

# TERRA

## Latinoamericana



Órgano Oficial de Divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Abril • Junio de 2017 • Volumen 35 • Número 2 ISSN 2395-8030

# TERRA LATINOAMERICANA

ABRIL – JUNIO DE 2017 • VOLUMEN 35 • NÚMERO 2

<http://www.terralatinoamericana.org.mx>

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

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

**Terra Latinoamericana** está incluida en el índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del CONACyT

**Terra Latinoamericana** está incluida en la red de colecciones de revistas científicas SciELO México.

**Terra Latinoamericana** está incluida en la Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal (REDALyC).

**Terra Latinoamericana** está incluida en la lista de revistas de acceso libre, científicas y académicas del Directory of Open Access Journals (DOAJ)

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

# TERRA LATINOAMERICANA

## COMITÉ EDITORIAL

### EDITORA

**Dra. Mariela Hada Fuentes Ponce**  
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco

### COEDITOR

**Dr. David Espinosa Victoria**  
Colegio de Postgraduados Campus Montecillo

### EDITORES ADJUNTOS

**Dr. Jorge D. Etchevers Barra**  
Colegio de Postgraduados

**Dr. Manuel Sandoval Villa**  
Colegio de Postgraduados

**Dra. Claudia Hidalgo Moreno**  
Colegio de Postgraduados

**Dr. Fernando De León González**  
Universidad Autónoma Metropolitana

**Dra. Norma E. García Calderón**  
Universidad Nacional Autónoma de México

**Dr. David Cristóbal Acevedo**  
Universidad Autónoma Chapingo

**Dra. Elizabeth Hernández Acosta**  
Universidad Autónoma Chapingo

### EDITORA DE ESTILO EN INGLÉS

**Diane Fumiko Miyoshi Udo**

### EDITORA DE FORMATO

**Rosa María López Atilano**

---

### EQUIPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

**Eva Geraldina Vázquez Martínez**

### WEBMASTER

**Lic. Cristopher Escalera de la Rosa**

### Fotografía Portada

**Cristián Reyna**

---

### EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

Dr. Antonio Turrent Fernández  
Dr. Carlos Ortiz Solorio  
Dr. Enrique Palacios Vélez  
Dr. Gabriel Alcántar González  
Dr. Javier Z. Castellanos Ramos  
Dr. Juan José Peña Cabriaes  
Dr. Manuel Anaya Garduño  
Dr. Oscar L. Palacios Vélez  
Dr. Ronald Ferrera Cerrato

---

### EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

Dr. Alberto Hernández  
Dr. Bernardo Van Raij  
Dr. Christian Prat  
Dr. Daniel Buschiazio E.  
Dr. Donald L. Suarez  
Dr. Eric S. Jensen  
Dr. Fernando Santibañez Q.  
Dra. Floria Bertsch Hernández  
Dr. Hari Eswaran  
Dr. Héctor J. M. Morrás  
Dr. Jorge A. Delgado  
Dr. José Aguilar Ruiz  
Dr. José M. Hernández Moreno  
Dr. Juan F. Gallardo Lancho  
Dr. Karl Stahr  
Dr. Narciso Pastor Saez  
Dr. Rafael Villegas Delgado  
Dr. Renato Grez Z.  
Dr. Walter Luzio Leighton  
Dr. Winfried E. H. Blum

Cuba  
Brasil  
Francia  
Argentina  
EE. UU.  
Dinamarca  
Chile  
Costa Rica  
EE. UU.  
Argentina  
EE. UU.  
España  
España  
España  
Alemania  
España  
Cuba  
Chile  
Chile  
Austria

# TERRA LATINOAMERICANA

## EDITORIAL COMMITTEE

### EDITOR

**Dra. Mariela Hada Fuentes Ponce**  
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco

### COEDITOR

**Dr. David Espinosa Victoria**  
Colegio de Postgraduados Campus Montecillo

### ASSOCIATE EDITORS

**Dr. Jorge D. Etchevers Barra**  
Colegio de Postgraduados

**Dr. Manuel Sandoval Villa**  
Colegio de Postgraduados

**Dra. Claudia Hidalgo Moreno**  
Colegio de Postgraduados

**Dr. Fernando De León González**  
Universidad Autónoma Metropolitana

**Dra. Norma E. García Calderón**  
Universidad Nacional Autónoma de México

**Dr. David Cristóbal Acevedo**  
Universidad Autónoma Chapingo

**Dra. Elizabeth Hernández Acosta**  
Universidad Autónoma Chapingo

### ENGLISH EDITOR

**Diane Fumiko Miyoshi Udo**

### FORMAT EDITOR

**Rosa María López Atilano**

---

### EDITORIAL STAFF

**Eva Geraldina Vázquez Martínez**

### WEBMASTER

**Lic. Christopher Escalera de la Rosa**

### Cover Photograph

**Cristián Reyna**

---

### NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

Dr. Antonio Turrent Fernández  
Dr. Carlos Ortiz Solorio  
Dr. Enrique Palacios Vélez  
Dr. Gabriel Alcántar González  
Dr. Javier Z. Castellanos Ramos  
Dr. Juan José Peña Cabriales  
Dr. Manuel Anaya Garduño  
Dr. Oscar L. Palacios Vélez  
Dr. Ronald Ferrera Cerrato

---

### INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

Dr. Alberto Hernández  
Dr. Bernardo Van Raij  
Dr. Christian Prat  
Dr. Daniel Buschiazzi E.  
Dr. Donald L. Suarez  
Dr. Eric S. Jensen  
Dr. Fernando Santibañez Q.  
Dra. Floria Bertsch Hernández  
Dr. Hari Eswaran  
Dr. Héctor J. M. Morrás  
Dr. Jorge A. Delgado  
Dr. José Aguilar Ruiz  
Dr. José M. Hernández Moreno  
Dr. Juan F. Gallardo Lancho  
Dr. Karl Stahr  
Dr. Narciso Pastor Saez  
Dr. Rafael Villegas Delgado  
Dr. Renato Grez Z.  
Dr. Walter Luzio Leighton  
Dr. Winfried E. H. Blum

Cuba  
Brasil  
Francia  
Argentina  
EE. UU.  
Dinamarca  
Chile  
Costa Rica  
EE. UU.  
Argentina  
EE. UU.  
España  
España  
España  
Alemania  
España  
Cuba  
Chile  
Chile  
Austria

# TERRA LATINOAMERICANA

SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO A. C.

## MESA DIRECTIVA 2016-2018

Presidente	<b>Dr. Enrique Troyo Diéguez</b>
Vicepresidente	<b>Dr. Juan Pedro Flores Margez</b>
Secretario General	<b>Dr. Félix Alfredo Beltrán Morales</b>
Tesorera	<b>Dra. Norma Eugenia García Calderón</b>
Secretario de Relaciones Públicas	<b>Dr. Juan Manuel Covarrubias Ramírez</b>
Secretario Técnico	<b>Dr. Juan Manuel Cortés Jiménez</b>
Secretario de Eventos Nacionales e Internacionales	<b>M.C. Baltazar Corral Díaz</b>
Coordinador de Comité de Apoyo	<b>Dra. Catarina Loreda Osti</b>
Primer Vocal	<b>Dr. Armando Guerrero Peña</b>
Segundo Vocal	<b>Dra. Claudia Isabel Hidalgo Moreno</b>

## TERRA LATINOAMERICANA

Órgano Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C.  
Abril - Junio de 2017 Volumen 35 · Número 2

**ISSN ELECTRÓNICO 2395-8030**

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 versión electrónica conforme a las Normas para Publicación en la Revista TERRA LATINOAMERICANA a:

<http://www.revistas-conacyt.unam.mx/terra/index.php/terra/author/submit>

Editor de la Revista TERRA LATINOAMERICANA. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C.  
Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, estado de México, México.

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

**Teléfono:** 01(595) 95 2 17 21

# TERRA LATINOAMERICANA

MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

## BOARD 2016-2018

President	<b>Dr. Enrique Troyo Diéguez</b>
Vicepresident	<b>Dr. Juan Pedro Flores Margez</b>
Secretary	<b>Dr. Félix Alfredo Beltrán Morales</b>
Treasurer	<b>Dra. Norma Eugenia García Calderón</b>
Public Relations	<b>Dr. Juan Manuel Covarrubias Ramírez</b>
Technical Adviser	<b>Dr. Juan Manuel Cortés Jiménez</b>
National and International Events	<b>M.C. Baltazar Corral Díaz</b>
Coordinator Support Committee	<b>Dra. Catarina Loredó Osti</b>
Voters	<b>Dr. Armando Guerrero Peña</b> <b>Dra. Claudia Isabel Hidalgo Moreno</b>

## TERRA LATINOAMERICANA

Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science  
April - June, 2017 Volume 35 · Number 2

### ISSN 2395-8030 (Online)

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 electronic version must be sent to:

<http://www.revistas-conacyt.unam.mx/terra/index.php/terra/author/submit>

Editor de la Revista TERRA LATINOAMERICANA, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.  
Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, estado de México, México.

**Office address:** Soils Department building  
Universidad Autónoma Chapingo  
56230 Chapingo, Estado de México.

**Telephone:** +52 (595) 952 17 21

# TERRA

# LATINOAMERICANA

ABRIL - JUNIO DE 2017 • VOLUMEN 35 • NÚMERO 2  
APRIL - JUNE, 2017 • VOLUME 35 • NUMBER 2

- 89** Modelación de caudales en función de los macroporos del suelo en una microcuenca forestal de Durango, México.  
Modeling runoff components as a function of soil macropores in a forest watershed of Durango, Mexico.  
*José Návar, Liliana Lizárraga Mendiola y Marco A. Jiménez Gómez*
- 101** Los suelos del área de influencia del Códice Santa María Asunción y su representación pictórica.  
Soils of the area of influence of Santa María Asunción Codex and the pictorial representation.  
*Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena, Carlos Alberto Ortiz Solorio, Beatriz Stephanie Fernández Galán, Edgar Vladimir Gutiérrez Castorena y Tania González Vargas*
- 113** Presencia de agentes potenciales causantes de infecciones subcutáneas humanas en suelo y plantas en el estado de Puebla, México.  
Presence in soil and plants of potential agents causing human subcutaneous infections in the state of Puebla, Mexico.  
*Alejandra P. Espinosa Taxis, Dalia Castillo Hernández, Miriam Díaz Hernández y Francisca Hernández Hernández*
- 123** Cambios edáficos en islas de fertilidad y su importancia en el funcionamiento de un ecosistema del valle de Tehuacán Puebla, México.  
Edaphic changes in fertility islands and their importance for performance of an ecosystem in the Tehuacan Valley, Puebla, Mexico.  
*Daniel Jesús Muñoz Iniestra, Mauricio Chávez Mosqueda, Héctor Octavio Godínez Álvarez y Norma Alejandra Cuéllar Arellano*
- 135** Agricultura familiar para el desarrollo rural incluyente.  
Family agriculture for inclusive rural development.  
*Laksmi Reddiar Krishnamurthy, Sumithra Krishnamurthy, Indumathi Rajagopal y Arturo Peralta Solares*

# TERRA

## LATINOAMERICANA

- 149** Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo.  
Organic milpa: yields of maize, beans, and squash in mono- and polycropping systems.  
*Roland Ebel, José Gonzalo Pozas Cárdenas, Florencio Soria Miranda y Jesús Cruz González*
- 161** Aplicación de inóculos líquidos de microorganismos nativos en el suelo: efecto en el crecimiento de plántulas de maíz.  
Application of native microbial inocula to the soil: effect on maize seedlings growth.  
*Saúl Mendoza Sánchez, Andrés Zepeda Hernández, Erendira Gabriela Campeche Calixto y Fidel Adolfo Payán Zelaya*
- 169** Inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afroditita en invernadero.  
Inoculation of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afroditita with plant growth-promoting rhizobacteria.  
*Bernardo Espinosa Palomeque, Alejandro Moreno Reséndez, Pedro Cano Ríos, Vicente de Paul Álvarez Reyna, Jorge Sáenz Mata, Homero Sánchez Galván y Gabriela González Rodríguez*
- 179** Calidad de Andosols en sistemas forestal, agroforestal y agrícola con diferentes manejos en Zacatlán, Puebla.  
The quality of Andosols under forestry, agroforestry and agricultural management in Zacatlán, Puebla.  
*Jonathan Omar Hernández Ordoñez, Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena, Carlos Alberto Ortiz Solorio, Patricio Sánchez Guzmán y Efraín Ángeles Cervantes*



# Modelación de caudales en función de los macroporos del suelo en una microcuenca forestal de Durango, México

## *Modeling runoff components as a function of soil macropores in a forest watershed of Durango, Mexico*

José Návar<sup>1‡</sup>, Liliana Lizárraga Mendiola<sup>2</sup> y Marco A. Jiménez Gómez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Profesor de Hidrología Forestal y Manejo de Cuencas Hidrológicas. Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Tamps. Blvd. Emilio Portes Gil No. 1301 Pte. 87010 Cd. Victoria, Tamps., México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (jose.navar@itvictoria.edu.mx)

<sup>2</sup> Profesora de Química Ambiental, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Ingeniería. Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, Col. Carboneras. 42184 Mineral de la Reforma, Pachuca, Hidalgo, México.

<sup>3</sup> Profesor de Estadística, Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Blvd. Emilio Portes Gil No. 1301 Pte. 87010 Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

### RESUMEN

La predicción de caudales en suelos forestales y el efecto potencial de la silvicultura son importantes en el manejo forestal. En este reporte de investigación se probó el efecto de la presencia y ausencia de macroporos en el suelo en la producción de caudales utilizando un balance hidrológico de masas. Con mediciones de la precipitación diaria (P) y la evaporación en evaporímetros (Et), desde 1945 hasta 2007 y utilizando submodelos para estimar la interceptación (I) y la evapotranspiración potencial (Etp), se calcularon las descargas superficiales (Qs), subsuperficiales (Qp), y los cambios en el contenido de humedad del suelo ( $\theta$ ) para la microcuenca La Rosilla II del Salto, Pueblo Nuevo en el Estado de Durango, México. Los resultados del análisis matemático mostraron que la falta de macroporos aumentó Qs en 149 mm pero disminuyó Qp a 0; así mismo la evapotranspiración actual (Eta) aumentó de 506 mm hasta 541 mm y el valor promedio de  $\theta$  cambió de 0.43 a 0.38 cm cm<sup>-1</sup>. Como consecuencia, la ausencia de macroporos trae consigo la falta de caudales de infiltración profunda por la eliminación de la recarga y el aumento de la escorrentía superficial durante la época de lluvias y un aumento en el agua disponible para Eta. Es por estas razones que las prácticas de manejo forestal deben de estar encaminadas al mantenimiento de los bosques que cumplan al mismo tiempo con los objetivos del manejo forestal, destinado a la producción de bienes, y con su efecto regulador en la hidrología de los suelos forestales para cumplir con uno de los objetivos de los servicios que prestan los ecosistemas forestales.

**Palabras clave:** *manejo forestal, bienes y servicios, balance hídrico, modelos físicamente basados, regresión no-lineal.*

### SUMMARY

The prediction of streamflow production with mathematical techniques and the potential relationship to silvicultural practices in forest soils is important in conventional and sustainable forest management. In this paper, we report the effect of the presence and absence of soil macropores in streamflow production using a mass balance approach. Using daily measurements of precipitation (P) and pan evaporation (Et) from 1945 to 2007 and sub-models to estimate forest interception (I) and potential evapotranspiration (Etp), surface runoff (Qs), sub-surface runoff (Qp), and changes in soil moisture content ( $\theta$ ) were calculated for the watershed La Rosilla II of El Salto, P.N., Durango, México. The results showed that absence of soil macropores increases Qs by 139 mm but diminishes Qp to 0. Actual evapotranspiration, Eta, increases from 506 mm to 541 mm and the average value of  $\theta$  decreases from 0.43 to 0.38. As a consequence, the absence of soil macropores leads to lack of deep infiltration by eliminating water recharge and augmenting surface runoff during the rainy season, which increases water available for Eta. Therefore, forest management practices must work towards forest maintenance to meet the objectives of conventional forest management to provide goods as well as to regulate the water cycle of forest soils to comply with one of the services furnished by forest ecosystems.

#### Cita recomendada:

Návar, J., L. Lizárraga Mendiola y M. A. Jiménez Gómez. 2017. Modelación de caudales en función de los macroporos del suelo en una microcuenca forestal de Durango, México. *Terra Latinoamericana* 35: 89-100.

Recibido: agosto de 2016. Aceptado: enero de 2017.  
Publicado en *Terra Latinoamericana* 35: 89-100.

**Index words:** *forest management, goods and services, water balance, physically-based models, no lineal regression.*

## INTRODUCCIÓN

Los suelos forestales regulan el ciclo hidrológico (Swank *et al.*, 2001; Jarvis, 2007), reducen los problemas de inundaciones por las altas tasas de infiltración locales (Robichaud, 2000; Laurance, 2007), mantienen los manantiales, ojos de agua y veneros activamente fluyendo durante la época de estiaje, lo que da vida a los arroyos y ríos y en consecuencia a las comunidades riparias en sequías inter-estivales (Baker y Mace, 2007). En regiones áridas y semi-áridas más del 90% del agua que transita por los cauces fue infiltrada profundamente en las regiones montañosas aledañas (Viviroli and Weingartner, 2004; Liniger and Weingartner, 2005).

Los suelos forestales presentan estratos bien definidas, con un horizonte orgánico, por lo general horizontes A, B, y a continuación el material parental. El material rocoso se encuentra generalmente fracturado por la intemperización, la penetración de las raíces de los árboles, por una combinación de ambos o por otros procesos (Laurance, 2007). El paso del agua de la superficie a las capas profundas se realiza a través de los macroporos que resulta de las presiones positivas que se generan localmente en la matriz del suelo (Návar *et al.*, 1995; 1996). Los macroporos son perforaciones dentro de la matriz del suelo que poseen dimensiones mayores que 2 mm de diámetro que incluyen: raíces vivas, en descomposición, conductos hechos por nemátodos e insectos, grietas de desecación, espacios estructurales del suelo, entre otros (Jarvis, 2007). En contraste, los mesoporos o microporos del suelo conducen el agua y el transporte de los químicos siguiendo preferencialmente las leyes del flujo laminar. Las raíces vivas, en descomposición y totalmente descompuestas, los conductos perforados por nemátodos, hormigas y otros insectos y las grietas estructurales del suelo y material rocoso permiten la percolación del agua a sitios de mayor profundidad a velocidades que se ajustan a las leyes cinemáticas y son los principales procesos que recargan acuíferos (Beven y Germann, 1982; Smettem, 2009).

Estudios recientes han demostrado la importancia relativa de los macroporos en el transporte del agua a pesar de su limitada variación espacial (Buttle y

McDonald, 2002; Jarvis, 2007) y de transporte de contaminantes (Turton *et al.*, 1995; Skovdal *et al.*, 2004). Sin embargo, los mecanismos que controlan el flujo del agua a través de los macroporos del suelo sigue siendo un tema controversial (Návar *et al.*, 1996; Hutchinson and Moore, 2000; Weiler, 2001; Jarvis, 2007).

El papel que juegan las estructuras macroporosas del suelo en el flujo del agua es dinámico en el tiempo, entre y dentro de una misma tormenta y en espacio (Návar *et al.*, 1995; McDonnell, 1990). Factores tales como la intensidad de la lluvia y el contenido inicial de humedad del suelo parecen determinar el tipo y número de macroporos que participan activamente en el transporte del agua y contaminantes durante una lluvia (Smettem, 2009; Alaoui *et al.*, 2011). Sin embargo, a escalas intermedias de tiempo, estas estructuras pueden ser perturbadas, modificadas, reducidas o eliminadas de un suelo forestal y cambiar sutilmente los regímenes hidrológicos, sobretudo la producción de escorrentía superficial, sub-superficial y la recarga de acuíferos. La apertura de caminos, de los carriles de arrime y arrastre, las prácticas de sobrepastoreo con diversos animales, los incendios forestales a través del percolado de materia orgánica parcialmente quemada, pero sobre todo el cambio de uso del suelo y el cambio de las especies forestales con diferentes hábitos radiculares pueden modificar substancial y permanentemente el número, las dimensiones y la profundidad de las estructuras macroporosas del suelo forestal (Robichaud, 2000; Williamson y Neilsen, 2000; Jégou *et al.*, 2002; Drewry *et al.*, 2008).

En vista de la importancia que reviste el volumen de macroporos de los suelos forestales en la regulación del ciclo hidrológico, esta investigación tuvo como objetivos a) investigar el efecto de la presencia-ausencia de macroporos en los cambios hidrológicos y b) describir los mejores sistemas de manejo forestal que cumplan con los objetivos primarios de extracción de trocería y secundarios de la conservación de los regímenes hidrológicos de la microcuenca 'La Rosilla II' de Durango, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la microcuenca La Rosilla II en la región del Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México. La microcuenca tiene una superficie de 944 ha y se localiza en la cuenca del Río Presidio en

la Región Hidrológica No. 11 del Presidio-San Pedro. La microcuenca se localiza en la porción centro – norte de México, dentro de las coordenadas geográficas extremas, en su posición septentrional,  $23^{\circ} 41' 12.6''$  N,  $-105^{\circ} 25' 2.9''$  O; en su zona oriental  $23^{\circ} 42' 33.9''$  N,  $-105^{\circ} 23' 27.7''$  O; en su posición más al norte  $23^{\circ} 43' 55.2''$  N y  $-105^{\circ} 25' 2.9''$  O, y en su posición occidental  $23^{\circ} 42' 33.9''$  N,  $-105^{\circ} 26' 37.9''$  O (Figura 1). La microcuenca se eleva desde los 2500 hasta los 2900 m sobre el nivel medio del mar. El clima templado frío predomina en las más altas estribaciones y el clima templado en las estribaciones bajas de la microcuenca (García, 1987). En la parte alta las precipitaciones sobrepasan los 1000 mm anuales, mientras que en las partes bajas la precipitación anual promedio es de 850 mm. El gradiente de precipitación en las vertientes orientales de la cuenca es de aproximadamente 40 mm por cada 100 m de altitud (Návar, 2014). Los bosques templados cubren la totalidad de la microcuenca; donde dominan los bosques puros de pino en las más altas estribaciones y los bosques de pino-encino en las zonas intermedias. Los suelos predominantes son los Litosoles y los Regosoles.

### El Balance Hidrológico de los Suelos Forestales.

En este reporte se utilizó un método físico indirecto, clasificado como la técnica del balance de masas que mide las entradas, salidas y cambios del agua en el suelo (Viessman *et al.*, 2007). La entrada

del agua por la lluvia que se almacena en el suelo es el excedente de la precipitación que logra traspasar la barrera de la interceptación. La entrada de agua o tasa de infiltración es alta en suelos forestales (Swank *et al.*, 2001; Viessman *et al.*, 2007) y en suelos de la SMOcc de Durango, en México esta tasa se sobrepasa solo en lluvias intensas que se presentan con una frecuencia promedio cada 2 años (Dueñez *et al.*, 2006). Parte del agua que sobrepasa la barrera de la interceptación humedece el suelo y cuando éste se satura, el contenido de agua entre la capacidad de campo y el punto de saturación escurre superficial o sub-superficialmente y parte se percola hacia mayores profundidades para recargar acuíferos. El contenido de agua por arriba del punto de saturación escurre libremente por la superficie del suelo siguiendo los gradientes de gravedad como flujo de saturación dando origen al proceso del área dinámica que contribuye al escurrimiento durante la lluvia (Viessman *et al.*, 2007). Para estimar los cambios en el contenido de humedad del suelo ( $\theta$ ), el balance de masas consideró la entrada por la precipitación y las pérdidas de agua por: a) interceptación, b) evapotranspiración y c) escorrentía.

El contenido del agua se calculó con el volumen de poros del suelo mineral y orgánico. La salida de agua del suelo se calculó como el contenido de agua gravitacional, que escurre y se encuentra entre los contenidos de agua a la capacidad de campo y al punto de saturación o con menos de 1/3 de bar de presión (Hillel, 2013). Cuando los suelos se saturan ocurre

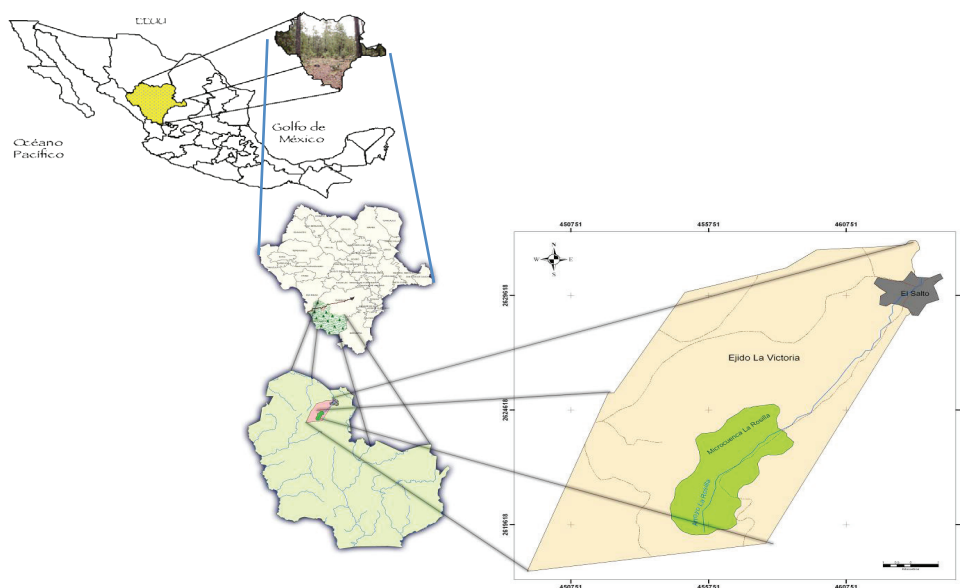


Figura 1. Ubicación de la Microcuenca ‘La Rosilla’ en el estado de Durango, México.

el escurrimiento superficial y saturado. La ecuación del balance de masas dentro del suelo se presenta en los modelos (1), (2), (3), (4) y (5).

$$E - S = \frac{\partial A}{\partial t}; E = P \quad (1)$$

$$S = (I + Et + Tr + Qs + Qp); Eta = f(Et + Tr); Etp = f(Et) \quad (2)$$

$$P - (I + Eta + Qs + Qp) = \frac{\partial A}{\partial t} \quad (3)$$

$$Q = Qs + Qp \quad (4)$$

$$Q = P - (I + Eta) \pm \frac{\partial A}{\partial t} \quad (5)$$

La precipitación (P) se registró en pluviómetros. La evaporación (Et) se midió en evaporímetros. Estas dos variables fueron registradas en la estación climática El Salto de donde se tomaron los datos. Eta se calcula comúnmente con la ecuación de Penman-Monteith (Viessman *et al.*, 2007) o con la ecuación de física de suelo (Hillel, 2013), reportada por la ecuación 7, y está regulada por el contenido de agua del suelo, la evapotranspiración potencial (Etp) y el tipo de vegetación. En ausencia de mediciones micrometeorológicas, Eta se calculó con un modelo como se explica mejor en la ecuación (7). La Etp está en función de Et. La escorrentía superficial (Qs) se midió en secciones del cauce con el uso de correntómetros. La escorrentía que sale fuera del alcance de las raíces (Qp) y drena hacia los acuíferos se calculó convencionalmente con el contenido del agua gravitacional del suelo. La interceptación (I) es el volumen de agua que se utiliza en humedecer la vegetación y el mantillo orgánico y regresa a la atmósfera sin haber contribuido al aumento de la humedad del suelo y se calcula con la diferencia de la precipitación (P) menos la translocación (Th) y la escorrentía cortical (S).

En esta investigación I se estimó con el modelo reformulado de Gash (Gash *et al.*, 1995; Valente *et al.*, 1997), cuya ecuación se presenta en el modelo (6):

$$\sum_{j=1}^{n+m} I_j = n(c)P'_G + (c\bar{E}_c/\bar{R}) \sum_{j=1}^n (P'_{Gj} - P'_G) + (c) \sum_{j=1}^m P_{Gj} + qS_c + p_i \sum_{j=1}^{n-q} P_{Gj} \quad (6)$$

donde: c = la proporción del suelo sin cobertura forestal; Ec = la tasa de evaporación del agua interceptada ponderada por la cobertura forestal; R = la intensidad de la lluvia sobre la cobertura; P'\_G = cantidad de lluvia necesaria para iniciar la redistribución de la lluvia sobre el suelo; q = la precipitación de lluvias que no sobrepasan P'\_G; S\_c = la cantidad de agua necesaria para saturar la cobertura forestal; P'\_i = la proporción de la lluvia que es escorrentía cortical. P\_Gj es la cantidad de lluvia del evento j. n es el número de lluvias que saturan la cobertura forestal y m es el número de lluvias que producen escorrentía cortical.

Los parámetros del modelo para bosques mixtos, bosques de encino y bosques de pino se extrajeron de Nívar (2011) y de Nívar (2013). La evapotranspiración real (Eta), se calculó con la ecuación 7 que incluye la evapotranspiración potencial, Etp, que está en función de la evaporación en tanques (Et), el factor climático (Fc), el factor de cobertura forestal (Ftv); y se encuentra ponderada por el contenido del agua del suelo. El factor de ponderación se calculó con el contenido inicial de agua del suelo ( $\theta_i$ ), el contenido de agua del suelo al punto de marchitamiento permanente ( $\theta_{pmp}$ ) y a la capacidad de campo ( $\theta_{cc}$ ).

$$Eta = \frac{Ln \left[ 100 * \frac{\theta_i - \theta_{pmp}}{\theta_{cc} - \theta_{pmp}} \right]}{Ln(101)} * Etp * Fc * Ftv \quad (7)$$

El modelo (7) estima la evapotranspiración actual o real, la cual está regulada por el tipo de cobertura forestal (Hillel, 2013). El factor Etp fue calculado como  $Et \times 0.95$ . El contenido final de agua del suelo en forma proporcional se estimó a partir del balance hídrico de masas, donde  $\theta_i = \theta_{i-1} \pm [Precipitación_{i-1} - Interceptación_{i-1} - Eta - Qs - Qp]$ . En este documento, la nomenclatura i-1 se refiere al tiempo inmediato anterior, que para este propósito en la escala temporal diaria es del día anterior. El modelo se alimentó con los parámetros siguientes del suelo: profundidad del suelo = 21 cm, contenido del agua del suelo al punto de marchitamiento permanente,  $\theta_{pmp} = 0.27$ ; contenido de agua del suelo al punto de capacidad de campo ( $\theta_{cc} = 0.51$ ); y contenido de agua del suelo al punto de saturación de la porosidad del suelo ( $\theta_s = 0.63$ ); con el parámetro climático de factor de conversión de Et a Etp = 0.95; el parámetro de vegetación (Ftv) = 1.25;

y los parámetros de la interceptación ( $c$ ) = 0.058;  $E_c$  = 2.64;  $R$  = 12.66;  $P'_G$  = 0.25;  $q$  = 0.058;  $S_c$  = 0.135;  $P_t$  = 0.039. Los parámetros del suelo fueron tomados de Nívar (2011). Los datos de física de suelos fueron derivados de 12 muestras extraídas aleatoriamente de la microcuenca 'La Rosilla II'. Las muestras de suelo de la microcuenca se analizaron con respecto a las siguientes variables: profundidad del suelo en cm ( $20 \pm 13$ ), densidad aparente ( $0.82 \pm 0.09$  g cm<sup>-3</sup>), densidad real ( $2.24 \pm 0.05$  g cm<sup>-3</sup>), capacidad de campo ( $0.51 \pm 0.12$  cm cm<sup>-1</sup>) y punto de marchitamiento permanente ( $0.27 \pm 0.06$  cm cm<sup>-1</sup>). Los datos de densidad aparente y densidad real indican que el suelo tiene una porosidad promedio (desviación estándar) de  $0.63$  cm cm<sup>-1</sup> (0.03).

### Los Macroporos del Suelo

Las mediciones directas del volumen de los macroporos del suelo son difíciles de realizar en campo. Por esta razón, las estimaciones indirectas a través del contenido de agua en el suelo y de la descarga de agua de suelos forestales se han empleado como estimadores de estas estructuras (Nívar *et al.*, 1995). En este reporte se usó el contenido de agua del suelo cuando se encuentra entre la capacidad de campo (-1/3 bar de succión) y el contenido de agua al punto de saturación (0 bar de succión), consistente con: a) el agua que drena gravitacionalmente por tres días, b) el cambio agudo de la curva de retención del agua del suelo (contenido del agua del suelo en función de la succión o la energía con la cual es retenida) y c) el quiebre de la curva de la conductividad hidráulica no saturada en función del contenido de agua o la succión del suelo (Van Genuchten, 1980).

El balance hidrológico de masas se corrió utilizando las ecuaciones 5, 6 y 7; cuando el contenido actual de agua del suelo ( $\theta_i$ ) sobrepasa  $0.63$  cm cm<sup>-1</sup> se produce la escorrentía superficial y el caudal de saturación ( $Q_s$ ). Cuando el contenido de agua del suelo sobrepasa de  $0.51$  cm cm<sup>-1</sup> hasta  $0.63$  cm cm<sup>-1</sup> se produce la percolación profunda, drenaje de agua fuera de la zona radicular, o recarga de acuíferos y escorrentía subsuperficial ( $Q_p$ ). Para que haya movimiento de agua por los macroporos deben de existir potenciales de presión positivos en la matriz del suelo; es por esta razón que el agua que se encuentra a menos de 1/3 de bar de succión no drena libremente por estas perforaciones o conductos de agua.

Se graficaron las descargas superficiales (con y sin macroporos) y la descarga sub-superficial (con

macroporos) en función de la precipitación total anual para ajustar ecuaciones de regresión. Estas ecuaciones facilitan los cálculos de los tres tipos de escorrentía con solo la precipitación anual en lugar de utilizar todo el balance hidrológico de masas a escala diaria. El modelo del balance de masas usa un tipo de análisis de sensibilidad para obtener información sobre el efecto de los macroporos en la recarga de acuíferos y no utiliza datos reales en su validación por la dificultad que presenta su obtención y por la naturaleza de los acuíferos profundos en la SMOcc. El modelo fue originalmente asociado con la superficie y el número de incendios y la superficie incendiada para el Estado de Durango, México como un indicador de su realidad y los resultados mostraron una excelente correlación validando así su uso posterior (Nívar, 2015).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El balance hidrológico de masas fue altamente sensible a la presencia-ausencia de macroporos en el suelo forestal de la microcuenca 'La Rosilla II', cambiaron drásticamente  $E_t$ ,  $Q_s$ ,  $Q_p$  y  $\theta$  (Cuadro 1).

