 y 1998, se llevaron a cabo estudios para definir la mejor combinación de números de riego y densidad poblacional para la manifestación del potencial productivo de la nueva variedad semiprecoz de algodón 'Laguna 89'. Se evaluaron tres tratamientos de riego: dos, tres y cuatro riegos de auxilio; se aplicó una lámina total de 44, 56 y 68 cm y, también en cada caso, el último riego se aplicó a los 80, 100 y 120 días después de la siembra, respectivamente. Las densidades de población estudiadas fueron: 70 000, 82 500, 95 000 y 108 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Se fertilizó al momento de la siembra con la fórmula 120-40-00. Se evaluaron: el rendimiento de algodón hueso y pluma, la precocidad, la altura de la planta, los componentes de rendimiento y la calidad de fibra. La mayoría de las variables evaluadas resultaron negativamente afectadas por el número de riegos. No se detectó interacción entre años, riegos o densidades. Se obtuvieron los mismos rendimientos con tres y cuatro riegos de auxilio. El rendimiento promedio de estos dos tratamientos superó en 55% al obtenido con dos riegos de auxilio. El valor de los componentes de rendimiento y la longitud y finura de la fibra tendieron a incrementarse a medida que aumentó el número de riegos, sucediendo lo contrario con la resistencia de la fibra. La densidad de población no afectó el rendimiento, pero el número de capullos por planta y la resistencia de la fibra tendieron a decrecer a medida que se incrementó la densidad de plantas.

**Palabras clave:** *Gossypium hirsutum L.*, precocidad, componentes de rendimiento.

<sup>1</sup> El presente estudio forma parte del proyecto CONACYT SIREYES/95/196.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Apartado Postal 940, 27054 Torreón, Coah. (apalomog@mixmail.com)

<sup>2</sup> Campo Experimental Laguna INIFAP. Apartado Postal 247, 27000 Torreón, Coah.

Recibido: Agosto de 2000. Aceptado: Mayo de 2001.  
Publicado en Terra 19: 265-271.

## SUMMARY

In 1997 and 1998 studies were conducted to define the best combination of number of irrigation applications and plant density to attain the productive potential of the new variety of early cotton 'Laguna 89'. Three irrigation scheduling treatments were evaluated: two, three, and four postplanting applications with a total lamina of 44, 56, and 68 cm, respectively. In each case the last application was 80, 100, and 120 days after planting, respectively. Plant densities studied were 70 000, 82 500, 95 000, and 108 000 plants ha<sup>-1</sup>. At planting, the crop was fertilized with the formula 120-40-00. The variables measured were cotton seed yield, lint yield, earliness, plant height, yield components, and fiber quality. Most of the variables evaluated were negatively affected by number of irrigation applications. No interaction was detected among years, number of applications and plant density. The four and three postplanting irrigation schedules produced the same yields. Average yield of these treatments was 55% higher than that obtained with two applications. Yield component values and fiber fineness and length increased as the number of irrigation applications increased, but fiber strength decreased. Plant density did not affect yield, but the number of bolls per plant and fiber strength decreased as plant density increased.

**Index words:** *Gossypium hirsutum L.*, earliness, yield components.

## INTRODUCCION

En México, la superficie dedicada al cultivo del algodón ha disminuido notablemente desde 1990. De 1981 a 1990, se sembró un promedio de 250 000 ha con una producción de un millón de pacas, en 2000 la superficie sembrada fue de 65 000 ha de las cuales se espera una producción de 300 000 pacas las cuales no cubren la demanda interna de 2 300 000 pacas, por lo que se tiene que recurrir a la importación con la

consecuente fuga de divisas (Gómez, 2000). Además de la falta de producción, y a pesar de la buena calidad del algodón mexicano, la industria textil prefiere importar la materia prima de los Estados Unidos, al ser más barata por los subsidios gubernamentales y por obtenerla con crédito a largo plazo y menor interés.

Las causas de la caída de la producción de algodón en México son los altos costos de producción y el bajo y fluctuante precio de la fibra en el mercado mundial. Los altos costos de producción se deben a que se cultivan variedades de algodón de ciclo largo y gran desarrollo vegetativo, que requieren de altos volúmenes de un recurso tan escaso como lo es el agua y de una alta inversión en insecticidas para evitar que las plagas afecten la producción. Debido al problema que representan los altos costos de producción, los investigadores han estado buscando alternativas para contar con un cultivo más redituable y elevar los rendimientos unitarios. Una de esas alternativas es la siembra de variedades precoces en sistemas de producción de ciclo corto, como la siembra en surcos más angostos (0.70 m) que los tradicionales de 0.90 a 1.00 m. Con este sistema de producción puede reducirse la cantidad de agua y fertilizante a utilizar, así como reducirse el número de aplicaciones de insecticida, escapar al daño de las últimas generaciones de las plagas que afectan al cultivo, y minimizar o escapar a condiciones ambientales adversas como lo son las lluvias.

Los conceptos de ciclo corto y de surcos estrechos se consideran como dos prácticas de producción diferentes, donde cada una contribuye al sistema de producción (Johnson *et al.*, 1974). En esencia, el concepto de ciclo corto involucra un acortamiento del ciclo del cultivo y una disminución de los insumos dedicados a la producción en tanto que se mantienen o incrementan los rendimientos, donde la siembra de algodón en surcos más estrechos que los convencionales es una práctica que puede ayudar en la realización de este objetivo. Unruh y Silvertooth (1997) indicaron que esos sistemas pueden ser más vulnerables a desviaciones en el manejo y a condiciones ambientales adversas, porque las variedades precoces, al tener un crecimiento más determinado y un período de fructificación más corto, pueden resultar más afectadas que las variedades de ciclo largo. Brown (1995) señaló que el manejo de los riegos es un punto clave en la producción de algodón

con variedades precoces, ya que este tipo de variedades es menos tolerante a deficiencias de humedad.

La adopción del sistema de siembra en surcos estrechos trae consigo la afinación de la tecnología de producción para que las variedades precoces expresen su máximo potencial productivo, ya que el rendimiento depende de diversos factores de manejo y del medio ambiente. La densidad de plantas, la fertilización y el manejo del agua son algunas prácticas de manejo del cultivo que pueden manipularse para que las variedades precoces manifiesten su máximo potencial de rendimiento y logren reducirse los costos de producción. Niles (1973) señaló que, además de ser precoz, la variedad ideal para el sistema de producción de ciclo corto debe ser de corta estatura, hoja pequeña y alto índice de cosecha. Con este sistema de producción se reduce el ciclo del cultivo y, por ende, la pérdida de agua por evapotranspiración. El-Zik y Yamada (1981) reportaron que el mejor rendimiento se obtiene con la aplicación de dos y tres riegos de auxilio con la aplicación del último riego en una etapa temprana o intermedia del ciclo de crecimiento. En Arizona, Husman *et al.* (1998) encontraron que las variedades de algodón de ciclo precoz e intermedio respondieron similarmente a tratamientos de riego cuando se aplicó a niveles de humedad aprovechable de 35, 50, 65 y 80%. El mejor rendimiento se obtuvo en los niveles de humedad aprovechable de 35 y 50%, en los que se aplicó una lámina de 0.90 y 1.00 m, respectivamente.

Wright *et al.* (1998) obtuvieron el mejor rendimiento en surcos estrechos con densidades de 100 000 a 150 000 plantas ha<sup>-1</sup>; si bien, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento con densidades que oscilaron entre las 50 000 y 200 000 plantas ha<sup>-1</sup>. El objetivo del presente estudio fue determinar la mejor densidad poblacional y el mejor número de riegos de auxilio para la obtención de rendimientos óptimos en la nueva variedad semiprecoz de algodón 'Laguna 89'. Esta variedad posee ramas fructíferas más cortas, sus hojas son más pequeñas y su ciclo de crecimiento es de siete a 10 días más corto que el de las variedades comúnmente cultivadas (Palomo *et al.*, 1993).

## MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en 1997 y 1998, en el Campo Experimental de la Laguna, perteneciente al Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Matamoros, Coah., municipio de la región conocida como "Comarca Lagunera". Se evaluó la respuesta de la variedad de algodón 'Laguna 89' al número de riegos de auxilio (dos, tres y cuatro) y a la densidad poblacional (70 000, 82 500, 95 000 y 108 000 plantas ha<sup>-1</sup>). La siembra se realizó en surcos estrechos, a una distancia de 0.70 m entre surcos y de, 22, 17, 15 y 13 cm entre plantas, respectivamente, para obtener las poblaciones deseadas. En 1997, la siembra se estableció el 23 de abril y, en 1998, el 8 de abril. En ambos años, los tratamientos se distribuyeron en un arreglo de parcelas divididas con parcela grande en bloques completos al azar y cuatro repeticiones. En la parcela grande se localizaron los riegos de auxilio y, en la chica, las densidades de población. Se fertilizó al momento de la siembra con la fórmula 120-40-0. En todos los tratamientos de riego los primeros dos, y únicos para el tratamiento de dos riegos de auxilio, se aplicaron a los 60 y 80 días después de la siembra (dds). En el tratamiento que recibió tres riegos, el último se aplicó a los 100 dds y, finalmente, en el tratamiento que recibió cuatro riegos, el último se aplicó a los 120 dds. La época en que se aplicó el último riego de auxilio fue al final de la tercera, sexta, y última semana de floración, respectivamente. En el riego de presembrado se aplicó una lámina de 20 cm y, en los riegos de auxilio, una lámina de 12 cm. La lámina total para cada tratamiento fue de 44, 56 y 68 cm, respectivamente. Los calendarios de riego para tres y cuatro auxilios y la lámina por aplicar se determinaron en investigaciones anteriores (Alvarez y García, 1983). La parcela menor total consistió de seis surcos de 8 m de largo y la útil, para medir rendimiento, de dos surcos de 6 m de longitud.

### Variables Evaluadas

Se evaluó el rendimiento de algodón en hueso y en pluma; la precocidad, con base en el rendimiento de algodón hueso a primera cosecha y al porcentaje que representa este rendimiento con respecto al total cosechado. Se evaluó la altura final de cinco plantas por parcela. En componentes de rendimiento se evaluaron el número de capullos por planta, el peso del capullo, el porcentaje de fibra y el índice de semilla (peso de 100 semillas). En calidad de fibra se midió la longitud de la fibra en pulgadas y en mm, la resistencia de la fibra en miles de libras por pulgada cuadrada, y

la finura de la fibra en índices de micronaire. Para la determinación de los componentes de rendimiento y de la calidad de la fibra se tomó una muestra aleatoria de 20 capullos por parcela. Todas las variables se sometieron a un análisis de varianza combinado y en la comparación de medias se utilizó la DMS al 0.05.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Rendimiento

El fruto del algodón se conoce como "capullo", conformado por la semilla y las fibras (pluma) que en su cubierta se forman. Al rendimiento económico total del cultivo se le conoce como "algodón en hueso" que, a su vez, al separar la fibra de la semilla, da origen al rendimiento de pluma y rendimiento de semilla. La fibra constituye la materia prima para la industria textil y su valor comercial es de siete a ocho veces mayor que el de la semilla; por esta razón, en la mayoría de las publicaciones técnicas y científicas, se reporta el rendimiento de pluma.

El análisis de varianza para rendimiento de algodón hueso y algodón pluma detectó diferencias altamente significativas entre número de riegos de auxilio, mas no entre años, densidades poblacionales, ni para sus interacciones. En ambos años, 1997 y 1998, se obtuvieron rendimientos similares (Cuadro 1). Los rendimientos más altos, y estadísticamente iguales, se obtuvieron con la aplicación de tres y cuatro riegos de auxilio cuyos rendimientos de algodón pluma fueron, en promedio, 55% superiores a los obtenidos por el tratamiento que recibió dos riegos de auxilio (Cuadro 2). En esta misma región Palomo y Godoy (1994) expusieron 15 genotipos precoces a la aplicación de tres y dos riegos de auxilio y encontraron que con tres riegos se obtuvo 20% más algodón pluma que con dos. De lo anterior se infiere la posibilidad de

**Cuadro 1. Rendimiento, precocidad y altura de planta del algodón en 1997 y 1998.**

Año	Rendimiento de algodón		Precocidad		Altura planta cm
	hueso	pluma	RAHPC <sup>†</sup>	%	
	- - - - kg ha <sup>-1</sup> - - - -				
1997	4746 a	1743 a	2449 b	55 b	98 a
1998	4759 a	1721 a	3792 a	82 a	96 a
Medias	4753	1732	3120	68	97

Medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales DMS (P < 0.05).

<sup>†</sup> RAHPC = Rendimiento de algodón hueso a primera cosecha.

**Cuadro 2. Rendimiento, precocidad y altura de planta con diferente número de riegos de auxilio. Promedio de 1997 y 1998.**

Número de riegos	Rendimiento de algodón		Precocidad		Altura planta cm
	Hueso kg ha <sup>-1</sup>	Pluma	RAHPC <sup>†</sup>	%	
Dos	3608 b	1267 b	3043 b	86 a	93 b
Tres	5276 a	1935 a	3482 a	66 b	98 ab
Cuatro	5373 a	1994 a	2836 b	53 c	100 a
Media	4753	1732	3120	68	97

Medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales DMS ( $P < 0.05$ ).

<sup>†</sup> RAHPC: Rendimiento de algodón hueso en la primera cosecha.

que 'Laguna 89', genotipo semiprecoz, sea más susceptible a una suspensión temprana de los riegos de auxilio que las variedades más precoces, pero, a la vez, se deduce que esta variedad requiere un máximo de tres riegos de auxilio para mostrar su potencial productivo.