Los registros de la parte baja de la microcuenca (estación climática del Salto, P.N., Durango, México) muestran que la precipitación promedio anual para el periodo de 1945-2006 fue de 855 mm. El balance hidrológico de masas estimó que en promedio, 93 (11%) se interceptan, 506 (59%) se evapotranspiran y 255 mm (30%) producen caudales superficiales, sub-superficiales y subterráneos. Los caudales superficiales se aproximan en promedio a 81 mm (9%) cuando existen macroporos en el suelo, en la microcuenca de referencia (Cuadro 1). Si se consideran los caudales totales como fuentes de salida de agua de los suelos, la descarga total que sale por los ríos se aproxima al 30% de la precipitación total. Este porcentaje es consistentemente mayor que los datos reportados por Nívar (2008) en su balance hídrico para el estado de Durango, quien calculó que los caudales superficiales explican aproximadamente el 15.5% del destino de la precipitación promedio anual para el estado. De acuerdo con estimaciones anuales de la presente investigación, entre el 30 y el 50% es caudal base y el restante es caudal directo. El contenido promedio del agua del suelo es de  $0.38$  cm cm<sup>-1</sup> cuando el punto de saturación es de  $0.63$  cm cm<sup>-1</sup> o el contenido de agua a capacidad de campo es de  $0.51$  cm cm<sup>-1</sup>.

**Cuadro 1. Balance hidrológico de masas calculado con y sin macroporos en un suelo forestal de la microcuenca ‘La Rosilla II’ de Durango, México.**

Años	P	I	Sin macroporos				Con macroporos			
			Et	Eta	Qs	θ	Eta	Q	Qs	θ
			mm				mm			
1945	827.50	90.30	1149.10	636.27	116.98	0.40	610.26	143.24	26.39	0.37
1946	853.70	93.13	1135.50	640.58	117.19	0.41	596.86	163.67	0.00	0.37
1947	902.40	98.48	1043.05	635.62	138.46	0.41	611.41	163.69	31.72	0.37
1948	1012.90	110.63	1130.18	765.01	162.41	0.43	715.39	214.70	62.72	0.38
1949	670.90	73.23	724.90	507.52	60.29	0.45	455.01	108.79	0.00	0.39
1952	279.40	30.48	433.90	217.66	0.00	0.36	216.10	19.03	0.00	0.36
1953	1022.00	111.64	1075.42	729.94	194.21	0.44	671.98	242.20	122.94	0.39
1954	382.50	41.73	871.10	381.57	0.00	0.37	354.91	17.29	0.00	0.34
1955	1007.50	110.06	1035.38	562.74	348.71	0.43	515.64	395.23	157.28	0.37
1956	567.00	61.89	1013.90	425.39	79.61	0.36	399.02	106.08	37.79	0.33
1957	555.00	60.61	767.78	418.74	70.80	0.38	368.53	124.09	30.17	0.34
1958	158.20	17.28	284.93	137.19	8.70	0.36	110.91	31.84	0.00	0.33
1959	457.10	49.93	814.33	353.81	39.09	0.34	337.49	55.59	0.00	0.33
1960	759.00	82.97	915.15	523.10	145.49	0.41	456.49	214.01	40.77	0.36
1961	741.70	81.07	883.54	548.25	90.72	0.43	499.39	150.21	0.00	0.38
1962	880.00	96.11	925.70	569.21	232.19	0.42	539.43	258.24	60.14	0.37
1963	1224.60	133.79	902.30	623.08	431.27	0.47	607.28	462.86	253.39	0.40
1964	782.90	85.44	785.05	618.86	136.32	0.48	572.32	162.20	0.00	0.40
1965	933.00	102.01	885.06	497.43	283.82	0.41	467.46	334.25	109.95	0.37
1966	1235.10	135.00	833.47	699.42	392.33	0.51	657.36	426.91	87.82	0.43
1967	1242.40	135.86	864.08	585.17	510.64	0.46	541.59	562.02	227.82	0.40
1968	1413.40	154.59	875.41	685.85	571.51	0.51	647.61	609.74	248.44	0.43
1969	871.80	95.32	834.49	588.56	192.21	0.45	532.91	247.91	125.92	0.39
1970	883.00	96.54	873.24	585.96	271.06	0.45	528.48	303.54	122.18	0.38
1971	705.50	77.12	929.71	520.24	105.98	0.39	490.16	137.83	25.55	0.35
1972	1073.20	117.33	939.41	588.87	298.19	0.46	577.14	333.13	57.18	0.40
1973	1044.50	114.19	906.00	646.70	354.57	0.45	597.41	378.89	82.16	0.39
1974	1066.00	116.43	779.42	477.36	401.76	0.41	460.77	443.29	191.24	0.37
1975	763.30	83.39	948.03	518.00	218.31	0.43	468.31	248.78	32.56	0.37
1976	938.50	102.59	852.78	520.37	254.75	0.44	501.83	292.52	111.91	0.38
1977	713.50	77.98	826.90	560.46	145.54	0.45	515.40	170.02	25.24	0.38
1978	1162.80	127.14	884.35	537.24	476.91	0.41	509.21	504.26	93.01	0.37
1979	643.30	70.33	674.58	395.21	189.77	0.37	350.32	233.23	54.29	0.33
1980	769.90	84.18	638.48	409.35	250.13	0.45	399.66	280.96	89.88	0.39
1981	419.60	45.87	206.49	180.42	162.93	0.53	170.99	173.94	69.19	0.43
1982	779.00	85.12	572.85	454.43	240.43	0.51	408.94	285.88	121.29	0.42
1983	1102.80	120.41	839.52	682.35	362.33	0.52	634.84	392.13	178.95	0.43

Xp = promedio; S.D. = desviación estándar; I.C. = intervalo de confianza; P = precipitación total anual (mm); I = interceptación anual (mm); Et = evaporación en evaporímetros (mm); Eta = evapotranspiración actual o real (mm); Qs = escorrentía superficial (mm); Qp = escorrentía subsuperficial y recarga de acuíferos (mm); Q = escorrentía total (superficial, subsuperficial y profunda) (mm); θ = contenido del agua del suelo (cm cm<sup>-1</sup>). Note que algunos años la precipitación es baja; esto se debe a lo incompleto de la serie de tiempo en estos años. Note que Qp = Q-Qs.

**Cuadro 1 (continuación). Balance hidrológico de masas calculado con y sin macroporos en un suelo forestal de la microcuenca ‘La Rosilla II’ de Durango, México.**

Años	P	I	Sin macroporos				Con macroporos			
			Et	Eta	Qs	$\theta$	Eta	Q	Qs	$\theta$
			mm				mm			
1984	755.20	82.40	851.31	465.47	149.03	0.41	436.07	195.49	27.14	0.36
1985	1018.40	111.19	922.15	612.30	327.38	0.44	564.01	353.00	183.64	0.38
1986	1098.00	119.90	902.07	598.07	353.38	0.45	576.83	393.99	253.95	0.39
1987	406.90	44.45	253.59	220.56	126.77	0.55	211.02	140.28	62.54	0.45
1988	868.50	94.83	999.57	628.47	179.69	0.43	579.94	220.07	31.08	0.38
1989	785.00	85.68	935.73	571.15	116.08	0.44	536.92	156.04	93.61	0.38
1990	136.00	14.85	241.97	158.10	14.12	0.43	132.86	16.86	0.00	0.37
1991	1208.50	132.07	1012.54	543.59	473.07	0.42	519.70	521.72	196.64	0.37
1992	1265.30	138.26	995.09	719.01	421.86	0.48	668.69	471.53	268.21	0.41
1993	960.80	104.98	1002.32	611.18	290.58	0.42	543.83	333.81	149.25	0.36
1994	961.70	105.04	1066.03	604.29	232.75	0.40	571.88	265.86	76.00	0.36
1995	774.10	84.55	1054.99	497.55	196.53	0.38	473.66	219.95	65.02	0.35
1996	910.80	99.49	960.91	537.01	266.53	0.41	520.93	285.59	35.16	0.37
1997	999.50	109.12	923.75	749.34	142.67	0.49	703.07	190.10	77.32	0.42
1998	660.60	72.11	926.39	521.37	88.39	0.41	487.76	117.61	0.00	0.36
1999	770.00	84.06	996.75	527.67	156.46	0.38	507.79	176.86	38.22	0.35
2000	786.50	85.83	999.22	598.42	102.29	0.41	573.49	126.99	0.00	0.37
2001	938.00	102.41	996.75	579.21	231.28	0.40	559.56	253.34	32.83	0.37
2002	943.00	102.99	996.75	637.35	196.26	0.41	613.34	239.43	87.96	0.37
2003	953.00	104.07	996.75	652.67	196.26	0.42	609.50	239.43	87.96	0.37
2004	1258.50	137.45	999.21	760.37	387.91	0.49	709.48	422.97	78.58	0.41
2005	892.50	97.50	996.75	573.57	227.51	0.42	519.87	275.14	39.09	0.37
2006	1098.00	119.91	996.75	640.06	302.46	0.43	626.37	319.74	104.01	0.38
Xp	854.90	93.39	868.05	540.58	220.58	0.43	505.76	255.47	81.10	0.38
S.D	270.40	29.56	211.41	142.57	134.42	0.04	135.72	138.00	73.50	0.03
I.C	68.42	7.48	53.49	36.07	34.01	0.01	34.34	34.92	18.60	0.01

Xp = promedio; S.D. = desviación estándar; I.C. = intervalo de confianza; P = precipitación total anual (mm); I = interceptación anual (mm); Et = evaporación en evaporímetros (mm); Eta = evapotranspiración actual o real (mm); Qs = escorrentía superficial (mm); Qp = escorrentía subsuperficial y recarga de acuíferos (mm); Q = escorrentía total (superficial, subsuperficial y profunda) (mm);  $\theta$  = contenido del agua del suelo ( $\text{cm cm}^{-1}$ ). Note que algunos años la precipitación es baja; esto se debe a lo incompleto de la serie de tiempo en estos años. Note que  $Qp = Q - Qs$ .

El balance hídrico de masas mostró que los suelos permanecen la mayor parte del tiempo semi-secos, con  $\theta$  cercanos al punto de marchitamiento permanente ( $\theta_{\text{pmp}} = 0.27 \text{ cm cm}^{-1}$ ); lo que explica la alta incidencia de incendios forestales. Existe evidencia en la microcuenca ‘La Rosilla II’ y en general en los bosques templados de Durango de que los incendios forestales tienen una frecuencia de 1 cada 15 años (Návar, 2015; Drury y Veblen, 2008; Fule y Covington, 1994). Los incendios forestales retroalimentan la pérdida de producción de

caudales sub-superficiales o de recarga de acuíferos por espacios cortos de tiempo. El destilado de materia orgánica parcialmente quemada hacia las partes inferiores del suelo, sella el sistema poroso del suelo y reduce considerablemente la infiltración (DeBano, 2000; Alanís *et al.*, 2000; Nyman *et al.*, 2010). Como consecuencia, la escorrentía superficial se incrementa posterior a la presencia de incendios en bosques templados con la concurrente producción de erosión superficial (Alanís *et al.*, 2000; 2009).

Los bajos contenidos de humedad del suelo calculados por el balance hídrico de masas (en promedio  $\theta = 0.43$  sin macroporos y  $\theta = 0.38$  con macroporos) son también un factor limitante en la productividad forestal de los bosques de la zona de estudio. Se ha encontrado que el crecimiento radial de las pináceas se relaciona positivamente con los altos contenidos de agua en el suelo en las etapas tempranas de la primavera en la región norte de México (González-Elizondo *et al.*, 2005; Návar y Lizárraga-Mendiola, 2014). Lluvias invernales abundantes ocasionadas por el efecto El Niño/Oscilación del Sur aumentan preferencialmente los contenidos del agua del suelo y en ocasiones esporádicas producen escorrentías importantes (Návar, 2012). Sin embargo, estas condiciones se presentan en el norte de México solo una vez cada 3 a 7 años (Cavazos y Hastenrath, 1990) mientras que en el resto del tiempo prevalecen condiciones de La Niña o de sequía invierno-primaveral y de los inicios del verano. Los monsoones, asociados con el canal de convergencia inter-tropical son los fenómenos que traen consigo lluvias importantes de Julio a Septiembre, en la etapa tardía del crecimiento de los árboles.

### **Efecto de la Falta de Macroporos en la Hidrología del Suelo**

Las simulaciones con el modelo del balance hidrológico de masas mostraron que la Eta aumentó en promedio de todos los años de 505 a 541 mm en la ausencia de macroporos en el suelo (Cuadro 1). Esto es, la Eta incrementó en 35 mm anuales (14% del total normal). Por el contrario, en presencia de los macroporos, la escorrentía total ( $Q_s + Q_p$ ) aumentó en 35 mm. Esta cantidad representa igualmente el 4% de cambio en el caudal con respecto a la precipitación promedio anual y en el 14% con respecto al caudal total.

Cuando no hay macroporos en el suelo la  $\theta_s$  se modificó de 0.63 a 0.51, el cambio más notorio sucedió en la escorrentía profunda ( $Q_p$ ) se redujo a 0 y toda la escorrentía que se presenta es por la vía superficial y casi exclusivamente durante la época de lluvias abundantes. En la ausencia de macroporos en el suelo, se producen 221 mm de escorrentía superficial y cuando existen estas estructuras,  $Q_s$  se reduce a 81 mm. Es decir, existe un diferencial de 140 mm de escorrentía sub-superficial, lo que equivale a casi el doble ( $\approx 172\%$ ) de mayor escorrentía sub-superficial que superficial

en la presencia de macroporos del suelo. El contenido de biomasa radicular se ha asociado en forma positiva con el volumen de macroporos y como consecuencia con la tasa final de infiltración (Jarvis, 2007; Yang *et al.*, 2007). Por esta razón, los diferentes tipos de bosques juegan un papel diferente en la regulación del ciclo hidrológico a través de la recarga de los mantos acuíferos porque poseen cantidades diferenciales de macroporos explicados parcialmente por la biomasa radicular. Por ejemplo, en Corea del Sur los bosques de *Quercus* poseen tasas finales de infiltración mayores que los bosques de *Abies* como consecuencia de las más altas cantidades de biomasa radicular (Yang *et al.*, 2007).

La cantidad de agua que se infiltra superficial y profundamente con el sistema de macroporos equivale en promedio a 140 mm por año. De estos, es altamente probable que, un tercio contribuya al hidrograma de corrientes durante las lluvias de Julio-Septiembre; entonces, 59 mm que emergen sub-superficialmente y 81 mm que se producen superficialmente contabilizan aproximadamente los 140 mm. Este valor equivale al 16% de la precipitación total anual y es similar a los calculados por los balances hidrológicos derivados de los caudales de los ríos que drenan de la SMOcc (Návar, 2008). Los restantes 116 mm probablemente se encuentren emergiendo allende las fronteras del estado de Durango o durante la producción del caudal base en las épocas inter-estivales secas, durante sequías importantes. Otra posibilidad es que este volumen de agua se encuentre almacenado en la misma cadena de montañas y se esté liberando lentamente vía veneros, manantiales, ojos de agua. Esta cantidad de agua almacenada tiene relevancia al denominar a las montañas como las torres verticales de almacenamiento de este vital líquido (Viviroli y Weingartner, 2004; Liniger y Weingartner, 2005) que escurre lenta y probablemente por periodos largos en varias regiones de la SMOcc. Existen ríos sobre todo a lo largo de la vertiente occidental de la SMOcc (Ríos Baluarte, Presidio, Humaya, Piaxtla, San Lorenzo, San Pedro, entre otros) y oriental (Nazas) que no han reportado su total desecación aún en sequías decadales como la de los 1950's o la de los 1990's (Návar, 2012). Sequías inter-anales máximas históricamente registradas, como la reportada en 2010-2012 tampoco han logrado impactar la continuidad en el flujo de varios ríos que nacen en las partes altas de la SMOcc (Návar, 2015).



### Ecuaciones Empíricas que Explican los Diferentes Caudales de la Microcuenca

Los caudales superficiales y sub-superficiales se encuentran estrechamente relacionados con la precipitación total anual (Figura 2). Este comportamiento se explica porque los caudales se presentan preferencialmente durante días consecutivos definidos por lluvias abundantes que ocurren preferencialmente durante la estación de lluvias. Lluvias abundantes aisladas no producen volúmenes importantes de  $Q_s$  ni de  $Q_p$  y solo aumentan parcialmente  $\theta$  cuyo volumen promedio es de aproximadamente 12.6 cm.

Las ecuaciones de potencia se ajustan adecuadamente a los diferentes caudales estimados por el balance hidrológico de masas en el suelo forestal de la microcuenca estudiada. Las diferencias estadísticas entre las pendientes también son claras y significativas ( $P \leq 0.05$ ). El caudal superficial que se genera por la falta de macroporos es mayor que el caudal superficial que se genera con la presencia de estas estructuras porosas. El caudal que recarga acuíferos profundos y que mantiene los ríos fluyendo con agua y la transpiración de las especies forestales durante las épocas de estiaje

es intermedio entre los dos caudales superficiales. Este caudal que se genera por el sistema de macroporos, sin embargo, tiene una pendiente menor en contraste con el resto de los caudales, lo que obedece parcialmente a que no está tanto en función de mayores cantidades de precipitación como son los caudales superficiales. Este caudal está más bien regulado por las características físicas del suelo y la evapotranspiración.

Para que exista caudal superficial anual importante ( $Q_s > 100$  mm) en la presencia de macroporos se requieren de precipitaciones anuales mayores a 1000 mm. Por el contrario, en la ausencia de macroporos del suelo, esta precipitación anual produce caudales superficiales del orden de los 300 mm. Este valor es el triple y conforme aumenta la precipitación anual esta proporción disminuye ligeramente por la diferencia en la pendiente, la cual es mayor en el caudal superficial con macroporos del suelo.

El caudal sub-superficial se presenta aún en lluvias anuales con poco volumen total. Por ejemplo, lluvias anuales de 400 mm generan caudales sub-superficiales y profundos cercanos a los 70 mm con la presencia de macroporos en el suelo forestal. Esto sucede porque las lluvias que se presentan en el estado de Durango

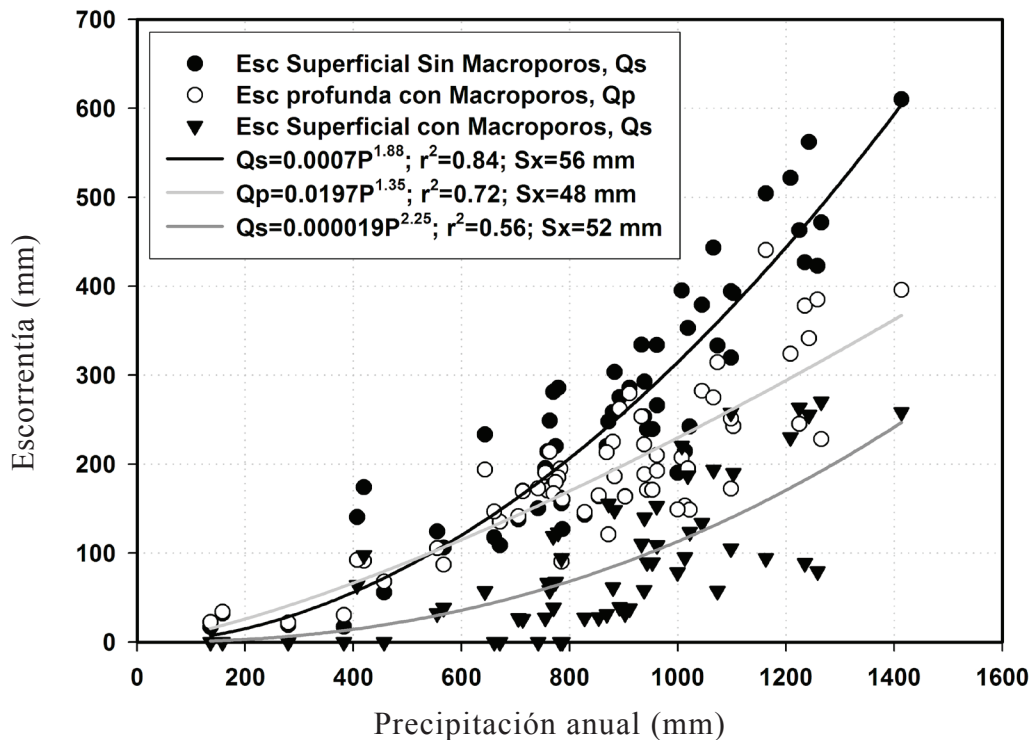


Figura 2. Caudales estimados en función de la precipitación anual con la simulación de macroporos y falta de los mismos en el suelo forestal de la microcuenca 'La Rosilla II' de Durango, México.

tienen intensidades que sobrepasan la interceptación y cambian el contenido de humedad del suelo por arriba de la capacidad de campo. Es decir, las lluvias diarias son continuas y en cantidades importantes sobre todo en la época de monzones que está bien definida de julio a septiembre, con julio y agosto siendo los meses que presentan los mayores promedios mensuales. Este patrón se repite constantemente tanto en años secos, intermedios o lluviosos.

El cálculo de los diferentes tipos de caudales por el método del balance hidrológico de masas se necesita confirmar con otros tipos de estudios. Los diferentes tipos de caudales en los ríos del estado de Durango se deben separar para determinar la vida media de la precipitación infiltrada; de los flujos base y directo y de los diferentes aportes de agua a los cauces. Návar-Cháidez y Lizárraga-Mendiola (2016) reportaron por el método de separación de hidrogramas de corrientes aproximaciones promedio del 50% en caudal base y del 50% como caudal directo para 172 estaciones hidrométricas distribuidas en varias cuencas hidrológicas en el norte de México. Una combinación de la separación hidrológica y química con base en isótopos preferencialmente dará mayor información sobre la vida media del agua en las diferentes cuencas.

### **Volumen de los Macroporos y sus Controles Espacio-Temporales**

El valor obtenido en la presente investigación del volumen de macroporos fue de  $0.12 \text{ cm cm}^{-1}$  ( $0.63\text{-}0.51 \text{ cm cm}^{-1}$ ). Sin embargo, la variabilidad espacial en los diferentes parámetros físicos de los suelos es alta; por ejemplo, el  $\theta_{\text{pmp}}$ ;  $\theta_{\text{cc}}$  y  $\theta_{\text{s}}$  tienen promedios (desviación estándar) de  $0.27$  ( $0.06$ ),  $0.51$  ( $0.12$ ) y  $0.63$  ( $0.03$ )  $\text{cm cm}^{-1}$ , respectivamente. Esta alta variación se debe a diferentes causas naturales y antropogénicas, y explica que en algunas partes de la microcuenca existen condiciones que generan mayores cantidades de recarga de acuíferos que en otras. Este volumen es comparable y consistente con otros estudios en otras partes del mundo. Návar *et al.* (1995; 1996) para las Montañas Ouachita de Arkansas en USA reportan un promedio de  $6 \text{ cm cm}^{-1}$ . Shi *et al.* (2007) encontraron que el área proporcional cubierta por macroporos tuvo un rango de  $0.76 \text{ cm cm}^{-1}$  hasta  $31.3 \text{ cm cm}^{-1}$ , con un promedio de  $10.8 \text{ cm cm}^{-1}$  en las Montañas Liupan del noreste de China. Yang *et al.* (2007) en bosques de coníferas Coreanos encontraron un valor del 6%

de la porosidad no capilar. Los macroporos forman aproximadamente el 5.5% de un suelo forestal en el sureste de Australia (Nyman *et al.*, 2010). En suelos forestales Franceses, Legout *et al.* (2009) midieron  $11 \text{ cm cm}^{-1}$  de espacio cubierto por macroporos. La variabilidad natural del volumen de macroporos en suelos forestales descritos anteriormente es clara y la variación está relacionada con las características de los bosques mismos. La densidad, la diversidad de especies arbóreas y el estado sucesional del bosque parecen explicar estas variaciones. En el modelo del balance hidrológico de masas se muestra que a medida de que aumenta el volumen de macroporos aumenta la recarga de acuíferos y disminuyen la escorrentía superficial y la evapotranspiración actual y que el volumen de macroporos medido en esta investigación produce una recarga de acuíferos equivalente en promedio a  $140 \text{ mm}$  por año.

Los tipos de macroporos reportados comúnmente en la literatura y presentes en los suelos forestales, con excepción de las raíces de árboles vivos que sirven de conductos preferenciales del agua, pueden reducirse fácilmente por la presión a que se someten los suelos. El arrastre de trocería, el sobrepastoreo y el tráfico vehicular ejercen presión sobre el suelo y los macroporos son los primeros en absorber el esfuerzo a través de la reducción de sus dimensiones (Beven y Germann, 1982; Návar *et al.*, 1995; 1996; Nyman *et al.*, 2010). El 10% de la microcuenca está cubierta por caminos de acceso y extracción de trocería, sitios que se han compactado en su volumen de macroporos y como consecuencia al estancamiento de la precipitación. También existe sobrepastoreo que abre caminos de acceso visibles a simple vista en las pendientes de los suelos forestales de la microcuenca. Los carriles de acceso reducen el volumen de macroporos por la compactación y como consecuencia las tasas de infiltración disminuyen drásticamente (Dueñez *et al.*, 2006). La carga animal recomendada es de 1 unidad animal, UA, por cada 20 hectáreas, cuando en la microcuenca existe en promedio 1 UA por cada 5 ha (Manzano y Návar, 2000; Manzano *et al.*, 2000).

Los métodos de manejo forestal comunes a los bosques de la SMOcc de Durango, México son: a) el Método Mexicano de Ordenación de Montes, MMOM y b) El Método de Desarrollo Silvícola, MDS. El primero cumple con los objetivos de mantener el suelo con un buen volumen de macroporos al intervenir selectivamente los árboles adultos y quedando

los bosques en general con una buena cobertura forestal y por consiguiente con un buen volumen de raíces. Solo en las aperturas del dosel por la extracción selectiva se modifica temporalmente el volumen de macroporos.

El segundo método deja el bosque con un mosaico de edades desde la regeneración, latizales, bajos fustales, hasta los bosques maduros. Su impacto en el volumen de los macroporos no se ha determinado aún con un buen nivel de precisión. Este sistema de manejo promueve involuntariamente: a) la reducción de la diversidad arbórea alfa; ya que en los rodales intervenidos con cortas de regeneración se establecen preferencialmente las especies pioneras de la sucesión *P. durangensis*; *P. cooperi* y *P. Engelmannii*, especies que concentran la mayor parte de las raíces en la parte superficial del suelo y b) los sistemas de arrastre y arrime disturban aproximadamente un 10% de la superficie del terreno, propiciando el cambio en la infiltración y produciendo en su mayor parte escorrentía superficial. Es por esta razón que se requieren más investigaciones que describan el impacto del Método de Desarrollo Silvícola en el volumen de macroporos y como consecuencia en el régimen hidrológico de las cuencas forestales para determinar con mayor exactitud el tamaño, forma y distribución de los sitios a intervenir bajo MDS sin modificar substancialmente el proceso de regulación del ciclo hidrológico.

## CONCLUSIONES

En la microcuenca 'La Rosilla II' de Durango, México, el ciclo hidrológico se modifica substancialmente con la eliminación de los macroporos del suelo. En particular se pierde el proceso regulatorio del ciclo hidrológico por los bosques al eliminar la recarga de acuíferos y producir preferencialmente escorrentía superficial. El volumen de macroporos presente fue de  $0.12 \text{ cm cm}^{-1}$  y debería aumentar en promedio a los  $0.15 \text{ cm cm}^{-1}$  que se reportan en su variabilidad dentro de la microcuenca. Este nuevo valor incrementaría la recarga de acuíferos en un 25% y reduciría el caudal superficial y la evapotranspiración real en la misma proporción. Por esta razón, se recomienda mantener los bosques en etapas intermedias de la sucesión por los métodos de manejo forestal existentes. La diversidad de macroporos a diferentes profundidades del suelo continuaría realizando el trabajo de regular el ciclo hidrológico sin menoscabo de la productividad forestal.

## LITERATURA CITADA

- Alanís M., H. E., J. Nívar, and P. A. Domínguez. 2000. The effect of prescribed burning on surface runoff in pine forest stands of Chihuahua, México. *For. Ecol. Manage.* 137: 199-207.
- Alanís M., H. E., J. J. Nívar Ch. y J. G. Flores G. 2009. Impacto de una quema controlada en la infiltración y el escurrimiento superficial en un bosque de pino. pp. 265-274. *In: J. G. Flores-Garnica (ed.). Impacto ambiental de incendios forestales.* Mundi-Prensa. México, D. F. ISBN 978-607-7699-03-3.
- Alaoui, A., U. Caduff, H. H. Gerke, and R. Weingartner. 2011. Preferential flow effects on infiltration and runoff in grassland and forest soils. *Vadose Zone J.* 10: 367-377.
- Baker, M. B. and A. C. Mace. 2007. Factors affecting spring runoff on two forested watersheds. *J. Am. Water Res. Assoc.* 12: 719-730.
- Beven, K. and P. Germann. 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Resour. Res.* 18: 1311-1325.
- Buttle, J. M. and D. J. McDonald. 2002. Coupled vertical and lateral preferential flow on a forested slopes. *Water Resour. Res.* 38: 18-1-18-16. doi: 10.1029/2001WR000773.
- Cavazos, T. and S. Hastenrath. 1990. Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. *Int. J. Climatol.* 10: 377-386.
- DeBano, L. F. 2000. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: A review. *J. Hydrol.* 231-232: 195-206.
- Drewry, J. J., K. C. Cameron, and G. D. Buchan. 2008. Pasture yield and soil physical property response to soil compaction from treading and grazing - A review. *Soil Res.* 46: 237-256.
- Drury, S. A. and T. T. Veblen. 2008. Spatial and temporal variability in fire occurrence within The Las Bayas, forestry reserve. Durango, Mexico. *Plant Ecol.* 19: 299-316.
- Dueñez-Alanís, J., J. Gutiérrez, L. Pérez y J. Nívar. 2006. Manejo silvícola, capacidad de infiltración, escurrimiento superficial y erosión. *Terra Latinoamericana* 24: 233-240.
- Fule, P. Z. and W. Covington. 2004. Fire regime disruption and pine-oak structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *Restor. Ecol.* 2: 261-272.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía UNAM. México, D. F.
- Gash, J. H. C., C. R. Lloyd, and G. Lachaud. 1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *J. Hydrol.* 170: 79-86.
- González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Nívar, M. S. González-Elizondo, J. Villanueva, O. Aguirre, and J. Jiménez. 2005. Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, México: A 1681-2001 rain reconstruction. *For. Ecol. Manage.* 213: 39-53.
- Hillel, D. 2013. *Fundamentals of soil physics.* Academic Press. Washington, DC, USA.
- Hutchinson, D. G. and R. D. Moore. 2000. Throughflow variability on a forested hillslope underlain by compacted glacial till. *Hydrol. Process.* 14: 1751-1766.
- Jarvis, N. 2007. Near-saturated hydraulic properties of macroporous soils. *Vadose Zone J.* 7: 1302-1310.

- Jégou, D., J. Brunotte, H. Rogasik, Y. Capowicz, H. Diestel, S. Schrader, and D. Cluzeau. 2002. Impact of soil compaction on earthworm burrow systems using X-ray computed tomography: Preliminary study. *Eur. J. Soil Biol.* 38: 329-336.
- Laurance, W. F. 2007. Environmental Science: Forests and floods. *Nature* 449: 409-410.
- Legout, A., C. Legout, C. Nys, and E. Dambrine. 2009. Preferential flow and slow convective chloride transport through the soil of a forested landscape (Fougères, France). *Geoderma* 151: 179-190.
- Liniger, H. and R. Weingartner. 2005. Mountains and freshwater supply. FAO Corporate Document Repository. FAO. Rome, Italy.
- Manzano, M. G. and J. Návar. 2000. Processes of desertification by goats overgrazing in the Tamaulipan thornscrub (matorral) in north-eastern Mexico. *J. Arid Environ.* 44: 1-17.
- Manzano, M., J. Návar, M. Pando-Moreno, and A. Martínez. 2000. Overgrazing and desertification in Mexico: Highlights on the northeastern region. *Ann. Arid Zone* 39: 285-304.
- McDonnell, J. J. 1990. A rationale for old water discharge through macropores in a steep, humid catchment. *Water Resour. Res.* 26: 2821-2832.
- Návar, J. 2008. Atlas hidrológico del Estado de Durango. Reporte Final. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F.
- Návar, J. 2011. Stemflow variation in Mexico's northeastern temperate forest communities: its contribution to soil moisture content and aquifer recharge. *J. Hydrol.* 408: 35-42.
- Návar, J. 2012. Modeling annual river discharge of six Mexico's northern rivers. *Ambi. Agua* 7: 36-50. doi:10.4136/1980-993X.
- Návar, J. 2013. The performance of the reformulated Gash's interception loss model in Mexico's northeastern temperate forests. *Hydrol. Process.* 27: 1626-1633. doi: 10.1002/hyp.9309.
- Návar, J. 2014. Spatial and temporal hydro-climatic variability in Durango, Mexico. *Tecnol. Cienc. Agua* 5: 103-123.
- Návar, J. 2015. Hydro-climatic variability and perturbations in Mexico's northwestern temperate forests. *Ecology* 8: 1065-1072. doi: 10.1002/eco.1564.
- Návar, J. J. and L. Lizárraga Mendiola. 2014. Tree-ring growth and hydro-climatic variability in temperate dendrochronologies of northern Mexico. *Agronomía Colombiana* 32: 103-112. <http://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n1.41271>.
- Návar, J. J. and L. Lizárraga Mendiola. 2016. Temporal river flow patterns in Mexico's northern watersheds. *Tecnol. Cienc. Agua* 7: 1-16.
- Návar, J., D. Turton, and E. L. Miller. 1995. Estimating macropore and matrix flow using the hydrograph separation procedure in an experimental forest plot. *Hydrol. Process.* 9: 743-753.
- Návar, J., E. Miller, and D. Turton. 1996. Subsurface flow generation in an experimental forest plot in the Ouachita Mountains of Arkansas. *Geofis. Int.* 35: 595-605.
- Nyman, P., G. Sheridan, and P. N. J. Lane. 2010. Synergistic effects of water repellency and macropore flow on the hydraulic conductivity of a burned forest soil, south-east Australia. *Hydrol. Process.* 24: 2871-2887.
- Robichaud, P. R. 2000. Fire effects on infiltration rates after prescribed fire in Northern Rocky Mountain forests, USA. *J. Hydrol.* 231-232: 220-229.
- Skovdal, J., M. Thorsen, T. Clausen, S. Hansen, and J. Refsgaard. 2004. Modelling of macropore flow and transport processes at catchment scale. *J. Hydrol.* 299: 136-158.
- Shi, Z. J., Y. H. Wang, P. T. Xu, W. Xiong, and D. P. Xu. 2007. Soil macropore characteristics under typical vegetations in Liupan Forest Mountains of northwestern China. *J. Appl. Ecol.* 18: 2675-2680.
- Swank, W. T., J. M. Vose, and K. J. Elliot. 2001. Long-term hydrologic and water quality response following commercial clearcutting of mixed hardwoods on a southern Appalachian catchment. *For. Ecol. Manage.* 143: 163-178.
- Smettem, K. 2009. The relation between runoff generation and temporal stability of soil macropores in a fine sandy loam. *Biologia* 64: 470-473.
- Turton, D. J., D. R. Barnes, and J. J. Návar. 1995. Old and new water in subsurface flow from a forest soil block. *J. Environ. Qual.* 24: 139-146.
- Van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am.* 44: 892-898.
- Viessman, W. J., G. L. Lewis, and J. W. Knapp. 2007. Introduction to hydrology. Harper and Row. New York, NY, USA.
- Viviroli, D. and R. Weingartner. 2004. Mountains: Essential water towers for a thirsty world. pp. 65-72. *In*: B. Webb, M. Acreman, C. Maksimovic, H. Smithers, and C. Kirby (eds.). *Hydrology: Science and Practice for the 21<sup>st</sup> Century*. International Conference at Imperial College for Science, Technology and Medicine. Volume 1. British Hydrological Society. London, UK.
- Weiler, M. H. 2001. Mechanisms controlling macropore flow during infiltration. Dye tracer experiments and simulations. Diss. ETHZ no. 14237. doi: 10.3929/ethz-a-004180115.
- Williamson, J. R. and W. A. Neilsen. 2000. The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid trails during ground-based harvesting. *Can. J. For. Res.* 30: 1196-1205.
- Yang, H., Z. Li, T. F. Pei, A. Z. Wang, C. J. Jin, and J. J. Zhu. 2007. Soil hydro-physical properties under broadleaved Korean pine and dark coniferous forests on northern slope of Changbai Mountains. *For. Ecol.* 18: 272-276.

# Los suelos del área de influencia del Códice Santa María Asunción y su representación pictórica

## *Soils of the area of influence of Santa María Asunción Codex and the pictorial representation*

Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena<sup>1‡</sup>, Carlos Alberto Ortiz Solorio<sup>1</sup>,  
Beatriz Stephanie Fernández Galán<sup>1</sup>, Edgar Vladimir Gutiérrez Castorena<sup>2</sup> y Tania González Vargas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230 Texcoco, Estado de México, México.

<sup>‡</sup> Autora responsable (castor@colpos.mx)

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. Francisco Villa s/n, Ex hacienda "El Canadá". 66050 Gral. Escobedo, N. L., México.

---

### RESUMEN

A pesar de que el Códice de Santa María Asunción (CSMA) ha sido ampliamente estudiado, el levantamiento de suelos en el cual se sustentó para interpretar los glifos de diferentes clases de tierras, fue realizado fuera del área de influencia del código. Reinterpretar los glifos de clases de tierras a través de un estudio de suelos, geomorfología y materiales parentales es el objetivo de la presente investigación. Cinco barrios que aparecen en el CSMA fueron estudiados y se cuantificó la frecuencia de los glifos en cada uno de ellos. Posteriormente, se realizaron recorridos de campo parcela por parcela y se colectaron muestras de suelos y tobas (tepetates) para su análisis en el laboratorio y clasificación taxonómica. Los resultados indicaron que el área de influencia del CSMA está integrada por Regosols/Leptosols (formados a partir de riolita, andesita y tobas), Anthrosols (terrazas) y Fluvisols. Por la frecuencia de los glifos y el tipo de suelo se puede indicar que Tepetatlalli (tepetates) puede representar a las terrazas, Xalallis a agregados granulares (< 3 mm) y suaves y no suelos arenosos; el Tezoquitl a los bloques subangulares/granulares, duros o suaves (< 2 cm) o tierra; Tlalcoztli a las tierras amarillas polvosas y de baja calidad agrícola; en tanto, Atoctlis y Tezoquitl/Xalalli a los suelos aluviales activos y pasivos. Respecto a lo anterior se concluyó que los nahuas clasificaban a las tierras con base en el tamaño de los agregados, consistencia del suelo y origen (natural y artificial) y no por textura ni por color.

**Palabras clave:** *Ethnoedafología, clasificación de suelos, clases de tierras, Anthrosols.*

### SUMMARY

Although the Santa Maria Asunción Codex (SMAC) has been extensively studied, the soil survey on which it was based to interpret the glyphs of different kinds of land was performed outside the area of influence of the codex. Reinterpreting the glyphs of different land classes through a study of soils, geomorphology and parent materials is the objective of this research. Five neighborhoods that appear in the SMAC were studied, and the frequency of the glyphs in each one of them was quantified. Subsequently, plot-by-plot field visits were carried out and samples of soil and tuffs (tepetates) were collected for laboratory analysis and taxonomic classification. The results indicate that the area of influence of the SMAC is composed of Leptosols/Regosols (formed from rhyolite, andesite and tuffs), Anthrosols (terraces) and Fluvisols. The frequency of glyphs and type of soil indicated that Tepetatlalli (tepetates) can represent terraces, Xalallis granular peds (< 3 mm) and non-sandy soils; Tezoquitl subangular blocky/granular peds with hard and soft consistency (< 2 cm); Tlalcoztli dusty yellow land of low agricultural quality; and Atoctlis and Tezoquitl/Xalalli correspond to active and passive alluvial soils, respectively. The conclusion is that the Nahuas classified their lands based on aggregate size, soil consistency, and origin (natural and artificial), and not on texture or color.

**Index words:** *Ethnoedaphology, soil classification, land classes, Anthrosols.*

---

#### Cita recomendada:

Gutiérrez Castorena, M. C., C. A. Ortiz Solorio, B. E. Fernández Galán, E. V. Gutiérrez Castorena y T. González Vargas. 2017. Los suelos del área de influencia del Códice Santa María Asunción y su representación pictórica. *Terra Latinoamericana* 35: 101-111.

---

Recibido: mayo de 2016. Aceptado: diciembre de 2016.  
Publicado en *Terra Latinoamericana* 35: 101-111.

## INTRODUCCIÓN

El Códice de Santa María Asunción (CSMA) es un manuscrito de ochenta folios que se elaboró en el periodo de contacto entre los nativos y los europeos (alrededor de 1546) en Tepetlaoxtoc, Edo. de México y ha sido objeto de una intensa investigación, específicamente relacionada con los censos de población, parcelas (perímetros y superficies), tipos de suelos (taxonomía popular) y su aritmética (Harvey y Williams, 1980; Williams y Ortiz-Solorio, 1981; Williams 1989, 1992, 2006; Williams y Jorge y Jorge, 2008; López-Corral, 2011; Williams y Pierce, 2014).

El título original del CSMA es Apeo y Deslinde de las tierras de Santa María Asunción, es un código que contiene notación pictográfica Nahuatl (específicamente de la división tribal acolhua), y está dividido en 12 barrios (Williams, 2006). Cada barrio está subdividido a su vez en tres partes: Tlacatlacuilolli (censo de población a nivel familiar), Milcocoli (listado de parcelas con datos perimetrales) y Tlahuelmantli (parcelas con información de sus áreas), asociadas con jefes de familias.

Las parcelas tienen uno o varios glifos que representan clases de tierra, las cuales se clasificaron en términos de textura, color y calidad agrícola (Williams y Ortiz-Solorio, 1981; Williams, 2006; Williams y Pierce, 2014). Con base en esta clasificación, en el CSMA se representaron siete clases de tierras: Tlalcoztli (tierra amarilla); Tezoquitl (tierra negra de barro); Xalalli (tierra arenosa); Atoctli (tierras formadas por el acarreo de partículas por el agua); Tlaxtli (tierras de laderas); Tepetlatlalli (tierras recuperadas o tepetates) y Tetlalli (tierras pedregosas). En cuanto a calidad agrícola, Tepetlatlalli son las de menor calidad (Williams, 1972; 1992); mientras que las Tlalcoztli y las Tezoquitl son las más productivas (Sahagún, 1963; Williams y Pierce, 2014). Asimismo, cada clase de tierra puede tener entre dos o más variantes: por ejemplo, Tlalcoztlis (35), Tepetlatlalli (28), Tezoquitl (11), Atoctli (11) de acuerdo con el CSMA. El ambiente volcánico con diversidad de estructuras geológicas (GEM, 1993); además de sedimentos coluviales y aluviales y pequeños domos volcánicos (Williams y Pierce, 2014), pueden ser los factores responsables de esta gran variedad de clases de tierras.

El problema de las investigaciones antes citadas es que la interpretación de los glifos no se basó en

los suelos donde los acolhuas representaron a las clases de tierras. Williams y Ortiz-Solorio (1981), autores que son referencia para el estudio de suelos, describieron perfiles y utilizaron un levantamiento de series de suelos del área de influencia de Chapingo (Cachón *et al.*, 1976), que se llevó a cabo fuera del área de influencia del CSMA. En consecuencia, la interpretación de los glifos con estudios detallados de suelos y del ambiente en cada uno de los barrios reportados en el CSMA, podría desglosar nueva información que ayudaría a comprender mejor la avanzada clasificación y el sistema complejo de notación de tipos de tierras que los nahuas del centro de México representaban mediante el uso de glifos (Williams, 1980; 1989; 2006). Las interrogantes que se tuvieron en el presente estudio fueron: ¿hay tanta variedad de suelos y materiales parentales en el área de influencia del CSMA?, ¿Cuáles son las propiedades del suelo que fueron representadas en los glifos?

El objetivo de la presente investigación fue reinterpretar los glifos de clases de tierras representados en el CSMA a través de su cuantificación en cada barrio, y un levantamiento de suelos detallado, de materiales parentales y geomorfología.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El área de influencia del Códice de Santa María Asunción (CSMA) cubre una superficie de 256 ha, con base en el mapa de Williams (1991) y está incrustado en el municipio de Tepetlaoxtoc (náhuatl *Tepetl* = tepetate, y *Ozto*: cueva o gruta), Estado de México. Este municipio se localiza en el extremo oriente del valle de México, entre las coordenadas 19° 38' 44" y 19° 27' 43" de N, 98° 39' 10" y 98° 52' 10" O y una altitud entre 2300 y 3000 m (Figura 1). La región presenta diversidad de estructuras geológicas, básicamente del proceso volcánico-tectónico iniciado a finales del Paleozoico y concluido durante el Mesozoico (GEM, 1993), lo que resulta en paisajes de lomeríos y planos aluviales. El clima es BS (c) wk'g (seco estepario), de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por García (1973). Los suelos fueron clasificados como dominantes son Feozems y Vertisols, en donde se cultivan principalmente maíz bajo agricultura de secano (GEM, 1993).

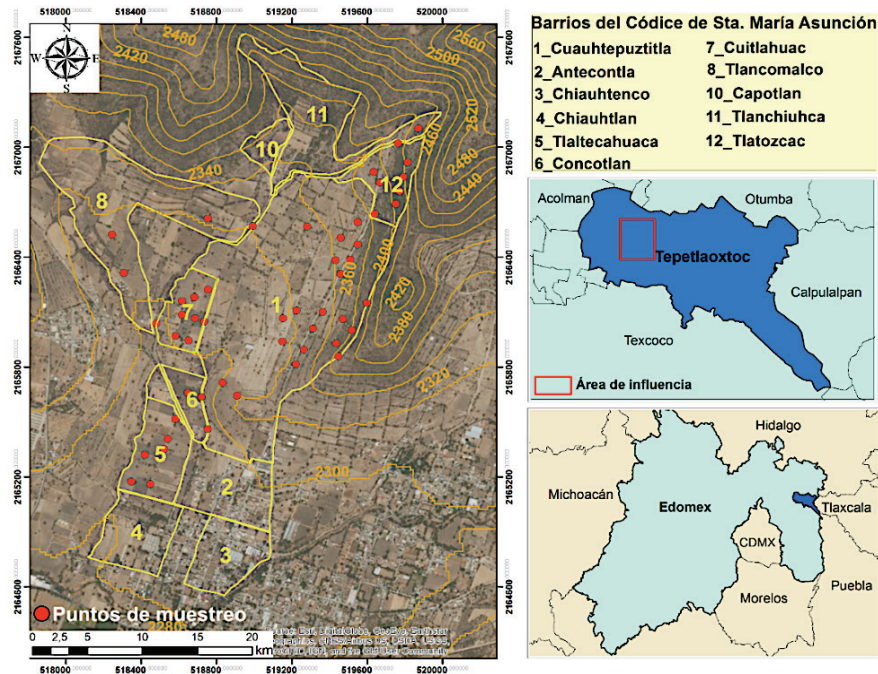


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo en los barrios del CSMA (a partir de Williams, 1991).

### Identificación Espacial de las Clases de Tierras

Una copia digital del CSMA fue proporcionada por la Biblioteca Nacional de México. Los barrios que se analizaron en este estudio corresponden a la fracción del Milcolli, en donde se representan los perímetros de las parcelas. Cada glifo de clase de tierra y sus variantes fueron cuantificados para determinar su frecuencia en cada uno de los barrios. Posteriormente, el mapa realizado por Williams (1991) fue utilizado para ubicar y digitalizar los 12 barrios a través del mapa base de ArcGIS 10.3 como se reporta en la Figura 1. Finalmente, se realizaron mosaicos de imágenes directamente del google earth para ampliar la resolución y elaborar un mapa base de cada barrio.

### Recorridos de Campo

Los barrios que se analizaron fueron: Cuauhtepuztita (Barrio 1), Tlaltecahuaca (Barrio 5), Concotlan (Barrio 6), Cuitlahuac (Barrio 7), Tlancomalco (Barrio 8) y Tlatozac (Barrio 12). Los otros Barrios (2, 3, 4, 10, y 11) fueron excluidos de la presente investigación por su urbanización, parcelas cercadas y el Barrio 9 que corresponde al Código Vergara. La representación pictórica y nombre de los diferentes glifos de clases de tierras se reportan en la Figura 2.

En cada barrio analizado se llevó a cabo un recorrido de campo, parcela por parcela, utilizando el mapa base, con el fin de registrar construcciones prehispánicas (terrazas), geomorfología (mesetas, pendientes y valles), pedregosidad y materiales parentales (rocas y tobas). Asimismo, se llevaron a cabo barrenaciones (una o dos por parcela) para registrar color, profundidad y consistencia del suelo. Cuando se presentaron cambios en estas variables se colectaron muestras de suelo (aproximadamente 2 kg) a diferentes profundidades (0-20 cm y 20-40 cm), dando un total de 54 puntos de muestreo (Figura 1). Además, se tomaron muestras de tepetate o materiales endurecidos, para su caracterización mineralógica.

Las propiedades del suelo se determinaron tomando como referencia al manual de procedimientos analíticos de Van Reeuwijk (ISRIC, 2003). Los análisis efectuados fueron: pH relación agua-suelo 1:1; materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black; color en seco y húmedo empleando la carta de colores Munsell; densidad aparente (Dap), por el método de la parafina y distribución del tamaño de partícula (método de la pipeta). Además, se analizó la estructura directamente en campo (tipos, tamaños y consistencia). Los suelos se clasificaron utilizando IUSS Grupo de Trabajo WRB (2015).

La mineralogía de la fracción gruesa de las tobas volcánicas (tepetates) se determinó por conteo de

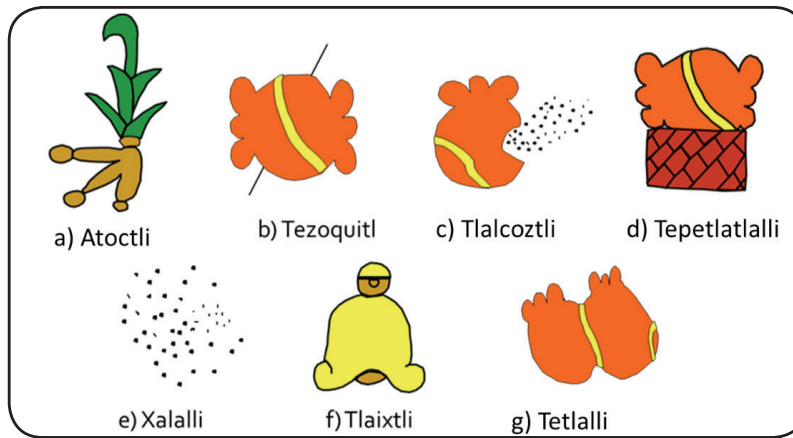


Figura 2. Glifos de las diferentes clases de tierras del CSMA: a) tierras formadas por el acarreo de partículas por el agua; b) tierra negra de barro; c) tierra amarilla; d) tierras recuperadas o tepetates; e) tierra arenosa; f) tierras en las laderas; g) tierras pedregosas (a partir de Williams, 1981).

puntos bajo un microscopio petrográfico utilizando la metodología de Ingersoll *et al.* (1984). Las tobas se clasificaron con base en Williams *et al.* (1968).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Tipos de Suelos y Materiales Parentales

En general, en el área de estudio ocurren Leptosols/ Regosols por la profundidad del suelo, Anthrosols, por la construcción de terrazas y Fluvisols en el plano aluvial, los cuales se distribuyen en catenas. En la zona

no hay Vertisols o Feozems como se reportó en GEM (1993). En la Figura 3 se ilustra la catena del Barrio 1 que cubre mayor extensión en el CSMA, mayor número de parcelas y tipo de suelos. Además, en el Cuadro 1 se reportan las principales propiedades edáficas de los horizontes superficiales de 17 puntos representativos de clases de tierras de los barrios estudiados.

A continuación, se describen los tipos de suelos y su ocurrencia en el paisaje.

a) *Eutric Leptosols/ Eutric Regosols (Leptic) o suelos residuales*. Estos suelos se formaron a partir de riolita (Barrios 1 y 12) o de andesita (Barrio 12); con una

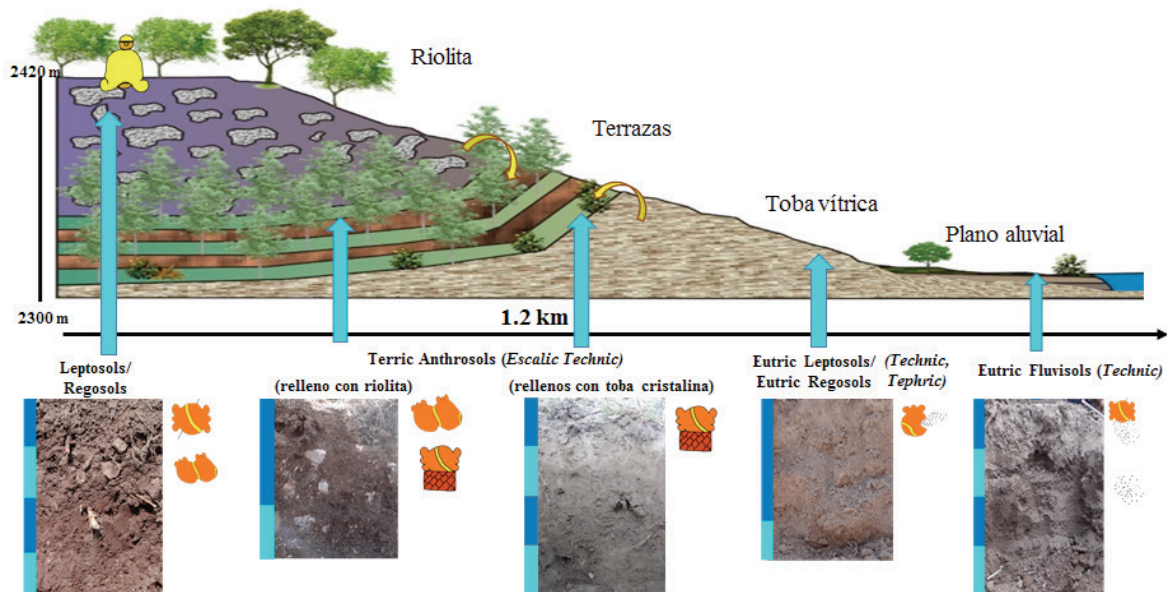


Figura 3. Catena de suelos del Barrio 1-Cuahtepuztitla.



**Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los suelos de los barrios estudiados.**

Barrio	Profundidad cm	Estructura	Color		Dap g cm <sup>-3</sup>	pH	MO %	Clase textural
			Seco	Húmedo				
Eutric Leptosols/ Eutric Regosols ( <i>Leptic</i> ) a partir de roca riolítica/andesita								
1	0-20	Subangular	10YR 3/2	10YR 4/2	1.6	6.8	2.5	Arcillosa
1	0-20	Angular	10YR 6/3	10YR 3/1	1.4	7.6	2.4	Franco arcillosa
12	0-20	Granular	7.5YR 6/2	2.5YR 4/2	1.5	7.4	1.23	Franco arcillosa
	20-40	Subangular	5YR 7/1	10 YR 6/2	1.7	7.8	0.96	Franco arcillosa
12	0-20	Granular y subangular	10YR 5/4	7.5 YR 3/2	1.5	7.9	1.1	Franco arcillosa
Terric Anthrosols ( <i>Escalic. Technic</i> ) con rellenos de roca riolítica (terrazas)								
1	0-10	Subangular	10YR 3/2	10YR 2/1	1.7	6.2	4.2	Franco arenosa
	10-40	Subangular	10YR 3/2	10YR 2/2	1.2	6.1	3.41	Arcillosa
1	0-40	Subangular	10YR 3/2	10YR 4/2	1.6	6.8	3.1	Arcillosa
12	0-22	Granular y subangular	10YR 5/2	10YR 3/1	1.5	6.5	2.3	Franco arcillo limosa
	22-40	Subangular	10YR 4/2	10YR 3/1	1.6	6.7	2.34	Franco arcillo limosa
Terric Anthrosols ( <i>Escalic. Tephric. Technic. Vític</i> ) con relleno de toba cristalítica-lítica (terrazas)								
1	0-15	Subangular	10YR 6/3	10YR 4/3	1.4	7.5	0.95	Areno francosa
1	15-30	Subangular y angular	10YR 7/2	10YR 4/4	1.5	7.9	1.09	Areno francosa
	30-40	Subangular y angular	10YR 7/2	10YR 4/3	1.6	7.9	2.71	Areno francosa
Eutric Leptosols/ Eutric Regosols ( <i>Tephric. Technic</i> ) a partir de toba cristalítica-lítica								
1	0-15	Subangular	10YR 7/2	10YR 3/4	1.6	7.7	0.33	Areno francosa
1	0-25	Subangular	10YR 6/2	10YR 4/3	1.5	7.6	0.84	Areno francosa
1	0-20	Granular	10YR 6/2	10YR 4/3	1.4	7.2	1.6	Franco arcillo arenosa
	20-30	Granular y subangular	10YR 6/3	10YR 4/4	1.4	7.3	1.36	Franco arenosa
8	0-15	Granular y subangular	10YR 2/2	10YR 4/2	1.5	*	0.27	Franco arenosa
8	0-15	Prismas. bloques angulares y subangulares	10YR 3/3	10YR 6/2	1.5	*	0.29	Franca
Eutric Fluvisols ( <i>Technic</i> )								
5	0-10	Granular y subangular	10YR 4/3	10YR 3/1	1.5	6.7	2.46	Franco arcillosa
	10-40	Subangular	10YR 4/2	10YR 3/1	1.5	6.5	2.33	Franco arcillosa
5	0-15	Granular	10YR 4/2	10YR 4/3	1.4	7.3	3.7	Arcillosa
	15-45	Subangular	10YR 4/2	10YR 4/3	1.5	7.2	2.74	Arcillosa
6	0-15	Subangular	10YR 3/2	10YR 4/2	1.4	7	3.01	Franco arcillosa
	15-45	Subangular	10YR 3/1	10YR 4/2	1.5	7.2	2.6	Franco arcillosa
7	0-30	Granular	10YR 4/3	10YR 2/1	1.4	7.5	3.15	Franco arcillosa
7	0-30	Granular	10YR 4/2	10YR 3/3	1.4	7.6	2.46	Franco arcillosa

Dap = densidad aparente; MO = materia orgánica.

profundidad entre 20 y 30 cm, lo que determina su clasificación taxonómica, y presentan regolita. Los suelos de riolita son negros a pardos oscuros, franco arcillo limosos, presentan agregados granulares y subangulares (3 cm de diámetro), duros a muy duros; ligeramente ácidos y con bajo contenido de MO (< 2%).

En el caso de los suelos formados a partir de andesita son pardo rojizos, franco arcillosos, agregados subangulares, duros y bajo contenido de MO (< 2%). Estos suelos ocurren en las crestas y pendientes altas de los lomeríos. b) *Eutric Leptosols/Eutric Regosols (Tephic, Technic) o suelo residual*. Los suelos se formaron a partir de

toba cristalina-lítica (Barrio 1); son someros (0-20 o 0-30 cm), sin regolita; pardo grisáceo oscuros a gris pardusco claros, texturas areno francosas y estructura de bloques subangulares. Además, presentan una reacción neutra a moderadamente alcalina. Estos suelos se presentan en la pendiente media de los lomeríos, con fragmentos de artefactos.

c) *Terric Anthrosols (Escalic, Technic) o Terrazas*. Formados con rellenos de material riolítico (Barrios 1 y 12), de más de 40 cm de profundidad; pardos oscuros, franco arcillosos a franco limosos, estructuras de bloques subangulares, ligeramente ácidos a alcalinos y contienen entre 1 y 4% de MO. Los rellenos presentan fragmentos de rocas y fragmentos de artefactos.

d) *Terric Anthrosols (Escalic, Technic, Víttric) o Terrazas*. Formados por rellenos de toba cristalina-lítica (Barrio 1); de < 50 cm de profundidad; grises a grises claros en seco, textura arena francosa a franco arenosa y pardos en húmedo, estructura de bloques subangulares, consistencia firme; ligera a moderadamente alcalinos (8.4) y contenidos medios (2 y 3%) a ricos (4%) en MO. Los rellenos son homogéneos en granulometría y con fragmentos de artefactos.

e) *Eutric Fluvisols (Technic)*. Los suelos son profundos (> 100 cm) (Barrios 1, 5, 6, y 7); pardos a grises claros, texturas desde gruesas a finas (franco arcillosas o franco arenosas), agregados migajosos a granulares en la capa arable y bloques subangulares en el subsuelo, o bien se pueden encontrar subangulares/granulares, ligeramente firmes a friables. Además, los suelos presentan una reacción ligeramente ácida a ligeramente alcalina, pobres (< 2%) a medios en MO (2-3%) y ocurren en

el plano aluvial, con pendientes entre nulas y < 4%.

En el área de influencia del CSMA, la intensa actividad humana modificó a los suelos y formó Anthrosols con calificadores como *Escalic* que representan a las terrazas o como *Technic* por el alto contenido de fragmentos de cerámica y restos de obsidiana. La erosión del área ha generado que la profundidad de los suelos se modifique en cortas distancias y los suelos se clasifiquen ya sea como Leptosols o Regosols (< 25 cm); además, los suelos son *Eutric* por el alto porcentaje de bases.

En cuanto a las tobas (tepetates), en los barrios estudiados se encontraron dos tipos (Figura 4): 1) Víttrica (ácida), textura franco arenosa, friable y de colores claros (10YR 6 o 7/1) y polvosa cuando se disgrega; y 2) Cristalina-lítica, de naturaleza ácida, muy dura, colores pardos (10 YR 4/3), e incrustaciones de bombas volcánicas (7 cm de diámetro) de naturaleza riolítica. La toba cristalina-lítica sobrepone a la toba víttrica en el Barrio 1.

#### Relación entre Tipos de Suelos y Frecuencia de Glifos de Clases de Tierras

A continuación, se relacionan las clases de tierras (frecuencia de parcelas) con el barrio dónde se representó predominantemente (Cuadro 2) y su posible representación pictórica se ilustra en la Figura 5.

1) *Tepetlatlalli* se representó en el Barrio 1 (76 parcelas, 27%). En este barrio ocurren dos tipos de tepetates o tobas, las cuales se ubican en la parte intermedia y baja de la catena y pueden aflorar a la superficie por erosión

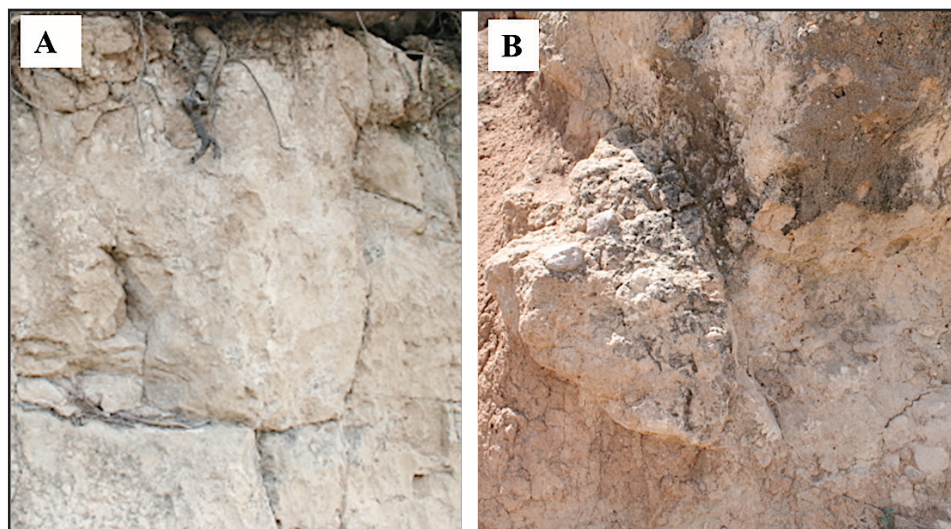


Figura 4. Tobas volcánicas. A) víttrica y B) cristalina-lítica; Barrio 1 de Cuauhtepuztitla.

**Cuadro 2. Número de parcelas (Milcololi) por clase de tierra en los barrios estudiados.**

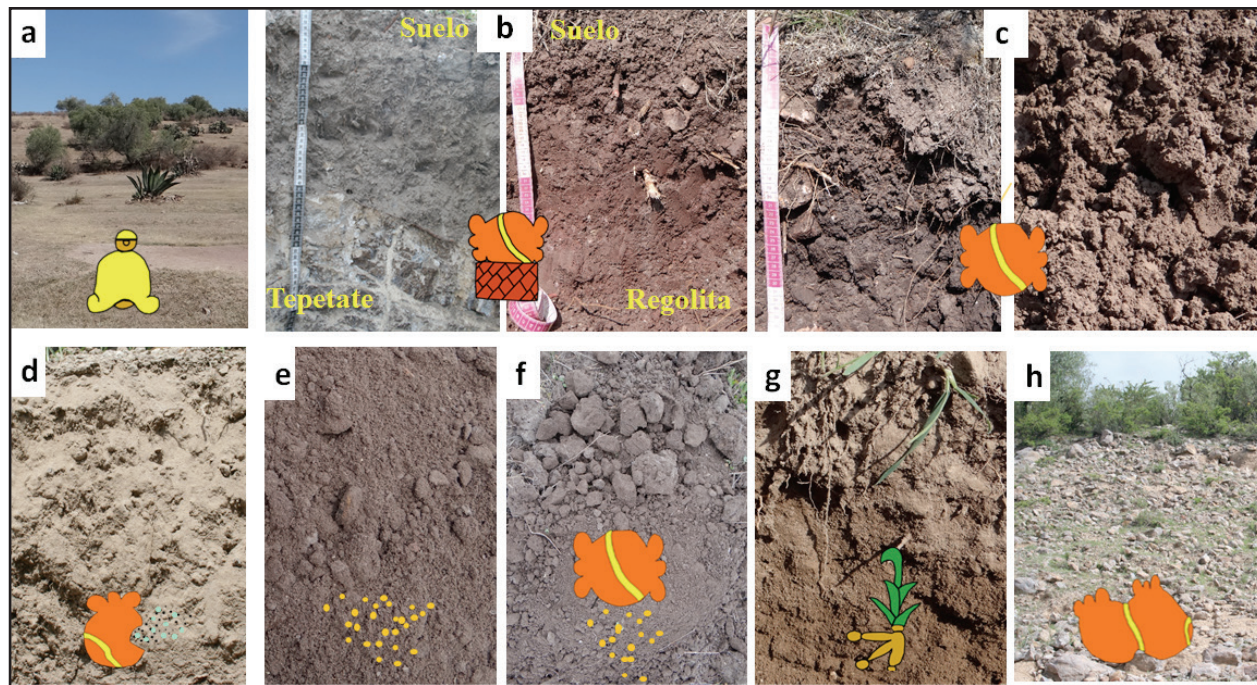
Barrio	No. Parcelas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Otros
1	339	41	76	44	13	24	0	106	22	3	10
5	24	5	3	0	1	0	0	0	7	1	7
6	16	10	2	0	2	0	0	0	1	1	0
7	16	3	1	0	5	0	0	0	5	2	0
8	75	6	3	43	9	2	2	1	3	2	4
12	31	18	4	0	3	0	1	0	5	0	0
Total	501	83	89	87	33	26	3	107	43	9	21

1 Tezoquitl; 2 Tepetlatlalli; 3 Tlalcoxtli; 4 Xalalli; 5 Tlaixtli, 6 Atoctli, 7 Tetlalli, 8 Tezoquitl/Xalalli; 9 Tepetlatlalli/Xalalli.

hídrica o bien formar suelos de diferentes espesores (< 30 cm de profundidad). También se presentan terrazas y suelos con regolita. En el resto de los barrios, se reporta este glifo entre una y cuatro parcelas.

2) *Tetlalli* se representó en el Barrio 1 (106 parcelas, 31.2%) y en el Barrio 8 (una parcela). Los suelos son

someros y con alta pedregosidad conformada de rocas riolíticas subangulares o redondeadas; se localizan en las crestas, terrazas, partes intermedias de los lomeríos, o bien en los suelos reforestados (con eucaliptos, matorrales o malezas). Esta clase de tierra está ausente en el plano aluvial (Barrios 5, 6 y 7).