En el Cuadro 3 puede observarse que no hubo respuesta en rendimiento a los incrementos en la densidad de plantas por lo que, al menos con esta variedad, la densidad no constituye una alternativa para aumentar los rendimientos unitarios ni la eficiencia en el uso del agua. Palomo *et al.* (1999), en variedades de estructura vegetativa parecida a la de 'Laguna 89', tampoco encontraron respuesta a los incrementos poblacionales pero sí la encontraron en variedades más precoces, de menor altura y menor desarrollo vegetativo, por lo que resaltaron la importancia de la arquitectura de la planta para que una variedad responda a los aumentos en densidad de plantas. La ausencia de interacción de año con número de riegos y con densidad de plantas implica que el número de riegos y la densidad poblacional que se determinen como mejores, seguirán conservándose como tales a través de los años. En tanto que la ausencia de interacción número de riegos x densidad de plantas indica que sus efectos sobre el rendimiento son independientes.

### Precocidad

La precocidad del cultivo se midió con base en el rendimiento de algodón hueso obtenido en la primera

**Cuadro 3. Rendimiento, precocidad y altura de planta del algodón en cuatro densidades poblacionales. Promedio 1997 y 1998.**

Población plantas ha <sup>-1</sup>	Rendimiento		Precocidad		Altura planta cm
	Hueso	Pluma	RAHPC <sup>†</sup>	%	
70 000	4671 a	1710 a	3129 a	70 a	95 b
82 500	4779 a	1735 a	3188 a	69 a	96 b
95 000	4797 a	1750 a	2974 a	65 a	100 a
108 000	4753	1732	3120	68	98 a

Medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales DMS ( $P < 0.05$ ).

<sup>†</sup> RAHPC: Rendimiento de algodón hueso en la primera cosecha.

cosecha de dos que se realizaron, y el porcentaje que representa dicho rendimiento del total cosechado. En ambos estimadores se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre número de riegos, donde el tratamiento de tres riegos obtuvo el mayor rendimiento de algodón hueso a primera cosecha; sin embargo, al considerar el porcentaje que representa dicho rendimiento del total cosechado resultó como más precoz el tratamiento con dos riegos de auxilio, lo que es una consecuencia de una maduración forzada de la cosecha por falta de humedad, y de su baja producción (Cuadro 2). La aplicación de cuatro riegos de auxilio, además de que no incrementó el rendimiento, afectó negativamente al cultivo ya que se observó un alargamiento del ciclo de crecimiento y de la duración del área foliar, provocó el rebrote de las plantas, dificultó la defoliación química, y se requirieron dos aplicaciones adicionales de insecticida para proteger la cosecha del daño de plagas.

La densidad poblacional, al igual que en rendimiento, no afectó la cantidad ni el porcentaje de algodón obtenido en la primera cosecha y tampoco se detectó interacción entre riegos y densidades (Cuadro 3). Estos resultados coinciden con los reportados por Palomo *et al.* (1999), pero difieren con lo obtenido por Mohamad *et al.* (1982) quienes encontraron que los aumentos en la densidad de plantas alargan el ciclo del cultivo. Una explicación a estas divergencias la proporcionaron Kerby *et al.* (1990) quienes encontraron que los aumentos en densidad poblacional retrasan la maduración en variedades de ciclo largo, mas no en variedades precoces, como sería el caso de 'Laguna 89' cuyo ciclo se aproxima más al de las variedades más precoces.

### Altura de Planta

Los riegos y la densidad poblacional afectaron la altura de la planta mas no se detectó interacción entre ambos factores (Cuadros 2 y 3). La planta tendió a ser más alta a medida que se incrementó el número de riegos (cantidad de agua aplicada) y la densidad poblacional; sin embargo, en ambos casos las diferencias en crecimiento no fueron muy amplias por lo que se infiere que la eliminación de un tercer riego de auxilio o el incremento de 70 000 a 108 000 plantas ha<sup>-1</sup> tiene poco efecto en el crecimiento de la planta.

### Componentes de Rendimiento

Los análisis de varianza para los componentes de rendimiento detectaron efecto de año, riegos y densidad de plantas para el número de capullos por planta y peso de capullo; de año y riegos para porcentaje de pluma y de riegos para índice de semilla. En ningún componente de rendimiento se encontró significancia para las interacciones de primer o segundo grado; por lo tanto, el año, los riegos o la densidad de plantas afectan independientemente el valor de dichos componentes. En el Cuadro 4 pueden observarse efectos de año interesantes, ya que indican que cuando las plantas retienen menos capullos, éstos son más grandes, con mayor porcentaje de fibra y peso de semilla (índice de semilla); por el contrario, cuando las plantas retienen más capullos, éstos son más pequeños y con menor porcentaje de fibra y peso de semilla.

El efecto de aplicar dos riegos de auxilio al cultivo se manifestó claramente en los componentes de rendimiento, ya que todos ellos presentaron los valores más bajos (Cuadro 5). El componente más afectado fue el número de capullos por planta y el menos afectado fue el peso de la semilla. Con excepción del número de capullos por planta, los otros tres componentes de rendimiento mostraron una respuesta positiva a los incrementos en cantidad de agua aplicada, lo cual coincide con lo reportado por Hearn (1975).

No obstante que los análisis de varianza detectaron efectos estadísticamente significativos de la densidad de plantas sobre el número de capullos por planta y el peso del capullo, esto es sólo cierto para el primero de estos dos componentes, ya que la densidad poblacional no mostró ningún efecto congruente sobre el peso del

capullo. Donde se manifestó claramente el efecto de la densidad de plantas fue en el número de capullos por planta, el cual tendió a decrecer a medida que se incrementó la densidad poblacional (Cuadro 6). Estos resultados coinciden con los reportados por Palomo y Davis (1983) y Palomo *et al.* (1999), pero difieren con Bridge *et al.* (1973; 1975), Buxton *et al.* (1979) y Fowler y Ray (1977), quienes encontraron que los valores de los componentes de rendimiento disminuyen a medida que incrementa la población de plantas. Estas diferencias se deben esencialmente al rango poblacional estudiado, ya que dichos investigadores probaron densidades superiores a las evaluadas en el presente estudio.

### Calidad de Fibra

Una buena calidad de fibra es aquella que tiene como mínimo una longitud de 1 1/16 pulgadas (de 26.7 a 27.2 mm), una resistencia al rompimiento de 75 000 libras por pulgada cuadrada, y un grosor de 3.5 micronaires. El año y el número de riegos mostraron efectos estadísticamente significativos sobre las tres propiedades de la fibra, mientras que la densidad de plantas únicamente afectó la resistencia de la fibra, no se encontró significancia para las interacciones de primer o segundo orden. El efecto de año sobre la calidad de la fibra se debe, principalmente, a las temperaturas prevalecientes durante el ciclo de crecimiento del cultivo (abril a agosto). Generalmente, en años con altas temperaturas se obtiene fibra con menor longitud y resistencia pero de mayor grosor, siendo éste el caso ya que en 1998 se acumularon más unidades calor (1727) que en 1997 (1503). Para el cálculo de las unidades calor se utilizaron las temperaturas base determinadas por Krieg (1985), siendo éstas de 15.5 °C la mínima y de 38 °C la máxima.

El efecto del número de riegos sobre la calidad de la fibra estuvo definido ya que la longitud y el grosor de la fibra tendieron a aumentar, y la resistencia de la fibra a disminuir, a medida que se incrementó la cantidad de agua aplicada (Cuadro 5). El tratamiento que recibió dos riegos de auxilio (lámina de 44 cm) produjo fibra muy fina, signo de inmadurez, a consecuencia de la falta de humedad durante la fase de engrosamiento de la misma. Resultados similares para longitud y finura de la fibra obtuvo Chavarría (1998). La resistencia de la fibra tendió a decrecer a medida que aumentó la densidad de plantas



**Cuadro 4. Componentes de rendimiento y calidad de la fibra del algodón en 1997 y 1998.**

Año	Capullos por planta	Peso de capullo	Pluma	Indice de semilla	Longitud fibra		Resistencia	Finura
		g	%		pulg	mm		
1997	10.11 b	5.28 a	36.6 a	11.0 a	1 5/32	29.1 a	604.4 a	3.6 b
1998	10.88 a	4.92 b	36.1 b	10.8 a	1 1/8	28.4 b	598.9 b	4.1 a
Media	10.50	5.10	36.4	10.9	1 1/8	28.7	601.7	3.8

Medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales, DMS ( $P < 0.05$ )

**Cuadro 5. Componentes de rendimiento y calidad de fibra del algodón con diferente número de riegos de auxilio. Promedio de 1997 y 1998.**

Número de riegos	Capullos por planta	Peso de capullo	Pluma	Indice de semilla	Longitud fibra		Resistencia	Finura
		g	%		pulg	mm		
Dos	8.28 b	4.90 b	35.1 b	10.8 b	1 1/8	28.6 b	611.3 a	3.63 b
Tres	11.66 a	5.09 b	36.7 a	10.9 ab	1 1/8	28.7 ab	602.4 b	4.05 a
Cuatro	11.36 a	5.32 a	37.2 a	11.1 a	1 5/32	28.9 b	592.7 c	4.08 a

Medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales DMS ( $P < 0.05$ ).

**Cuadro 6. Componentes del rendimiento y calidad de la fibra del algodón en diferentes densidades poblacionales Promedio de 1997 y 1998.**

Población plantas ha <sup>-1</sup>	Capullos por planta	Peso de capullo	Pluma	Indice de semilla	Longitud fibra		Resistencia	Finura
		g	%		pulg	mm		
70 000	13.03 a	5.12 ab	36.5	10.9 a	1 5/32	28.8 a	622.4 a	3.9 a
82 500	11.56 b	5.01 b	36.2	10.9 a	1 1/8	28.6 b	605.1 b	3.9 a
95 000	9.69 c	5.21 a	36.3	11.1 a	1 5/32	28.9 a	592.7 c	4.0 a
108 000	8.73 c	5.05 b	36.3	10.9 a	1 1/8	28.6 b	587.2 c	3.9 a

Medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales DMS ( $P < 0.05$ ).

(Cuadro 6) lo que coincide con lo reportado por Palomo *et al.* (1999), pero difiere con lo encontrado por Walhood *et al.* (1977) y Palomo y Davis (1983). Un factor clave en el efecto que puedan tener el número de riegos y la densidad de plantas sobre la calidad de la fibra, y en la respuesta del cultivo en lo general, lo es el medio ambiente en que se realiza la investigación, ya que pueden diferir en calidad de suelo, temperaturas, precipitación, etc., siendo ésta una de las causas de las divergencias encontradas en la literatura científica.

## CONCLUSIONES

La variedad semiprecoz 'Laguna 89' muestra su potencial productivo con la aplicación de tres riegos de auxilio y con densidades que oscilen entre 70 000 y 108 000 plantas ha<sup>-1</sup>, ya que no hubo respuesta en rendimiento a estas densidades.

Con la aplicación de dos riegos de auxilio se tienen pérdidas hasta de 55% en la producción, afectándose

también el valor de los componentes de rendimiento y la calidad de la fibra. La longitud, resistencia y grosor de la fibra incrementan a medida que aumenta la cantidad de agua aplicada.

La densidad poblacional no afecta la precocidad, de los componentes de rendimiento afecta al número de capullos por planta, y de la calidad de la fibra sólo afecta la resistencia cuyos valores decrecen a medida que aumenta la densidad de plantas.

## LITERATURA CITADA

- Alvarez, R.V.P. y E.A. García C. 1983. Calendario de riegos del algodónero y su relación con la fenología del cultivo. pp. 35-48. In: Resúmenes Día del Algodonero. Publicación especial 8. Campo Agrícola Experimental de la Laguna CIAN, INIA, SARH.
- Bridge, R.R., J.F. Chism y G.R. Tupper. 1975. The influence of row spacing on cotton variety performance. Mississippi Agric. Forestry Exp. Stn. Bull. 816.

- Bridge, R.R., W.R. Meredith, Jr. y J.F. Chism. 1973. Influence of planting method and plant population on cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Agron. J.* 65: 104-109.
- Brown, P.W. 1995. Response of upland cotton to elevated night temperatures: Result of studies. *Proc. Beltwide Cotton Conf.* 2: 1362-1364.
- Buxton, D.R., L.L. Patterson y R.R. Briggs. 1979. Fruiting pattern in narrow row cotton. *Crop Sci.* 19: 17-22.
- Chavarría, R.M.G. 1998. Efecto de la dosis de nitrógeno y del número de riegos de auxilio en el rendimiento y calidad de la fibra de algodón. Tesis de Maestría. UAAAN-UL. 25 p.
- El-Zik, K.M. y H. Yamada. 1981. Effects of row spacing, irrigation scheduling, and nitrogen rate on verticillium wilt, yield, and fiber quality of two Acala cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars. *Proc. Beltwide Cotton Conf.* 1: 31-32.
- Fowler, J.L. y L.L. Ray. 1977. Response of two cotton genotypes to five equidistant spacing patterns. *Agron. J.* 69: 733-738.
- Gómez, B.J.G. 2000. Algodón. pp. 9-13. *In: Agro-síntesis.* Julio 2000. Editorial Año Dos Mil.
- Hearn, A.B. 1975. Response of cotton to water and nitrogen in a tropical environment. II. Date of last watering and rate of application of nitrogen fertilizer. *J. of Agric. Sci., Camb.* 84: 419-430.
- Husman, S., K. Johnson, R. Wegener y F. Metzler. 1998. Upland cotton yield response to varied soil moisture depletion levels. *Proc. Beltwide Cotton Conf.* pp. 639-641.
- Johnson, R.E., R.G. Curley, A. George, O.D. McCutcheon, V.T. Walhood, C.R. Brooks y P. Young. 1974. Yield potential of short season cotton in narrow rows. *California Agric.* 28(11): 6-8.
- Kerby, T.A., K.G. Cassman y M. Keerly. 1990. Genotypes and plant densities for narrow rows cotton systems: I. Height, nodes, earliness, and location of yield. *Crop Sci.* 30: 644-649.
- Krieg, R.D. 1985. Development and physiological responses of short season cotton to temperature. *Proc. Beltwide Cotton Production Research Conf.* p. 366.
- Mohamad, K.B., W.P. Sappenfiek y J.W. Pohelman. 1982. Cotton cultivars response to plant population in a short season narrow-row cultural system. *Agron. J.* 74: 619-625.
- Niles, G.A. 1973. Influence of plant type on yield. pp. 107-110. *In: Proc. Beltwide Cotton Production Research Conferences.*
- Palomo, G.A. y D.D. Davis. 1983. Response of an F1 interspecific (*Gossypium hirsutum* L. X *G. barbadense* L.) cotton hybrid to plant density in narrow rows. *Crop Sci.* 23: 1053-1056.
- Palomo, G.A. y S. Godoy A. 1994. Efecto del número de riegos en el rendimiento, componentes de rendimiento y calidad de fibra de 16 genotipos de algodón. *Ciencia Agropecuaria FAUANL.* 3-8.
- Palomo, G.A., S. Godoy A. y E.A. García C. 1993. Laguna 89: Cultivar de algodón resistente a secadera tardía (*Verticillium dahliae* K.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 16: 88.
- Palomo, G.A., A. Gaytán M. y S. Godoy A. 1999. Respuesta de cuatro variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) a la densidad poblacional. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 22: 43-49.
- Unruh, B.L. y J.C. Silvertooth. 1997. Planting and irrigation termination timing effects on the yield of upland and pima cotton. *J. Prod. Agric.* 10: 74-79.
- Walhood, V.T., K.M. El-Zik, H. Yamada y D.L. Ballard. 1977. Growth, solar radiation interception, lint yield and quality of spindle harvested narrow row cotton. *Proc. Beltwide Cotton Production Res. Conf.* pp. 79-80.
- Wright, S., R. Vargas, B. War, D. Munk, B. Hutmacher, B. Roberts y D. Munier. 1998. Effect of planting date and density. *California Cotton Rev.* 46: 8-9.