**Figura 5. Tipos de suelos de los barrios estudiados y su posible representación pictórica en el CSMA: a) Tlaixtli, suelos de colina o sin uso; b) Tepetlatlalli, suelos de terrazas o de regolita; c) Tezoquitl, tierras con agregados subangulares/granulares, duros; d) Tlalcoxtli, tierras polvosas; e) tierras con agregados granulares suaves; f) tierras de aluvión pasivo donde se combina Tezoquitl/Xalalli; g) tierras de aluvión activo; h) tierras pedregosas.**

3) *Tlalcoztli* se localizan en las pendientes bajas, principalmente en el Barrio 8 (43 parcelas, 57%) y en el Barrio 1 (44 parcelas, 13%). Los suelos son de colores claros (10 YR 6/1), de consistencia suelta, textura franco arenosa y se formaron a partir de tobas vítricas. Algunas parcelas son agrícolas donde se cultiva avena y maíz, pero con bajo desarrollo (menos de 1 m de altura), crecen en manchones y con evidencia de clorosis.

4) *Xalalli*. Son tierras difíciles de establecer debido a que los suelos de texturas franco arenosas o franco arcillosas fueron comunes en los suelos formados a partir de tobas cristalinas (Barrio 1 con 3.8% y Barrio 8 con 12%), que también reúnen las características de las *Tlalcoztlis*. En el plano aluvial donde se representan hasta en 31 % (Barrio 5), las texturas son franco arcillosas y dominan agregados granulares (< 3 mm), muy friables.

5) *Tezoquitl* está representado en el Barrio 12 de manera dominante (50%). Este barrio está integrado por lomeríos con suelos residuales negros (riolita) y rojizos (andesita), de textura arcillosa. También se representaron en el Barrio 6, en el plano aluvial (10 parcelas, 62.5%).

6) *Tlaixtli* se representó en el Barrio 1 (24 parcelas, 7%) y en menor proporción en el Barrio 8 (2 parcelas, 2.7%). Ambos están geomorfológicamente integrados por crestas, pendientes y lomeríos; no obstante, no se reportó en el Barrio 12 donde también se presentan esas características morfológicas.

7) *Tezoquitl/Xalalli* se representó en casi todos los barrios en un porcentaje de ocurrencia bajo (1-12%), pero su mayor porcentaje ocurre en el plano aluvial (77%).

8) *Atoclti* está representado por 3 parcelas de los Barrios 8 y 12 (2.6 y 8% respectivamente). En estos sitios ocurren manantiales durante la época de lluvias y los campesinos colocan abrevaderos.

De acuerdo con Fray Bernardino de Sahagún (1963), los aztecas clasificaban a sus tierras a través de diversos atributos como: textura, agregados, color, contenido orgánico, topografía, génesis, tipos de plantas, fertilidad y prácticas agrícolas. Dada la relevancia de esta clasificación, a continuación, se realiza una discusión de estas propiedades.

Los colores oscuros se encontraron predominantemente en barrios en donde se representaron los Tepetlatlalli, Tezoquitl y Tezoquitl/Xalalli (Barrios 1, 5, 6 y 7); aunque, también ocurren suelos arcillosos pardo rojizos en Barrio 12, en donde dominan los Tezoquitl.

Otro caso son las tierras amarillas, las cuales se han relacionado con los *Tlalcoztlis* (Williams, 2006), pero los colores claros también se presentan en las terrazas (*Anthrosols*) y en el plano aluvial (*Fluvisols*). Estos resultados apuntan que la representación de clases de tierras no está totalmente relacionada con el color, como se hace actualmente por parte de los campesinos (Williams y Ortiz, 1981; Ortiz-Solorio *et al.*, 2005).

En cuanto a la textura, se indica que los acolhuas diferenciaban a las tierras en cinco clases: arcillosa, arenosa y limosa, pedregosa y tepetate (Williams, 2006). En campo en donde se representó al Tezoquitl, los suelos son desde arcillosos hasta franco arcillo arenosos, y no siempre presentaron una consistencia firme, incluso los agregados del plano aluvial son friables (Barrios 5, 6, y 7). Estos resultados contrastan con la interpretación de Williams y Ortiz (1981), quienes indican que se trata de tierras negras y de barro. También es necesario indicar que en el Barrio 12, los agregados presentan una forma peculiar, teniendo como base bloques subangulares con inclusiones de agregados granulares (globular), por lo que el Tezoquitl puede estar representando al tipo de tierra o agregados de consistencia dura (Figura 6a). En lo que respecta a los *Xalallis* o tierras arenosas no fueron encontradas en los barrios donde aparentemente son dominantes (Barrios 5, 6, y 7). Estos barrios que ocurren en los planos aluviales se presentan texturas franco arcillosas, con agregados granulares de menos de 3 mm y friables (Figura 6b). Es probable que los habitantes de esta zona hayan clasificado a las partículas del suelo por su tamaño (estructura) y consistencia más que por textura, como se ha indicado por varios autores (Williams y Ortiz-Solorio, 1981; Williams, 2006).

Los Tepetlatlalli o tepetate, Williams (1972) los define como un material que no tenía ni la dureza de una roca ni la de un suelo; además, se indica que es un horizonte cementado que se expone a la superficie por erosión. Por su parte, Williams (1992) reportó que en el CSMA se representaron 27 variantes de tepetates. Esta complejidad de tobas o materiales endurecidos no se encontró en campo, lo que sí se encontró y que reúne esta dureza intermedia son las regolitas ya sea de rocas consolidadas (riolita o andesita) o de tobas (cristalinas). Si la dureza es una propiedad importante dentro de las clasificaciones aztecas, este criterio puede abarcar a las regolitas que reúnen las características de un tepetate (Williams, 1972).

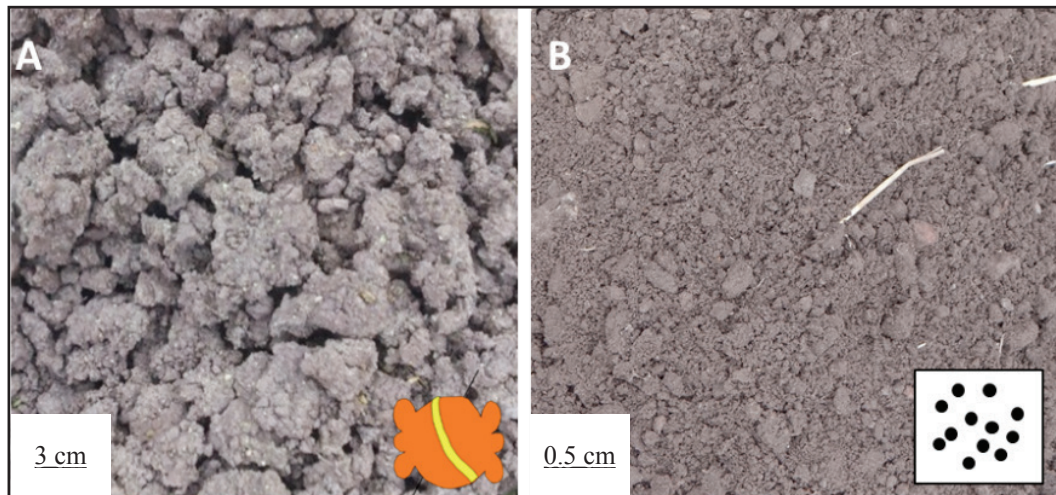


Figura 6. Bloques subangulares y granulares y su posible representación pictográfica. A) Tezoquitl; B) Xalalli.

Otra interpretación del glifo Tepetlatlalli (tepetate), predominantemente en el Barrio 1 (27%) es que se puede tratar de terrazas (Anthrosols). En el Códice Florentino se reporta una ilustración de cómo los indígenas pulverizaban al tepetate (Fray Bernardino de Sahagún, 1963), como una forma de recuperar a los suelos (Williams y Pierce, 2014). Con esa base, el glifo podría representar la construcción y rellenos de materiales o formación de suelos artificiales.

De acuerdo con Stanchi *et al.* (2012), las terrazas indican sitios de fuertes asentamientos humanos con alta actividad agrícola, debido a que el relleno que se utiliza para su construcción es un suelo con desarrollo pedogenético limitado, de textura gruesa, pero con alta productividad. Además, las terrazas es una práctica que se origina desde las culturas indígenas como una forma de fertilización, riego y labranza de conservación (Sandor y Eash, 1994; Sandor *et al.*, 1985) ya que reducen la velocidad de escorrentía, aumentan la humedad del suelo y son suelos de excelente calidad agrícola (Sandor *et al.*, 1990; Arnáez *et al.*, 2015).

Los Atoctlis fueron representados solo en los Barrios 8 y 12, donde ocurren actualmente aluviones activos (manantiales y agostaderos). En contraste, los suelos aluviales pasivos (Barrios 5, 6 y 7) pueden estar representados por Tezoquitl/Xalalli o Xalalli; es decir, agregados grandes/ agregados finos y friables, lo que indica que probablemente los acolhuas diferenciaban el origen de las tierras pero también horizontes. Estos resultados contrastan con lo mencionado por Williams (1980) quien indica que la sucesión de capas fue desapercibida por los nahuas.

En el caso de las tierras de Tlalcoztlis, Fray Bernardino de Sahagún (1963), indica que eran tierras arrastradas por el agua y muy fértiles. Incluso, se llegó a calcular que estas tierras podrían producir hasta 1.5 Mg ha<sup>-1</sup> de maíz, en años buenos durante el periodo de contacto (Williams, 1989), debido a que son finas, amarillas y muy fértiles (Williams, 2006). En la presente investigación, las Tlalcoztlis son de baja calidad agrícola, amarillas pero de texturas gruesas (arenas finas), de consistencia polvosa y se formaron de tobas vítricas (tepetates).

Finalmente, el glifo Tetlalli representa suelos pedregosos los cuales son muy comunes en el Barrio 1. Estos suelos son el resultado de la erosión de las tobas cristalíticas-líticas, donde el material fino es removido y las bombas volcánicas (redondas) se quedan en la superficie o bien de rocas subangulares comunes en los Leptosols/Regosols formados a partir de riolita. El origen coluvial o eólico pueden ser una explicación de las variantes de este glifo.

La fertilidad es otro aspecto importante. Las tierras de mayor calidad agrícola por sus propiedades edáficas se localizaron en las terrazas y en el plano aluvial (40 cm o más de profundidad, friables y alto contenido de MO hasta 4%). En el plano aluvial (Barrios 5, 6, y 7) no está representado los Atoctlis, sino Tezoquitl, Tezoquitl/Xalalli y Xalalli. De acuerdo con los productores, en estas tierras se pueden alcanzar hasta 3 Mg ha<sup>-1</sup>, sin fertilizantes y bajo secano.

En la Figura 7 se muestra el cultivo de maíz con el fin de ilustrar el vigor, densidad de plantas y deficiencias nutrimentales en diferentes clases de tierras.

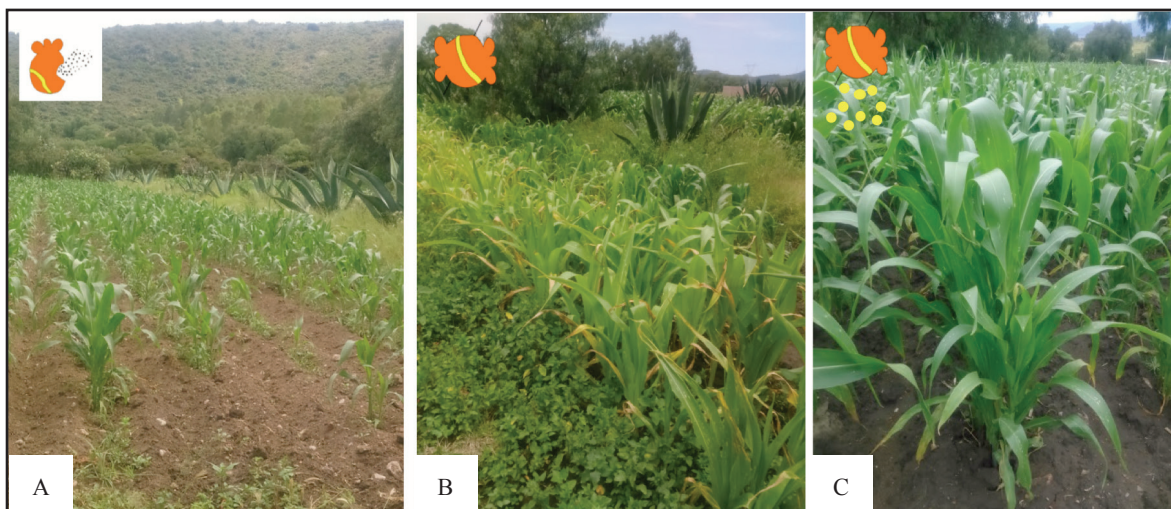


Figura 7. A) Tierra de Tlalcoztli (Regosols); B) Tezoquitl (Regosols); C) Tezoquitl/Xalalli (Fluvisols) en cultivo de maíz.

## CONCLUSIONES

- En los cinco barrios estudiados del área de influencia del Códice de Santa María Asunción (CSMA) ocurren cuatro tipos de suelos Leptosols/ Regosols (a partir de riolitas, andesitas y tobas), Anthrosols y Fluvisols, los cuales se distribuyen en catenas (crestas, pendientes y planos aluviales). Los materiales parentales que se presenta en la zona son tobas (vítricas y cristalinas), rocas consolidadas (riolitas y andesitas) y sedimentos aluviales.

- Los nahuas clasificaron a las tierras con base en el tamaño de los agregados, consistencia y origen. Los Tepetlatlali pueden representar a los Anthrosols (terrazas) y a las regolitas de los materiales parentales; los Tezoquitl a las tierras o a los bloques subangulares/granulares, duros de  $> 3$  cm; las Tlalcoztlis a las tierras polvosas, de arenas finas, que se formaron de tobas vítricas. Los suelos aluviales activos los representaron como Atoctlis, y los suelos aluviales pasivos como Tezoquitl/Xalalli o Xalallis. Las tierras más fértiles son las que ocurren en el plano aluvial y las terrazas; mientras que las tierras de menor calidad agrícola son las Tlalcoztlis. En el área de influencia del CSMA no ocurre una amplia variedad de tipos de suelos por lo que las variantes en los Tepetlatlalis o Tlalcoztlis deben de ser analizados todavía con mayor detalle para su interpretación.

## LITERATURA CITADA

- Arnáez, J., N. Lana-Renault, T. Lasanta, P. Ruiz-Flaño, and J. Castroviejo. 2015. Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. *Catena* 128: 122-134.
- Cachón, H. E., H. Nery y H. E. Cuanalo de la Cerda. 1976. Los suelos del área de influencia de Chapingo. Rama de suelos sección de Pedología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Códice de Santa María Asunción y el apeo y deslinde de tierras (de los terrenos) de Santa María de la Asunción. MS de Olagüibel. 1497 bis. Biblioteca Nacional de México. México, D. F.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía UNAM. México, D. F.
- GEM (Gobierno del Estado de México). 1993. Atlas general de Estado de México, región Tepetlaoxtoc. Secretaría de Finanzas y Planeación. Estado de México. México.
- Harvey, H. R. and B. J. Williams. 1980. Aztec arithmetic: Positional notation and area calculation. *Science* 210: 499-505.
- Ingersoll, R. V., T. F. Bullard, R. L. Ford, J. P. Grimm, J. D. Pickle, and S. W. Sares. 1984. The effect of grain size on detrital modes: a test of Gazzi-Dickinson point-counting method. *J. Sediment. Petrol.* 54: 103-116.
- IUSS Working Group WRB (International Union of Soil Sciences-World Reference Base for Soil Resources). 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma
- López-Corral, A. 2011. Los glifos de suelo en códices Acolhua de la colonia temprana: Un reanálisis de su significado. *Desacatos* 37: 145-62.

- Ortiz-Solorio, C. A., Ma. del C. Gutiérrez-Castorena, A. L. Licona-Vargas, and P. Sánchez-Guzmán. 2005. Contemporary influence of indigenous soil (land) classification in Mexico. *Eurasian Soil Sci.* 38: s89-s94.
- Sahagún, Bernardino de. 1963. *Florentine Codex: General history of the things of the New Spain*. The School of American Research. University of Utah Press. Salt Lake City, UT, USA.
- Sandor, J. A. and N. S. Eash. 1994. Ancient agricultural soils in the Andes of Southern Peru. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 170-179.
- Sandor, J. A., P. L. Gersper, and J. W. Hawley. 1985. Soils at prehistoric agricultural terracing sites in New Mexico: I. Site placement, soil morphology, and classification. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 166-173.
- Sandor, J. A., P. L. Gersper, and J. W. Hawley. 1990. Prehistoric agricultural terraces and soils in Mimbres area, New México. *World Archaeol.* 22: 70-86.
- Stanchi, S., M. Freppaz, A. Agnelli, T. Reinsch, and E. Zanini. 2012. Properties, best management practices and conservation of terraced soils in Southern Europe (from Mediterranean areas to the Alps): A review. *Quat. Int.* 265: 90-100.
- Van Reeuwijk, R. 2003. *Procedimientos para el análisis de suelos clasificación y correlación*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- Williams, B. J. 1972. Tepetate in the Valley of Mexico. *Ann. Assoc. Am. Geog.* 62: 618-626.
- Williams, B. J. 1980. Pictorial representation of soils in the Valley of Mexico: Evidence from the codex Vergara. *Geosci. Man* 21: 51-62.
- Williams, B. J. 1981. La clasificación náhua de suelos. pp. 233-236. *In: T. Rojas Rábiela y W. T. Sanders (eds.)*. 1981. *Historia de la agricultura: Época prehispánica-Siglo XVI*. INAH. México, D. F.
- Williams, B. J. 1989. Contact period rural overpopulation in the basin of Mexico: Carrying-capacity models tested with documentary data. *Am. Antiq.* 54: 715-732.
- Williams, B. J. 1991. The lands and political organization of a rural Tlaxilacalli in Tepetlaoztoc, c. A.D. 1540. pp. 187-208. *In: H. R. Harvey (ed.)*. *Land and politics in the Valley of Mexico: A two thousand year perspective*. University of New Mexico Press. Albuquerque, NM, USA.
- Williams B. J. 1992. Tepetate in Sixteenth Century and contemporary folk terminology Valley of Mexico. *Terra* 10: 483-493.
- Williams, B. J. 2006. Aztec soil knowledge: Classes, management, and ecology. pp. 17-41. *In: B. P. Warkentin (ed.)*. *Footprints in the soil: People and ideas in the soil history*. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.
- Williams, B. J. and C. A. Ortiz-Solorio. 1981. Middle american folk soil taxonomy. *Ann. Assoc. Am. Geog.* 71: 335-358.
- Williams, B. J. and H. R. Harvey. 1988. Content, provenience, and significance of the Codex Vergara and the Codice de Santa Maria Asuncion. *Am. Antiq.* 53: 337-351.
- Williams, B. J. and H. R. Harvey. 1997. *The codice de Santa Maria Asunción: Facsimile and commentary: Households and lands in sixteenth-century Tepetlaoztoc*. University of Utah Press. Salt Lake City, UT, USA.
- Williams, B. J. and K. J. Pierce. 2014. Evidence of Acolhua science and pictorial land records. pp. 147-164. *In: J. Lee and G. Brokaw (eds.)*. *Texcoco: Prehispanic and colonial perspectives*. University Press of Colorado. Boulder, CO, USA.
- Williams, B. J. and M. C. Jorge y Jorge. 2008. Aztec arithmetic revisited: Land area algorithms and Acolhua congruence arithmetic. *Science* 320: 72-77.
- Williams, H., F. J. Turner y G. C. M. 1968. *Petrografía: Introducción al estudio de la rocas en secciones delgadas*. C.E.C.S.A. México, D. F.

# Presencia de agentes potenciales causantes de infecciones subcutáneas humanas en suelo y plantas en el estado de Puebla, México

## *Presence in soil and plants of potential agents causing human subcutaneous infections in the state of Puebla, Mexico*

Alejandra P. Espinosa Taxis<sup>1</sup>, Dalia Castillo Hernández<sup>2</sup>,  
Miriam Díaz Hernández<sup>1</sup> y Francisca Hernández Hernández<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Ciudad Universitaria. 72570 Puebla, México.

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional. Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac. 90700 Tepetitla de Lardizabal, Tlaxcala, México.

<sup>3</sup> Departamento de Microbiología y Parasitología, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán. 04510 Ciudad de México, CDMX.

\* Autor responsable (frank-hh@comunidad.unam.mx)

---

### RESUMEN

Los hongos y actinomicetos asociados a infecciones en humanos, se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. El suelo y las plantas son el hábitat de numerosos hongos y bacterias. Los campesinos son altamente vulnerables a sufrir heridas y pueden contaminarse con estos microorganismos. Con la finalidad de conocer el número de colonias de los agentes causantes de micosis subcutáneas humanas a partir de la naturaleza, se realizó el aislamiento de los microorganismos respectivos a partir de suelo y plantas en 11 municipios del estado de Puebla. De cada municipio se colectaron 50 muestras, cada una consistió de 10 g de suelo y 10 g de hojas de la planta más cercana; se prepararon suspensiones respectivas, las cuales fueron inoculadas en agar dextrosa Sabouraud, incubadas a 28 °C, y revisadas periódicamente para identificar los microorganismos de interés con base en su morfología. De 1100 muestras procesadas, se obtuvieron 441 aislados, de los cuales 281 fueron hongos (133 de suelo y 148 de plantas) y 160 actinomicetos (96 de suelo y 64 de plantas). Los hongos aislados fueron identificados por su morfología macroscópica y microscópica. Los actinomicetos fueron identificados por su morfología macroscópica (colonial) y microscópica, y por pruebas bioquímicas. En mayor proporción se aislaron agentes potenciales de cromoblastomicosis (*Fonsecaea pedrosoi* y *Cladophialophora carrionii*), seguidos del agente de esporotricosis (*Sporothrix schenckii*) y de

los agentes de actinomicetoma (*Nocardia brasiliensis* y *N. otitidis-caviarum*). Del suelo de Cholula y de plantas de Tecali de Herrera, se obtuvieron el mayor número de aislados fúngicos. Del suelo de Chignahuapan y de plantas de Izúcar de Matamoros se obtuvo el mayor número de aislados de actinomicetos. En este estudio se encontraron, tanto en suelo como en plantas de 11 municipios del estado de Puebla, un alto número de colonias de hongos y actinomicetos causantes de infecciones subcutáneas en humanos, y en una proporción similar a la frecuencia con que las patologías respectivas son reportadas en la literatura mexicana.

**Palabras clave:** *Fonsecaea pedrosoi*, *Sporothrix schenckii*, *Madurella spp.*, *Nocardia brasiliensis*, *actinomicetos*, *micosis subcutáneas*.

### SUMMARY

Microscopic fungi and actinomycetes associated with human infections are widely distributed in nature. Soil and plants are the habitat of numerous fungi and bacteria. Farmers are highly vulnerable as they often sustain wounds contaminated by these microorganisms. In order to determine the number of natural colonies of fungi and actinomycetes that cause human subcutaneous infections, the respective microorganisms from soil and plants in 11 municipalities in the State of Puebla were isolated. Fifty samples from each municipality

---

#### Cita recomendada:

Espinosa Taxis, A. P., D. Castillo Hernández, M. Díaz Hernández y F. Hernández Hernández. 2017. Presencia de agentes potenciales causantes de infecciones subcutáneas humanas en suelo y plantas en el estado de Puebla, México. *Terra Latinoamericana* 35: 113-122.

---

Recibido: junio de 2016. Aceptado: diciembre de 2016.  
Publicado en *Terra Latinoamericana* 35: 113-122.



were taken, each consisting of 10 g of soil and 10 g of leaves of the nearest plant. Suspensions were prepared, inoculated on Sabouraud dextrose agar, incubated at 28 °C, and periodically examined to identify the microorganisms of interest based on their morphological characteristics. Of 1100 samples processed, 441 isolates were obtained, of which 281 were fungi (133 from soil and 148 from plants) and 160 were actinomycetes (96 from soil and 64 from plants). Fungi were identified by their macroscopic and microscopic morphology. Actinomycetes were identified by their macroscopic and microscopic morphology, and by biochemical tests. The main microorganisms isolated were agents of chromoblastomycosis (*Fonsecaea pedrosoi* and *Cladophialophora verrucosa*), followed by the agent of sporotrichosis (*Sporothrix schenckii*) and agents of actinomycetoma (*Nocardia brasiliensis* and *N. otitidis-caviarum*). The soil and plants from Cholula and Tecali de Herrera had the highest density of fungal isolates. From the soil and plants in Chignahuapan and Izúcar de Matamoros the highest number of actinomycetes was obtained. In soils from 11 municipalities in the state of Puebla, we found a high diversity of fungi and actinomycetes that cause subcutaneous infections in humans in plants and in proportions similar to the frequency of the respective pathologies reported in the Mexican literature.

**Index words:** *Fonsecaea pedrosoi*, *Sporothrix schenckii*, *Madurella spp.*, *Nocardia brasiliensis*, *actinomycetes*, *subcutaneous mycosis*.

## INTRODUCCIÓN

Los hongos son organismos que se caracterizan por ser cosmopolitas, con una gran capacidad de adaptación a diversas condiciones ambientales, tienen la capacidad de crecer a diferentes temperaturas (6-55 °C) y requieren baja humedad para desarrollarse (Piontelli, 2014). Estos microorganismos tienen afinidad por diferentes sustratos, en particular por los vegetales y sus detritus presentes en el suelo (Abarca, 2000). Los vegetales, así como el suelo pueden ser fuentes infecciosas potenciales para los individuos que, por razones laborales o accidentales, están expuestos a sufrir heridas susceptibles de ser contaminadas con cualquiera de los hongos presentes en el ambiente (López *et al.*, 2012).

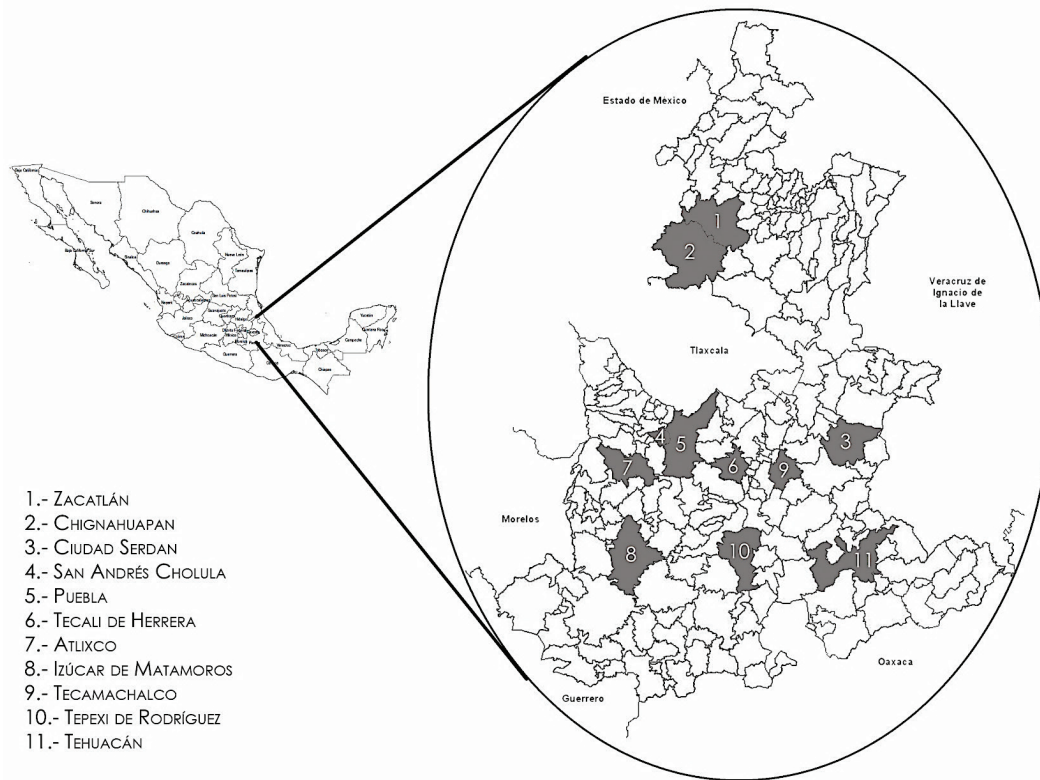
La distribución geográfica de las infecciones subcutáneas en seres humanos, en particular las infecciones causadas por hongos llamadas micosis, en el mundo es muy amplia, predominando en los países con clima tropical y subtropical (Rippon, 1988). Las micosis subcutáneas que se presentan con mayor incidencia en México son la esporotricosis, la cromoblastomycosis y el eumicetoma (Padilla-Desgarenes, 1997; Bonifaz, 2001; López-Martínez y Méndez-Tovar, 2007; Vásquez del Mercado *et al.*, 2012; Vargas-Arzola *et al.*, 2012). Otras infecciones micóticas poco frecuentes son la basidiobolomycosis y la conidiobolomycosis (De León-Bojorge *et al.*, 1988; Mayorga-Rodríguez *et al.*, 1996). Las enfermedades mencionadas se adquieren a través de heridas que se contaminan con los agentes causales, afectan la piel y el tejido subcutáneo, son de evolución crónica y generalmente no ponen en riesgo la vida del hospedero pero sí causan discapacidad física progresiva. Estas infecciones se localizan predominantemente en miembros superiores e inferiores, que son partes corporales expuestas tanto a los traumatismos con pérdida de la continuidad de la piel como a la contaminación de las heridas. De no recibir atención médica, en las heridas se puede establecer un agente fúngico o bacteriano y desarrollarse el proceso infeccioso. En el caso de la esporotricosis, se ha reportado también la inhalación de conidios y micelio como otro mecanismo de infección, aunque son pocos los casos reportados con esta modalidad clínica (Aung *et al.*, 2013). La cromoblastomycosis y el eumicetoma generalmente se presentan en hombres, a diferencia de la esporotricosis que tiene una incidencia similar entre hombres y mujeres (Vásquez del Mercado *et al.*, 2012). Estas micosis han sido consideradas ocupacionales por su mayor frecuencia en campesinos, agricultores, floristas, empacadores de loza y horticultores, quienes frecuentemente están expuestos a heridas y están en contacto con las posibles fuentes de infección, rurales o semiurbanas (Rippon, 1988; Choure *et al.*, 2005).

El objetivo de este trabajo fue determinar la presencia y el número de colonias de agentes potenciales causantes de cromoblastomycosis, esporotricosis y eumicetoma en suelo y plantas, de diferentes municipios del estado de Puebla. Se incluyeron también los agentes causantes de actinomycetoma, patología clínicamente similar al eumicetoma, pero mucho más frecuente en nuestro país. Esta información contribuirá a establecer una correlación entre la microbiota (fúngica y actinomicética) ambiental y la frecuencia reportada de estas patologías en México.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

Este estudio se realizó en 11 municipios que están distribuidos en los cuatro puntos cardinales del estado de Puebla: Atlixco, Chignahuapan, Cholula, Ciudad Serdán, Izúcar de Matamoros, Tecali de Herrera, Tecamachalco, Tehuacán, Tepexi de Rodríguez, Puebla y Zacatlán (Figura 1). Estos municipios fueron seleccionados para contar con zonas representativas de todo el estado y porque en trabajos previos se ha encontrado una alta incidencia de infecciones subcutáneas (Munguía- Pérez *et al.*, 2007). De cada lugar de estudio se obtuvieron 50 muestras, con una distancia entre una y otra de por lo menos 100 m. Cada muestra consistió de 10 g de planta (hojas) y 10 g de suelo (tomados con ayuda de tijeras y cucharillas estériles respectivamente). Las hojas de planta fueron puestas a deshidratar a temperatura ambiente (temperatura diurna: 20 a 29 °C; temperatura nocturna: 12 a 18 °C) durante una semana y después maceradas en un mortero estéril, para obtener fragmentos de aproximadamente 5 mm para colocarlos en respectivos tubos de ensayo; previamente homogenizada la muestra original, se tomó

1 g de material vegetal o de suelo, el cual fue mezclado con 9 mL de agua destilada estéril, para posteriormente hacer diluciones 1:10, 1:100 y 1:1000. De cada una de las diluciones, 500 mL fueron distribuidos en placas de agar dextrosa Sabouraud (ADS, Bioxon) y Agar Mycosel (BBL; cicloheximida 0.4 g L<sup>-1</sup>, cloranfenicol 0.05 g L<sup>-1</sup>). Las muestras fueron incubadas a 28 °C por un periodo máximo de treinta días. Cada tres días las placas fueron revisadas para detectar el crecimiento de hongos y actinomicetos causantes de infecciones subcutáneas. Los diferentes hongos reportados fueron identificados considerando sus características morfológicas, tanto macro- (de las colonias) como microscópicas, utilizando un microscopio óptico (Labomed), considerando el tipo de conidiogénesis de cada aislado (de Hoog *et al.*, 2000). La identificación de los agentes de cromoblastomicosis se determinó inicialmente por la aparición de colonias pigmentadas (de verde oscuro a negro); después se realizó un examen directo, y en los casos sugestivos de los géneros buscados, se corroboró su morfología y conidiogénesis a través de microcultivos. El agente de esporotricosis, se identificó por la presencia de colonias blancas



**Figura 1. Distribución de los municipios del estado de Puebla de donde se obtuvieron las muestras para el presente estudio.**

o pigmentadas, con aspecto membranoso, húmedo, o veloso en algunos casos; se realizó un examen microscópico, además de microcultivo. En los casos en que el hongo era morfológicamente compatible con *Sporothrix*, se indujo la reversión a levadura en agar infusión cerebro corazón (BHI, Bioxon), incubado a 37 °C por cinco días; la reversión a levadura fue puesta en evidencia por examen microscópico. Respecto a la presencia de agentes de eumicetoma, el estudio fue enfocado a los agentes más frecuentes: *Madurella* spp., *Medicopsis* (sin. *Pyrenochaeta*) sp. y *Scedosporium* sp., por lo que se consideraron las siguientes características de las colonias para su diferenciación: aspecto veloso o algodonoso, de color blanco, gris, marrón claro u oscuro; para determinar el género y la especie de *M. mycetomatis*, se hizo un subcultivo en agar harina de maíz (Bioxon) para inducir la formación de fiálides. Para la identificación de bacterias causantes de actinomietoma, se consideró inicialmente el crecimiento lento de las colonias, de aspecto céreo, cuyo color fue variable (blanco, amarillo, naranja, rojo); de las colonias sugestivas, se realizó una tinción de Kinyoun y en caso de tratarse de bacterias filamentosas, se procedió a sub-cultivarlas en agar dextrosa Sabouraud durante cinco a siete días a 28 °C, para después realizar diferentes pruebas bioquímicas (producción de caseinasa, ureasa y almidón, asimilación de xantina, hipoxantina y gelatina) en placas del agar

respectivo (agar caseína, agar xantina, agar hipoxantina, agar gelatina) para detectar los patrones de hidrólisis y asimilación de los sustratos de acuerdo a Brown-Elliott *et al.* (2006). Finalmente se identificaron las plantas en cuyo suelo se encontraron los hongos y bacterias de interés.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se procesó un total de 1100 muestras, de las cuales se obtuvieron 441 aislados: 281 de hongos y 160 de actinomietos (bacterias). En los Cuadros 1 y 2 se muestra la distribución por municipio de los aislados fúngicos obtenidos de las dos fuentes (suelo y plantas, respectivamente). De las 11 comunidades estudiadas se recuperaron los agentes etiológicos más frecuentemente reportados como causantes de esporotricosis (*Sporothrix* sp.), micetoma (*Madurella* spp. y diversos actinomietos) y cromoblastomicosis (*Fonsecaea pedrosoi*, *Phialophora verrucosa* y *Cladophialophora carrionii*). El número de colonias obtenido a partir de las diferentes diluciones del inóculo no mostró una diferencia definida. La mayoría de los agentes de cromoblastomicosis, eumicetoma y actinomietoma se obtuvieron de ADS sin antibióticos; *S. schenckii* fue recuperado con mayor facilidad y frecuencia de ADS con antibióticos.

**Cuadro 1. Agentes potenciales causantes de micosis subcutáneas aislados a partir de 550 muestras de suelo de diferentes municipios del estado de Puebla.**

Municipio	<i>Phialophora verrucosa</i> <sup>†</sup>	<i>Fonsecaea pedrosoi</i> <sup>†</sup>	<i>Rhinochadiella aquaspersa</i> <sup>†</sup>	<i>Cladophialophora carrionii</i> <sup>†</sup>	<i>Sporothrix schenckii</i> <sup>‡</sup>	<i>Madurella</i> sp. <sup>§</sup>	<i>Madurella mycetomatis</i> <sup>§</sup>	Total
Atlixco	2	2	0	7	6	0	0	17
Chignahuapan	0	3	0	2	0	0	0	5
Cholula	6	10	0	4	1	1	0	22
Ciudad Serdán	2	1	0	0	0	0	3	6
Izúcar de Matamoros	1	5	0	6	6	0	1	19
Puebla	0	3	0	3	0	0	0	6
Tecali de Herrera	0	2	0	2	2	0	0	6
Tecamachalco	4	3	0	2	2	7	0	18
Tehuacán	0	3	0	0	3	0	3	9
Tepexi de Rodríguez	1	3	0	0	3	0	3	10
Zacatlán	0	12	1	2	0	0	0	15
Total <sup>¶</sup>	16 (12)	47 (35.3)	1 (0.8)	28 (21)	23 (17.3)	8 (6)	10 (7.6)	133 (100)

Agentes de: <sup>†</sup> Cromoblastomicosis; <sup>‡</sup> Esporotricosis; <sup>§</sup> Eumicetoma. *Madurella* sp.: aislados que formaron colonias y micelio similar a *M. mycetomatis*, pero no formaron esclerotes ni fiálides. <sup>¶</sup> Los números indican número de colonias obtenidas. Los números entre paréntesis indican porcentaje.

**Cuadro 2. Agentes potenciales causantes de micosis subcutáneas aislados a partir de 550 muestras de plantas de diferentes municipios del estado de Puebla.**

Municipio	<i>Phialophora verrucosa</i> <sup>†</sup>	<i>Fonsecaea pedrosoi</i> <sup>†</sup>	<i>Rhinocladiella aquaspersa</i> <sup>†</sup>	<i>Cladophialophora carrionii</i> <sup>†</sup>	<i>Sporothrix schenckii</i> <sup>‡</sup>	<i>Madurella</i> sp. <sup>§</sup>	<i>Madurella mycetomatis</i> <sup>§</sup>	Total
Atlixco	1	1	0	4	5	0	0	11
Chigna-huapan	0	11	0	5	0	0	0	16
Cholula	4	7	0	1	0	1	0	13
Ciudad Serdán	0	2	0	1	0	0	2	5
Izúcar de Matamoros	0	2	1	1	4	0	1	9
Puebla	0	3	0	6	1	0	0	10
Tecali de Herrera	8	10	0	15	4	0	0	37
Tecama-chalco	3	3	0	2	1	6	0	15
Tehuacán	0	2	0	1	1	0	2	6
Tepexi de Rodríguez	0	1	0	1	3	0	2	7
Zacatlán	0	10	0	9	0	0	0	19
Total <sup>¶</sup>	16 (10.8)	52 (35.2)	1 (0.7)	46 (31.1)	19 (12.8)	7 (4.7)	7 (4.7)	148 (100)

Agente de: <sup>†</sup> Cromoblastomicosis; <sup>‡</sup> Esporotricosis; <sup>§</sup> Eumicetoma. *Madurella* sp.: aislados que formaron colonias y micelio similares a *M. mycetomatis*, pero no formaron esclerotes ni fiálides. <sup>¶</sup> Los números indican número de colonias obtenidas. Los números entre paréntesis indican porcentaje.

De los 281 hongos aislados, 133 (47.3%) fueron recuperados de suelo, y 148 (52.7%) de plantas. En ambas fuentes, el número de colonias más alto correspondió a los hongos *Fonsecaea pedrosoi* y *Cladophialophora carrionii* como agentes de cromoblastomicosis, seguidos de *Sporothrix schenckii*, principal agente causal de la esporotricosis en México; los agentes causales de eumicetoma fueron los hongos menos abundantes. Solamente se obtuvo un aislado de suelo y uno de planta de *Rhinocladiella aquaspersa*, agente de cromoblastomicosis.

Se muestran imágenes representativas de los aislados fúngicos obtenidos en este trabajo en la Figura 2. Las colonias (Figura 2A-C) y los microcultivos (Figura 2D-F) están crecidos en ADS sin antibiótico; el microcultivo de la Figura 2G, en agar papa dextrosa; fiálides de *M. mycetomatis* (2H) inducidas en agar harina de maíz.

Geográficamente, los aislados fúngicos fueron más numerosos en el suelo de Cholula e Izúcar de Matamoros, y en las plantas *Agave* sp. (maguey), *Yucca filifera* (yuca), *Jacaranda mimosaeifalia* (jacaranda), *Eucalyptus camaldulensis* (eucalipto), *Oreodoxa regia* (palma), *Cupressus lindleyi* (pino), *Mamilaria elegans* (cactácea), *Opuntia* sp. (nopal) y *Schinus molle* (pirúl), de Tecali de Herrera y Zacatlán. De los municipios de Chignahuapan y Ciudad Serdán se recuperó el menor

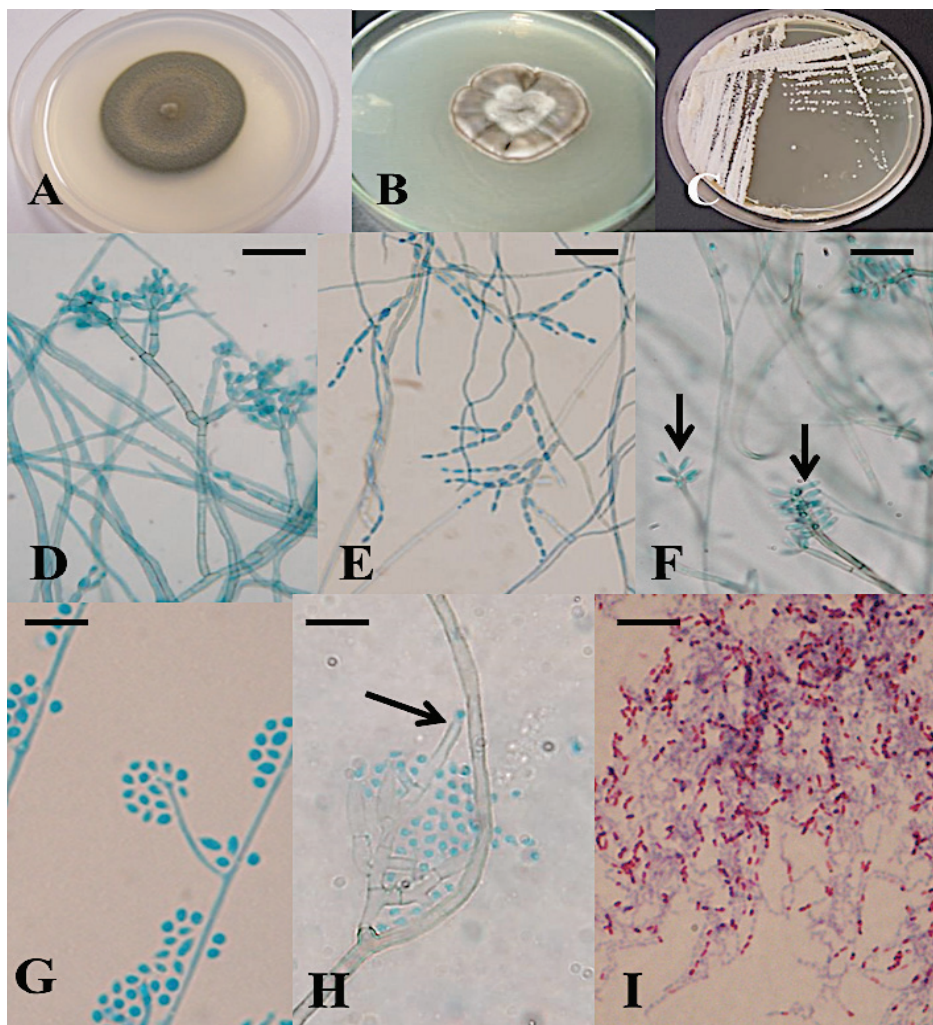
número de aislados fúngicos de suelo y de plantas respectivamente. En los diferentes municipios de donde se obtuvieron las muestras, existen diferentes condiciones climáticas y diferentes tipos de suelo. Es probable que estas diferencias determinen el tipo y número de poblaciones fúngicas y actinomicetos, como se observó en este estudio.

Los 160 agentes de actinomicetoma aislados, de los cuales 96 fueron recuperados de suelo y 64 de plantas se muestran en los Cuadros 3 y 4. De los 96 aislados de suelo (Cuadro 3), 78 (81.2%) correspondieron al género *Nocardia*, predominando *N. brasiliensis* (44.8% del total de aislados). *Actinomadura madurae* representó el 10.4% de los aislados recuperados de suelo.

De los actinomicetos aislados de plantas (Cuadro 4), la tendencia de la presencia de *Nocardia* fue similar al de suelo (84.4% en total); sin embargo, el segundo lugar fue ocupado por *A. pelletieri* (9.3%), seguido de *A. madurae* y *S. somaliensis* (3.1% para cada uno).

El mayor número de aislados bacterianos fue obtenido del suelo de Chignahuapan, Tecamachalco y Tehuacán, y de las plantas de Izúcar de Matamoros, Tecamachalco y Tehuacán.

Las plantas relacionadas con los aislamientos de agentes de cromoblastomicosis fueron: *Agave* sp. (maguey), *Yucca filifera* (yuca), *Jacaranda mimosaeifalia* (jacaranda), *Eucalyptus*



**Figura 2. Morfología de aislados obtenidos de plantas y suelos del estado de Puebla.** Colonias de *Cladophialophora carrionii* (A: pigmentada, vellosa), *Sporothrix schenckii* (B: variedad pigmentada, membranosa) y *Nocardia brasiliensis* (C: aspecto céreo, color naranja). Examen microscópico contrastado con azul de lactofenol de *Fonsecaea pedrosoi* (D: conidióforos ramificados, con cadenas cortas de conidios), *C. carrionii* (E: cadenas largas de conidios), *Rhinocladiella aquaspersa* (F: conidios alargados (flechas) formados en el extremo de conidióforos simples), *S. schenckii* (G: conidióforos largos en cuyo extremo se forman simpoduloconidios ovoides) y *Madurella mycetomatis* (H: filídes casi transparentes (flecha) de donde surgen pequeños conidios). Frotis de *N. brasiliensis* teñido con Kinyoun (I: filamentos bacterianos, con estructuras cocoides y bacilares). (Imágenes D a I: tomadas a 100X). Barra de escala: 20  $\mu\text{m}$ .

*camaldulensis* (eucalipto), *Dahlia coccinea* (dalia silvestre), *Prosopis* sp. (rompebotitas), *Zea mays* (maíz), *Rosa centifolia* (rosa), *Castilleja tenuiflora* (mirto), *Oreodoxa regia* (palma), *Cupressus lindleyi* (pino), *Mamillaria elegans* (cactácea), *Opuntia* sp. (nopal).

Las plantas relacionadas con los aislamientos de agentes de micetoma principalmente fueron: *Jacaranda mimosaealia*, *Prosopis* sp., *Pithecellobium* sp. (guamuchil), *Saccharum officinarum* (caña de

azúcar), *Festuca tolusensis* (pastizal), *Baccharis conferta* (escobilla), *Simsia amplexicaulis* (acahual suave), *Zea mays*, *Agave* sp., *Rosa centifolia*, *Schinus molle* (pirúl) *Opuntia* sp.

Las plantas relacionadas con los aislamientos de agentes de esporotricosis fueron: *Eucalyptus camaldulensis*, *Rosa centifolia*, *Zea mays*, *Curcubita* sp., *Stenocereus marginatus* (órgano), *Cupressus lindleyi*, *Jacaranda mimosaealia*, *Oreodoxa regia* (palma).

**Cuadro 3. Agentes potenciales causantes de actinomictoma aislados a partir de suelo de diferentes municipios del estado de Puebla.**

Municipio	<i>Nocardia otitidis-caviarum</i>	<i>Nocardia brasiliensis</i>	<i>Nocardia asteroides</i>	<i>Actinomadura pelletieri</i>	<i>Actinomadura madurae</i>	<i>Streptomyces somaliensis</i>	Total
Atlixco	1	0	0	1	0	0	2
Chignahuapan	5	14	1	0	5	0	25
Cholula	2	0	0	1	0	0	3
Ciudad Serdán	0	1	0	0	1	0	2
Izúcar de Matamoros	0	8	3	0	1	1	13
Puebla	0	2	0	0	0	0	2
Tecali de Herrera	2	6	0	3	0	0	11
Tecamachalco	14	0	0	1	0	0	15
Tehuacán	0	7	5	0	2	1	15
Tepexi de Rodríguez	0	3	2	0	1	0	6
Zacatlán	0	2	0	0	0	0	2
Total <sup>†</sup>	24 (25)	43 (44.8)	11 (11.5)	6 (6.2)	10 (10.5)	2 (2)	96 (100)

<sup>†</sup> Los números indican número de colonias obtenidas. Los números entre paréntesis indican porcentaje.

Los tipos de suelo relacionados con los agentes de micetoma y esporotricosis fueron regosol y vertisol y para los agentes de cromoblastomicosis fueron regosol y feozem. El regosol es un tipo de suelo poco desarrollado y se forma a partir de material no consolidado y en lugares con pendientes acusadas; su capacidad agrícola es baja. El vertisol es un suelo mineral condicionado por el material sobre el que se

ha formado; es de color oscuro y contiene abundante arcilla, material que al secarse suele formar grietas verticales, anchas y profundas. El feozem es un tipo de suelo rojizo de las regiones conocidas como praderas o pastizales, con alta saturación de bases y rico en nutrientes; los feozem no perturbados son muy fértiles. Los suelos de los cuales se obtuvieron los aislados de este estudio tuvieron un pH que osciló entre 6.5 y 7.3.

**Cuadro 4. Agentes potenciales causantes de actinomictoma aislados a partir de plantas de diferentes municipios en el estado de Puebla.**

Municipio	<i>Nocardia otitidis-caviarum</i>	<i>Nocardia brasiliensis</i>	<i>Nocardia asteroides</i>	<i>Actinomadura pelletieri</i>	<i>Actinomadura madurae</i>	<i>Streptomyces somaliensis</i>	Total
Atlixco	1	0	0	0	0	0	1
Chignahuapan	0	1	0	0	0	0	1
Cholula	2	0	0	0	0	0	2
Ciudad Serdán	0	1	0	0	0	0	1
Izúcar de Matamoros	0	18	1	0	1	1	21
Puebla	0	3	0	0	0	0	3
Tecali de Herrera	0	3	0	3	1	0	7
Tecamachalco	7	0	0	3	0	0	10
Tehuacán	0	5	3	0	0	1	9
Tepexi de Rodríguez	0	2	2	0	0	0	4
Zacatlán	0	2	3	0	0	0	5
Total <sup>†</sup>	10 (15.7)	35 (54.7)	9 (14)	6 (9.4)	2 (3.1)	2 (3.1)	64 (100)

<sup>†</sup> Los números indican número de colonias. Los números entre paréntesis indican porcentaje.

México, por sus condiciones climáticas heterogéneas, es ideal para el desarrollo de una gran diversidad de hongos y bacterias en fuentes naturales. Por su capacidad de crecimiento óptimo a diferentes temperaturas, los hongos se han clasificado en psicrófilos (0-20 °C), mesófilos (0-50 °C) y termófilos (20-50 °C, pero están mejor adaptados a aguas termales y zonas desérticas (Méndez-Tovar, 2012). De acuerdo a datos del INEGI 2006, en el estado de Puebla predominan los climas templados con diversos grados de humedad, con temperaturas que oscilan entre 0 y 29 °C, y una pluviosidad entre 400 y 4000 mm. Algunos ejemplos de la diversidad climática en los municipios incluidos en este estudio son: templado húmedo: Zacatlán; cálido sub-húmedo: Izúcar de Matamoros; semi-cálido sub-húmedo: Tepexi de Todríguez, Cholula, Atlizco, Tecali de Herrera; Templado: Puebla; templado sub-húmedo: Tecamachalco; seco, muy cálido y caliente: Tehuacán. Estas condiciones son altamente favorables para el crecimiento de hongos y bacterias. La abundancia de estos microorganismos en el suelo y plantas con que los humanos interactúan durante sus actividades laborales, podrían explicar parcialmente la frecuencia con que los individuos son infectados por ellos. Así, en este estudio entre los agentes causales de cromoblastomycosis se aisló a *F. pedrosoi*; como único agente de esporotricosis se aisló a *S. schenckii* (aunque existen otras especies, en México éste es el principal agente identificado (Madrid *et al.*, 2009); como principal agente de eumycetoma se encontró a *Madurella* spp.; y como principal agente de actinomycetoma se aisló a *N. brasiliensis*. La literatura sustenta a estos agentes como las principales causas de la infección respectiva y demostrada por su aislamiento e identificación a partir de los tejidos infectados. En algunos estudios documentan el antecedente de haber sufrido una herida y la aparición de lesiones compatibles con una micosis subcutánea (Dixon *et al.*, 1991; Aguilar *et al.*, 2011).

En un reporte del Centro Dermatológico “Ladislao de la Pascua”, se informa que las micosis subcutáneas atendidas con mayor frecuencia y diagnosticadas en el Laboratorio de Micología fueron la esporotricosis y la cromoblastomycosis (Padilla-Desgarenes *et al.*, 1997). A pesar de que este estudio no es reciente, es representativo del número de casos que actualmente prevalece. Estudios complementarios a éste han sido publicados en años más recientes (Bonifaz *et al.*, 2001; López Martínez y Méndez-Tovar, 2007; Madrid *et al.*,

2009; Vásquez del Mercado *et al.*, 2012; Romero-Navarrete *et al.*, 2014). En un estudio sobre micetomas en México se observó que, de todos los casos conocidos, el actinomycetoma se presenta con una frecuencia de 96.52% (65.58% son causados por *N. brasiliensis*) y el eumycetoma representa el 3.48% del total (López-Martínez *et al.*, 2013).

El número total de aislados recuperados en este trabajo es equivalente a la frecuencia con que estos microorganismos han sido reportados como agentes causantes de infecciones subcutáneas en algunos centros micológicos mexicanos. En primer lugar se encuentran los agentes de cromoblastomycosis seguidos de los agentes de actinomycetoma, esporotricosis y eumycetoma. El agente más frecuente de cromoblastomycosis, tanto aislado de la naturaleza en el presente estudio, como reportado a partir de casos clínicos, es *F. pedrosoi* (Bonifaz *et al.*, 2001; Lugo-Ayala *et al.*, 2002; Romero Navarrete *et al.*, 2014). *Rhinocladiella aquaspersa*, otro agente de cromoblastomycosis, fue aislado solo en dos ocasiones (una de suelo y otra de planta) y pocas veces han sido reportados como agentes de infección en México (Badali *et al.*, 2010; González *et al.*, 2013). Esta misma tendencia se observó en el caso del actinomycetoma cuyo principal agente es *N. brasiliensis*, actinomycetoma que también fue aislado predominantemente de fuentes naturales en este estudio. Es altamente probable que la incidencia de los casos de cromoblastomycosis y actinomycetoma esté dada por la virulencia de los agentes causales: hay abundancia de hongos pigmentados en la naturaleza, pero generalmente son de baja virulencia, y esto explicaría su menor frecuencia como causa de infección entre las tres micosis subcutáneas. De los actinomycetos, *N. brasiliensis* es el agente más frecuente de actinomycetoma y probablemente esto se deba a que este microorganismo es el más virulento de su grupo, pero también el más abundante en la naturaleza. Respecto a *S. schenckii sensu stricto*, se sabe que es el agente causal de la micosis subcutánea más frecuente en México, y este evento estaría determinado por la virulencia atribuida a este hongo (Barros *et al.*, 2011). Puebla es un estado que ha atraído la atención de diferentes investigadores por las condiciones climáticas, laborales y culturales que favorecen la presencia de diferentes micosis, particularmente la esporotricosis (Espinosa-Taxis *et al.*, 2001; Macotella-Ruiz y Nochebuena-Ramos, 2006), cuyo agente causal

ha sido demostrado en fuentes naturales (Munguía-Pérez, *et al.*, 2007). La presencia de los actinomicetos en suelo mexicano ha sido previamente reportada en el estado de Morelos. En ese estudio se detectó a *N. brasiliensis* como actinomiceto predominante (20.8%), seguido de *N. asteroides* (8.3%), *N. otitidis-caviarum* (6.2%), *A. madurae* (2.8%), *S. somaliensis* (1.1%) y *A. pelletieri* (0.8%) (Castañón-Olivares *et al.*, 1992). Estudios en otras partes del mundo han sido enfocados al aislamiento de actinomicetos de importancia médica (Reza, 2009; Kachuei, 2012).

### CONCLUSIONES

- Se logró determinar la frecuencia de hongos y actinomicetos causantes de infección subcutánea humana, a partir de suelo y plantas de 11 municipios del estado de Puebla. Los autores consideramos que la abundancia de un microorganismo en el suelo y plantas está parcialmente relacionada con la frecuencia de esta infección en los humanos. Si un agente infeccioso específico es más abundante que otros, es más probable que los pacientes en riesgo desarrollen una infección por ese agente. La abundancia de los principales agentes de micosis subcutáneas en fuentes naturales es equivalente a la frecuencia con que se aíslan esos microorganismos a partir de zonas corporales infectadas en el humano. Los hongos y actinomicetos aislados con mayor frecuencia en este estudio corresponden con los mismos microorganismos identificados a partir de las lesiones humanas de esporotricosis, cromoblastomicosis, actinomicetoma y eumicetoma en estadísticas nacionales.

- La importancia del presente trabajo radica en que probablemente es el primer reporte sobre el aislamiento integral de agentes de micosis subcutáneas a partir de fuentes naturales en México.

### AGRADECIMIENTOS

A la QFB Érika Córdova Martínez por su valiosa colaboración técnica (Departamento de Microbiología y Parasitología, Facultad de Medicina, UNAM). Este trabajo fue financiado por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Proyectos VIEP ESTA NAT15, 16 y 17.

### LITERATURA CITADA

- Abarca, M. L. 2000. Taxonomía e identificación de especies implicadas en la aspergilosis nosocomial. *Rev. Iberoam. Micol.* 17: 79-84.
- Aguilar D., A., E. Torres, R. Arenas, F. Hernández-Hernández, L. López, S. Ciales-Vera, and M. A. Teliz-Meneses. 2011. Mycetoma caused by *Phaeoacremonium parasiticum* – a case confirmed by B-tubulin sequence analysis. *Mycoses* 54: e615-e618.
- Aung, A. K., B. M. Teh, C. McGrath, and P. J. Thompson. 2013. Pulmonary sporotrichosis: Case series and systematic analysis of literature on clinic-radiological patterns and management outcomes. *Med. Mycol.* 51: 534-544.
- Badali, H., A. Bonifaz, T. Barrón-Tapia, D. Vázquez-González, L. Estrada-Aguilar, N. M. Oliveira, J. F. Sobral-Filho, J. Guarro, J. F. Meis, and G. S. De Hoog. 2010. *Rhinocladiella aquaspersa*, proven agent of verrucous skin infection and a novel type of chromoblastomycosis. *Med. Mycol.* 48: 696-703.
- Barros, M. B., R. de Almeida-Paes, and A. O. Schubach. 2011. *Sporothrix schenckii* and sporotrichosis. *Clin. Microbiol. Rev.* 24: 633-654.
- Bonifaz, A., E. Carrasco-Gerard, and A. Saúl. 2001. Chromoblastomycosis: Clinical and mycologic experience of 51 cases. *Mycoses* 44: 1-7.
- Brown-Elliott, B. A., J. M. Brown, P. S. Conville, and R. J. Jr. Wallace. 2006. Clinical and laboratory features of the *Nocardia* spp. based on current molecular taxonomy. *Clin. Microbiol. Rev.* 19: 259-282.
- Castañón-Olivares, L. R., P. Manzano-Gayosso, F. Hernández-Hernández, R. Romero-Martínez y R. López-Martínez. 1992. Aislamiento de Actinomicetos patógenos en una zona endémica de micetomas en México. *Rev. Mex. Micol.* 8: 111-120.
- Choure, A. J., R. K. Shrestha, S. P. Larosa, and A. C. Mehta. 2005. Fever, chills, and chest radiographic infiltrates in a middle-aged woman. *Cleve. Clin. J. Med.* 72: 367-369, 373-374.
- De Hoog, G. S., G. J. Guarro, and M. J. Figueras. 2000. Atlas of clinical fungi. Centraalbureau voor Schimmelcultures Utrecht, Universitat Rovira i virgili Reus.
- De León-Bojorge, B., R. Ruiz-Maldonado, and R. López-Martínez. 1988. Subcutaneous phycomycosis caused by *Basidiobolus haptosporus*: A clinicopathologic and mycologic study in a child. *Pediatr. Dermatol.* 5: 33-36.
- Dixon, D. M., F. Salkin, R. A. Duncan, N. J. Hurd, J. H. Haines, M. E. Kemna, and F. B. Coles. 1991. Isolation and characterization of *Sporothrix schenckii* from clinical and environmental sources associated with the largest U.S. epidemic of sporotrichosis. *J. Clin. Microbiol.* 29: 1106-1113.
- Espinosa-Texis, A., F. Hernández-Hernández, P. Lavalle, J. Barba-Rubio y R. López-Martínez. 2001. Estudio de 50 pacientes con esporotricosis. Evaluación clínica y de laboratorio. *Gac. Méd. Méx.* 137: 111-116.
- González, G. M., O. C. Rojas, J. G. González, Y. Kang, and G. S. de Hoog. 2013. Chromoblastomycosis caused by *Rhinocladiella aquaspersa*. *Med. Mycol. Case Rep.* 2: 148-151.



- Kachuei, R., M. Emami, R. Mirnejad, and M. Khoobdel. 2012. Diversity and frequency of *Nocardia* spp. in the soil of Isfahan province, Iran. *As. Pacif. J. Trop. Biomed.* 2: 474-478.
- López-Martínez, R. and L. J. Méndez-Tovar. 2007. Chromoblastomycosis. *Clin. Dermatol.* 25: 188-194.
- López-Martínez, R., L. J. Méndez-Tovar, F. Hernández-Hernández y L. R. Castañón-Olivares. 2012. Micosis subcutáneas. pp. 55-75. *In: R. López M., L. J. Méndez T., F. Hernández H. y L. R. Castañón O. Micología médica. Procedimientos para el diagnóstico de laboratorio.* Trillas. México, D. F. ISBN 978-607-17-1092-5.
- López-Martínez, R., L. J. Méndez-Tovar, A. Bonifaz, R. Arenas, J. Mayorga, O. Welsh, L. Vera-Cabrera, M. C. Padilla-Desgarenes, C. Contreras-Pérez, G. Chávez, R. Estrada, F. Hernández-Hernández, and P. Manzano-Gayosso. 2013. Update on the epidemiology of mycetoma in Mexico. A review of 3933 cases. *Gac. Méd. Méx.* 149: 586-592.
- Lugo-Ayala, S. A., P. Zamudio-Guerra, A. S. López-Cota, F. Picos-Fernández y V. F. Muñoz-Estrada. 2002. Estudio de las variantes clínicas, epidemiología y etiología de cromoblastomycosis serie de 108 casos. *Trabajos de Investigación. CIMEL* 7: 35-39.
- Macotela-Ruiz, E. y E. Nochebuena-Ramos. 2006. Esporotricosis en algunas comunidades rurales de la Sierra Norte de Puebla. Informe de 55 casos (Septiembre 1995-Diciembre 2005). *Gac. Méd. Méx.* 142: 377-380.
- Madrid, H., J. Cano, J. Gené, and A. Bonifaz, C. Toriello, J. Guarro. 2009. *Sporothrix globosa*, a pathogenic fungus with widespread geographical distribution. *Rev. Iberoam. Micol.* 26: 218-222.
- Mayorga-Rodríguez, J. A., V. F. Muñoz-Estrada, R. Arosamena-Sekisian, R. Morales-Ortiz, D. Fajardo y M. Barba. 1996. Infección nasal y paranasal por *Conidiobolus coronatus*, primer caso en México. *Rev. Iberoam. Micol.* 13: 6-7.
- Méndez-Tovar, L. J. 2012. Morfología y fisiología de los hongos patógenos. pp. 7-11. *In: R. López-Martínez, L. J. Méndez-Tovar y F. Hernández-Hernández (Compiladores). Actualidades en Micología Médica.* UNAM. Mexico, D. F.
- Munguía-Pérez, R., Y. Romo-Lozano, E. Castañeda-Roldán, M. C. Velázquez-Escobar y A. Espinosa-Texis. 2007. Epidemiología de la esporotricosis en el municipio de Huauchinango, Puebla. *Enf. Infec. Microbiol.* 27: 38-43.
- Padilla-Desgarenes, M. C. 1997. Laboratorio de micología. *Rev. Centro Dermatol. Pascua* 6: 182-185.
- Piontelli, L. E. 2014. Agentes comunes en las aspergilosis humanas: Conceptos primarios en la diferenciación de sus complejos de especies. *Bol. Micol.* 29: 63-100.
- Reza, M. A. and S. G. Amir. 2009. Isolation and characterization of medically important aerobic Actinomycetes of Iran (2006-2007). *Open Microbiol. J.* 3: 53-57.
- Rippon, J. W. 1988. The subcutaneous mycoses. pp. 276-352. *In: J. W. Rippon (ed.). Medical mycology: The pathogenic fungi and the pathogenic actinomycetes.* WB Saunders. Philadelphia, PA, USA.
- Romero-Navarrete, M., R. Arenas, V. F. Muñoz-Estrada, C. E. Atoche-Diéguez, J. Mayorga-Rodríguez, A. Bonifaz, G. A. Moraila Moya, S. Paredes Solís y A. Castillo Solana. 2014. Cromoblastomycosis en México: Revisión de 603 casos en siete décadas. *Dermatología CMQ* 12: 87-93.
- Vargas-Arzola, J., L. Reyes-Velazco, A. Segura-Salvador y F. Hernández-Hernández. 2012. Cromoblastomycosis por *Phialophora verrucosa*. *Dermatol. Rev. Mex.* 78: 141-144.
- Vásquez del Mercado, E., R. Arenas y C. Padilla-Desgarenes. 2012. Sporotrichosis. *Clin. Dermatol.* 30: 437-443.

# Cambios edáficos en islas de fertilidad y su importancia en el funcionamiento de un ecosistema del valle de Tehuacán Puebla, México

## *Edaphic changes in fertility islands and their importance for performance of an ecosystem in the Tehuacan Valley, Puebla, Mexico*

Daniel Jesús Muñoz Iniestra<sup>1‡</sup>, Mauricio Chávez Mosqueda<sup>1</sup>,  
Héctor Octavio Godínez Álvarez<sup>1</sup> y Norma Alejandra Cuéllar Arellano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Av. De los Barrios No. 1, Los Reyes Iztacala. 54090 Tlalnepantla, Estado de México, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (danimi@unam.mx)

### RESUMEN

En los ecosistemas áridos y semiáridos la vegetación natural usualmente se presenta en forma de agrupaciones denominadas islas de fertilidad (IF), separadas unas de otras por amplios espacios desprovistos de plantas. Se piensa que estas islas actúan como unidades funcionales básicas del ecosistema en su conjunto. Se ha observado que el suelo debajo de las islas de fertilidad muestra mejores condiciones de calidad y fertilidad en comparación con el suelo de afuera. El objetivo del trabajo fue evaluar la calidad del suelo dentro y fuera de las islas de fertilidad, así como contrastar propiedades físicas y químicas tanto del suelo interior como del exterior. Para esto se seleccionaron 25 islas de fertilidad de una terraza fluvial del valle de Zapotitlán, región semiárida de Tehuacán Puebla. En cada isla debajo del dosel del arbusto nodriza se tomaron tres muestras de suelo superficial, fuera de la isla alrededor se levantaron otras tres procediendo de la misma manera. Las muestras se analizaron en el laboratorio para evaluar nueve propiedades físicas y ocho químico-biológicas relacionadas con funciones ecológicas que el suelo realiza, estas propiedades se utilizaron para obtener un índice de calidad del suelo. Para el análisis de los datos se aplicó la prueba de t-test Student para muestras independientes. No hubo diferencias significativas en el índice de calidad entre los suelos fuera y dentro de las islas de fertilidad, sin embargo a nivel de propiedades individuales como: arena, densidad aparente, materia orgánica, pH, magnesio, nitrógeno total y retención de humedad sí se presentaron diferencias significativas. Se concluye que la vegetación de la isla de fertilidad modifica

algunas propiedades y funciones del suelo para crear un microambiente más favorable, logrando que en su interior se reduzca el estrés hídrico y se propicie una realimentación constante de nutrientes, gracias a los mecanismos de captura y aporte de materia orgánica.