# DISTRIBUCION DE MATERIA SECA, N, P Y K EN MANZANO GOLDEN DELICIOUS AFECTADO POR HUMEDAD, FERTILIZACION Y PORTAINJERTOS

Dry Matter, N, P, and K Partition in Apple cv. Golden Delicious Affected by Humidity, Fertilization and Rootstocks

Rafael A. Parra Quezada<sup>1</sup>, A. Enrique Becerril Román<sup>2</sup>, José J. Martínez Hernández<sup>3</sup> y Rafael Acosta Hernández<sup>3</sup>

## RESUMEN

Durante 1997 se estudió el comportamiento de los portainjertos MM.111, MM.106, M.7 y M.26 injertados con 'Golden Delicious', de dos años de edad, establecidos en campo, con los siguientes tratamientos de nutrición y humedad: fertirriego (FR) con 100, 70 y 150 mg L<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente, en cada riego aplicado; acolchado (AC) con plástico negro y 400 mm de precipitación simulando la lluvia de temporal; y el temporal (TM) a suelo desnudo. Se cosecharon plantas completas cada dos meses, se dividieron en hojas, tallo del cultivar (TC), tallo del portainjerto (TP) y raíces. Se secaron en estufa (70 °C), se obtuvo el peso seco (g), se molieron y se determinó la concentración (mg g<sup>-1</sup>) y el contenido (mg) de N, P y K por órgano. La mayor concentración de N, P y K se presentó en hojas, seguida de raíz, TC y TP. El contenido de los nutrimentos está en función del peso seco encontrado, siendo estadísticamente igual en FR y AC, pero diferente en TM. El mayor peso seco se presentó en TC y TP. Los portainjertos MM.111, MM.106 y M.7 presentaron mayor peso seco que M.26 en los diferentes órganos.

*Palabras clave:* Fertirriego, acolchado, temporal, fertilización orgánica.

## SUMMARY

In 1997, the performance of the rootstocks MM.111, MM.106, M.7, and M.26 grafted with 'Golden Delicious'

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Sierra de Chihuahua, Apartado Postal 554, 31500 Cd. Cuauhtémoc, Chih. (rapq@infosel.net.mx)

<sup>2</sup>Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, <sup>3</sup>Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Edo. de México.

Recibido: Mayo de 2000. Aceptado: Julio de 2001.  
Publicado en Terra 19: 273-279.

established in the field two years was studied. The trees were given different treatments of nutrients and moisture: fertigation (FR) with 100, 70, and 150 mg L<sup>-1</sup> of N, P, and K, respectively, in each irrigation applied. Also tested were mulching (AC) with black polyethylene plus 400 mm of simulated rainfall equivalent to rainfed conditions, and rainfed conditions without plastic mulch (TM). Complete plants were harvested every two months and divided into leaves, stem of the grafted cultivar (TC), rootstock stem (TP) and roots. These were dried in an oven (70 °C) to obtain dry weight (g). Concentration (mg g<sup>-1</sup>) and content (mg) of N, P, and K were determined in each organ. The highest concentration of N, P, and K was found in the leaves, followed by the root and stems. The highest dry matter accumulation was found in cultivar and rootstock stems. Dry matter and nutrient content per organ were significantly higher in plants grown with fertigation and mulching treatments than those grown under rainfed conditions. Nutrient content increased with dry matter accumulation. Dry matter per organ was higher in plants grafted onto MM.111, MM.106, and M.7 than those grafted onto M.26.

*Index words:* Fertigation, mulching, rainfed condition, organic fertilization.

## INTRODUCCION

Las plantaciones intensivas en frutales, especialmente en manzano, se incrementaron en la última década, con el objetivo de hacer un uso más eficiente del espacio, la luz, el agua y los nutrimentos. Uno de los factores que permitió este cambio es el uso de portainjertos clonales, pues una de las principales características es el control del vigor sobre el cultivar injertado (Parra y Guerrero, 1994). Además, el portainjerto es el responsable del anclaje, de absorber y traslocar agua y nutrimentos de la raíz a la parte aérea, aspecto que varía de un material a otro

(Buwalda y Lenz, 1992), de la disponibilidad de agua en el suelo (Parra, 1999), de la demanda ejercida por la parte aérea y por las condiciones del medio ambiente (Becerril y Beech, 1993).

El uso eficiente del agua y los nutrimentos son aspectos de manejo del huerto que deben mejorarse, ya que son recursos cada vez más caros y escasos y, en el caso de nutrimentos, pueden ser contaminantes del suelo (El-Jaoual y Cox, 1998). A este respecto, el riego por goteo ofrece un alto grado de control sobre la aplicación del agua, ya que permite aplicarla dependiendo de las necesidades del cultivo (Clark y Smajstrla, 1996). Por otro lado, las pérdidas de agua en el suelo se dan por varios procesos: uno de ellos, y quizá el más importante, es la evaporación (López-Castañeda y Richards, 1994); para reducirla en huertos se han empleado acolchados orgánicos (Ibañez, 1999) y plásticos con resultados importantes (Parra, 1999).

La disponibilidad de agua en el suelo altera fuertemente la distribución de biomasa en los diferentes órganos del árbol y, con ello, la concentración y el contenido de los nutrimentos, ya que éstos están en función de la demanda impuesta por el crecimiento (Parra, 1999). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue conocer la distribución de biomasa, N, P y K en los diferentes órganos del manzano cv. Golden Delicious, de dos años de edad, injertados sobre los portainjertos MM.111, MM.106, M.7 y M.26 en diferentes condiciones de humedad y nutrición.

## MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó durante 1997, en campo, en Montecillo, Texcoco, México. Las temperaturas máximas se registraron de mayo a septiembre, con fluctuaciones de 20 a 25 °C, mientras que la temperatura media fluctuó entre 16 y 18 °C para los mismos meses. Las temperaturas mínimas se registraron en noviembre, diciembre, enero y febrero con -2 °C. La precipitación ocurrida fue de 473.3 mm anuales, con una mayor proporción en abril, junio y julio. La evaporación fluctuó entre 100 y 150 mm mensuales, con un total anual de 1562.1 mm.

Las plantas que se utilizaron en este experimento fueron de un año de edad, con el cv. Golden Delicious injertado sobre MM.111, MM.106, M.7 y M.26. La plantación se realizó el 24 de febrero de 1997. El arreglo de plantación fue a doble hilera, esto es, dos hileras por cama, la distancia entre plantas fue de 60 cm dentro de la hilera, 1 m entre hileras y 2 m entre camas, lo que dio

margen suficiente para colocar la cubierta de plástico. Además, para evitar que la humedad del tratamiento de riego constante y el de precipitación se extendiera al tratamiento de acolchado (AC), se colocó en la calle un plástico en forma vertical a una profundidad de 85 a 90 cm, que fue donde se encontró una capa rocosa, difícil de penetrar.

El lote se manejó controlando la maleza en forma manual sobre la hilera de árboles, en los tratamientos de fertirriego (FR) y temporal (TM); en AC el plástico evitó la germinación de maleza, en las calles se mantuvo una cubierta de pasto cortado periódicamente.

Para regar se diseñó e instaló un sistema de cinta de goteo, el cual tuvo un gasto de 21.6 mL por minuto por emisor, dando una lámina de 1.296 L por hora por gotero; en cada manguera o cinta se tuvieron 47 emisores o goteros, dando un gasto de 60.9 L h<sup>-1</sup> manguera<sup>-1</sup>. La franja de humedecimiento que se logró con el sistema en el suelo seco, fue de 40 cm de ancho y 30 cm de profundidad después de 2 h de riego.

Los factores a estudiar fueron:

- 1) Condición de humedad:** a) Fertirriego, b) Acolchado con plástico más 400 mm de precipitación y c) Temporal.

**Fertirriego.** Se aplicó cada vez que el tensiómetro localizado a 20 cm de profundidad en el área del sistema radical de las plantas marcó 20 centibares. La fertilización inorgánica que se aplicó fue de 100-70-150 mg L<sup>-1</sup> de N-P-K cada vez que se regó; las fuentes de los nutrimentos fueron: nitrato de potasio, nitrato de amonio y ácido fosfórico. La mezcla se aplicó inyectándola en el sistema de riego mediante un Venturi modelo 283 marca Mazzei de 1/2" de diámetro en la salida y en la entrada; se mantuvo un pH de 6.5.

**Acolchado con plástico más 400 mm de precipitación.** Se colocó un plástico negro que ocupó un área de 1 m hacia cada lado de la hilera de plantas, con una pendiente que permitió drenar el agua de lluvia. El riego en este caso consistió en aplicar la precipitación promedio ocurrida en las zonas manzaneras del país, simulando los periodos de sequía y precipitación que ocurren en Jerez, Zac., Cuauhtémoc, Chih., Canatlán, Dgo. y Arteaga, Coah. (400 mm).

**Temporal.** Se manejó con la precipitación que ocurrió en Montecillo, Méx. a suelo desnudo.

- 2) Fertilización Orgánica (MO) con Dos Niveles**

a) Con aplicación de fertilizante. En este tratamiento se aplicaron nitrógeno, fósforo, potasio y azufre, en dosis de 40, 34, 28 y 15 g planta<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. Para cubrir estos requerimientos se utilizaron fuentes orgánicas

e inorgánicas de la siguiente manera: 150 g de composta tipo P (2-18-6-5-45% de N-P-K-S-MO), 150 g de composta tipo K (9-5-12-5-45% de N-P-K-S-MO), y 115 g de sulfato de amonio (20.3% de N).

Estas cantidades se aplicaron por planta, se mezclaron con el suelo y esta mezcla se dejó reposar por un día, para posteriormente realizar la plantación y regar.

b) Sin aplicación de fertilizantes.

**3) Portainjertos MM.111, MM.106, M.7 y M.26 injertados con el cultivar Golden Delicious.**

El estudio de estos factores fue mediante un experimento factorial 3x2x4, utilizando el diseño experimental de parcelas subdivididas, con dos repeticiones, con el factor humedad como parcela grande, la fertilización orgánica como parcela mediana y los portainjertos como parcela chica. Se establecieron seis plantas por unidad experimental (UE) y se tomó una muestra de cada UE en cada uno de los seis muestreos realizados a través del año.

La toma de datos se realizó al cosechar plantas completas cada dos meses, posteriormente se dividieron en hojas, tallo del cultivar (TC), tallo del portainjerto (TP) y raíces. Estos órganos se secaron en estufa a 70 °C hasta peso constante y se determinó peso seco (g), se molieron y se determinó la concentración (mg g<sup>-1</sup>) y el contenido (mg) por órgano de N, P y K.

El análisis de todas las variables se realizó con la prueba de medias de Tukey (P ≤ 0.05). El paquete estadístico que se utilizó para los análisis fue el COSTAT versión 3.1 (1989).

**RESULTADOS Y DISCUSION**

**Peso Seco por Organo**

**Hoja.** El nivel de humedad en el suelo influyó fuertemente en el peso seco de la hoja, ya que en el día juliano 179 no

había diferencias entre AC y TM, pero sí para FR; pero en el día juliano 184 se inició con la aplicación en AC de los 400 mm de precipitación que ocurren en las zonas manzaneras, con ello se observó un incremento de 148 y 19% en el peso seco para AC y TM, respectivamente (Cuadro 1), para llegar al final de la temporada (día juliano 338) con un peso seco estadísticamente igual entre FR y AC, pero diferente en TM, donde se observó una caída gradual de hojas.

Para el caso de portainjertos: M.26 y MM.111 disminuyeron el peso seco al final de la temporada, mientras que MM.106 y M.7 no lo hicieron. Esto se atribuye al genotipo, a cambios en crecimiento durante la temporada, o bien, a la pérdida de hojas temprano en la temporada, para evitar pérdida de agua (Fernández *et al.*, 1997).