**Palabras clave:** *calidad del suelo, zonas semiáridas, indicadores, Prosopis laevigata.*

### SUMMARY

In arid and semiarid ecosystems, natural vegetation commonly forms fertility islands (FI), which are separated by wide areas lacking vegetation. It has been suggested that fertility islands are basic functional units in these ecosystems. Soil beneath fertility islands has higher quality and fertility than soil in areas lacking vegetation. The goals of this study were to evaluate soil quality and to compare soil physical and chemical properties inside and outside of fertility islands. We selected 25 fertility islands in an alluvial terrace in the Zapotitlan Valley, Tehuacan, Puebla. Three soil samples were collected beneath the nurse shrub of each island and in the areas lacking vegetation. Soil samples were analyzed in the laboratory to evaluate eight physical and nine chemical-biological properties related to the ecological functions of soil. These properties were used to obtain a soil quality index. Data were analyzed with Student t-test for independent samples. Results showed that there were no significant differences in the soil quality index. However, some soil properties such as sand, apparent density, organic matter, pH, magnesium, total nitrogen, and humidity differed between soils inside and outside fertility islands. We concluded

#### Cita recomendada:

Muñoz Iniestra, D. J., M. Chávez Mosqueda, H. O. Godínez Álvarez y N. A. Cuéllar Arellano. 2017. Cambios edáficos en islas de fertilidad y su importancia en el funcionamiento de un ecosistema del valle de Tehuacán Puebla, México. *Terra Latinoamericana* 35: 123-133.

Recibido: junio de 2016. Aceptado: noviembre de 2016.  
Publicado en *Terra Latinoamericana* 35: 123-133.

that fertility islands modify some soil properties and functions creating more favorable microhabitats; they reduce water stress and provide nutrients as a result of the mechanisms for capturing and providing organic matter.

**Index words:** *soil quality, semiarid zones, indicators, Prosopis laevigata.*

## INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas áridos y semiáridos la vegetación natural usualmente se manifiesta como un mosaico que incluye un patrón de parches constituidos por agrupaciones vegetales con biomasa relativamente alta (islas de fertilidad o islas de recursos) dispersos en una matriz de suelo carente de vegetación o cubierto de costras microbióticas (Westoby *et al.*, 1989; Turner y Brown, 1994; Peters *et al.*, 2006). Este patrón de mosaico puede presentarse en paisajes relativamente homogéneos y permanecer así por largo tiempo, lo que sugiere que los diferentes tipos de parches representan estados alternativos estables (Holmgren y Scheffer, 2001; Herrick *et al.*, 2002). Según lo que proponen Westoby *et al.* (1989) la vegetación natural de las regiones secas cuando es alterada o modificada, puede transitar a diferentes estados alternos transitorios que pueden permanecer estables por largos periodos dependiendo de la intensidad y dirección de las fuerzas modificadoras. Por otra parte el suelo protegido debajo de parches densos de plantas, islas de fertilidad (IF), al parecer presenta mejores condiciones de calidad y fertilidad en comparación con el suelo fuera del dosel (Wezel *et al.*, 2000; Tewksbury y Lloyd, 2001; Bestelmeyer *et al.*, 2006, Bonanomi *et al.*, 2007, Ridolfi *et al.*, 2008).

Las IF son importantes porque regulan el funcionamiento de los ecosistemas en muchas zonas áridas y semiáridas, debido a que disminuyen el estrés hídrico y dentro de ellas se da la transformación de materia y energía regulando la cantidad de nitrógeno, carbono y fósforo que se almacena y mineraliza en el suelo, permitiendo con esto la productividad del ecosistema (Whitford, 2002; Bonanomi *et al.*, 2007). Las IF comprenden uno o varios árboles o arbustos generalmente leguminosas y plantas establecidas bajo su dosel. Se piensa que actúan como unidades funcionales básicas que permiten la estabilidad y productividad del ecosistema en su conjunto y de paisajes completos en

las regiones áridas y semiáridas (Tielborger y Kadmon, 2000; Whitford, 2002; Berg y Steinberger, 2012). La base funcional de las islas radica en una relación de nodricismo, donde plantas de diferentes especies están protegidas por un arbusto de otra especie, los arbustos crean microambientes más favorables para otros organismos (Flores y Jurado, 2003). Sin embargo, esta relación que por lo regular resulta ser positiva, con el transcurso del tiempo se puede convertir en negativa cuando la especie protegida interfiere o afecta el desarrollo de la planta nodriza (McAuliffe, 1988).

La presencia de una planta nodriza es esencial para que estas islas funcionen y la vegetación persista, la sombra bajo el dosel determina que las temperaturas del aire y del suelo sean más bajas reduciendo considerablemente la evapotranspiración lo que disminuye la pérdida de agua, por lo que las plántulas experimentan menos estrés hídrico y térmico (Titus *et al.*, 2002; Schade y Hobbie, 2005). Por otra parte los arbustos actúan como trampa colectora de sedimentos y restos orgánicos transportados por el agua y viento. Estos materiales que se acumulan bajo la copa de los arbustos proveen de un mejor sustrato para las plantas protegidas que el que se encuentra en el suelo abierto. La distribución vertical y horizontal de nutrientes del suelo está estrechamente relacionada con la distribución de la vegetación (Tewksbury *et al.*, 2001). Al interior de la isla las interacciones suelo-planta juegan un rol determinante para todos los habitantes de la isla. La hojarasca depositada bajo el dosel permite el enriquecimiento del suelo (Aber y Melillo, 2001).

La relación suelo planta al interior de las IF ha sido poco estudiada y entendida, se desconocen los mecanismos de influencia en el suelo de la IF, pero seguramente están relacionados con el acceso y disponibilidad de agua y nutrientes en las diferentes unidades geomorfológicas. El suelo fuera de la isla tiene un funcionamiento distinto presentando menor calidad y mayores condiciones de estrés lo que disminuye las posibilidades de establecimiento y crecimiento de plántulas y por lo tanto la cobertura vegetal, las IF sostienen plantas mucho más grandes y con más eficiencia de producción que los suelos pobres en nutrientes de las áreas abiertas (Schade y Hobbie, 2005; Bonanomi *et al.*, 2007).

El conocimiento de las relaciones y procesos que se dan al interior de las IF es fundamental tanto para recuperar ecosistemas dañados por actividades humanas en las regiones secas, así como para

implementar sistemas de manejo y conservación en estos ecosistemas, en este sentido, el objetivo del presente trabajo fue entender la relación suelo planta al interior de las islas de fertilidad de una región semiárida del Valle de Tehuacán Puebla, México. Para ello fue necesario obtener un índice de calidad del suelo del interior de las islas de fertilidad y compararlo con la calidad del suelo del exterior. Al mismo tiempo se buscó identificar que propiedades del suelo son las más determinantes en el funcionamiento de las IF.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El área en estudio fue un fragmento de terraza fluvial del río Zapotitlán en el Nor-noreste del valle de Tehuacán, en la municipalidad de Zapotitlán Salinas Puebla, México. La coordenada del punto medio del área es  $18^{\circ} 19' 18.38''$  N y  $97^{\circ} 27' 27.09''$  O con una elevación de 1460 m, con una superficie aproximada de 2 ha. El clima del área según el sistema Köppen modificado por García (2004) es seco, semi-cálido (Bshw(e) gw<sup>''</sup>), con una temperatura media promedio anual de 21 °C, la precipitación total anual promedio es de 446.8 mm. Los suelos de las terrazas son Fluvisoles calcáricos, son suelos profundos con textura que fluctúa entre franca, franca arcillosa y franca limosa, no hay pedregosidad, la estructura es masiva

y dura en la superficie con presencia de costras físicas delgadas y microbióticas (Muñoz *et al.*, 2009). La cubierta vegetal de las terrazas está conformada por un matorral espinoso de mezquite (*Prosopis laevigata*) y palo verde (*Parkinsonia praecox*), que se distribuye de manera irregular formando un mosaico constituido por parches de vegetación de diferente tamaño (islas de fertilidad) separados por suelo desprovisto de plantas que se alternan con sitios fuertemente erosionados y parcelas agrícolas de temporal activas y en abandono (Figura. 1). Las terrazas fluviales han estado y están sujetas a una fuerte presión por parte de la gente de la localidad ya que son utilizadas para la agricultura, el pastoreo de ganado menor y obtención de leña, lo cual ha causado un fuerte deterioro a este sistema natural, que se manifiesta por la pérdida de cobertura vegetal, fuerte erosión del suelo y agotamiento de las tierras de cultivo (UBIPRO, 2007; Muñoz *et al.*, 2009).

### Muestreo

El muestreo del suelo se realizó en un fragmento de terraza fluvial la cual tiene un relieve casi llano donde la pendiente no sobre pasa a  $1.5^{\circ}$ , este sitio corresponde a un parche de matorral abierto muy deteriorado donde el único uso que hace la gente de la localidad es la extracción de leña, la cual se obtiene del corte de ramas viejas o muertas de los arbustos evitando con esto cortar todo el arbusto ya que quedan pocos individuos.

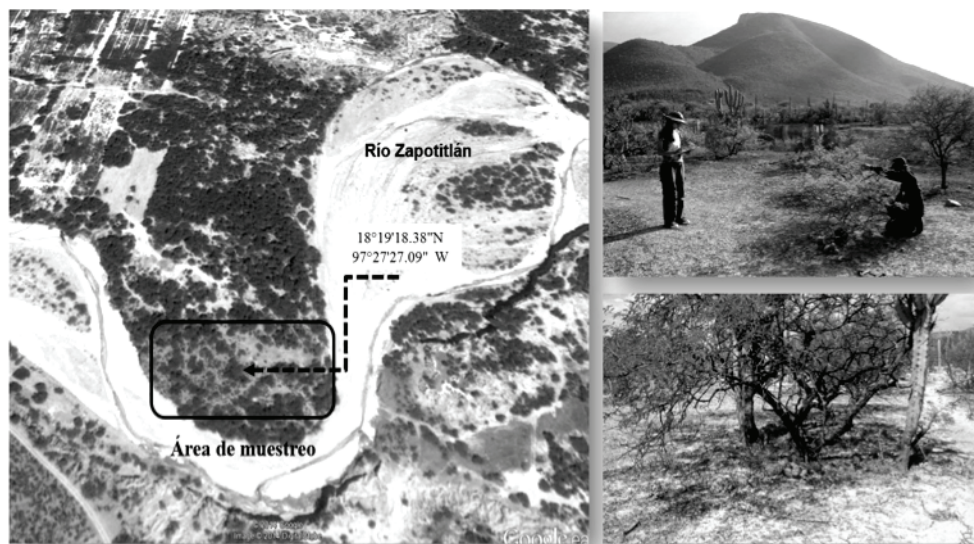


Figura 1. Terraza fluvial donde se realizó el estudio e imágenes de las islas de fertilidad en Zapotitlán Salinas, Puebla.

Se seleccionaron y georreferenciaron 25 IF, en todas ellas el arbusto nodriza fue el mezquite (*Prosopis laevigata*), las islas fueron heterogéneas en cuanto a tamaño y altura de la nodriza. En el interior de cada una de ellas por debajo del dosel de la nodriza, se tomaron tres muestras de suelo superficial (20 cm) sin incluir la hojarasca, las cuales se homogenizaron y mezclaron para formar una muestra compuesta. De igual modo se tomó otra muestra compuesta pero fuera de cada isla en suelo abierto donde sólo prevalecía una cubierta de costras físicas y biológicas (suelo desnudo). Tanto fuera, como dentro del dosel del mezquite se tomó la temperatura edáfica y la atmosférica.

### Análisis Químicos y Físicos

Las propiedades que se determinaron fueron: textura con el método del hidrómetro, densidad aparente por la técnica del cilindro metálico (USDA, 1999), densidad real por el método del picnómetro, conductividad eléctrica, materia orgánica, pH con potenciómetro digital, capacidad de intercambio catiónico total por el método volumétrico del versenato, calcio y magnesio intercambiables), sodio y potasio intercambiables por espectrofotometría de flama, nitrógeno total por el método semi-micro-Kjeldahl, fósforo asimilable, humedad al momento, con sensor digital de campo (Aquater M300 digital) y temperatura (termómetro de suelos marca Taylor). Algunas variables fueron calculadas: capacidad de campo y punto de marchitez permanente (obtenidos con la ecuación de Bodman y Mahmud, citada por Silva *et al.*, 1988), agua aprovechable por diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Silva *et al.*, 1988), relación agua-aire dividiendo la capacidad de campo entre la porosidad total (Skopp *et al.*, 1990), capacidad de aireación o de drenaje restando el volumen de agua a capacidad de campo de la porosidad total (Silva *et al.*, 1988; Skopp *et al.*, 1990).

### Análisis de Datos

Para la obtención del índice de calidad total del suelo (ICTS), se construyó un modelo que utiliza dos subíndices (Cuadro 1), esto con la finalidad de evaluar por separado las propiedades que tienen que ver con el funcionamiento físico-hídrico del suelo

(ÍCF) y las que se relacionan con las funciones químico biológicas del suelo. El índice y subíndices se alimentan con valores normalizados que van en una escala de 0 a 1 obtenidos de los valores reales (Andrews *et al.*, 2002; Cantú *et al.*, 2007). Para hacer la normalización las propiedades fueron clasificadas en tres categorías, en la primera que se denomina “mayor es mejor” se agruparon aquellas propiedades en donde lo más conveniente para tener una buena calidad del suelo es que estas presenten valores elevados, tal es el caso del nitrógeno ya que entre más se tenga de este nutriente mejor será el funcionamiento biológico del suelo y mayor beneficio habrá para la productividad. En el segundo grupo “menor es mejor” se colocaron propiedades en donde lo más conveniente para la calidad del suelo es que estas tengan un valor bajo, un ejemplo de esto puede ser la salinidad o la densidad aparente. En la tercera categoría se agruparon las denominadas independientes, en donde no es conveniente que tengan valores ni altos ni bajos, tal es el caso del pH, la granulometría y otras. En el Cuadro 1 se presenta el listado completo de las propiedades utilizadas y su categorización correspondiente.

La normalización de las propiedades de la categoría “mayor es mejor” se realizó por medio de la ecuación (1)  $V_n = \frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$ . Para la normalización de las propiedades denominadas “menor es mejor” se aplicó la ecuación (2)  $V_n = 1 - \frac{I_{min} - I_m}{I_{max} - I_{min}}$ , donde  $V_n$  = valor normalizado,  $I_m$  = valor promedio del indicador,  $I_{max}$  = valor máximo del indicador,  $I_{min}$  = valor mínimo del indicador (Cantú *et al.*, 2007). Las propiedades denominadas como independientes se normalizaron haciendo una consulta bibliográfica de expertos (USDA, 1999; Shepher, 2000; Andrews, 2002; Reynolds *et al.*, 2002; Gugino *et al.*, 2009) donde se revisaron diferentes criterios para evaluar estas propiedades, con esta información se construyeron cuadros de tabulación (Cuadro 2). Para calcular cada subíndice de cada muestra se sumaron todos los valores normalizados de las propiedades incluidas en ese subíndice y posteriormente se obtuvo el promedio. Para calcular el ICTS, se sumaron los valores de los dos subíndices y por último se promediaron (Cuadro 1). Al final se evaluó la calidad del suelo utilizando los criterios de Cantú (2007).

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SP22 versión 21 con el que se obtuvo la media, desviación y error estándar, para la comparación del

**Cuadro 1. Ejemplo del procedimiento seguido para obtener los subíndices e índice de calidad total.**

Sub- índice de la calidad del funcionamiento físico( ICF)						
Isla	Categoría	Propiedad	Valor real	Valor normalizado		
1	Independiente	Arena %	16.4	0.25		
1	Independiente	Limo %	48.00	0.25		
1	Independiente	Arcilla %	35.67	0.75		
1	< Mejor	Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	1.18	0.14		
1	> Mejor <sup>†</sup>	Porosidad %	56.4	0.40		
1	Independiente	Rel agua/aire	0.66	1.00		
1	> Mejor	Capacidad de campo %	37.26	0.30		
1	> Mejor	Agua aprovechable %	17.26	0.46		
1	Independiente	Capacidad de aireación %	12.62	0.25		
			Sumatoria	3.79		
		Promedio	ICF	0.42		
Sub- índice de la calidad del funcionamiento químico- biológico (ICQB)						
Isla	Categoría	Propiedad	Valor real	Valor normalizado		
1	> Mejor	Materia orgánica %	1.22	0.04		
1	> Mejor	Capacidad intercambio catiónico total	21.33	0.00		
1	> Mejor	Saturación de bases %	84.39	0.56		
1	> Mejor	Nitrógeno total %	0.12	0.11		
1	> Mejor	Fósforo asimilable ppm	1.00	0.41		
1	> Mejor	Potasio de intercambio cmol kg <sup>-1</sup>	1.63	0.00		
1	Independiente	pH	7.96	0.50		
1	< Mejor	Conductividad eléctrica dS m <sup>-1</sup>	0.51	1.00		
			Sumatoria	2.62		
		Promedio	ICQB	0.32		
Índice de calidad total del suelo de la isla No. 1						
		ICF	ICQB	Sumatoria	Promedio	Calificación
		0.42	0.32	0.74	0.37	Baja Calidad

<sup>†</sup> En la categoría “mayor es mejor” se incluyeron propiedades en donde lo más conveniente para tener una buena calidad del suelo es que estas presenten valores elevados; por el contrario en la categoría “menor es mejor” se agruparon propiedades donde lo más conveniente para la calidad el suelo es que tengan valores bajos. La categoría independiente comprende propiedades en donde no es conveniente que tengan valores ni altos ni bajos por ejemplo el pH.

índice de calidad del suelo y las propiedades evaluadas de las dos condiciones o factores, se utilizó una prueba de t-test Student para muestras independientes, antes de aplicar la prueba se verificó que los datos cumplieran con el supuesto de normalidad, cuando no fue así se normalizaron transformándolos a una función de arcoseno (Zar, 1999). La evaluación de la calidad total del suelo se realizó según los criterios establecidos por Cantú (2007).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Calidad del Suelo

El índice promedio de calidad total del suelo (ICTS) (Cuadro 3), no fue significativamente diferente entre dentro y fuera de las islas (gl.:48; sig: 0.471 para  $\alpha < 0.05$ ). De acuerdo con los criterios de valoración propuestos por Cantú (2007) ambas condiciones

**Cuadro 2. Criterios establecidos para la normalización de propiedades consideradas como “independientes”.**

Criterios para la normalización de la textura					Criterios para la normalización del pH			
Propiedad %	Valor mínimo	Valor máximo	Valor normalizado	Calificación	Valor mínimo	Valor máximo	Valor normalizado	Calificación
Arena	1	10	0.00	MD		< 5	0.00	MD
Arena	11	20	0.25	D	5	5.4	0.25	D
Arena	21	30	0.50	M	5.5	5.9	0.50	M
Arena	31	40	0.75	F	6	6.4	0.75	F
Arena	41	50	1.00	MF	6.5	7.5	1.00	MF
Arena	51	60	0.75	F	7.6	7.9	0.75	F
Arena	61	70	0.50	M	8	8.5	0.50	M
Arena	71	80	0.25	D	8.6	9.0	0.25	D
Arena	81	100	0.00	MD	> 9		0.00	MD
Limo	1	5	0.00	MD	Criterios valoración capacidad de aireación			
Limo	6	15	0.25	D	Valor mínimo %	Valor máximo %	Valor normalizado	Calificación
Limo	16	20	0.75	F	> 56		0.00	MD
Limo	21	30	1.00	MF	45	55	0.25	D
Limo	31	40	0.50	M	39	44	0.50	M
Limo	41	60	0.25	D	33	38	0.75	F
Limo	> 60		0.00	MD	30	39	1.00	MF
					21	26	0.75	F
Arcilla	1	10	0.25	D	21	20	0.50	M
Arcilla	11	15	0.50	M	10	20	0.25	D
Arcilla	16	20	0.75	F		<9	0.00	MD
Arcilla	21	30	1.00	MF	Criterios valoración capacidad agua/aire			
Arcilla	31	35	0.75	F	Valor mínimo %	Valor máximo %	Valor normalizado	Calificación
Arcilla	36	40	0.50	M	< 0.45		0.00	M
Arcilla	41	60	0.25	D	0.45	0.49	0.25	D
Arcilla	61	100	0.00	MD	0.5	0.55	0.50	M
					0.56	0.60	0.75	F
					0.61	0.70	1.00	MF
					0.71	0.75	0.75	F
					0.76	0.80	0.50	M
					0.81	0.86	0.25	D
						>0.86	0.00	MD

MD = muy desfavorable; D = desfavorable; M = moderado; F = favorable; MF = muy favorable.

**Cuadro 3. Subíndices de calidad física (ICF), químico biológica (ICQB) e índice de calidad total del suelo (ICTS), dentro y fuera de las islas de fertilidad (IF).**

Isla	Dentro			Fuera		
	ICF	ICQB	ICTotal	ICF	ICQB	ICTotal
1	0.422	0.338	0.373	0.595	0.427	0.511
2	0.555	0.610	0.583	0.483	0.461	0.472
3	0.635	0.610	0.623	0.398	0.535	0.467
4	0.609	0.352	0.480	0.457	0.484	0.471
5	0.409	0.393	0.401	0.464	0.388	0.426
6	0.464	0.397	0.431	0.471	0.649	0.560
7	0.660	0.566	0.613	0.567	0.552	0.559
8	0.520	0.546	0.533	0.507	0.571	0.539
9	0.617	0.476	0.546	0.589	0.589	0.589
10	0.444	0.422	0.433	0.512	0.604	0.558
11	0.497	0.462	0.480	0.463	0.516	0.489
12	0.589	0.501	0.545	0.530	0.569	0.549
13	0.554	0.491	0.522	0.411	0.534	0.472
14	0.497	0.378	0.437	0.541	0.819	0.680
15	0.512	0.534	0.523	0.534	0.580	0.557
16	0.445	0.885	0.665	0.594	0.491	0.543
17	0.412	0.531	0.471	0.463	0.542	0.503
18	0.491	0.423	0.457	0.515	0.561	0.538
19	0.622	0.556	0.589	0.573	0.562	0.567
20	0.646	0.502	0.574	0.545	0.684	0.615
21	0.417	0.510	0.463	0.504	0.599	0.551
22	0.606	0.634	0.620	0.555	0.529	0.542
23	0.606	0.673	0.640	0.452	0.574	0.513
24	0.603	0.519	0.561	0.720	0.636	0.678
25	0.569	0.596	0.583	0.527	0.665	0.596
Promedio	0.538	0.517	0.528	0.518	0.564	0.542
Error Std	0.016	0.023	0.015	0.014	0.017	0.012

evaluadas presentan un suelo con moderada calidad. Al observar y comparar los ICTS únicamente del suelo del interior de todas las IF se apreció diferencias significativas entre las distintas IF (gl: 24; sig: 0.000). Lo mismo ocurrió para el ICTS del suelo de fuera de las IF (gl: 24; sig: 0.000). En un análisis más detallado el máximo del ICTS dentro del suelo de las IF fue de 0.665 y el mínimo de 0.401, mientras que para fuera de la isla (suelo desnudo) los valores del ICTS fluctuaron entre 0.680 y 0.426 (Cuadro 3). En ambas condiciones se tienen sitios con moderada y buena calidad de acuerdo a la escala de Cantú (2007). Respecto a los subíndices de calidad física (SICF)

y químico biológicas (SCQB) ambos presentaron un comportamiento muy similar tanto dentro como afuera, sin mostrar diferencias significativas. Los datos obtenidos del ICTS indican que hubo gran heterogeneidad al interior de cada grupo (dentro y fuera), pero pocas diferencias entre los suelos del interior y exterior con respecto a este índice. Estos resultados rompen con el supuesto que establecimos al suponer que el suelo del interior tendría una mejor calidad con respecto al de afuera. Sin embargo cabe la posibilidad de que la prueba utilizada para el análisis no fue lo suficientemente sensible para detectar las diferencias.



El índice utilizado engloba muchas propiedades, dándole el mismo peso específico a cada una de ellas lo cual enmascara el efecto de propiedades que de acuerdo a varios autores (Aguilera *et al.*, 1999; Xie y Steinberger, 2001; Gutiérrez y Squeo, 2004; Schade y Hobbie, 2005) son más determinantes en el funcionamiento ecológico de las IF. Tal y como lo plantean Schade y Hobbie (2005) y Bestelmeyer *et al.* (2006) las IF deben de estudiarse a una escala detallada enfocándose en aspectos que tienen que ver con la relación de patrones y procesos determinantes para su funcionamiento, como aquellos que tienen que ver con el reciclaje de nutrientes y el balance hídrico. Los últimos autores mencionan que para tener un entendimiento más completo del funcionamiento de estos ecosistemas no sólo se deben considerar los procesos que se dan a nivel superficial sino que también hay que analizar al suelo en su profundidad.

### Propiedades del Suelo

No obstante que no se presentaron diferencias significativas en el índice de calidad total de los suelos tanto dentro como fuera de las IF, al analizar de manera individualizada las propiedades que se utilizaron para construir los subíndices e índice de calidad total con la prueba t-Student para muestras independientes, se observó que hubo propiedades como: densidad aparente, materia orgánica, pH, magnesio y propiedades que tienen que ver con el agua en el suelo tales como: humedad en campo, humedad disponible y capacidad de campo, que mostraron diferencias significativas entre el suelo de dentro y el de afuera de las IF (Cuadro 4).

La materia orgánica fue una propiedad que mostró diferencia significativa, se concentró más al interior de las IF (2.30%) (Cuadro 4) debido a los mecanismos de captura, donde los arbustos por medio del tallo, raíces salientes y el mantillo actúan como trampas colectoras de sedimentos y residuos orgánicos transportados por el agua y viento, formándose con el tiempo los montículos característicos de las IF y permitiendo así la adquisición de nutrimentos, materia orgánica y agua (Aber y Melillo, 2001). Los restos orgánicos que se acumulan bajo el dosel van enriqueciendo al suelo y proporcionando recursos para los habitantes de la IF (Gutiérrez y Squeo, 2004; Wilson y Thompson, 2005; Mora y Lázaro, 2014). Uno de los principales aportes de residuos orgánicos en las IF estudiadas es

la producción de hojarasca aportada en este caso por el mezquite, al revisar la hojarasca acumulada dentro de las islas se pudo constatar que la mayor parte proviene del arbusto nodriza (mezquite), ya que los demás habitantes vegetales son diferentes especies de cactáceas cuya aportación orgánica es mínima. La composición química de la hojarasca de los arbustos nodriza es de vital importancia en el enriquecimiento del suelo (Wezel *et al.*, 2000).

La densidad aparente es otra de las propiedades que mostró diferencia significativa, fue menor al interior de las IF generando con esto mayor porosidad, favoreciendo el desarrollo radicular y la infiltración (Holmgren y Scheffer, 2001). Al respecto Mora y Lázaro (2014) indican que abajo del dosel la densidad aparente disminuye debido a las entradas de materia orgánica y bioturbación lo que favorece la infiltración. Este comportamiento de la densidad aparente es el resultado de los mecanismos de realimentación suelo-planta responsable del patrón de distribución típico de la vegetación de las zonas áridas y semiáridas (Bochet *et al.*, 1999; Maestre *et al.*, 2005; Stavi *et al.*, 2009). Shachak *et al.* (1998) mencionan que el suelo del exterior de las IF regularmente es más compacto y por lo tanto menos poroso, lo cual afecta a la disponibilidad de agua limitando así el establecimiento y crecimiento de plántulas (reclutamiento de nuevos individuos) dificultando con esto la recuperación del sistema. Por otra parte el suelo desnudo es más susceptible a la remoción de nutrientes por efecto de la erosión (Mora y Lázaro, 2014).

El pH y magnesio también presentaron diferencias significativas entre el suelo del interior de la isla y del exterior, no obstante que en ambas condiciones el pH fue moderadamente alcalino, el suelo del exterior obtuvo valores más elevados, algo similar ocurrió con el magnesio (Cuadro 4). Desafortunadamente hay poca información a la cuál recurrir en la literatura donde se mencione el comportamiento de estas propiedades en las IF, como para explicar al respecto; sin embargo, lo que sí se reporta con frecuencia (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Holmgren y Scheffer, 2001; Gutiérrez y Squeo, 2004) es que el suelo abierto sin vegetación al estrés hídrico y salino se acentúa más por la exposición directa de los rayos solares incrementando con esto la evaporación y la concentración de sales. Por debajo del dosel de los arbustos las condiciones son menos estresantes hay una mayor infiltración y arrastre de sales

**Cuadro 4. Propiedades del suelo evaluadas dentro y fuera de las islas.**

Propiedad	Dentro		Fuera		Prueba t-Student	
	Promedio (25 sitios)	Error estándar	Promedio (25 sitios)	Error estándar	gl	Sig.
Arena (%)	22.82	1.10	19.6	0.92	47.31	0.044
Limo (%)	47.82	0.67	49.92	0.80	48.00	0.050
Arcilla (%)	29.37	0.75	30.21	0.82	48.00	0.466
Densidad aparente kg m <sup>-3</sup>	1.10	0.02	1.14	0.02	48.00	0.040*
Porosidad %	55.47	1.16	53.85	0.71	48.00	0.240
Relación agua/aire	0.67	0.02	0.66	0.01	48.00	0.371
Conductividad eléctrica dS m <sup>-1</sup>	1.57	0.46	1.61	0.84	48.00	0.973
Salinidad %	0.92	0.27	0.99	0.49	48.00	0.904
Materia orgánica %	2.30	0.17	1.41	0.11	48.00	0.000*
pH (agua) rel 1:2.5	7.68	0.05	7.89	0.04	48.00	0.003*
CICT cmol kg <sup>-1</sup>	27.42	0.62	27.18	0.52	48.00	0.770
Calcio cmol kg <sup>-1</sup>	11.48	0.27	11.54	0.33	48.00	0.870
Magnesio cmol kg <sup>-1</sup>	2.09	0.22	2.85	0.24	48.00	0.022*
Sodio cmol kg <sup>-1</sup>	4.91	0.54	5.68	0.45	48.00	0.287
Potasio cmol kg <sup>-1</sup>	3.76	0.27	3.12	0.25	48.00	0.091
Saturación de bases %	81.16	1.42	85.47	1.08	48.00	0.027*
Nitrógeno total %	0.18	0.02	0.12	0.01	48.00	0.000*
Fósforo asimilable ppm	1.01	0.10	1.15	0.09	48.00	0.293
Humedad en campo	45.94	0.87	42.01	1.08	48.00	0.007*
Capacidad de campo %	37.01	0.49	35.22	0.46	48.00	0.010*
Humedad aprovechable %	17.37	0.22	16.54	0.22	48.00	0.009*
Capacidad de aireación %	14.87	1.44	13.58	1.17	48.00	0.143
Temperatura del suelo °C	32.28	0.46	39.32	1.03	48.00	0.000*

\* Significancia  $\alpha < 0.05$ .

al subsuelo (Titus *et al.*, 2002; Gutiérrez y Squeo, 2004).

Todas las variables evaluadas relacionadas con la presencia del agua en el suelo (humedad en campo, capacidad de campo y humedad disponible) mostraron diferencias significativas entre el suelo del interior y exterior de las IF, manifestando con claridad el efecto que tiene la IF sobre la captación y retención de agua. Los suelos del interior captan y retienen más agua, lo cual se refleja en porcentaje de agua capturada y agua disponible (Cuadro 4). Estos resultados son acordes a los encontrados por Pate y Dawson (1999), Gutiérrez y Squeo (2004), Ridolfi *et al.* (2008), en el sentido de que una de las funciones ecológicas más importantes que desarrollan las IF es la reducción del estrés hídrico. La hojarasca depositada bajo el arbusto nodriza permite que la precipitación sea absorbida por las capas superiores del suelo y quede disponible para

las plantas (Shachak *et al.*, 1998). Aunado a esto León y Squeo (2004) mencionan que los arbustos con raíces pivotantes como el mezquite alcanzan capas freáticas profundas efectuando un levantamiento hidráulico del agua subterránea, lo que conduce a una disminución del estrés hídrico este levantamiento hidráulico contribuye a mantener húmeda la superficie del suelo facilitando así la solubilización de nutrientes y promoviendo los procesos microbianos (Dawson, 1993).

## CONCLUSIÓN

No se encontraron diferencias significativas en el índice de calidad total del suelo, ni en los subíndices de calidad física y química biológica utilizados para evaluar la calidad del suelo tanto del interior como exterior de las islas de fertilidad, sin embargo hubo diferencias en

densidad aparente, materia orgánica, pH, magnesio, humedad en campo, humedad disponible y capacidad de campo. Estos resultados indican o sugieren que este tipo de patrón de distribución de islas de fertilidad no puede ser estudiado de una manera general o global a través de índices los cuales involucran a conjuntos de variables a las cuales se les da el mismo peso específico, sino que debe ponderarse la importancia que tiene cada propiedad en el funcionamiento de las islas de fertilidad (materia orgánica, la actividad microbiológica, el reciclaje de nutrientes y todo lo que tiene que ver con la relación suelo-planta-agua). Se pudo comprobar que uno de los principales agentes responsables en la variación espacial de las propiedades del suelo en el ecosistema estudiado es la propia vegetación, en este sentido la influencia que tiene la planta nodriza es determinante en la regulación y variación de propiedades que resultan determinantes para el funcionamiento de estos ecosistemas. Las nodrizas a través de una serie de mecanismos de realimentación permiten la construcción de un micro nicho el cual logra permanecer por largos periodos.

### LITERATURA CITADA

- Aber, J. D. and J. M. Melillo. 2001. Terrestrial ecosystems. Brooks Cole. Pacific Grove, CA, USA.
- Aguilera, L. E., J. R. Gutiérrez, and P. L. Meserve. 1999. Variation in soil micro-organisms and nutrients underneath and outside the canopy of *Adesmia bedwellii* (Papilionaceae) shrubs in arid coastal Chile following drought and above average rainfall. *J. Arid Environ.* 42: 61-70.
- Andrews, S. S., D. L. Karlen, and J. P. Mitchel. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agric. Ecosyst. Environ.* 90: 25-45.
- Berg, N. and Y. Steinberger. 2012. The role of perennial plants in preserving annual plant complexity in a desert ecosystem. *Geoderma* 185-186: 6-11.
- Bochet, E., J. L. Rubio, and J. Poesen. 1999. Modified topsoil islands within patchy Mediterranean vegetation in SE Spain. *Catena* 38: 23-44.
- Bonanomi, G., M. Rietkerk, S. C. Dekker, and S. Mazzoleni. 2007. Islands of fertility induce co-occurring negative and positive plant-soil feedbacks promoting coexistence. *Plant Ecol.* 197: 207-218.
- Bestelmeyer, B. T., J. P. Ward, J. E. Herrick, and A. J. Tugel. 2006. Fragmentation effects on soil aggregate stability in a patchy arid grassland. *Rangeland Ecol. Manage.* 59: 406-415.
- Cantú, M. P., A. Becker, J. C. Bedano y H. F. Schiavo. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Cienc. Suelo (Argentina)* 25: 173-178.
- Dawson, T. E. 1993. Hydraulic lift and water use by plants: Implications for water balance, performance and plant-plant interactions. *Oecologia* 95: 565-574.
- Flores, J. and E. Jurado. 2003. Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *J. Veget. Sci.* 14: 911-916.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía UNAM. México, D. F.
- Gugino, B. K., O. J. Idowu, R. R. Schindelbeck, H. M. van Es, D. W. Wolfe, B. N. Moebius-Clune, J. E. Thies, and G. S. Abawi. 2009. Cornell soil health assessment training manual. Cornell University College of Agriculture and Life Sciences. Cornell Digital Print Services. Ithaca, NY, USA.
- Gutiérrez, J. R. y F. A. Squeo. 2004. Importancia de los arbustos leñosos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Ecosistemas* 13: 36-45.
- Herrick, J. E., J. R. Brown, A. J. Tugel, P. L. Shaver, and K. M. Havstad. 2002. Application of soil quality to monitoring and management: Paradigms from rangeland ecology. *Agron. J.* 94: 3-11.
- Holmgren, M. and M. Scheffer. 2001. El Niño as a window of opportunity for the restoration of degraded arid ecosystems. *Ecosystems* 4: 151-159.
- León, M. F. y F. A. Squeo. 2004. Levantamiento hidráulico: La raíz del asunto. pp. 99-100. *In:* H. M. Cabrera (ed.). Fisiología ecológica en plantas: Mecanismos y respuestas a estrés en los ecosistemas. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena. Valparaíso, Chile.
- McAuliffe, J. R. 1988. Markovian dynamics of simple and complex desert plant communities. *Am. Nat.* 131: 459-490.
- Maestre, F. T., A. Escudero, I. Martínez, C. Guerrero, and A. Rubio, 2005. Does spatial pattern matter to ecosystem functioning? Insights from biological soil crusts. *Funct. Ecol.* 19: 566-573.
- Mora, J. L. and R. Lázaro. 2014. Seasonal changes in bulk density under semiarid patchy vegetation: The soil beats. *Geoderma* 235-236: 30-38.
- Muñoz I., D. J., F. G. López., M. M. Hernández, A. A. Soler y G. J. López. 2009. Impacto de la pérdida de la vegetación en las propiedades de un suelo aluvial. *Terra Latinoamericana* 27: 237-246.
- Pate, J. S. and T. E. Dawson. 1999. Assessing the performance of woody plants in uptake and utilization of carbon, water and nutrients. Implications for designing agricultural mimic systems. *Agrofor. Syst* 45: 245-275.
- Peters, P. C. D., B. T. Bestelmeyer, E. J. Herrick, E. L. Fredrickson, H. C. Monger, and K. M. Havstad. 2006. Disentangling complex landscapes: New insights into arid and semiarid system dynamics. *BioScience* 56: 491- 501.
- Ridolfi, L., F. Laio, and P. D'Odorico. 2008. Fertility island formation and evolution in dryland ecosystems. *Ecol. Soc.* 13: 5.
- Reynolds, W. D., B. T. Bowman, C. F. Drury, C. S. Tan, and X. Lu. 2002. Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters. *Geoderma* 110: 131-146.
- Shepherd, T. G. 2000. Visual soil assessment. Volume 1. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Horizons.mw / Landcare Research. Palmerston North, New Zealand.
- Schade J. D. and S. E. Hobbie. 2005. Spatial and temporal variation in islands of fertility in the Sonora Desert. *Biogeochemistry* 73: 541-553.

- Shachak, M., M. Sachs, and I. Moshe. 1998. Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems* 1: 475-483.
- Silva, A., J. Ponce de León, F. García y A. Durán. 1988. Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. *Boletín de Investigación* N° 10. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Uruguay.
- Skopp, J., M. D. Jawson, and J. W. Doran. 1990. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1619-1625.
- Stavi, I., H. Lavee, E. D. Ungar, and P. Sarah. 2009. Ecogeomorphic feedbacks in semiarid rangelands: A review. *Pedosphere* 19: 217-229.
- Tewksbury, J. J. and J. D. Lloyd. 2001. Positive interactions under nurse-plants: Spatial scale, stress gradients and benefactor size. *Oecologia* 127: 425-434.
- Tielborger, K. and R. Kadmon. 2000. Indirect effects in a desert plant community: Is competition among annuals more intense under shrub canopies? *Plant Ecol.* 150: 53-63.
- Titus, J. H., R. S. Nowak, and S. D. Smith. 2002. Soil resource heterogeneity in the Mojave Desert. *Arid Environ.* 52: 269-292.
- Turner, R. M. and D. E. Brown. 1994. Tropical-subtropical desertlands: Sonoran desertscrub. pp. 154.1 *In*: D. E. Brown (ed.). *Biotic communities southwestern United States and Northwestern Mexico*. University of Utah Press. Salt Lake. UT, USA.
- UBIPRO (Unidad de Biología y Prototipos). 2007. Deterioro ambiental en zonas áridas. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. México, D. F.
- Valiente-Banuet, A. and E. Ezcurra. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana*. *J. Ecol.* 79: 961-971.
- Wezel, A., J. L. Rajot, and C. Herbrig. 2000. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agroecosystems in semi-arid Niger. *J. Arid Environ.* 44: 383-398.
- Wilson, T. B. and T. L. Thompson. 2005. Soil nutrient distributions of mesquite-dominated desert grasslands: Changes in time and space. *Geoderma* 126: 301-315.
- Whitford, W. G. 2002. *Ecology of desert systems*. Academic Press. London, UK.
- Westoby, M., B. Walker, and I. Noy-Meir. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *J. Range Manage.* 42: 266-274.
- Xie, G. and Y. Steinberger. 2001. Temporal patterns of C and N under shrub canopy in a loessial soil desert ecosystem. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1371-1379.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1999. *Soil Quality Test Kit Guide*. Agricultural Research Services, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute. Washington, DC, USA.
- Zar, J. 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.

# Agricultura familiar para el desarrollo rural incluyente

## *Family agriculture for inclusive rural development*

Laksmi Reddiar Krishnamurthy<sup>1‡</sup>, Sumithra Krishnamurthy<sup>2</sup>,  
Indumathi Rajagopal<sup>1</sup> y Arturo Peralta Solares<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Estado de México, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (uach1854@gmail.com)

<sup>2</sup> University of Sussex. Sussex House, Falmer Brighton, BN1 9RH. United Kingdom.

---

### RESUMEN

Las comunidades indígenas Mayas de la península de Yucatán han practicado la antigua tradición de agricultura familiar, en particular los huertos caseros, para garantizar su seguridad alimentaria. Con el objetivo de mejorar la práctica tradicional considerando paradigmas de la ciencia moderna, por una parte, se colectaron datos para definir la complejidad estructural y diversidad funcional a partir de 20 huertos familiares en cinco comunidades: X - Maben, X - Pichil, X - Yatil, San José II y Melchor Ocampo; y por otra, se organizaron grupos de discusión para dilucidar la estrategia de gestión practicada por las comunidades nativas. Los resultados mostraron que los huertos son manejados principalmente por las mujeres. También mostraron que el propósito principal del crecimiento y mantenimiento de los huertos familiares es garantizar la producción de alimentos nutritivos durante todo el año. Y, por último que los huertos caseros también sirven para propósitos secundarios tales como la provisión de productos y servicios para la medicina tradicional. El estudio sugiere que se debe de promover e invertir en huertos caseros para mejorar las estrategias de desarrollo incluyente en ambientes socio-culturales y biofísicos similares.

**Palabras clave:** *seguridad alimentaria, huertos familiares, diversidad de especies, desarrollo sostenible.*

### SUMMARY

The indigenous Mayan populations of the Yucatan peninsula of Mexico have practiced the ancient traditions of family farming, especially home gardens, to ensure their food security. With the objective of

improving the traditional practice with modern science, data were collected on the structural complexity and functional diversity from 20 home gardens selected at random in each of the following five communities: X-Maben, X-Pichil, X-Yatil, San José II and Melchor Ocampo. In addition, group discussions were organized to elucidate the management strategy practiced by the indigenous people. The results show that home gardens are managed mainly by women. The main purpose of growing and maintaining home gardens is to guarantee the production of nutritious food all year round. Finally, the home gardens also serve secondary purposes such as provision of products and services for traditional medicine. This study suggests that home gardens should be promoted and invested in to improve inclusive development strategies for contexts with similar socio-cultural and biophysical circumstances.

**Index words:** *food security, home gardens, species diversity, sustainable development.*

### INTRODUCCIÓN

Los huertos familiares encarnan una práctica antigua y común de grupos de poblaciones indígenas en todo el mundo (Eyzaguirre y Linares, 2004). Los huertos familiares, generalmente integran múltiples cultivos y sirven para varios propósitos (Galhena *et al.*, 2013), los cuales incluyen la seguridad alimentaria y económica, pero también el intercambio de conocimientos y la cohesión de la comunidad. Aunque existen varias definiciones de “huertos familiares” (Torquebiau, 1992; Méndez *et al.*, 2011), para efectos del presente, los huertos familiares se consideran sistemas de agricultura que combinan diferentes funciones físicas, sociales y económicas en el área del solar alrededor de la casa familiar.

---

#### Cita recomendada:

Krishnamurthy, L. R., S. Krishnamurthy, I. Rajagopal y A. Peralta Solares. 2017. Agricultura familiar para el desarrollo rural incluyente. *Terra Latinoamericana* 35: 135-147.

---

Recibido: junio de 2016. Aceptado: noviembre de 2016.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 35: 135-147.

La práctica de los huertos familiares se considera una de las actividades más antiguas de uso del suelo; ha evolucionado a través de generaciones con una progresiva intensificación del uso del suelo (Kumar y Nair, 2004). El concepto de la base operativa de los huertos familiares esta en las estrechas combinaciones de árboles, arbustos y cultivos anuales, a veces asociados con animales domésticos alrededor del hogar (Wiersum, 1982; Brownrigg, 1985; Fernandes y Nair, 1986; Soemarwoto, 1987; Kumar y Nair, 2004). Los huertos familiares, aunque practicados en diferentes sectores socioeconómicos, son predominantemente adoptados por los agricultores de subsistencia y están generalizados, principalmente en climas tropicales en entornos rurales (Galhena *et al.*, 2013), por lo general son administrados por la madre de familia (Caballero, 1992). Debido a estas consideraciones, los huertos caseros han representado una dimensión sobre el tipo de acciones que representan el desarrollo incluyente; al cual se le puede entender como una serie de actividades en las que se reduce la pobreza al mismo tiempo que los distintos grupos de cada sociedad se ven involucrados en el proceso de toma de decisiones y de participación. (PNUD, 2016). Una característica distintiva de los huertos familiares es la presencia de una gran diversidad de especies de diferentes grupos funcionales tales como las hortalizas, árboles frutales, plantas medicinales, especias y condimentos, bebidas, plantas ornamentales, así como animales domésticos y salvajes.

Varios estudios sobre huertos familiares se han centrado en su complejidad estructural (Soemarwoto, 1987; Arias-Reyes, 2012; Flores-Guido, 2012; Mariaca, 2012), función (Fernandes y Nair, 1986), biodiversidad, seguridad alimentaria y gestión de nutrientes (Montagnini, 2006; Cahuich-Campos, 2012), ganancias económicas (Mohan *et al.*, 2006, Cámara-Cordova, 2012), y cuestiones de sostenibilidad (Torquebiau, 1992; Torquebiau y Penot, 2006). A pesar de recibir altas calificaciones en las funciones productivas y de servicios, a los huertos familiares no se les ha dado importancia como estrategia de desarrollo incluyente. Los huertos familiares han pasado a primer plano como meras prácticas para garantizar la seguridad alimentaria en las zonas y comunidades marginales.

Los huertos familiares cumplen un papel crucial para garantizar la seguridad alimentaria de los hogares en poblaciones indígenas. A nivel mundial, los huertos

familiares tienen una importancia estratégica para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio y los subsecuentes Objetivos de Desarrollo Sostenible, donde se plantean como una prioridad acabar con la pobreza alimentaria y crear un exitoso acceso a alimentos nutritivos. La seguridad alimentaria y la soberanía alimentaria se pueden entender como dos partes complementarias de un objetivo común. La seguridad alimentaria, por un lado se refiere a la condición en donde “en todo momento, todas las personas tienen acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, seguros y nutritivos que pueden cumplir con sus necesidades dietéticas y preferencias alimenticias para una vida activa y sana” (FAO, 1996). La soberanía alimentaria por otro lado, es el derecho al acceso a alimentos sanos y culturalmente apropiados y producidos a través de métodos ecológicamente sensibles y sostenibles, así como el derecho a definir los sistemas de agricultura y de alimentos de uno mismo (Vía Campesina, 1996).

En este contexto, la incorporación de la perspectiva de la seguridad alimentaria en la agenda internacional de desarrollo ha tenido un efecto transformador en la investigación de los huertos familiares, especialmente desde el año 2000 cuando se acordaron los Objetivos de Desarrollo del Milenio, donde la investigación sobre huertos familiares se ha orientado hacia la inclusión de los temas de sostenibilidad y resiliencia. La resiliencia, la capacidad de un sistema a sobreponerse al cambio social, político y ambiental se logra mediante la disponibilidad de fuentes de alimentos e ingresos adicionales fuera del empleo tradicional (FAO, 1996). La sostenibilidad, la calidad de una práctica que no es perjudicial para el medio ambiente, tanto socialmente como ecológicamente (United Nations, 2000; FAO, 2013), es también un componente clave de las prácticas de los huertos familiares puesto que su huella ecológica es normalmente muy baja (Galhena *et al.*, 2013).

El reporte de CONEVAL (2013), estima que el 25% de la población de México vive en condiciones de pobreza alimentaria; por lo que el Gobierno puso en marcha la *Cruzada Contra el Hambre* que tiene como objetivo lograr la seguridad alimentaria nacional, manteniendo la sostenibilidad del medio ambiente a la vez. En este contexto los huertos familiares pueden jugar un papel significativo, ya que pueden facilitar resultados de seguridad alimentaria sin poner en peligro las condiciones ambientales.

En México, y a fin de comprender la incorporación de los huertos familiares, es importante tener en cuenta el papel que los huertos familiares han desempeñado históricamente. De hecho, los huertos familiares desempeñaron un papel importante para las sociedades pre-coloniales, como los mayas, aztecas y totonacas (Caballero, 1992). A través de estos sistemas, las poblaciones fueron capaces de desarrollar asentamientos con una producción anual sostenida de alimentos (Angel-Pérez, 2013). Por otra parte, las comunidades fueron capaces de establecer relaciones con las comunidades cercanas por medio del comercio, y estas prácticas continuaron durante y después de la época colonial (Caballero, 1992). En este sentido, los huertos familiares han permitido la creación de condiciones de vida a través de la resiliencia y la seguridad alimentaria, económica y social. En la actualidad, la combinación de estos aspectos por medio de huertos familiares representa una forma de desarrollo incluyente como practica por la cual se incluye equitativamente a la población más vulnerable en los procesos de desarrollo nacional e internacional (UNEP, 2012), mismos que son practicados ampliamente en algunas de las zonas más pobres de México (Rebollar-Domínguez *et al.*, 2008).

El presente estudio examina: 1) el papel de los huertos familiares para el desarrollo rural, con un enfoque específico en la contribución a la seguridad alimentaria en el contexto de las poblaciones indígenas mayas de la península de Yucatán, México y 2) la complejidad estructural, diversidad funcional y la estrategia de gestión de los huertos familiares mayas. Así como el papel que pudieran desempeñar los huertos familiares como estrategia viable para el desarrollo incluyente, especialmente en las zonas marginales que quedan fuera de los beneficios de las tecnologías de producción promovidas durante las últimas décadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de Estudio

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Felipe Carrillo Puerto en el estado de Quintana Roo, en el sureste de México (19° 03' y 20° 25' N; 87° 25' y 88° 43' O; altitud de 0-100 m; precipitación anual de 1250 mm; clima cálido (tropical seco Köppen: DBCity, 2016) y húmedo con suelos Leptosoles réndzico

en mayor predominancia (Bautista *et al.*, 2005). La población de la zona es de ascendencia maya, dentro de su actividad incluyen la práctica de huertos familiares. En el estado de Quintana Roo, el 44.4% de la población es indígena (INEGI, 2015) y el 95% son maya parlantes (INEGI, 2016).

### Muestreo y Recolección de Datos

Los datos sobre los componentes productivos de los huertos familiares, incluyendo tanto los componentes de vegetación y de origen animal, complejidad estructural, diversidad funcional y estrategias de gestión, las cuales apuntan a los sistemas de manejo de agricultura familiar en los huertos se obtuvieron de 100 hogares. Estos hogares fueron seleccionados mediante muestreo aleatorio para obtener datos representativos. Veinte hogares fueron seleccionados de cada una de las siguientes cinco comunidades (20 en cada comunidad, 100 en total): X-Maben (19° 80' N; 88° 17' O; Tagueo, 2016a), X-Pichil (19° 68' N; 88° 42' O; Tagueo, 2016b), X-Yatil (19° 66' N; 88° 44' O; Nuestro-México, 2016), San José II (19° 97' N; 88° 23' N) y Melchor Ocampo (20° 03' N; 88° 28' O; Dices, 2016).

La recolección de datos consistió en una combinación de observaciones de campo cualitativas, encuestas cuantitativas y discusiones de grupos focales. Las encuestas cuantitativas se basaron en la colección de datos sobre la complejidad estructural de los huertos, la cual se puede entender como las dimensiones, o estratificación de los cultivos en los huertos y de su gestión vertical u horizontal para el aprovechamiento de las tierras; se condujo con base en observaciones de campo en conjunto con comentarios sobre la gestión y manejo de los huertos por parte de los integrantes de las familias. Las observaciones de campo fueron recogidas por los investigadores e involucraron hogares elegidos al azar, (debido a que un 100% de los hogares en las comunidades cuentan con algún tipo de huerto casero, abordando desde unas cuantas plantas hasta un sistema complejo), con familias dispuestas a participar en la investigación. Estas observaciones de campo se utilizaron principalmente para fines de cotejar los datos cuantitativos tales como la complejidad estructural de los huertos familiares (vertical, horizontal, mixtos, manejo de suelo individual, comunal, mixtos, etc.) y su rendimiento (producción m<sup>-2</sup>, etc).

Los grupos focales, o bien el conjunto de personas que participaron en encuestas y discusiones colectivas, corroboraron los datos recogidos a través de las observaciones de campo con información sobre conocimientos indígenas relacionados con la diversidad funcional y las estrategias de gestión utilizadas para el mantenimiento de sus propios huertos familiares. Los grupos focales fueron elegidos por dos razones: 1) permitir la comunicación entre los participantes para la colección de datos (Kitzinger, 1995); y 2) permitir una comprensión de las estrategias comunes de gestión y conocimientos con base en consensos comunales. Los grupos focales se utilizan para generar datos sobre el manejo sostenible de los recursos naturales, ya que el enfoque permite una mejor comprensión de cómo las comunidades administran sus propios recursos (Raymond *et al.*, 2010; CBD, 2011; UNEP, 2012). Mediante los grupos focales se pudieron explorar cuestiones de bienestar social y relaciones dentro de la comunidad para entender la incidencia de los huertos familiares en las condiciones sociales positivas respecto al aumento del bienestar y los procesos de desarrollo a los que tienen acceso las familias. Los grupos focales fueron conformados por 15 a 25 miembros de ambos sexos, con la participación ocasional de niños. Esto se repitió en cada una de las cinco comunidades, lo que permitió una comprensión más representativa de las prácticas sociales y el conocimiento de los distintos niveles de producción de los huertos, la gestión y su manejo (estratificación de actividades con base en género y edad) así como las distintas estrategias para aprovechar la tierra con base en estructuras complejas (multifuncionalidad con base en diversificación de semillas, uso de tierra para crecer estructuras entrelazadas, etc.), que a su vez proporcionaron información sobre la función social de los huertos familiares a través de la construcción de la comunidad y redes. Los participantes provenían de hogares seleccionados al azar y se integraron voluntariamente. El líder de la comunidad también fue informado de los fines y objetivos de los grupos focales antes de la investigación.

La investigación implicó la participación de traductores (de maya a español) ya que los participantes en los grupos focales eran de origen maya, y su nivel de español era muy limitado. Los traductores consistieron en un grupo de estudiantes de la Universidad de Felipe Carrillo Puerto quienes son confiables tanto en español como en la lengua maya.

## RESULTADOS

### Componentes de Producción y Complejidad Estructural

Los resultados reportados fueron obtenidos en cinco comunidades indígenas en el estado de Quintana Roo. Algunos de los resultados pueden ser similares a resultados reportados por parte de otros autores que también han estudiado ambientes socio-culturales semejantes, lo que indica que la población Maya ha convertido los huertos caseros en herencia cultural. Generación tras generación, han diseñado y manejado huertos caseros multi-funcionales similares, para que a partir de ellos se puedan alcanzar los objetivos que se lleguen a plantear. Es por esto, que su herencia cultural resulta en datos afines.

Los datos recolectados sobre los componentes de producción, los diversos estratos y la diversidad vegetal de los huertos familiares, mostraron dos resultados clave. En primer lugar, se logró observar que existen en promedio de 4-5 estratos en cada uno de los sitios visitados ejemplo de esto se aprecia en la Figura 1 donde en el estrato inferior 0-1 m se da la mayor presencia de especie de índole ornamental, aromáticas, hortalizas y medicinales las cuales se ubican en la mayoría de los casos en la cercanía de los costados de la casa habitación; en el segundo estrato 1-2 m hay la presencia en su mayoría de gramíneas (maíz) y especies diversas de frutales en crecimiento; en el tercer estrato de 2-5 m se puede observar la presencia de especies como plátano, palmas y especies frutales entre otras, y el estrato mayor de 5 m se compone de especies maduras de frutales, palmas y maderables, y una diversidad de plantas tanto herbáceas, arbustivas como leñosas (Cuadro 1). En segundo lugar, más del 95% de los hogares estudiados tienen animales tanto domésticos como salvajes. El conjunto de estos componentes de la producción tanto vegetales como animales sirven a una variedad de propósitos, incluyendo la provisión de alimentos, forraje, medicinas y muchos otros (Cuadro 2).

Los huertos familiares también contienen especies de plantas estratificadas verticalmente, en cada estrato conteniendo plantas que pertenecen a una forma de vida específica. Esta tendencia se reconoce en huertos familiares de otras regiones (De Clerck y Negreros-Castillo, 2000).





Figura 1. Estratos de un huerto casero en la comunidad de X-Maben, Quintana Roo.

Los hogares estudiados mostraron diversos focos de producción: algunos hogares se especializan en la producción animal (alrededor de 82%, ya que los animales son la principal fuente de proteínas; cabras, borregos, puercos, gallinas y animales silvestres), mientras que otros en la medicina tradicional (alrededor de 90%, con el fin de reducir el costo de la atención médica y proporcionar alivio inmediato) y otros más en la producción de alimentos (100%, divididos entre hortalizas y árboles frutales) (Cuadro 3, Figura 2). Por lo tanto, los huertos familiares mayas consisten en interacciones complejas entre especies y están diversificados con estrategias de manejo flexibles y aportación de mano de obra externa mínima ya que la mayor parte de las actividades se realizan con mano de obra familiar (Caballero, 1992).

### Utilidades Obtenidas a Partir de los Huertos Familiares Tradicionales

Uno de los resultados principales de las discusiones de los grupos focales fue el reconocimiento unánime del papel de la mujer en el manejo de los componentes productivos de los huertos familiares. Los hombres y otros miembros del hogar están a cargo de tareas de manejo, incluyendo la poda de los árboles, construcción y las ventas a pequeña escala para la creación de ingreso disponible. Esto sugiere que la estrategia de gestión de los huertos familiares es flexible y por lo general

administrada dentro del hogar a través de mano de obra familiar.

En cuanto a los productos obtenidos de los huertos familiares en sí, la mayor parte de los productos alimenticios se emplean para el consumo familiar. Sólo una pequeña proporción del excedente es vendido, siendo compartido de vez en cuando con los vecinos y otros miembros de la comunidad. Esta es una tradición maya común mediante la cual se espera que los hogares compartan sus productos hortícolas para las festividades religiosas. Esto sirve para preservar la cultura, identidad y tradición a la vez que fomenta la cohesión social y la reproducción social. Las discusiones de los grupos focales sugieren que los miembros consideran que los variados servicios y funciones de los huertos familiares afectan a las comunidades de una manera positiva, por lo que es posible justificar la práctica de los huertos familiares como mucho más que sólo la necesidad de alimentos. Esta fue otra consideración importante discutida en los grupos focales.

El papel de los huertos familiares en la creación de redes sociales, cohesión y la construcción de las comunidades fue considerado importante durante las discusiones de los grupos focales. Los participantes destacaron la importancia de los huertos familiares en actividades cotidianas, así como un punto de partida en la creación de una buena relación entre las personas dentro de cada comunidad para relacionarse entre sí. Este es un hallazgo importante, ya que en las principales

**Cuadro 1. Especies de plantas más comunes encontradas en los huertos caseros de X-Maben, X-Pichil, X-Yatil, San José II y Melchor Ocampo en Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo.**

Organización vertical con el nombre regional y científico de la planta			
Presencia por rangos de altura			
0-1	0-2	2-5	5+
----- m -----			
Chile habanero ( <i>Capicum chinensis</i> )	Papaya ( <i>Carica papaya</i> )	Plátano ( <i>Musa</i> sp.)	Chique (No identificado)
Calabaza ( <i>Cucurbita mixta</i> )	Granada ( <i>Punica granatum</i> )	Nance ( <i>Byrsonima crassifolia</i> )	Coco ( <i>Cocos nucifera</i> )
Camote ( <i>Ipomoea batatas</i> )	Tulipán ( <i>Malvaviscus arboreus</i> )	Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> , <i>C. Aurantium</i> )	Guarumbo ( <i>Cecropia peltata</i> sin. <i>C. obtusifolia</i> )
Ruda ( <i>Ruta chalpensis</i> )	Ortiga ( <i>Urtica dioica</i> )	Guaje ( <i>Leucaena leucocephala</i> )	Guano ( <i>Sabal yapa</i> , <i>S. Mexicana</i> )
Hierbabuena ( <i>Mentha piperita</i> )	Dalia ( <i>Dahlia</i> sp.)	Hoja santa ( <i>Piper auritum</i> )	Cedro ( <i>Cedrela odorata</i> )
Epazote ( <i>Chenopodium ambrosoides</i> )	Tabaco ( <i>Nicotiana tabacum</i> )	Ciruelo ( <i>Spondias mombin</i> )	Sabin (No identificado)
Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> )	Maravilla ( <i>Calendula officinalis</i> L.)	Chaya ( <i>Cnidioscolus chayamansa</i> )	Kaska'at ( <i>Luehea speciosa</i> )
Rosa ( <i>Rosa gallica</i> )	Caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> )	Buganvilla ( <i>Bougainvillea glabra</i> )	Pinch (No identificado)
Frijol ( <i>Phaseolus</i> sp.)	Maíz ( <i>Zea mays</i> )	Xiyiat (No identificada)	Anona ( <i>Annona squamosa</i> , <i>A. reticulata</i> )
Albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> )	Ave del paraíso ( <i>Strelitzia reginae</i> )	Mandarina ( <i>Citrus reticulata</i> )	Mango ( <i>Mangifera</i> sp.)
		Huele de noche ( <i>Cestrum nocturnum</i> L.)	Zapote mamey ( <i>Pouteria sapota</i> , <i>P. mammosa</i> )
		Palma ( <i>Veitchia merillii</i> )	Ramón ( <i>Brosimum alicastrum</i> )
			Aguacate ( <i>Persea americana</i> )

agendas de política internacional tales como: Agenda 21, Objetivos de Desarrollo del Milenio y más recientemente Objetivos del Desarrollo Sostenible, impulsadas por la Organización de Naciones Unidas, se deja de lado las diferentes formas a través de las cuales puede construirse cohesión social a partir de huertos familiares. Aunque hay un reconocimiento del intercambio de ideas y conocimientos tradicionales que se está llevando a cabo, nociones como la soberanía alimentaria, identidad, relación y construcción de las comunidades a menudo se consideran el resultado de la acumulación positiva de la seguridad alimentaria y económica, en lugar de una consecuencia paralela de la práctica de los huertos familiares.

En este sentido, los grupos focales son conscientes de los usos y funciones de los huertos familiares los cuales pueden ser considerados bajo el espectro de la seguridad, incluyendo la financiera, nutricional, social y sanitaria; destacando para ellos los siguientes: (1) alimentos o víveres; (2) medicinas (para los humanos y animales domésticos); (3) forrajes; (4) aromáticos (condimentos, perfumes, etc.); (5) edulcorantes; (6) bebidas alcohólicas o no alcohólicas; (7) especias; (8) estimulantes; (9) ceremoniales (amuletos, magia, rituales); (10) drogas (alucinógenos, narcóticos, tranquilizantes); (11) resinas; (12) miel; (13) aceite (comestible e industrial); (14) cercas; (15) rompevientos; (16) herramientas para la agricultura,

**Cuadro 2. Algunas de las plantas y animales encontrados en los huertos familiares de las comunidades: X-Maben, X-Pichil, X-Yatil, San José II y Melchor Ocampo en Felipe Carrillo, Quintana Roo, México, y sus usos.**

Especies vegetales			
Nombre Local	Nombre Científico	Familia	Usos
Chincuya	<i>Annona purpurea</i>	Anonaceae	Alimentos, aromático, artesanías, construcción de viviendas, leña y madera
Achiote	<i>Bixa orellana</i>	Bixaceae	Alimentos, aromático, ceremonial, colorantes, condimentos, industrial, leña y medicinal
Chaka	<i>Bursera simarouba</i>	Burseraceae	Artesanías, seto vivo, ceremonial, sujeción de suelo, instrumentos, leña, madera, medicinal, taninos
Nance	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Malpighiaceae	Alimentos, artesanías, ceremonial, colorantes, construcción, forraje, sujeción de suelo, leña, madera, medicinales, ornamentales
Papaya	<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	Alimentos, bebidas, industrial, medicinales, ornamentales
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	Artesanías, madera, sujeción de suelo, leña, repelentes, ornamentales
Limón dulce	<i>Citrus limonia</i>	Rutaceae	Alimentos, aromático, bebidas, condimentos, leña, medicinales, ornamentales
Pajarito	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	Artesanías, instrumentos, leña, madera, medicinales, ornamentales
Jícara	<i>Crescentia cujete</i>	Bignoniaceae	Alimentos, material de construcción, ceremonial, utensilio doméstico, médico, producción de miel
Cocoíte	<i>Gliricidia sepium</i>	Fabaceae	Forraje, artesanías, seto vivo, colorantes, fijación de nitrógeno, leña, medicinales, repelentes, sombra, taninos, ornamentales
Aguacate	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	Alimentos, cosméticos, condimentos, industriales, medicinales, madera
Especies animales			
Nombre local	Nombre Científico	Categorías de uso en los hogares	
Perro	<i>Cannis familiaris</i>	Protección, mascota	
Pollo	<i>Gallus gallus</i>	Comida, venta	
Puerco	<i>Sus scrofa</i>	Comida, venta	
Pavo	<i>Melleagris gallopavo</i>	Comida, venta	
Pato	<i>Anas sp.</i>	Comida, venta	
Borrego	<i>Ovis aries</i>	Comida, venta	
Gato	<i>Felis silvestris catus</i>	Protección, mascota	
Caballo	<i>Equus caballus</i>	Trabajo	
Ganado	<i>Bos indicus, B.taurus</i>	Comida, trabajo	
Burro	<i>Equus asinus</i>	Trabajo	
Conejo	<i>Sylvilagus sp.</i>	Comida, venta, mascota	
Mula	<i>E. caballu x asinus</i>	Trabajo	
Ganso	<i>Anser anser</i>	Protección, ornamental	
Ave de corral	<i>Numida meleagris</i>	Ornamental	
Aquijones	<i>Melipona sp.</i>	Miel como alimento y medicina	

la caza y la pesca; (17) fibras (textiles, cuerdas y cestería); (18) construcción (muebles o casas); (19) artesanías; (20) instrumentos musicales; (21) ceras; (22) colorantes; (23) control biológico (insecticidas, fungicidas, herbicidas); (24) cosmético; (25) uso doméstico (cocina, embalaje, adhesivos de secado, etc.); (26) bioenergía (carbón, leña, aceite); (27) control de la erosión del suelo; (28) caucho y látex; (29) ornamental o estético; (30) taninos; (31) tóxico (venenoso para el hombre y los animales domésticos); (32) picaduras de abejas con fines médicos; y (33) abono verde.

### Servicios Funcionales de los Huertos Familiares

Tomando como base los criterios de la clasificación cuádruple de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio 2001 (MEA, 2005), los grupos focales además de identificar los diversos usos de los productos cultivados, también lograron vislumbrar una serie de otros servicios de los huertos familiares como unidades en sí. Estos incluirían (1) servicios de provisión: productos obtenidos del sistema, (2) servicios de regulación: los beneficios de la regulación del sistema incluyen la mejora de la calidad del aire, la regulación del clima y la disminución de la susceptibilidad a los desastres naturales, (3) servicios culturales: servicios no materiales recolectados del enriquecimiento espiritual,

estatus social, la recreación, el entretenimiento, la atención plena, relación social y las redes sociales, y (4) servicios de apoyo: servicios considerados importantes para otras funciones de los ecosistemas, tales como la conservación del suelo, la fotosíntesis y ciclos de nutrientes.