**Tallo del cultivar (TC).** El peso seco del TC, al igual que en la hoja, se incrementó en relación directa con el contenido de humedad en el suelo y al vigor del portainjerto. Sin embargo, en el tratamiento de AC se presentó un déficit hídrico controlado, desde el establecimiento del acolchado (25 de abril) hasta que se inició con la aplicación de 400 mm de agua (3 de julio). En este lapso (70 días), se observó una disminución de la humedad en el suelo y, con ello, la detención del crecimiento de las ramas del árbol, así como la formación de yemas florales laterales y apicales en el árbol, mientras que en FR y en TM no ocurrió lo mismo (Cuadro 2). Esto indica que un déficit de riego controlado permite ahorrar agua, promueve una detención del crecimiento y una diferenciación de yemas vegetativas a florales (Kilili *et al.*, 1996). Una vez que se inicia con la aplicación del agua, se reanuda el crecimiento, pero también se promueve la ramificación del árbol, lo que contribuye a formar un árbol de mayor anchura y de menor altura. Estas características son importantes a futuro, ya que permiten una mayor

**Cuadro 1.** Peso seco de la hoja (g planta<sup>-1</sup>) afectado por humedad, fertilización orgánica (MO) y portainjertos a través de la temporada en el cv. Golden Delicious de dos años de edad.

Factor	Nivel	Día juliano				
		122	179	241	300	338
Condición de humedad	Fertirriego		39.29 a <sup>1</sup>	73.8 a	84.1 a	90.2 a
	Acolchado		19.18 b	47.6 b	68.0 a	78.4 a
	Temporal		14.05 b	16.8 c	11.7 b	6.65 b
MO	Con	4.9 a	24.52 a	38.8 b	49.1 a	56.0 a
	Sin	5.1 a	23.82 a	53.4 a	60.1 a	60.8 a
Portainjerto	MM.111	5.7 a	25.8 a	52.0 a	67.53 a	60.5 a
	MM.106	5.7 a	24.0 ab	44.5 a	56.1 ab	66.4 a
	M.7	4.7 a	28.5 a	55.3 a	54.1 ab	70.1 a
	M.26	3.9 a	18.39 b	32.6 b	40.82 b	36.7 b

<sup>1</sup> Medias con la misma letra para cada factor y nivel, en cada columna y día juliano, son estadísticamente iguales (Tukey, α ≤ 0.05).

**Cuadro 2.** Peso seco del tallo del cultivar (g planta<sup>-1</sup>) afectado por humedad, fertilización orgánica (MO) y portainjertos a través de la temporada en el cv. Golden Delicious de dos años de edad.

Factor	Nivel	Día juliano					
		58	122	179	241	300	338
Condición de humedad	Fertirriego			53.89 a†	134.7 a	229.4 a	273.3 a
	Acolchado			37.96 b	85.1 b	169.5 b	213.4 a
	Temporal			30.82 b	43.7 c	47.5 c	49.8 b
MO	Con		17.15 b	39.74 a	73.7 b	133.6 a	167.2 b
	Sin		22.09 a	42.03 a	101.9 a	163.9 a	190.4 a
Portainjerto	MM.111	23.15 a	22.05 a	47.09 a	105.6 a	192.2 a	202.5 a
	MM.106	30.8 a	20.67 a	40.8 ab	86.2 a	154.7 b	203.8 a
	M.7	29.7 a	22.29 a	42.62 a	97.4 a	142.1 b	193.0 a
	M.26	27.7 a	13.48 b	33.05 b	62.1 b	106.3 c	116.0 b

† Medias con la misma letra para cada factor y nivel, en cada columna y día juliano, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

captación de luz, facilitan labores de manejo y aumentan la calidad del fruto (Mills *et al.*, 1996).

El portainjerto también influyó sobre el peso seco del TC, donde destacan al final de la temporada MM.111, MM.106 y M.7, mientras que M.26 fue el menos vigoroso, asociado con un periodo de crecimiento más corto y menos intenso (Rom *et al.*, 1991; Webster, 1994). Cabe indicar que el TC fue el órgano que más incrementó su peso seco en la temporada (Cuadro 2) y se atribuyó esto a que un árbol joven primeramente forma la estructura que soportará la producción futura, así mismo crece para ocupar el espacio y poder competir con la demás población (Uriu, 1961).

**Tallo del portainjerto (TP).** El peso seco del TP se afectó sólo por los factores humedad y el portainjerto, pero no por la fertilización orgánica. Esta variable se incrementó en AC una vez que se inició con la aplicación de 400 mm, para alcanzar a FR al final de la temporada, mientras que TM permaneció con incrementos mínimos (Cuadro 3). Esto se debió a que el estrés hídrico en TM

fue tan severo que el árbol no incrementó su biomasa en este órgano. El portainjerto M.26 acumuló menor peso seco que el resto de los portainjertos, ya que este material es genéticamente más compacto, con menor crecimiento en todas sus dimensiones (Webster, 1994).

**Raíz.** El peso seco de la raíz en el día juliano (DJ) 179 era igual en los tres niveles de humedad aplicados, ya que hasta ese momento sólo se estaba aplicando agua en FR, AC permanecía cubierto con el plástico para evitar evaporación pero sin riego, mientras que TM sólo permanecía con la precipitación ocurrida; pero a partir de esta fecha, el peso seco en FR aumentó fuertemente, mientras que AC y TM aún se mantenían bajos; pero a partir del DJ 184, en que se inició con la adición de agua en AC, se observó un incremento importante, no así en TM, donde se presentaron incrementos mínimos, para llegar al final de la temporada con diferencias altamente significativas (Cuadro 4). Esto indicó que el estrés hídrico ocurrido en TM y AC afectó al sistema radical, igual que a la parte aérea. Este comportamiento concuerda con Uriu (1961), al indicar que en árboles jóvenes el crecimiento de

**Cuadro 3.** Peso seco del tallo del portainjerto (g planta<sup>-1</sup>) afectado por humedad, fertilización orgánica (MO) y portainjertos a través de la temporada en el cv. Golden Delicious de dos años de edad.

Factor	Nivel	Día juliano					
		58	122	179	241	300	338
Condición de humedad	Fertirriego			48.9 a†	78.3 a	119.7 a	127.5 a
	Acolchado			45.1 a	58.2 ab	96.1 b	130.5 a
	Temporal			45.8 a	51.3 b	53.7 c	55.2 b
MO	Con		35.6 b	45.8 a	59.7 a	91.2 a	101.4 a
	Sin		42.0 a	47.4 a	65.5 a	88.5 a	107.4 a
Portainjerto	MM.111	28.9 a	34.2 a	41.2 a	67.6 a	101.8 a	109.8 a
	MM.106	39.9 a	48.7 a	52.6 a	62.3 a	85.4 ab	116.7 a
	M.7	39.2 a	44.2 a	47.2 a	66.2 a	95.9 ab	113.6 a
	M.26	46.1 a	28.2 b	45.7 a	54.3 b	76.3 b	77.6 b

† Medias con la misma letra para cada factor y nivel, en cada columna y día juliano, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

**Cuadro 4. Peso seco de raíz (g planta<sup>-1</sup>) afectado por humedad, fertilización orgánica (MO) y portainjertos a través de la temporada en el cv. Golden Delicious de dos años de edad.**

Factor	Nivel	Día juliano					
		58	122	179	241	300	338
Condición de humedad	Fertirriego			14.4 a <sup>†</sup>	44.2 a	81.3 a	129.6 a
	Acolchado			11.33 a	21.5 b	54.3 b	82.2 b
	Temporal			12.01 a	19.2 b	26.1 c	25.5 c
MO	Con		7.7 a	12.6 a	26.5 a	50.9 b	77.0 a
	Sin		8.8 a	12.5 a	30.0 a	56.9 a	81.1 a
Portainjerto	MM.111	5.7 a	7.4 a	11.92 a	28.3 a	55.9 a	77.5 b
	MM.106	11.7 a	9.6 a	13.9 a	31.0 a	64.4 a	95.6 a
	M.7	11.0 a	11.1 a	12.96 a	31.1 a	54.9 a	89.6 a
	M.26	10.5 a	4.9 a	11.57 a	22.7 b	40.3 b	53.7 c

<sup>†</sup> Medias con la misma letra para cada factor y nivel, en cada columna y día juliano, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

la raíz y el vegetativo se da al mismo tiempo, pero una vez que el árbol inicia producción, el crecimiento vegetativo tiene prioridad sobre el radical.

Los portainjertos que presentaron mayor peso seco de raíz al final de la temporada fueron MM.106 y M.7, seguidos por MM.111 y M.26.

### Concentración de Nutrientos

La concentración de N, P y K en la hoja disminuyó hasta en 50% en TM con respecto a FR y AC (Cuadro 5). Esta información indicó que en condiciones de déficit hídrico el acceso nutrimental a la raíz disminuyó, ya que a medida que el árbol transpira, extrae agua y nutrientes de las zonas adyacentes a la raíz, esta agua fue repuesta en FR y AC; pero si la tasa de extracción de agua y nutrientes por el sistema radical exceden a la tasa de reposición, entonces el suelo empieza a secarse y el flujo de agua y nutrientes hacia la raíz disminuye (Marschner, 1986; Peryea, 1994), como ocurrió en TM. Estos autores indicaron que el acceso nutrimental del suelo hacia la raíz

se da por tres mecanismos: intercepción radical, flujo de masas y difusión; de estos mecanismos, el flujo de masas (para N) y la difusión (para P y K) pueden satisfacer casi toda la demanda de nutrientes impuesta por el árbol, siempre y cuando existan en el suelo (Fallahi, 1994). Lo anterior confirma que los factores más importantes para el desarrollo de la planta son: el agua y los nutrientes (Faust, 1989).

La concentración de los nutrientes estudiados fue mayor en hojas, le siguieron raíz, tallo del cultivar (TC) y tallo del portainjerto (TP); esto confirmó que hojas y raíces son los órganos metabólicamente más activos de la planta, mientras que TC y TP son órganos de estructura y soporte del árbol, almacenamiento y transporte de nutrientes y carbohidratos (Buwalda y Lenz, 1992; Menzel *et al.*, 1994).

Las concentraciones de los nutrientes en la hoja del cv. Golden Delicious injertado en los cuatro portainjertos estudiados estuvieron dentro del intervalo de suficiencia (Tukey y Dow, 1979), considerando la fecha de muestreo que se realizó entre el 15 de junio y el 15 de agosto.

**Cuadro 5. Concentración de N, P y K (mg g<sup>-1</sup>) en diferentes órganos de la planta en el cv. Golden Delicious de dos años de edad en el día juliano 338.**

Factor	Nivel <sup>†</sup>	N				P				K			
		Hoja	TC	TP	Raíz	Hoja	TC	TP	Raíz	Hoja	TC	TP	Raíz
Condición de humedad	FR	21.69 a <sup>†</sup>	8.97 a	7.89 b	13.4 a	2.0 a	1.17 c	1.05 b	1.75 a	19.59 a	4.83 b	4.09 a	5.25 a
	AC	25.12 a	9.10 a	7.81 b	13.6 a	1.97 a	1.33 b	1.18 ab	1.74 a	20.19 a	4.71 b	3.75 b	5.38 a
	TM	12.18 b	10.93 a	9.14 a	14.7 a	0.95 b	1.69 a	1.45 a	1.74 a	8.03 b	5.55 a	3.47 c	5.68 a
MO	Con	18.98 a	9.55 a	8.57 a	14.5 a	1.61 a	1.41 a	1.2 a	1.76 a	15.81 a	5.09 a	3.84 a	5.48 a
	Sin	20.35 a	9.79 a	8.0 b	13.3 a	1.67 a	1.39 a	1.23 a	1.72 a	16.07 a	4.96 a	3.71 a	5.39 a
Portainjerto	MM.111	21.78 a	8.7 a	7.62 b	13.7 a	1.83 a	1.26 b	1.01 c	1.56 b	17.88 a	4.91 bc	3.63 b	5.44 b
	MM.106	16.18 b	9.8 a	7.68 b	14.5 a	1.43 b	1.35 b	1.07 c	1.68 b	14.89 b	5.23 ab	4.19 a	6.34 a
	M.7	21.84 a	10.29 a	6.72 b	12.3 b	1.69 ab	1.47 a	1.17 b	1.67 b	15.4 ab	4.69 c	3.5 b	5.01 c
	M.26	18.86 ab	9.88 a	11.13 a	14.99 a	1.61 ab	1.55 a	1.62 a	2.06 a	15.7 ab	5.28 a	3.76 ab	4.95 c

<sup>†</sup> FR = Fertirriego. AC = Acolchado. TM = Temporal.

<sup>†</sup> Medias con la misma letra para cada factor y nivel, en cada columna y órgano de la planta, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

**Cuadro 6.** Contenido de N, P y K (g planta<sup>-1</sup>) en diferentes órganos de la planta en el cv. Golden Delicious de dos años de edad en el día juliano 338.

Factor	Nivel <sup>1</sup>	N				P				K			
		Hoja	TC	TP	Raíz	Hoja	TC	TP	Raíz	Hoja	TC	TP	Raíz
Condición de humedad	FR <sup>†</sup>	1.99 a <sup>†</sup>	2.41 a	0.92 a	1.69 a	0.18 a	0.31 a	0.12 ab	0.22 a	1.79 a	1.31 a	0.53 a	0.70 a
	AC	1.99 a	1.95 a	0.99 a	1.10 b	0.16 a	0.28 a	0.15 a	0.14 b	1.57 a	0.99 a	0.49 a	0.44 b
	TM	0.14 b	0.53 b	0.51 b	0.36 c	0.01 b	0.08 b	0.08 b	0.04 c	0.09 b	0.27 b	0.19 b	0.14 c
MO	Con	1.31 b	1.51 a	0.8 a	1.03 a	0.11 a	0.22 a	0.11 a	0.14 a	1.12 a	0.81 b	0.39 a	0.42 a
	Sin	1.44 a	1.75 a	0.81 a	1.08 a	0.12 a	0.24 a	0.12 a	0.14 a	1.18 a	0.91 a	0.41 a	0.44 a
Portainjerto	MM.111	1.35 b	1.72 a	0.81 a	1.07 b	0.12 a	0.23 a	0.10 b	0.12 b	1.14 b	0.96 ab	0.41 b	0.42 b
	MM.106	1.59 ab	1.74 a	0.82 a	1.29 a	0.14 a	0.23 a	0.11 ab	0.16 a	1.45 a	1.04 a	0.51 a	0.60 a
	M.7	1.77 a	1.92 a	0.73 a	1.05 b	0.14 a	0.27 a	0.13 a	0.16 b	1.34 ab	0.85 b	0.41 b	0.43 b
	M.26	0.78 c	1.14 b	0.87 a	0.80 c	0.07 b	0.17 b	0.13 a	0.11 b	0.67 c	0.58 c	0.29 c	0.26 c

<sup>†</sup> FR = Fertirriego. AC = Acolchado. TM = Temporal.

<sup>1</sup> Medias con la misma letra para cada factor y nivel, en cada columna y órgano de la planta, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

El portainjerto M.26 (el más enanizante) presentó concentraciones similares o más altas, en los nutrientes estudiados, en los diferentes órganos de la planta; esto probablemente se debió a que M.26 dejó de crecer más temprano dentro de la temporada que el resto de los portainjertos y el flujo de nutrientes a la planta se mantuvo (Webster, 1994). La fertilización orgánica incorporada al suelo no incrementó los niveles de N, P y K (Cuadro 5).

### Contenido de Nutrientes

El contenido de los nutrientes determinados en los diferentes órganos de la planta estuvo en función del peso seco acumulado y presentó un patrón de distribución similar a través de la temporada.

Además, el contenido de los nutrientes determinados en los cuatro órganos de la planta estuvo fuertemente afectado por la humedad en el suelo y el tipo de portainjerto, pero no por la incorporación de fertilizantes orgánicos al suelo (Cuadro 6).

El menor contenido de N, P y K en los cuatro órganos de la planta se presentó en TM y se corroboró con las interacciones entre humedad y portainjerto (Cuadros 7, 8 y 9) (Vegh, 1991; Alam, 1994). Estos resultados concuerdan con Buwalda y Lenz (1992), al indicar que

**Cuadro 7.** Efecto de la interacción entre condición de humedad y portainjerto en el contenido de N (g planta<sup>-1</sup>) en manzano cv. Golden Delicious de dos años de edad en el día juliano 338.

Condición de humedad	Portainjerto			
	MM.111	MM.106	M.7	M.26
Fertirriego	7.685	8.595	7.825	4.003
Acolchado	5.298	6.178	7.458	5.193
Temporal	1.840	1.610	1.125	1.570

**Cuadro 8.** Efecto de la interacción entre condición de humedad y portainjerto en el contenido de P (g planta<sup>-1</sup>) en manzano cv. Golden Delicious de dos años de edad en el día juliano 338.

Condición de humedad	Portainjerto			
	MM.111	MM.106	M.7	M.26
Fertirriego	0.880	1.090	0.918	0.488
Acolchado	0.563	0.658	1.033	0.690
Temporal	0.268	0.210	0.153	0.238

cuando se incrementa el aporte de nutrientes (como ocurrió en FR y AC), y hay suficiente agua disponible, se incrementa el contenido de nutrientes en estructuras vegetativas; pero un déficit hídrico, como ocurrió en TM, lo reduce fuertemente.

Los portainjertos de mayor vigor como MM.111, MM.106 y M.7 presentaron el mayor contenido de los nutrientes determinados en los cuatro órganos; pero M.26, el más enanizante de los portainjertos estudiados, presentó menor contenido. Esto se debió a que los portainjertos con mayor vigor presentaron mayor acumulación de biomasa en la temporada, crecimiento más prolongado y, por lo tanto, requirieron de mayores cantidades de nutrientes que M.26 (Sharma y Chauhan, 1991; Tagliavini *et al.*, 1992).

También se observó que TC acumuló más nutrientes que los otros órganos de la planta, ya que TC

**Cuadro 9.** Efecto de la interacción entre condición de humedad y portainjerto en el contenido de K (g planta<sup>-1</sup>) en manzano cv. Golden Delicious de dos años de edad en el día juliano 338.

Condición de humedad	Portainjerto			
	MM.111	MM.106	M.7	M.26
Fertirriego	4.688	5.908	4.568	2.135
Acolchado	3.160	4.268	4.035	2.523
Temporal	0.950	0.618	0.498	0.735



fue el órgano con mayor peso seco y, en consecuencia, con mayor demanda de nutrimentos; sin embargo, en el caso de K, la hoja presentó contenido similar o mayor que TC. Esto es importante, ya que TC es el órgano que dará origen a los puntos de fructificación el próximo año y, por lo tanto, reutilizará los nutrimentos acumulados al inicio de la siguiente temporada (Raese, 1997; Tagliavini *et al.*, 1998).

### CONCLUSIONES

- El mayor incremento en materia seca se presentó en los portainjertos que transmiten mayor vigor a la parte aérea como son MM.111, MM.106 y M.7.
- La mayor concentración de nutrimentos se presentó en las hojas y raíces, mientras que en tejido más leñoso, como tallo del cultivar y del portainjerto, la concentración fue menor.
- El mayor contenido de nutrimentos se asoció a una mayor cantidad de materia seca en la planta y tuvo una relación directa con el contenido de humedad en el suelo.
- El acolchado con plástico permite ahorrar agua, sin afectar significativamente el desarrollo del árbol.

### LITERATURA CITADA

- Alam, S.M. 1994. Nutrient uptake by plants under stress conditions. pp. 227-246. *In*: M. Pessarakli. (ed.). Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker. New York.
- Becerril R., A.E. y M.G. Beech. 1993. Nutrient uptake (*Fragaria x ananassa* Duch.) under controlled environment conditions. pp. 13-24. *In*: A.E. Becerril R. y J.D. Quinland (eds.). Growth and nutrient uptake of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch). Editorial Futura. México.
- Buwalda, J.G. y F. Lenz. 1992. Effects of cropping, nutrition and water supply on accumulation and distribution of biomass and nutrients for apple trees on M.9 root systems. *Physiol. Plantarum* 84: 21-28.
- Clark, G.A. y A.G. Smajstrla. 1996. Injecting chemicals into drip irrigation systems. *HortTech*. 6(3): 160-165.
- COSTAT. 1989. CoStat 3.03, CoHort Software, P.O. Box 1149, Berkeley, CA 94701.
- El-Jaoual, T. y D. Cox. 1998. Effects of plant age on nitrogen uptake and distribution by greenhouse plants. *J. Plant Nutr.* 21: 1055-1066.
- Fallahi, E. 1994. Root physiology, development and mineral uptake. pp. 19-30. *In*: A.B. Peterson y R.G. Stevens (eds.). Tree fruit nutrition. Good Fruit Grower, Yakima. Washington, DC.
- Faust, M. 1989. Physiology of temperate zone fruit tree. John Wiley. Toronto, Canada.
- Fernandez, R.T., R.L. Perry y J.A. Flore. 1997. Drought response of young apple trees on three rootstocks: Growth and development. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 122: 14-19.
- Ibañez M., A. 1999. Cubiertas, riego y fertilización foliar en árboles de manzano con deficiencias nutricionales. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, México.
- Kilili, A.W., M.H. Behboudian y T.M. Mills. 1996. Composition and quality of "Breaburn" apples under reduced irrigation. *Scientia Hort.* 67: 1-11.
- López-Castañeda, C. y R.A. Richards. 1994. Variation in temperate cereals in rainfed environments. III. Water use and water use efficiency. *Field Crop Res.* 39: 85-98.
- Marschner, E.R. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. Belfast, Ireland.
- Menzel, C.M., D.R. Simpson y G.F. Haydon. 1994. Partitioning of nutrients in bearing lychee trees. *Acta Hort.* 321: 535-540.
- Mills, T.M., M.H. Behboudian y B.E. Clothier. 1996. Water relation, growth and the composition of Breaburn apple fruit under deficit irrigation. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121: 286-291.
- Parra Q., R.A. 1999. Crecimiento, relaciones hídricas y nutrimentales en portainjertos de manzano. Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Parra Q., R.A. y V.M. Guerrero P. 1994. Influencia de portainjertos clonales para manzano sobre comportamiento, dimensiones y producción del árbol. Folleto Científico 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional Norte Centro. Ciudad Cuauhtémoc, Chih., México.
- Peryea, F.J. 1994. Understanding water and nutrient uptake. pp. 13-22. *In*: K.M. Williams y T.W. Ley, (eds.). Tree fruit irrigation. Good Fruit Grower, Yakima. Washington, DC.
- Raese, J.T. 1997. Cold tolerance, yield and fruit quality of D'Anjou pears influenced by nitrogen fertilizer rates and time of application. *J. Plant Nut.* 20(7 y 8): 1007-1025.
- Rom, C.R., R.C. Rom, W.R. Autio, D.C. Elfving y R.A. Cline. 1991. Foliar nutrient content of Starkspur Supreme Delicious on nine clonal apple rootstocks. *Fruit Var. J.* 45: 252-263.
- Sharma, D.D. y J.S. Chauhan. 1991. Effects of different rootstocks and training systems on the mineral composition of 'Delicious' apple leaves. *J. Hort. Sci.* 66: 703-707.
- Tagliavini, M., D. Seudellari, B. Marangoni, A. Bastianel, F. Franzin y M. Zamborlini. 1992. Leaf mineral composition of apple tree: Sampling date and effects of cultivar and rootstocks. *J. Plant Nut.* 15: 605-619.
- Tagliavini, M., P. Millard y M. Quartieri. 1998. Storage of foliar-absorbed nitrogen and remobilization for spring growth in young nectarines (*Prunus persica* var. Nectarina) trees. *Tree Physiol.* 18: 203-207.
- Tukey, R.B. y A.I. Dow. 1979. Fertilizer guide: Nutrient content fruit trees in Washington. Washington State University, Bulletin FG-28f. Pullman, WA.
- Uriu, K. 1961. The role of nutrients and differences in demand within the tree. *Proc. 9th Annual Calif. Fert.* pp. 21-23.
- Vegh, K.R. 1991. Effect of soil water and nutrient supply on root characteristics and nutrient uptake of plants. pp. 143-148. *In*: Plant roots and their environment. B.L. McMichael y H. Persson. (eds.). Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.
- Webster, T. 1994. Rootstock and interstock effects on deciduous fruit tree growth and cropping. *Compact Fruit Tree* 27: 5-16.

# COMPARACION DE ALGUNOS METODOS MICROMETEOROLOGICOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACION, EN EL AREA DE MONTECILLO, MEXICO

## Comparison of Some Micrometeorological Methods to Estimate Evapotranspiration in Montecillo Area, Mexico

Ramon Villaman Peña<sup>1</sup>, Leonardo Tijerina Chávez<sup>1‡</sup>, Abel Quevedo Nolasco<sup>1</sup>  
y Guillermo Crespo Pichardo<sup>1</sup>

### RESUMEN

Con el propósito de estudiar cuáles métodos micrometeorológicos estiman mejor la evapotranspiración (ET) en tiempo real para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), se compararon los métodos Thornthwaite-Holzman, Aerodinámico, Balance de energía (Relación de Bowen), Sistema de Bowen y Penman-Monteith, con la evapotranspiración medida en el lisímetro de pesada como referencia. El estudio se realizó en el lote experimental del Colegio de Postgraduados donde se localiza la estación agrometeorológica. Para el registro de las variables meteorológicas utilizadas por cada uno de los métodos antes indicados, se instalaron dos estaciones automatizadas colocadas a 5 m del lisímetro de pesada en los lados este y oeste. Las mismas se equiparon con sensores de humedad, temperatura y velocidad del viento a 1.5 y 2.5 m de altura por arriba del nivel del suelo, quedando el más bajo a 0.25 m por encima del nivel del dosel del cultivo de maíz. Para estimar la temperatura del suelo se midió a 0.02 y 0.12 m de profundidad con los geotermómetros de la estación CR10, y con los geotermómetros del Sistema de Bowen se midió a 0.02, 0.06 y 0.08 m de profundidad. Ambas estaciones se programaron para registrar el promedio de las variables meteorológicas cada 20 minutos. Se hizo la comparación del cálculo de la evapotranspiración acumulada para cada día por los métodos indicados, con respecto a la medida en el lisímetro de pesada, la cual se utilizó como referencia. Los resultados indican que la evapotranspiración calculada por el método de Penman-Monteith, el Balance de energía y la medida

con el Sistema de Bowen fueron los que mejor estimaron la ET.

*Palabras clave:* Lisímetro de pesada, balance de energía, método Thornthwaite-Holzman, método aerodinámico, Relación de Bowen, método Penman-Monteith.

### SUMMARY

The present work was realized to compare several micrometeorological methods to estimate evapotranspiration (ET) in corn crop (*Zea mays* L.): Thornthwaite-Holzman, Aerodynamic, Energy balance (Bowen ratio), Bowen system and Penman-Monteith, with the weighted lysimeter as reference. The study was conducted in the experimental field of the 'Colegio de Postgraduados' in the plot around the agrometeorological station. To determine the meteorological variables used in each of the mentioned methods to estimate the ET, we installed two automatic stations at 5 m from the weighted lysimeter on east and west sides. The meteorological stations were equipped with humidity, temperature, and wind velocity sensors at a height of 1.5 and 2.5 m above ground level. The lowest sensor was 0.25 m above the top of the corn crop. Soil temperature was measured at 0.02 and 0.12 m soil depth in the CR10 station; and for the Bowen system we measured at 0.02, 0.06, and 0.08 m soil depth. Both stations were programmed to register the meteorological average values every 20 minutes. The total ET estimated by each method were compared with the ET measured by the lysimeter; results show that the Penman-Monteith, Energy balance methods and the ET measured by the Bowen system, best estimated ET.

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México.

<sup>‡</sup> (ltijerina@colpos.colpos.mx)

*Bowen ratio, Bowen system, Penman-Monteith method.*

## INTRODUCCION

El desarrollo de un país depende, en gran medida, de sus posibilidades para alcanzar una producción agrícola que le permita satisfacer sus necesidades y obtener excedentes para exportación. Para lograr esas cantidades de producción, el agua juega un papel importante, siempre y cuando sea suministrada de manera eficiente. El agua representa 80% o más del peso de las plantas herbáceas y alrededor de 50% de las leñosas, es decir, una vez absorbida por las raíces, el agua es transferida a la atmósfera a través de los estomas de las hojas como resultado del gradiente de presión de vapor entre las cavidades estomáticas y la atmósfera (Palacios, 1995).

El conocimiento de los valores de la evapotranspiración es importante por las aplicaciones que se pueden derivar. López (1989) y Aguilera y Martínez (1996) indicaron las siguientes aplicaciones:

- Para determinar el área que puede regarse con un determinado volumen de agua disponible.
- Es la base para elaborar calendarios teóricos de riego de cultivos.
- Estimar los volúmenes de agua que sean necesarios para auxiliar a los cultivos en caso de que la lluvia sea insuficiente para su buen desarrollo.
- Para determinar en grandes áreas o cuencas, volúmenes de agua que se requieran drenar.
- Para seleccionar los cultivos más adecuados en zonas de agricultura de temporal.
- Permite determinar la lámina adicional de riego necesaria para la prevención de problemas de ensalitramiento de los suelos.
- Permite determinar, en forma general, la eficiencia con la que se está aprovechando el agua y, por lo mismo, planear debidamente el mejoramiento y la superación de todo el conjunto de actividades que se generan en los Distritos de Riego para proporcionar el agua a los cultivos oportunamente. Es importante señalar, además, que los principales factores climáticos que afectan la evapotranspiración, según Ludlow (1970), son: radiación solar, temperatura, brillo solar, humedad atmosférica, precipitación y velocidad del viento. Tijerina (1992) citó que los principales factores de las plantas que afectan la evapotranspiración son: el grado de cobertura, el área foliar, la altura del cultivo, la rugosidad de la cobertura y el control estomático de la transpiración. El mismo autor señaló que los factores del suelo que afectan la evapotranspiración son: el contenido de

humedad, la profundidad del manto friático y la salinidad.

En la actualidad existe una gran cantidad de métodos indirectos que permiten estimar la evapotranspiración a partir de variables meteorológicas (López *et al.*, 1991). Dichos métodos involucran el empleo de ecuaciones empíricas, las cuales requieren de información climatológica fácil de conseguir y, por lo tanto, tienen gran utilidad en la planeación agrícola.

Aguilera y Martínez (1996) indicaron que existen varios métodos para estimar la evapotranspiración, los cuales se han clasificado en métodos directos e indirectos. Los directos proporcionan información directa del total de agua requerida por los cultivos, utilizando para ello instrumentos para la determinación, y proporcionan valores muy apegados a la realidad y, a la vez, sirven para ajustar los parámetros de los métodos empíricos. Entre éstos pueden señalarse: el método gravimétrico, lisimétrico y el evapotranspirómetro de Thornthwaite. Los indirectos proporcionan una estimación del requerimiento de agua a través de todo el ciclo vegetativo mediante la utilización de fórmulas empíricas; los mismos se han clasificado en climatológicos y micrometeorológicos. Los climatológicos estiman la evapotranspiración en períodos mínimos de una semana, dentro de éstos tenemos: Penman modificado, evaporación del tanque tipo "A", Turc, Jensen-Haise, Stephens, Blaney-Criddle, Thornthwaite, Doorebos-Pruitt, Ivánov y Papadakis. Actualmente, los avances tecnológicos en la construcción de estaciones automatizadas para el registro y almacenamiento de datos, en conjunto con el manejo de sistemas de computación para la programación del riego en tiempo real, cada vez son más comunes. Los agricultores han reconocido las ventajas que tiene el disponer de la información meteorológica oportuna y en tiempo real para la toma de decisiones en la planeación y operación de sus actividades agropecuarias. Los métodos micrometeorológicos estiman la evapotranspiración (ET) en cortos intervalos de tiempo (menores que 30 min), por lo que permiten estimar este parámetro en tiempo real (Rosenberg, 1974). Dentro de estos métodos se encuentran los que se basan en el Balance de energía, como el método de la Relación de Bowen; dentro de los Aerodinámicos podemos mencionar los que se basan en el transporte de masa como es el caso del método de Thornthwaite-Holzman, los

Aerodinámicos, propiamente dicho los métodos de correlación de transporte turbulento y, finalmente, los mixtos que consideran tanto el Balance de energía como el componente Aerodinámico; entre éstos se pueden mencionar los métodos de Penman, Van Bavel y los que involucran, además, la resistencia de la planta al transporte de vapor de agua, como es el caso del método de Penman-Monteith.

La programación del riego en tiempo real requiere de la estimación de la evapotranspiración en períodos cortos y es por ello que en la presente investigación se planteó como objetivo estimar la evapotranspiración en intervalos de 20 min, y obtener el acumulado para cada día, mediante los siguientes métodos micrometeorológicos:

Thornthwaite-Holzman, Aerodinámico, Balance de energía, Sistema de Bowen y Penman-Monteith, y comparar los valores de la ET estimada por cada uno de ellos con los medidos en el lisímetro de pesada para los mismos intervalos.

En el presente estudio se estableció como hipótesis que no hay diferencia a nivel diario entre la evapotranspiración calculada por cada uno de los métodos y la observada para el mismo período en el lisímetro de pesada.

Se asumió que la ubicación del lisímetro de pesada y de las estaciones automatizadas cumplen con requerimientos de "fetch" para permitir que se forme el perfil logarítmico de la velocidad del viento; éstos son: 1) que la superficie sembrada por el cultivo es lo suficientemente extensa, sobre todo en la dirección del viento dominante, que permite el establecimiento del perfil logarítmico de la velocidad del viento; 2) que durante el período de observación se presentan condiciones de estabilidad neutral, que permitan que los coeficientes de transporte turbulento en dirección vertical son iguales para el caso del transporte del momento, vapor de agua y calor sensible; 3) que los instrumentos utilizados son los suficientemente sensibles para detectar diferencias en temperatura, humedad y velocidad del viento a dos alturas.

## MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se realizó en los terrenos de la estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados en Montecillo, estado de México, localizada a una latitud de 19°21' norte y una longitud de 98°54' oeste, a una altitud de 2240 m. Los suelos del área experimental se clasifican dentro de la serie Montecillos, poseen una textura franco arenosa, capacidad de campo de 20.7%, punto de marchitez

permanente de 10.3% y densidad aparente de 1.3 g cm<sup>-3</sup>; son suelos profundos y presentan poca variabilidad en sus diferentes capas (Zermeño, 1984). La variedad de maíz (*Zea mays* L.) fue un híbrido experimental, el cual proporcionó la Especialidad de Producción de Semilla del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad del Colegio de Postgraduados. La siembra fue directa a una separación entre hileras de 0.80 m y de 0.40 m entre plantas, obteniéndose una densidad de siembra de 60 000 plantas ha<sup>-1</sup>.

El período de observación se llevó a cabo cuando el cultivo tenía aproximadamente 1 m de altura y se hicieron las observaciones hasta que la altura de los tripiés donde se colocan los sensores de las estaciones automáticas lo permitieron; en este artículo, únicamente se ilustra el cálculo para cuatro días: 9, 10, 11 y 14 de julio de 1998.

La evapotranspiración se midió con un lisímetro de pesada el cual consta de un monolito de suelo inalterado de 1.80 m de largo por 1.80 m de ancho y 1.50 m de profundidad, sus lados están orientados aproximadamente en la dirección de los puntos cardinales, el contenedor está instalado sobre un sistema de pesada electrónico que tiene la capacidad de registrar diferencias en peso de 50 g, equivalente a una lámina de 0.0154 mm. Las lecturas del peso se obtuvieron continuamente en un registrador digital (Peña, 1974).

A ambos lados del lisímetro de pesada, a 5 m en direcciones este y oeste, se instalaron dos estaciones meteorológicas automáticas marca Campbell Scientific, modelo CR10, y otra estación integrada conocida comercialmente como Sistema de Bowen, modelo 21X, la cual permite calcular la evapotranspiración directamente. La estación automática, modelo CR10, consta de: dos sensores para medir la temperatura del aire y la humedad atmosférica, uno modelo vaisala Helsinki HMP35C y el otro modelo 207, ambos colocados a 1.50 y 2.50 m sobre el nivel del suelo; dos anemómetros de copa, ambos marca Met One, colocados a las mismas alturas que los anteriores; dos geotermómetros modelo 107 B para medir la temperatura del suelo a 2 y 12 cm de profundidad, con estos datos se calculó el flujo de calor del suelo. Finalmente se instaló un sensor para medir la radiación solar, marca Licor, modelo LI200, el cual se colocó a 2 m sobre el cultivo de maíz.

El Sistema de Bowen se compone de los siguientes sensores: dos platos térmicos que miden directamente el flujo de calor del suelo y éstos se

instalaron en dos sitios diferentes a aproximadamente 4 m del tripié que soporta los demás sensores de la estación y a 8 cm de profundidad; sobre la vertical donde se instalaron los platos térmicos se colocaron dos termocoples para medir la temperatura del suelo, a 2 y 6 cm de profundidad y, posteriormente, el sistema calcula el flujo de calor del suelo entre esas profundidades; un radiómetro neto, el cual se colocó a 2 m a partir de la superficie del suelo; un anemómetro y una veleta para medir la velocidad y dirección del viento, ambos se colocaron a 2 m con respecto al suelo; dos termocoples de cromo-constantano, para medir la temperatura del aire, colocados a dos alturas sobre el cultivo (1.5 y 2.5 m, con respecto al suelo); dos psicrómetros de precisión ubicados a dos alturas sobre el nivel del cultivo, para medir la humedad atmosférica; los mismos están dotados de un sistema integrado para medir el flujo de vapor de agua contenido en el aire, el cual consiste en un sistema de bombeo para coleccionar aire, el cual al pasar por un espejo, cuya función es enfriar el aire, se determina la temperatura del punto de rocío y calcula la presión de vapor actual y a saturación; con estos datos se cuantifica el gradiente de presión de vapor entre las dos alturas. Dichas estaciones se programaron para que registraran el promedio de cada una de las variables meteorológicas utilizadas en la investigación, cada 20 minutos. Posteriormente, se procesó la información para calcular la evapotranspiración a nivel diario.

#### Método de Thornthwaite-Holzman

Thornthwaite y Holzman (1942), tomando en cuenta que los coeficientes de transporte turbulento de momento y vertical son iguales ( $K_m = K_v$ ), propusieron que la evaporación puede determinarse a través de la siguiente ecuación:

$$E = \rho_a k^2 \frac{(q_2 - q_1)(U_2 - U_1)}{[\ln(Z_2 / Z_1)]^2} \quad (1)$$

Donde:  $E$  = Evaporación ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $\rho_a$  = Densidad del aire ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $k$  = Constante de Von Karman 0.4 (adimensional);  $q_i$  = Humedad específica a las alturas 1 y 2 ( $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{aire}}$ );  $U_i$  = Velocidad del viento a las alturas 1 y 2 ( $\text{cm s}^{-1}$ );  $\ln$  = Logaritmo natural;  $Z_2$  y  $Z_1$  = Alturas a las que se hacen las observaciones, medidas desde la superficie del suelo (cm).

#### Método Aerodinámico

Según Rosenberg (1974), la ecuación de transporte de flujo de calor latente de evaporación es función de la densidad del aire, del coeficiente de transporte turbulento vertical  $k_v$  y del gradiente de humedad específica a dos alturas. Está dado por la siguiente ecuación:

$$E = \rho_a K_v \frac{\delta q}{\delta z} \quad (2)$$

Donde:  $E$  = Evaporación ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $\rho_a$  = Densidad del aire ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $K_v$  = Coeficiente de transporte turbulento para vapor de agua ( $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ );  $\delta q$  = Diferencia de humedad específica a dos alturas ( $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{aire}}$ );  $\delta z$  = Diferencia entre las dos alturas de observación (cm).

Para determinar el coeficiente de transporte turbulento es necesario determinar el momento  $\tau$ , mediante la siguiente ecuación:

$$K_v = \left( \frac{\tau}{\rho_a} \right) \left( \frac{dU}{dZ} \right)^{-1} = \frac{\tau (Z_2 - Z_1)}{\rho_a (U_2 - U_1)} \quad (3)$$

Donde:  $K_v$  = Coeficiente de transporte turbulento vertical del vapor de agua ( $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ );  $\tau$  = Momento ( $\text{dinas cm}^{-2}$ );  $\rho_a$  = Densidad del aire ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $Z_i$  = Distancia vertical medida desde la superficie del suelo (cm);  $U_i$  = Velocidad del viento medida a la altura  $i$  ( $\text{cm s}^{-1}$ ).

#### Método del Balance de Energía o (Relación de Bowen)

Bowen, citado por Rosenberg (1974), indicó que este método considera para la determinación de la evapotranspiración el balance de energía, la presión atmosférica, las diferencias de temperatura y la concentración de vapor de agua en el aire. Este autor citó, además, que este método ha sido ampliamente usado por diferentes investigadores para estimar el flujo de vapor de agua a partir de superficies evaporantes. El flujo de vapor de agua se calcula para periodos cortos (por ejemplo, cada media hora o menos), partiendo de la ecuación del balance de energía mediante la siguiente ecuación:

$$R_n = -(\lambda E + H + S + M + F) \quad (4)$$

Donde:  $R_n$  = Radiación neta medida ( $\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ );  
 $\lambda E$  = Flujo de calor latente de evaporación ( $\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ );  $S$  = Flujo de calor del suelo ( $\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ ).

Asumiendo que la energía consumida en fotosíntesis (F) y la energía metabólica (M) es despreciable, el Balance de energía queda como:

$$R_n = -(\lambda E + H + S) \quad (5)$$

Bowen propuso que siendo  $\lambda E$  y  $H$  los flujos de energía más importantes, para determinar el flujo de calor latente de evaporación propuso la relación  $\beta = \lambda E/H$  que es conocida como Relación de Bowen y puede determinarse de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} = \frac{(R_n - LE - S)}{\lambda E} = \frac{P C_p (Kh) (\partial T / \partial z)}{\lambda E (Kv) (\partial e / \partial z)} = \frac{P C_p (\Delta T)}{\lambda E (\Delta e)} \quad (6)$$

por lo tanto:

$$\lambda E \approx \frac{(R_n - S)}{(1 + \beta)} \quad (7)$$

Donde:  $\beta$  = Relación de Bowen (adimensional);  
 $P$  = Presión atmosférica (mbar);  $\lambda$  = Calor de vaporización del agua ( $580.4 \text{ cal g}^{-1}$  a  $30^\circ\text{C}$ );  
 $\varepsilon$  = Relación de masa del vapor de agua y aire 0.622 (adimensional);  $\Delta T$  = Diferencia de temperatura entre dos alturas ( $T_2 - T_1$ ),  $T_2$  y  $T_1$  es la temperatura del aire ( $^\circ\text{C}$ );  $\Delta e$  = Diferencia de presión de vapor de agua entre dos alturas ( $e_2 - e_1$ ),  $e_2$  y  $e_1$  es la presión de vapor calculada a partir de la humedad relativa (mbar);  $C_p$  = Capacidad calorífica del aire seco ( $0.24 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ).

Este método considera que los coeficientes de transporte turbulento vertical para calor y vapor  $Kh$  y  $Kv$ , respectivamente, son iguales ( $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ). Siempre y cuando la altura a la que se instalan los sensores en la estación estén localizados dentro de la capa de frontera interna a partir del borde del cultivo, la superficie sea lo suficientemente extensa para promover la formación de la capa de frontera, y que predomine el flujo en masa en lugar de la difusión molecular y se presenten condiciones de estabilidad neutral.

Rosenberg (1974) citó que el cálculo del flujo de calor está dado por la siguiente ecuación:

$$S = K (dT/dZ) \quad (8)$$

Donde:  $K$  = Conductividad térmica del suelo (suelo ligero con raíces) ( $2.70 \cdot 10^{-4} \text{ cal cm}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \text{ s}^{-1}$ );  
 $dT$  = Diferencia de temperatura del suelo ( $^\circ\text{C}$ );  
 $dZ$  = Diferencia de altura entre los sensores (cm).

### Descripción de la Estación Automática 21X (Sistema de Bowen)

Con base en el instructivo de Campbell Scientific (1995), este sistema obtiene directamente la evapotranspiración, utilizando para la determinación los siguientes parámetros:

$$BR = \frac{P * C_p * AVG.dT}{[0.622 * EW * (D.V.P.)]} \quad (9)$$

Donde:  $BR$  = Relación de Bowen (adimensional);  
 $P$  = Presión atmosférica calculada a partir de la elevación (kPa);  $C_p$  = Calor específico del aire ( $1.01 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ );  $AVG.dT$  = Promedio de la diferencia de temperatura del aire a dos alturas ( $^\circ\text{C}$ );  
 $0.622$  = Peso del vapor del aire (adimensional);  
 $EW$  = Calor latente de evaporación ( $\text{kJ/kg}$ );  
 $D.V.P.$  = Diferencia de vapor de presión ( $\text{W m}^{-2}$ ).

La presión atmosférica puede calcularse a partir de la elevación, asumiendo una atmósfera estándar (Wallace y Hobbs, 1977).

$$P = 101.325 \left[ 1 - \frac{E}{44307.69231} \right]^{5.25328} \quad (10)$$

Donde:  $P$  = Presión atmosférica (mbar);  
 $E$  = Elevación sobre el nivel del mar (m)

$$S = \frac{dT_s}{T * D * BD * (CS + W * CW)} \quad (11)$$

Donde:  $S$  = Calor almacenado del suelo ( $\text{W m}^{-2}$ );  
 $dT_s$  = Diferencia de temperatura del suelo ( $^\circ\text{C}$ );  
 $T$  = Tiempo de ejecución (20 min);  $D$  = Profundidad de los platos (0.08 m);  $BD$  = Densidad del suelo ( $1300 \text{ kg m}^{-3}$ );  $CS$  = Calor específico del aire seco ( $830 \text{ J/kg }^\circ\text{C}^{-1}$ );  $W$  = Contenido gravimétrico de agua en el suelo ( $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{Soil}}$ );  $CW$  = Calor específico del agua ( $\text{J/kg }^\circ\text{C}^{-1}$ ).

Según el instructivo, el flujo de calor del suelo se calcula con la siguiente ecuación:

$$G = F + S \quad (12)$$

Donde: G = Flujo de calor del suelo ( $W m^{-2}$ ); F = Flujo de calor del suelo medido a 8 cm de profundidad ( $W m^{-2}$ ); S = Calor almacenado ( $W m^{-2}$ ).

$$LE = \frac{(Rn - G)}{(1 + BR)} \quad (13)$$

Donde: LE = Flujo de calor latente de evaporación ( $W m^{-2}$ ); Rn = Radiación neta ( $W m^{-2}$ ); G = Flujo de calor del suelo ( $W m^{-2}$ ).

#### Método de Penman-Monteith

Allen y Jensen, citados por el Servicio de Conservación del Suelo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1997), consideraron en la estructura de la ecuación el balance de energía, el término aerodinámico y la resistencia de la planta al transporte del vapor de agua. Se recomienda este método cuando se dispone de información sobre: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar. El método también puede ajustarse a las características físicas de una estación meteorológica local. Este método está dado por la siguiente ecuación:

$$ET_o = \left( \frac{1}{\lambda} \right) \left[ \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) (R_n - S) + \left( \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \left( 0.622 \frac{K_1 \lambda_p}{P} \right) \left( \frac{e_s - e_a}{r_a} \right) \right] \quad (14)$$

Donde:  $ET_o$  = Evapotranspiración del cultivo de referencia ( $cm día^{-1}$ );  $\lambda$  = Calor latente de vaporización del agua ( $cal cm^{-1}$ ); Rn = Radiación neta ( $cal cm^{-2} día^{-1}$ ); S = Flujo de calor del suelo ( $cal cm^{-2} día^{-1}$ );  $\Delta$  = Pendiente de la curva de presión de vapor ( $mbar °C^{-1}$ );  $\gamma$  = Constante psicrométrica ( $mbar °C^{-1}$ );  $\gamma'$  = Constante psicrométrica ajustada ( $mbar °C^{-1}$ );  $K_1$  = Coeficiente de proporcionalidad para asegurar que ambos términos tienen las mismas unidades; P = Presión barométrica media (mbar);  $e_s$  = Presión de vapor media a saturación (mbar);  $e_a$  = Presión de vapor actual (mbar);  $r_a$  = Resistencia aerodinámica al calor sensible y la transferencia de vapor ( $día km^{-1}$ ).

#### Determinación de las Condiciones de Estabilidad

Las condiciones de estabilidad atmosférica son función de la magnitud de los gradientes de temperatura y velocidad del viento entre dos alturas. Según Rosenberg (1974), el número de Richardson (Ri) se calcula para determinar las condiciones de estabilidad atmosférica, el cual indica: si es positivo existen condiciones estables, si es cero hay condiciones de estabilidad neutral y si es negativo prevalecen condiciones de inestabilidad; este parámetro se calculó para cada uno de los días (9, 10, 11 y 14 de julio de 1998 de 0 a 24:00 h), mediante la siguiente ecuación:

$$Ri = \left[ g \left( \frac{d\theta}{dz} \right) \right] * \left[ Ta \left( \frac{dU}{dZ} \right)^2 \right]^{-1} \quad (15)$$

Donde: g = Aceleración de la gravedad ( $980 cm s^{-2}$ );  $d\theta/dZ$  y  $dU/dZ$  = Gradientes de temperatura potencial y velocidad del viento, respectivamente; Ta = Temperatura promedio medida a dos alturas (K).

#### Medición de la Evapotranspiración con el Lisímetro de Pesada

En el Cuadro 1 se presentan las observaciones de la evapotranspiración registradas por el lisímetro de pesada cada media hora para las 24 horas del 9 de julio de 1998. La evapotranspiración se calculó a través del balance hídrico, teniendo en cuenta que la evapotranspiración es igual al peso inicial, menos el peso final, más la lluvia, menos el drenaje. Este procedimiento se realizó para todos los demás días que se reportan en este artículo (10, 11 y 14 de julio de 1998).

## RESULTADOS Y DISCUSION

#### Obtención de la Evapotranspiración con los Diferentes Métodos

Con las variables meteorológicas, medidas en las estaciones automáticas descritas, para cada uno de los días de la investigación, se procedió en primer lugar a verificar el balance de energía y, posteriormente, se calculó la evapotranspiración con cada uno de los métodos:

Cuadro 1. Cálculo utilizado para obtener la evapotranspiración por diferencia de peso (en  $\text{mm h}^{-1}$ ) mediante el lisímetro, para el día 9 de julio de 1998, de 0 a 24:00 h. Montecillo, Edo. de México.

Hora	Peso kg	Dif.		Lluvia		Lámina	
		salida	entrada	mm	mm	$\text{mm h}^{-1}$	$\text{mm d}^{-1}$
0:00	1070.5	0.0			0.00	0.15	6.87
0:30	1070.0	-0.5			0.15		
1:00	1070.0	0.0			0.00	0.15	
1:30	1069.5	-0.5			0.15		
2:00	1069.5	0.0			0.00	0.15	
2:30	1089.0	-0.5			0.15		
3:00	1069.0	0.0			0.00	0.15	
3:30	1068.5	-0.5			0.15		
4:00	1068.5	0.0			0.00	0.15	
4:30	1068.0	-0.5			0.15		
5:00	1068.0	0.0			0.00	0.15	
5:30	1068.0	0.0			0.00		
6:00	1067.5	-0.5			0.15	0.15	
6:30	1067.5	0.0			0.00		
7:00	1067.5	0.0			0.00	0.00	
7:30	1067.0	-0.5			0.15		
8:00	1067.0	0.0			0.00	0.15	
8:30	1087.0	0.0			0.00		
9:00	1066.5	-0.5			0.15	0.15	
9:30	1066.5	0.0			0.00		
10:00	1085.5	0.0			0.00	0.00	
10:30	1065.0	-0.5			0.15		
11:00	1063.0	-2.0			0.62	0.77	
11:30	1063.0	0.0			0.00		
12:00	1061.5	-1.5			0.46	0.48	
12:30	1060.0	-1.5			0.46		
13:00	1058.5	-1.5			0.46	0.93	
13:30	1057.5	-1.0			0.31		
14:00	1057.0	-0.5			0.15	0.46	
14:30	1058.0	-1.0			0.31		
15:00	1055.0	-1.0			0.31	0.62	
15:30	1053.5	-1.5			0.46		
16:00	1053.0	-0.5			0.15	0.62	
17:00	1052.0	-1.0			0.31	0.31	
17:30	1050.5	-0.5			0.15		
18:00	1050.0	-0.5			0.15	0.31	
18:30	1051.0		1	0.35	0.04		
19:00	1050.0	-1.0			0.31	0.35	
19:30	1049.5	-0.5			0.15		
20:00	1050.5		1	0.35	0.04	0.20	
20:30	1049.5	-1.0			0.31		
21:00	1049.5	0.0			0.00	0.31	
21:30	1049.5	0.0			0.00		
22:00	1049.5	0.0			0.00	0.00	
22:30	1049.0	-0.5			0.15		
23:00	1049.0	0.0			0.00	0.15	
23:30	1049.0	0.0			0.00		
24:00	1049.0	0.0			0.00	0.00	

### Balace de Energía

Para verificar el comportamiento del balance de energía se aplicó la Ecuación 5. En la Figura 1 se presentan las gráficas de los flujos de radiación neta,

calor latente de evaporación, calor sensible y calor del suelo, para cada hora del día 9 de julio de 1998.

En la Figura 1, se observa que durante el periodo de las 0 a las 7:00 h los flujos de radiación neta y calor sensible son negativos, en tanto que los flujos de



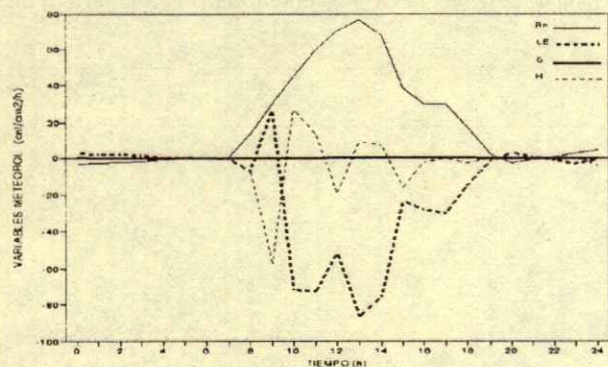


Figura 1. Balance de energía correspondiente al día 9 de julio de 1998, de 0 a 24:00 h. Montecillo, Edo. de México.

calor latente de evaporación, y el flujo de calor del suelo fueron positivos, lo que indicó que la superficie del suelo se estaba enfriando, y durante este período ocurre condensación sobre la cobertura del cultivo siendo más evidente entre las 8:00 y las 9:00 h. De las 7:00 a 19:00 h, el flujo de radiación neta fue positiva, y el flujo de calor latente de evaporación fue negativo. Respecto al calor sensible, se observa que para ese día estuvo cambiando de positivo a negativo debido a la nubosidad que se presentó, mientras que el flujo de calor del suelo permaneció casi sin cambio. Después de las 19:00 a las 24:00 h, la radiación neta fue ligeramente negativa, esto indica que en la noche el aire de la superficie cercana al suelo se enfrió.

Los cálculos para cada una de las metodologías se hizo por intervalos de una hora, ya que el lisímetro se programó para que registrara las lecturas cada 30 minutos.

#### Determinación de la Evapotranspiración por el Método de Thornthwaite-Holzman

Con la Ecuación 1 se estimó la evapotranspiración, observándose en los Cuadros resumen del 2 al 5 que este método estimó la evapotranspiración en  $\pm 85\%$  respecto al lisímetro de pesada; esta variación fue motivada principalmente porque no se presentaron condiciones de estabilidad neutral y a la mala ubicación de la estación, ya que por los obstáculos existentes a los alrededores del área de estudio no se da oportunidad a que se forme el perfil logarítmico de la velocidad del viento y también probablemente a la falta de precisión de los sensores de velocidad del viento que no registran velocidades del viento menores que  $10 \text{ cm s}^{-1}$  y a que no se

Cuadro 2. Evapotranspiración estimada por diferentes métodos para el día 9 de julio de 1998, de 0 a 24:00 h. Montecillo, Edo. de México.

Método	Evapotranspiración	
	mm día <sup>-1</sup>	%
Método de Thornthwaite-Holzman	2.80	- 59
Método Aerodinámico	3.24	- 53
Método del Balance de energía (Relación de Bowen)	7.33	+ 7
Método del Sistema de Bowen obtenido directamente	5.64	- 18
Método de Penman-Monteith	7.32	+ 7
Método del Lisímetro <sup>†</sup>	6.87	Referencia

<sup>†</sup> Método de referencia.

presentaron condiciones de estabilidad neutral, condiciones requeridas para la aplicación de este método. La sobrestimación de la evapotranspiración que puede observarse en los Cuadros 3 y 4 superó 100% a la registrada en el lisímetro de pesada, para los días 10 y 11 de julio, esto se debió a las condiciones de inestabilidad que prevalecieron durante los días de observación. Esto se comprueba con el número de Richardson que se muestra en el Cuadro 6, con los valores negativos de las 9:00 a las 23:00 h; durante las horas diurnas se tuvieron valores negativos, lo que indicó que existió inestabilidad atmosférica.

#### Determinación de la Evapotranspiración por el Método Aerodinámico

Mediante la Ecuación 2 se estimó la evapotranspiración para los días de estudio; en los Cuadros 2, 3 y 5 se muestra que este método subestima la evapotranspiración en 53, 26 y 79% respecto al método lisimétrico, para los días 9, 10 y 14 de julio, respectivamente. La subestimación se

Cuadro 3. Evapotranspiración estimada por diferentes métodos para el día 10 de julio de 1998, de 0 a 24:00 h. Montecillo, Edo. de México.

Método	Evapotranspiración	
	mm día <sup>-1</sup>	%
Método de Thornthwaite-Holzman	10.58	+ 105
Método Aerodinámico	3.83	- 26
Método del balance de energía (Relación de Bowen)	4.70	- 9
Método del Sistema de Bowen obtenido directamente	6.68	+ 29
Método de Penman-Monteith	10.19	+ 97
Método del Lisímetro <sup>†</sup>	5.17	Referencia

<sup>†</sup> Método de referencia.

**Cuadro 4. Evapotranspiración estimada por diferentes métodos para el día 11 de julio de 1998 de 0 a 24:00 h. Montecillo, Edo. de México.**

Método	Evapotranspiración	
	mm día <sup>-1</sup>	%
Método de Thornthwaite-Holzman	4.37	+ 145
Método Aerodinámico	7.96	+ 36
Método del Balance de energía (Relación de Bowen)	4.08	- 30
Método del Sistema de Bowen obtenido directamente	4.46	- 24
Método de Penman-Monteith	5.10	- 13
Método del Lisímetro <sup>†</sup>	5.87	Referencia

<sup>†</sup> Método de referencia.

debió principalmente a que esta ecuación únicamente considera los factores aerodinámicos que promueven la evapotranspiración y no toma en cuenta los factores energéticos como se ve más adelante con los siguiente métodos. La sobrestimación de 36% con respecto a la evapotranspiración del lisímetro para el día 11 de julio, y que se observa en el Cuadro 4, se puede explicar que es debida al funcionamiento inadecuado de los anemómetros y a las mismas razones explicadas en el método anterior.

#### Determinación de la evapotranspiración por el Método del Balance de Energía (Relación de Bowen)

Para estimar la evapotranspiración por esta metodología, se usó la Ecuación 7, observándose en el Cuadro 2 que este método sobrestimó en 7% al método lisimétrico, para el día 9 de julio de 1998; esta sobrestimación de la evapotranspiración se debió a que  $\beta$  está en función de las diferencias de temperatura del aire y la presión de vapor actual, por

**Cuadro 5. Evapotranspiración estimada por diferentes métodos para el día 14 de julio de 1998 de 0 a 24:00 h. Montecillo, Edo. de México.**

Método	Evapotranspiración	
	mm día <sup>-1</sup>	%
Método de Thornthwaite-Holzman	4.53	- 33
Método Aerodinámico	1.39	- 79
Método del Balance de energía (Relación de Bowen)	5.83	- 13
Método del Sistema de Bowen obtenido directamente	6.69	- 1
Método de Penman-Monteith	5.74	- 15
Método del Lisímetro <sup>†</sup>	6.74	Referencia

<sup>†</sup> Método de referencia.

lo que cuando la diferencia entre las temperaturas medidas a dos alturas es grande y las diferencias entre la presión de vapor actual medida también a dos alturas es pequeña, el valor de  $\beta$  se hace grande, entonces el método tiende a sobrestimar la evapotranspiración, ya que el mismo está principalmente en función de la temperatura. En los Cuadros 3, 4 y 5, también se puede observar que este método subestimó la evapotranspiración en 9, 30 y 13% para los días 10, 11 y 14 de julio de 1998, respectivamente, debido a que  $\beta$  resultó pequeño motivado por condiciones de inestabilidad atmosférica. Este método que, en promedio, estima la ET en más o menos 15% para los días de observación es uno de los métodos que mejor estimó la evapotranspiración para las condiciones del tiempo que se presentaron. Las diferencias en la estimación pueden deberse a que la localización de la estación no es adecuada para hacer las observaciones, ya que a menos de 100 m de su localización existen construcciones y árboles que interfirieron al no permitir que se formara el perfil logarítmico de la velocidad del viento. Para futuros trabajos se recomienda, cuando se tengan estos inconvenientes, obtener de alguna manera los coeficientes de transporte turbulento vertical para calor y vapor de agua y no considerar que son iguales.

#### Determinación de la Evapotranspiración por el Método del Sistema de Bowen

Este método utiliza para la estimación de la evapotranspiración una estación automática marca Campbell Scientific, modelo 21X. Esta estación también se programó para que registrara las variables meteorológicas cada 20 minutos. La estimación de la evapotranspiración se hizo con las Ecuaciones 9 a 13; se observa en los Cuadros 2 a 5 que este método estimó la ET en más o menos 18%, con respecto al método lisimétrico, para los días 9, 10, 11 y 14 de julio de 1998 de las 0 a las 24:00 h; estas variaciones en la estimación de la evapotranspiración se deben a condiciones de inestabilidad. Este método, al igual que el método del Balance de energía, fue el que mejor estimó la evapotranspiración para las condiciones del sitio donde se llevó a cabo la investigación, no obstante todas las condiciones adversas antes indicadas.

Cuadro 6. Láminas acumuladas por cada método micrometeorológico correspondiente al día 9 de julio de 1998 de 0 a 24:00 h. Montecillo, Edo. de México.

Hora	Ri	M.T-H	M.Aerod.	M.R.B.	M.S.B.	M.Lis.
----- mm h <sup>-1</sup> -----						
0	-0.5555	0.2178	0.0306	0.0462	-0.0067	-0.1543
1	0	0	0	0.0410	-0.0064	-0.1543
2	0	0	0	0.0381	-0.0080	-0.1543
3	0	0	0	0.0290	-0.0061	-0.1543
4	0	0	0	0.0119	-0.2060	-0.1543
5	0	0	0	0.0057	-0.0122	-0.1543
6	0	0	0	-0.0008	-0.0456	-0.1543
7	0	0	0	-0.0073	0.0397	0
8	0	0	0	-0.1242	-0.7000	-0.1543
9	-0.4527	0.1286	0.0181	0.4642	-0.1092	-0.1543
10	-1.1176	0.6102	0.0858	-1.2366	-0.6681	0
11	-1.0806	0.5490	0.4978	-1.2467	-0.4819	-0.7716
12	-0.1414	-0.0690	-0.0886	-0.8817	-0.4450	-0.4630
13	-0.8139	0.3509	0.7986	-1.4799	-0.6152	-0.9259
14	-2.2294	0.0300	-0.0535	-1.2916	-0.2182	-0.4630
15	-2.0403	-0.0600	0.0606	-0.3993	-0.2958	-0.6173
16	-2.4194	-0.3179	-0.1605	-0.4840	0.0223	-0.6173
17	-1.8104	0.0666	-0.0663	-0.5178	-0.4984	-0.3086
18	-2.2717	0.3265	0.5122	-0.2549	-0.6461	-0.3086
19	-2.9546	-0.8790	-0.9829	-0.0325	-0.0743	-0.3496
20	-2.2423	-0.8729	-0.9198	0.0513	-0.5676	-0.1953
21	-2.0411	-1.0809	-1.3131	0.0167	-0.0161	-0.3086
22	-2.0656	-1.2089	-1.1913	-0.0180	-0.0114	0
23	-1.8124	-0.5941	-0.4643	-0.0550	-0.0062	-0.1543
24	0	0	0	-0.0077	-0.0589	0
Suma		-2.8032	-3.2366	-7.3339	-5.6414	-6.8721

Ri = Número de Richardson. M.T-H = Método de Thornthwaite-Holzman. M.Aerod. = Método Aerodinámico. M.R.B. = Método Relación de Bowen. M.S.B. = Método del Sistema de Bowen. M.Lis. = Método Lisimétrico.

### Determinación de la Evapotranspiración por el Método de Penman-Monteith

Con la Ecuación 14 se estimó la evapotranspiración. En los Cuadros 2 a 5 se muestra que este método estimó la evapotranspiración en más o menos 11.6% con respecto a la medida en el lisímetro de pesada, descartando el valor muy exagerado del día 10 de julio de 1998. Las variaciones de la evapotranspiración son motivadas por condiciones de inestabilidad tanto atmosféricas como de viento, ya que este método está compuesto por los componentes energético y aerodinámico y, además, considera, en forma genérica, la resistencia de la cubierta vegetal al transporte del vapor de agua a la atmósfera. Este método es el que mejor estimó la evapotranspiración durante los días de la investigación, es decir, para los días 9, 11 y 14 de julio.

### CONCLUSIONES

De los métodos micrometeorológicos analizados para estimar la evapotranspiración con respecto al lisímetro de pesada, el método de Penman-Monteith, el de Balance de energía (Relación de Bowen), así como el Sistema de Bowen proporcionaron una mejor predicción de la evapotranspiración (Cuadros 2 a 5).

Los métodos de Thornthwaite-Holzman y Aerodinámico subestiman y sobrestiman, respectivamente, la evapotranspiración en mayor proporción que los otros métodos estudiados.

Para mejorar los resultados del método del balance de energía es necesario estimar los valores del  $K_v$  y el  $K_h$  y no considerar que son iguales.

### RECOMENDACIONES

Dado que los métodos micrometeorológicos analizados subestiman y sobrestiman la evapotranspiración con respecto al lisímetro de

pesada, se considera necesario continuar con este tipo de estudios, en otros lugares en que las estaciones tengan suficiente Fetch (área libre de obstáculos) para que se forme el perfil logarítmico de la velocidad del viento.

Antes de dar inicio a una investigación de este tipo, es importante verificar la calibración, tanto del lisímetro de pesada como el instrumental meteorológico que vaya a ser utilizado. Se recomienda que las estaciones automáticas utilicen anemómetros más sensibles capaces de medir velocidades del viento bajas.

Es necesario que la persona que vaya a operar las estaciones automáticas tenga un previo entrenamiento en el manejo de las mismas, para prever cualquier anomalía que se presente en el desarrollo de la investigación; también es necesario hacer una precalibración para verificar el funcionamiento del equipo.

Se recomienda realizar este tipo de estudios en diferentes zonas agrícolas del país, con diferentes condiciones climáticas y con diferentes tipos de cultivos, con la finalidad de determinar cuáles de los métodos micrometeorológicos estiman mejor la evapotranspiración en la zona.

#### LITERATURA CITADA

- Aguilera, C. y R. Martínez E. 1996. Relaciones Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. 4a ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Bowen, I.S. 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev.* 2: 779-787.
- Campbell Scientific, Inc. 1995. Bowen ration system. Instruction manual. Logan, UT.
- Lopez E., J., L. Tijerina Ch., G. Haro A. y R. Arteaga R. 1991. Calibración de fórmulas de evapotranspiración mediante un cultivo de alfalfa como referencia en el área de Montecillo, Estado de México. *Agrociencia* 2: 55-72.
- Ludlow, M.M. 1970. Effect of oxygen concentration on leaf photosynthesis and resistances to carbon dioxide diffusion. *Plant* 91: 285-290.
- Palacios V., E. 1995. Curso gerencial sobre sistemas de riego presurizado. Colegio de Postgraduados. Distrito Federal, México.
- Peña P., E. 1974. Proyecto y construcción de un lisímetro de pesada y estructura inalterada. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Rosenberg, N.J. 1974. Microclimate. The biological environment. John Wiley. New York.
- Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 1997. Capítulo 2, parte 623. Requerimientos de agua para riego. Traducido por la Comisión Nacional del Agua y el Colegio de Postgraduados. Distrito Federal, México.
- Thornthwaite, C.W. y B. Holzman. 1942. Measurement of evaporation from land and water surfaces. *US Dept. Agr. Tech. Bull.* 817: 75.
- Tijerina Ch., L. 1992. Uso eficiente del agua en unidades de riego para el desarrollo rural. Diplomado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Wallace, J.M. y P.V. Hobbs. 1977. Atmospheric science: An introductory survey. Academic Press. New York.
- Zermefio G., A., E. Palacios V. y C. Ramírez A. 1988. Respuesta de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) a diferentes niveles de humedad aprovechable residual en el suelo en tres etapas fenológicas en su desarrollo. *Agrociencia* 73: 217-226.