### DISCUSIÓN

Los huertos familiares son sistemas complejos. Son estrategias resilientes probadas con el tiempo (Galhena *et al.*, 2013) y consisten en estrategias de gestión flexibles a nivel de hogar (Caballero, 1992). Los huertos familiares estudiados son un tipo muy específico (Lope-Alzina y Howard, 2012), se debe a que los huertos familiares de comunidades indígenas incluyen un gran número de especies de plantas silvestres y cultivadas que se estructuran en diferentes capas verticales y que son manejados con el objetivo de transmitir conocimientos de una manera inter-generacional. Por otra parte (Leclerc y Thuillet, 2014), la combinación intrínca de especies de plantas está dispuesta horizontalmente lo que toma en consideración a los tipos de suelo específicos y a los ciclos de nutrientes para la mejor producción durante todo el año. Lo que hace que la combinación de estos factores sea tan sorprendente en el contexto maya es que

**Cuadro 3. Número de especies de plantas útiles, por categoría, presentes en los huertos caseros de las comunidades de X-Maben, X-Pichil, X-Yatil, San José II y Melchor Ocampo, en el municipio de Felipe Carrillo Puerto.**

Categoría de uso	X-Maben		X-Pichil		X-Yatil		San José II		Melchor Ocampo	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Medicinas	78	28.5	59	23.9	108	34.6	144	41.0	96	35.5
Alimentos	99	36.2	86	34.9	94	30.1	102	29.0	71	26.3
Construcción	9	3.3	13	5.3	21	6.7	18	5.12	11	4.0
Artesanías	8	2.9	14	5.7	9	2.9	15	4.3	8	3.0
Ornamentales	13	4.76	16	6.5	11	3.5	10	2.8	9	3.3
Maderas	9	3.3	11	4.4	10	3.2	15	4.3	12	4.4
Forrajes	19	6.9	12	4.8	13	4.2	10	2.8	15	5.5
Herramientas	9	3.3	7	2.8	11	3.5	8	2.2	10	3.7
Combustibles	18	6.6	19	7.7	22	7.0	19	5.4	23	8.5
Bienes domésticos	11	4.0	9	3.6	13	4.2	10	2.8	15	5.5
Total	273	99.76	246	100	312	99.9	351	99.72	270	99.7

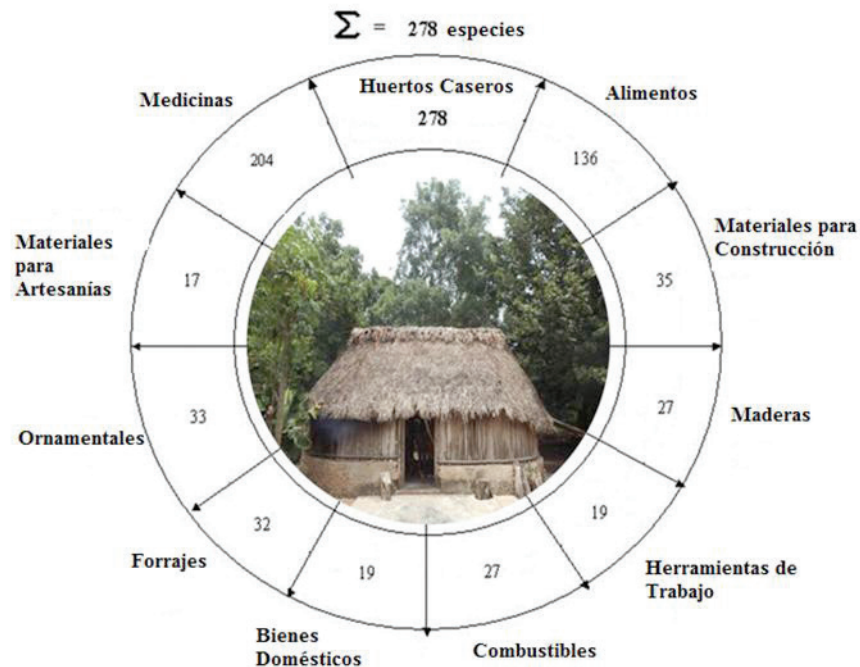


Figura 2. Número de especies y productos múltiples que se pueden obtener de los huertos tradicionales Mayas de las comunidades estudiadas en el municipio de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo (Toledo, 2003).

las comunidades no consideran estos aspectos como unidades separadas de análisis, sino como un conjunto, donde los factores políticos, económicos, culturales y sociales están vinculados entre sí y relacionados con los factores biológicos, agrícolas y ecológicos. Leclerc y Thuillet (2014) observaron patrones similares de agricultura familiar en diferentes partes del mundo.

Aunque los grupos focales se están volviendo cada vez más importantes en el estudio de puntos de vista sociales, al usarlos se descartan las percepciones individuales, priorizando las comunales. La problemática de los grupos focales es que ciertas voces y discursos podrían ser ignorados, ya que no todos los miembros se sienten cómodos hablando en un ambiente grupal. Tal vez podría incluso haber jerarquías locales que los investigadores desconocen, incluyendo jerarquías basadas en género o condición social. Para evitar esto, la investigación podría haber sido llevada a cabo por medio de entrevistas individuales semiestructuradas. Otra alternativa podría ser la división de los grupos focales basada en género. Esto habría permitido una mejor comprensión de los huertos familiares como un espacio para el bienestar social, pero además, y aún más importante, habría

producido datos desglosados por género sobre las prácticas de manejo. Esto es importante cuando se considera el hecho de que los huertos familiares, en la mayoría de los casos, suelen ser administrados por la mujer jefa de familia (Caballero, 1992). Debido a esto, se puede argumentar que las mujeres están más equipadas y preparadas en los temas del manejo y la diversidad funcional. También pasan más tiempo en los huertos familiares en comparación con los hombres, y tienden a ser las encargadas de decidir cómo utilizar los productos para el consumo del hogar (Montagnini, 2006). No sólo esto, sino una perspectiva de género también habría podido arrojar luz sobre las formas en que las subsecciones de la sociedad se relacionan entre sí. Por ejemplo, las relaciones de las mujeres, el intercambio de conocimientos y el bienestar están más intrínsecamente relacionados con los huertos familiares que las relaciones de los hombres, en parte porque estos también tienen sus espacios de trabajo para discutir entre ellos.

Aparte de la adición de una comprensión de género de las prácticas de los huertos familiares y su importancia social, un muestreo selectivo en lugar de uno aleatorio podría haber mejorado el estudio.

Dada la naturaleza aleatoria del estudio, se puede argumentar que fueron ignorados ciertos aspectos de los huertos familiares. Estos incluyen la proximidad a otros espacios sociales, caminos y ciudades, que podrían tener un efecto sobre las prácticas, opiniones y relaciones de los huertos familiares.

Por último, es importante reconocer las limitaciones del uso de traductores. Aunque en este caso, hubo poca o ninguna alternativa, los traductores tienen sesgos incrustados en su propia comprensión de las comunidades y los participantes involucrados. Esto probablemente influyó en las traducciones de las discusiones de los grupos focales. Por otra parte, para los participantes el uso de estos traductores podría haber tenido consecuencias pasadas por alto por los investigadores. Estas incluyen cuestiones tales como querer verse de cierta manera ante los traductores y por lo tanto cambiar sus respuestas. A pesar de que no había alternativa, es crucial tener en cuenta estas limitaciones potenciales al considerar los resultados y conclusiones.

La diversidad de las funciones de los huertos familiares revela tres principales hallazgos. En primer lugar, los huertos familiares juegan un papel importante en la creación de seguridad económica y alimentaria, que a su vez facilita la seguridad de subsistencia. En segundo lugar, los huertos familiares tienen una presencia e influencia en las relaciones y actividades del día a día a niveles de hogar, fraternales y de comunidad. En tercer lugar, dentro de la multiplicidad de las funciones de los huertos familiares, es posible ver que apoyan la creación y recreación de los dos ecosistemas para la producción de alimentos, así como las relaciones sociales de manera sostenible e interrelacionada.

Teniendo en cuenta que la seguridad alimentaria abarca las nociones de la disponibilidad, la utilización de la accesibilidad y la estabilidad, es posible entender las formas en que esta investigación corrobora el discurso dominante sobre los huertos familiares: que la principal y más importante razón para la práctica y el mantenimiento de huertos familiares es para la producción continua de las variadas fuentes de alimentos para el consumo a nivel del hogar (FAO, 1996; Caballero, 1992).

Además del reconocimiento de los huertos familiares como fuente de alimento, es importante tener en cuenta también sus funciones sociales. Los huertos familiares representan un ejemplo de desarrollo desde abajo hacia arriba, porque las comunidades iniciaron

la práctica por sí mismas. Esto implica que los huertos familiares son una práctica y un enfoque que permite que las comunidades y actores locales expresen sus inquietudes y conocimientos para definir las vías de desarrollo (Galhena *et al.*, 2013). Ejemplo de ello es la participación activa en el manejo de los huertos familiares por los diferentes miembros de la familia. Las discusiones de los grupos focales acerca de los diferentes métodos de gestión demostraron cómo los huertos familiares son clave para permitir que las comunidades se conviertan en agentes de su propio cambio. Las comunidades tienen control sobre su seguridad alimentaria, económica, de medios de vida y social, y son flexibles y adaptables a las condiciones cambiantes. El papel de los huertos familiares es diferente dependiendo de si se analizan de manera holística o por medio de un análisis de sus diversos componentes y funciones. El huerto familiar, como unidad, tiene importantes significados sociales y su uso simbólico es esencial en la creación de conversaciones, relaciones y nociones compartidas de identidad. Al tener en cuenta los cultivos de forma individual, por el contrario, uno de los papeles claves de los huertos familiares es la producción de cultivos para mitigar las desigualdades sociales y la pobreza, proporcionando alimentos, medicinas y ornamentos. Los huertos familiares pueden clasificarse no sólo en términos de suelo, productos, tamaño y rendimiento, sino también en cuanto a los *métodos de gestión* utilizados. Esto a su vez hace hincapié en los casos de la identidad y la diversidad de los huertos familiares en las diferentes regiones del mundo.

El hecho de que los huertos familiares y sus propósitos y funciones se pueden entender de esta manera sugiere que los huertos familiares juegan un papel en las realidades y vidas indígenas en diversas formas. Esta es una consideración clave, debido a que en el estudio de los huertos familiares, también se está considerando una serie de estilos de vida y realidades. Sin embargo, más importante aún, la consideración de las diversas funciones de los huertos familiares define a las comunidades indígenas como agentes de su propio bienestar y seguridad.

También es importante tener en cuenta las limitaciones en las prácticas de los huertos familiares en el contexto maya. En primer lugar, no existe un organismo como una cooperativa al que las comunidades puedan vender sus excedentes de producción. Para ello, tal vez el establecimiento de

una asociación o un organismo comunitario puede mejorar el acceso a los mercados y otras instituciones públicas, para reducir los costos asociados con la venta de sus productos. Esto también podría facilitar el hallazgo de nuevas oportunidades de demanda, así como para obtener la formación y el conocimiento y la experiencia técnica de organismos externos tales como agencias gubernamentales, que a su vez podrían ayudar a aumentar el rendimiento y la producción. Las cooperativas también podrían mejorar la relación y comunicación entre las comunidades y el Estado, mitigando una serie de problemas en las comunidades que no están necesariamente asociados con los huertos familiares, como la infraestructura, el intercambio de información y la modernización de la zona a través de nuevos métodos y empresas, convirtiéndose en actividades mercantiles que las permitan insertarse en la economía global. Mientras que al hacer esto se podría perder la esencia de lo “familiar” de los huertos caseros estudiados, lo que se propone es una sinergia entre los modos de producción en los huertos conjunto los sistemas de demanda y oferta en las comunidades. El propósito con esto no sería el de maximizar las economías de escala, si no el de utilizar los mercados disponibles como fuentes de ingresos modernos para mejorar el manejo de los huertos caseros. Cabe mencionar asimismo, que en la escuela del desarrollo incluyente, se habla del potencial de los productores de huertos familiares al vender su exceso en los mercados para de un lado lograr generar ingresos adicionales y por otro generar seguridad alimentaria (Gupta, 2014).

Por último, es importante recordar que los huertos familiares permiten la flexibilidad, cultura, identidad y resiliencia. En este sentido, los organismos gubernamentales deben considerar los diferentes tipos de prácticas de agricultura familiar involucradas en el manejo de los huertos familiares para crear políticas que se ajusten a las realidades multidimensionales de las experiencias indígenas y al mismo tiempo que ayuden al desarrollo económico, comercial y público.

## CONCLUSIONES

Los huertos familiares juegan un papel crucial para las comunidades mayas de: X-Maben, X-Pichil, X-Yatil, San José II y Melchor Ocampo en el estado de

Quintana Roo, debido a que sirven para proporcionar seguridad alimentaria, económica y social. Esto es porque ofrecen una diversidad de cultivos, altos rendimientos y producción durante todo el año, pero también implican un espacio flexible para la producción de alimentos nutritivos y variados. De hecho, consisten de una gran diversidad de especies, estructuras complejas, una aportación externa mínima y sistemas de manejo flexible para combinar componentes agrícolas, forestales y animales. Los huertos familiares también sirven a las comunidades por medio de la atención de la medicina tradicional con base en plantas que ayudan a afrontar crisis imprevistas, así como un alivio eficiente en costos y autosuficiente inmediato. Tal vez más destacable, la investigación muestra que los huertos familiares permiten la resiliencia social y construcción de comunidades a través de la provisión de espacios para el intercambio de conocimientos y bienes. Esto, a su vez, permite la modernización y rápida diversificación de comunidades aisladas que tiene implicaciones para los enfoques rurales desde abajo hacia arriba para el desarrollo. La investigación también muestra que, la mayoría de las actividades diarias, personales y comunales, tienen lugar alrededor del huerto familiar, lo que le permite desempeñar el papel de una entidad y espacio para el desarrollo. En este sentido, es posible argumentar que los huertos familiares tocan cada una de las tres esferas de desarrollo reconocidas: social, económica y ambiental, lo que sugiere que la literatura sobre los huertos familiares, por lo tanto, necesita considerar una comprensión más precisa del papel que desempeñan a nivel popular, donde las comunidades y las personas utilizan los huertos familiares para empoderarse a sí mismos como conductores y agentes de su propio cambio.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos manifestar nuestro agradecimiento a las comunidades mayas del estado de Quintana Roo, México, por compartir con nosotros su tiempo y conocimientos. Así también nuestro agradecimiento para Blanca Dianeli Tuz Bacab, Laura Elena Chuc Castro y Sulmy Argeli Coh Tuk por su gentil acompañamiento, y apoyo como traductoras maya-español durante el presente estudio.

## LITERATURA CITADA

- Angel-Pérez, A. L. 2013. Homegardens and the dynamics of Totonac domestic groups in Veracruz, Mexico. *Anthropological Notebooks* 19: 5-22.
- Arias Reyes, L. M. 2012. El huerto familiar o solar maya-yucateco actual. pp. 111-130. *In: R. Mariaca Méndez (ed.). El huerto familiar del sureste de México.* ECOSUR. México.
- Bautista, F., D. Palma-López y W. Huchin-Malta. 2005. Actualización de la clasificación de los suelos del Estado de Yucatán. pp. 105-122. *In: F. Bautista y G. Palacio (eds.). Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales.* Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. ISBN: 968-5722-13-7.
- Brownrigg, L. A. 1985. Home gardening in international development: What the literature shows, including an annotated bibliography, and inventories of International Organizations involved in home gardening and their projects. The League for International Food Education. Washington, DC, USA.
- Caballero, J. 1992. Maya homegardens: Past, present and future. *Etnoecológica* 1: 35-54.
- Cahuich-Campos, D. 2012. El huerto maya y la alimentación cotidiana de las familias campesinas de X-Mejía, Hopelchén, Campeche. pp. 197-229. *In: R. Mariaca Méndez (ed.). El huerto familiar del sureste de México.* ECOSUR. México.
- Cámara-Córdova, J. 2012. Contribución del huerto familiar a la economía rural, a la adaptación al cambio climático y a la conversión productiva en Tabasco, México. pp. 372-390. *In: R. Mariaca Méndez (ed.). El huerto familiar del sureste de México.* ECOSUR. México.
- CBD (Convention of Biological Diversity). 2011. The Tkarihwaï:ri code of ethical conduct to ensure respect for the cultural and intellectual heritage of indigenous and local communities relevant to the conservation and sustainable use of biological diversity. <http://www.cbd.int/traditional/code/ethicalconduct-brochure-en.pdf> (Consulta: agosto 15, 2015).
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). 2013. Informe de pobreza en México, 2012. CONEVAL. México, D. F.
- DBCity (Dainik Bhaskar Group). 2016. Felipe Carrillo Puerto. <http://es.db-city.com/M%C3%A9xico-Quintana-Roo-Felipe-Carrillo-Puerto> (Consulta: septiembre 18, 2016).
- De Clerck, F. A. J. and P. Negreros-Castillo. 2000. Plant species of traditional Mayan homegardens of Mexico as analogs for multistrata agroforests. *Agrofor. Syst.* 48: 303-317.
- Dices (Directorio Cartográfico de España y Latinoamérica). 2016. Melchor Ocampo, Quintana Roo, Felipe Carrillo Puerto, Chetumal. <http://www.dices.net/mapas/mexico/mapa.php?nombre=Melchor-Ocampo&id=110414> (Consulta: octubre 29, 2016).
- Eyzaguirre, P. B. and O. F. Linares. 2004. Home gardens and agrobiodiversity. Smithsonian Institution Press. Washington, DC, USA.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1996. World Food Summit. Disponible en: <http://www.fao.org/wfs/> (Consulta: agosto 8, 2015).
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2013. State of food and agriculture. Food system for better nutrition. FAO. Rome, Italy. ISBN 978-92-5-107671-2.
- Fernandes, E. C. M. and P. K. R. Nair. 1986. An evaluation of the structure and function of tropical homegardens. *Agric. Syst.* 21: 279-310.
- Flores Guido, J. S. 2012. Diversidad florística, usos y origen de material genético de las especies de los huertos familiares de la Península de Yucatán. pp. 149-175. *In: R. Mariaca Méndez (ed.). El huerto familiar del sureste de México.* ECOSUR. México.
- Galhena, D. H, R. Freed, and K. M. Maredia. 2013. Home gardens: A promising approach to enhance household food security and wellbeing. *Agric. Food Sec.* 2: 8. DOI: 10.1186/2048-7010-2-8.
- Gupta, J., I. Baud, R. Bekkers, S. Bernstein, I. Boas, V. Cornelissen, M. Iguchi, N. Kanie, R. E. Kim, M. Bastos Lima, P. Obani, P. Schoof, C. Stevens, and D. van Zoomeren. 2014. Sustainable Development Goals and Inclusive Development. POST2015/ UNU-IAS Policy Brief #5. United Nations University Institute for the Advanced Study of Sustainability. Tokyo.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Disponible en: <http://sipse.com/novedades/quintana-roo-poblacion-indigena-encuesta-intercensal-2015-inegi-lengua-maya-184159.html> (Consulta: septiembre 18, 2016).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2016. <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/groo/poblacion/diversidad.aspx?tema=me&e=23> (Consulta: septiembre 18, 2016).
- Kitzinger, J. 1995. Qualitative research. Introducing focus groups. *BMJ* 311: 299-302.
- Kumar, B. M. and P. K. R. Nair. 2004. The enigma of tropical homegardens. *Agrofor. Syst.* 61: 135-152.
- Leclerc, C. and A. C. Thuillet. 2014. Wild and cultivated biodiversity and natural resource management. Montpellier, France. *Agrop. Int.* 19: 35-47.
- Lope-Alzina, D. G. and P. L. Howard. 2012. The structure, composition and functions of homegardens: Focus on the Yucatán Peninsula. *Etnoecológica* 9: 17-41.
- Mariaca M., R. 2012. El huerto familiar del sureste de México. ECOSUR. México, D. F.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press. Washington, DC, USA.
- Méndez, V. E., R. Lok, and E. Somarriba. 2001. Interdisciplinary analysis of homegardens in Nicaragua: Micro-zonation, plant use and socioeconomic importance. *Agrofor. Syst.* 51: 85-96.
- Mohan, S., J. R. Alavalapati, and P. K. R. Nair. 2006. Financial analysis of homegardens: A case study from Kerala state, India. pp. 283-298. *In: B. M. Kumar and P. K. R. Nair (eds.). Tropical homegardens: A time-tested example of sustainable agroforestry.* Advances in Agroforestry. Volume 3. Springer. The Netherlands.
- Montagnini, F. 2006. Homegardens of Mesoamerica: Biodiversity, food security, and nutrient management. pp. 61-84. *In: B. M. Kumar and P. K. R. Nair (eds.). Tropical homegardens: A time-tested example of sustainable agroforestry.* Advances in Agroforestry. Volume 3. Springer. The Netherlands.



- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2016. Desarrollo inclusivo. [http://www.undp.org/content/undp/en/home/ourwork/povertyreduction/focus\\_areas/focus\\_inclusive\\_development.html](http://www.undp.org/content/undp/en/home/ourwork/povertyreduction/focus_areas/focus_inclusive_development.html) (Consulta: octubre 28, 2016).
- Raymond, C. M., I. Fazey, M. S. Redd, L. C. Stringer, G. M. Robinson, and A. C. Evely. 2010. Integrating local and scientific knowledge for environmental management. *J. Environ. Manage.* 91: 1766-1777.
- Rebollar-Domínguez, S., V. J. Santos-Jiménez, N. A. Tapia-Torres y C. P. Pérez-Olvera. 2008. Huertos familiares, una experiencia en Chanchah Veracruz, Quintana Roo. *Polibotánica* 25: 135-154.
- Soemarwoto, O. 1987. Homegardens: A traditional agroforestry system with a promising future. pp: 157-170. *In*: H. A. Stepler and P. K. R. Nair (eds.). *Agroforestry: A decade of development*. ICRAF. Nairobi, Kenya.
- Tageo. 2016a. Melchor Ocampo, Quintana Roo. <http://www.tageo.com/index-e-mx-v-23-d-m2398966.htm> (Consulta: octubre 28, 2016).
- Tageo. 2016b. X-Pichil, Quintana Roo. <http://www.tageo.com/index-e-mx-v-23-d-m2399119.htm> (Consulta: octubre 28, 2016).
- Toledo, V. M. 2003. Los pueblos indígenas, actores estratégicos para el Corredor Biológico Mesoamericano. *Biodiversitas* 47: 8-15.
- Torquebiau, E. 1992. Are tropical agroforestry home gardens sustainable? *Agric. Ecosyst. Environ.* Elsevier. 41: 189-207.
- Torquebiau, E. and E. Penot. 2006. Ecology versus economics in tropical multistrata agroforests. pp. 269-282. *In*: B. M. Kumar and P. K. R. Nair (eds.). *Tropical homegardens: A time-tested example of sustainable agroforestry*. Advances in Agroforestry. Volume 3. Springer. The Netherlands.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2012. Consideration of initial elements: recognizing indigenous and local knowledge and buildign synergies with science. IPBES/1/INF/5. <http://www.ipbes.net/plenary/ipbes-1.html> (Consulta: diciembre 4, 2015).
- United Nations. 2000. Millennium Development Goals. <http://www.un.org/millenniumgoals/poverty.shtml> (Consulta: agosto 25, 2015).
- Vía Campesina. 1996. World Food Summit. <https://viacampesina.org/en/index.php/organisation-mainmenu-44> (Consulta: 18 septiembre 18, 2016).
- Wiersum, K. F. 1982. Tree gardening and taungya in Java: Examples of agroforestry techniques in the humid tropics. *Agrofor. Syst.* 1: 53-70.

# Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo

## *Organic milpa: yields of maize, beans, and squash in mono-and polycropping systems*

Roland Ebel<sup>1,‡</sup>, José Gonzalo Pozas Cárdenas<sup>1</sup>, Florencio Soria Miranda<sup>1</sup> y Jesús Cruz González<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas. Instituto Literario 100, Col. Centro. 50000, Toluca, Estado de México, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (roland.ebel@gmx.com)

---

### RESUMEN

La milpa es un tradicional policultivo Mesoamericano que incluye maíz (*Zea mays* L.), calabaza (*Cucurbita* spp.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Se caracteriza por una sinergia entre estos tres cultivos que favorece su rendimiento en conjunto y genera resiliencia ante perturbaciones externas. No obstante, retos actuales ambientales y socio-económicos disminuyen el atractivo de la milpa para los productores por lo que es necesario innovar este sistema de producción sin perder su principal fortaleza, la agrobiodiversidad. En un experimento implementado en 2015 en Piedras Blancas, Estado de México, se compararon todas las posibles combinaciones de policultivos de maíz, calabaza y frijol con los monocultivos de cada una de estas plantas. Todo el manejo fue orgánico y la nutrición se basaba en estiércol compostado de bovino. De todos los tratamientos investigados, la asociación de maíz y frijol demostró la mayor producción total, donde el maíz rindió 7.9 Mg ha<sup>-1</sup> y el frijol 1.9 Mg ha<sup>-1</sup>. En este policultivo, cada planta de maíz produjo 68.3 g, 1.2 veces superior al rendimiento por planta en monocultivo; y cada planta de frijol 27.5 g, lo que corresponde a su rendimiento en el monocultivo. Todas las demás combinaciones de cultivos (maíz-calabaza, frijol-calabaza y maíz-frijol-calabaza) superaron también los respectivos monocultivos en cuanto a su rendimiento total. Con respecto a la calabaza se destacó que las diversas asociaciones incrementaron su rendimiento por planta, pero disminuyeron la producción por planta de maíz y frijol asociados con la calabaza. Se confirmó la sobre cosecha de maíz y frijol asociados comparado con los respectivos monocultivos, lo que subraya

el potencial productivo de los sistemas de producción diversificados.

**Palabras clave:** agrobiodiversidad, agricultura tradicional, Estado de México, sobre cosecha.

### SUMMARY

The *milpa* is a traditional Mesoamerican production system based on polycropping corn (*Zea mays* L.), squash (*Cucurbita* spp.), and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Milpa* is characterized by synergetic interactions between these plants that favor the total output of this arrangement and increase resilience to perturbations of the entire agroecosystem. Still, current environmental and socio-economic threats decrease the *milpa's* attractiveness for farmers. Therefore, innovations of *milpa* are necessary but should not affect its principal strength: its agrobiodiversity. In Piedras Blancas, central Mexico, in 2015, an experiment was carried out to compare all possible combinations of maize, squash, and bean polyculture. Crop management was based on the principles of organic farming and fertilization was provided using manure compost. The combination of maize and beans achieved higher total production, in which maize yielded 7.9 Mg ha<sup>-1</sup> and beans 1.9 Mg ha<sup>-1</sup>. In this maize-bean polyculture, each maize plant produced 68.3 g, 1.2 times higher than the yield per plant in monoculture and each bean plant yielded 27.5 g, which was equal to its performance in monocropping. All other combinations of crops (maize-squash, bean-squash, and maize-bean-squash) also exceeded their respective monocultures in terms of total production. As regards squash, it was revealed that the diverse associations increased its yield per plant, but per

---

#### Cita recomendada:

Ebel, R., J. G. Pozas Cárdenas, F. Soria Miranda y J. Cruz González. 2017. Manejo orgánico de la milpa: rendimientos de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana* 35: 149-160.

---

Recibido: agosto de 2016. Aceptado: enero de 2017.  
Publicado en *Terra Latinoamericana* 35: 149-160.

plant production of maize and beans decreased when they were associated with squash. The overyielding of maize and beans in association, compared with their respective monocultures, highlights the potential of polycropping systems to provide satisfactory yields for all involved crops.

**Index words:** *agrobiodiversity, traditional farming, State of Mexico, overyielding.*

## INTRODUCCIÓN

La milpa es un sistema tradicional de policultivo que tiene su origen en Mesoamérica (Hernández, 1995); consiste en la asociación simultánea de maíz (*Zea mays* L.), calabaza (*Cucurbita argyrosperma* Huber, *C. ficifolia* Bouché, *C. moschata* Duchesne ex Poir o *C. pepo* L.) y diversas leguminosas (*Phaseolus vulgaris* L., *P. lunatus* L., *Vicia faba* L. o *Vigna unguiculata* [L.] Walp.), cultivos que en esta parte del mundo se conocen como las tres hermanas (Aguilar *et al.*, 2003; Lewandowski, 1987). Aunque existen regiones en México y Centroamérica donde la palabra milpa se refiere a cualquier terreno dedicado al cultivo del maíz (Real Academia Española, 2014), en el presente artículo, milpa se refiere únicamente al mencionado policultivo.

En el caso de la milpa se trata de un policultivo mixto donde varios cultivos crecen simultáneamente sin un arreglo por surcos (Gliessman, 1985). La milpa es además un policultivo suplementario, donde se reduce la densidad de siembra del cultivo principal (en el caso de la milpa, el maíz) para dejar espacio para uno o varios cultivos asociados. Se distingue de policultivos aditivos, donde la densidad de siembra del cultivo principal se mantiene constante (Iverson *et al.*, 2014).

Según el clima, el suelo, la vegetación, las costumbres alimenticias de la región y los intereses y destrezas del productor, la milpa puede incluir un sinfín de plantas (anuales y perennes) adicionales. Pueden llegar a encontrarse hasta 50 especies diferentes ya sea cultivadas, auspiciadas o toleradas (Aguilar *et al.*, 2003; Molina *et al.*, 2016). Frecuentemente, un maíz nativo con un ciclo de producción corto es intercalado con otro de un ciclo mayor. Los agricultores, muchos de ellos en subsistencia, mantienen esta diversidad inter e intraespecífica como estrategia para enfrentar futuros cambios ambientales

y necesidades económicas actuales (Altieri, 2009a). La milpa se desarrolla tradicionalmente en temporal y sin mayor involucramiento de agromaquinaría. La agrobiodiversidad generada es la principal estrategia para enfrentar plagas y enfermedades. En muchas partes de México, el manejo de barbecho en la milpa es relacionado con la práctica de roza, tumba y quema que también aporta nutrientes a estos policultivos (Mariaca, 2011). En el centro de México, comúnmente se presenta la milpa con insumos de sistemas de producción convencionales (p. ej.: nutrición vegetal con fertilizantes sintéticos o uso de plaguicidas).

La interacción de maíz, leguminosas y calabaza genera un aumento de la producción por planta de maíz en comparación con su monocultivo, la sobrecosecha (Altieri *et al.*, 2011). El rendimiento de un cultivo es altamente determinado por su competencia intraespecífica; en un policultivo suplementario, una sustitución parcial del cultivo principal por otro incrementa su nivel de producción por una reducción de la competencia intraespecífica (Iverson *et al.*, 2014). Gliessman (1985) demostró que 1.73 ha de maíz en monocultivo producen tanto alimento como 1 ha de milpa; generando una cantidad adicional de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de residuos de cultivo (para ser incorporados al suelo) en comparación con un monocultivo. Según Zhang *et al.* (2014), el policultivo de maíz y frijol (sin calabaza) genera una sobrecosecha parecida.

Sobrecosecha en un policultivo como la milpa se debe a (1) efectos de selección donde prospera el cultivo dominante gracias a aportaciones de los demás o a (2) complementariedad de nicho donde las diversas plantas aprovechan nichos diferentes. En la milpa se detectan ambos fenómenos (Zhang *et al.*, 2014) pero predomina la complementariedad de nicho causada por diferencias arquitectónicas de las raíces entre maíz, frijol y calabaza que resulta en una eficiente absorción de nutrientes (Postma y Lynch, 2012). Aparte, el frijol es una planta fijadora de nitrógeno atmosférico que aporta este nutriente a los demás cultivos. En cambio, la caña de maíz proporciona sostén al frijol. La calabaza sembrada entre el maíz y el frijol cubre ampliamente el suelo y consecuentemente limita el desarrollo de arvenses y ayuda a mantener la humedad del suelo (Aguilar *et al.*, 2003; Gliessman, 1990; Wang *et al.*, 2010).

La milpa se considera un sistema de producción tradicional, donde los rendimientos de los cultivos dependen de los recursos internos, el reciclaje de

materia orgánica, los mecanismos de control biológico y el patrón de lluvia (Altieri, 2009a). Sin embargo, desde la segunda parte del siglo XX, en México, las políticas gubernamentales promovieron el monocultivo y la utilización de estrategias como la mecanización, el mejoramiento de variedades y el desarrollo de agroquímicos para la fertilización y el control de plagas y arvenses. Desde entonces, la agricultura quedó al servicio de la industrialización (Aguilar *et al.*, 2003). Como consecuencia, los ciclos de nutrientes, energía y agua en los monocultivos se han vuelto más abiertos que en los ecosistemas tradicionales y la eficiencia del uso de insumos ha disminuido; hoy en día, los rendimientos en la mayoría de los cultivos importantes se están estancando (Altieri, 2009a) y el tratamiento de pérdida de fertilidad, retención de agua, plagas y enfermedades requiere un incremento de los costos externos (Gliessman, 1977).

No sorprende, pues, que en México todavía persiste la milpa. Aun así, este sistema de producción presenta también desventajas por las cuales cada vez menos jóvenes optan por dedicarse a la milpa: una alta demanda de mano de obra, poco potencial de mecanización y un menor rendimiento por área que monocultivos de maíz basados en altos insumos (Ebel y Castillo, 2012; Molina *et al.*, 2016). Adicionalmente, las presiones socioeconómicas y ambientales que enfrentan muchos milperos han ocasionado la reducción del período de barbecho, haciendo menos productivo y sustentable este sistema (Rosales *et al.*, 2004<sup>1</sup>).

Otra amenaza para la milpa es el cambio climático. Para Mesoamérica, se espera para la mitad del siglo XXI que la producción de maíz disminuirá al menos en un 10% (Jones y Thornton, 2003). En México, el cambio climático afecta particularmente a los agricultores en subsistencia cuya seguridad alimentaria depende del cultivo de maíz en temporal (Altieri, 2009b). Se pronostican múltiples consecuencias directas del cambio climático al desarrollo, la productividad y la fenología de los cultivos: en primer lugar un daño físico de los agroecosistemas causado por un incremento en desastres naturales (Morton, 2007); adicionalmente, un aumento de la actividad fotosintética de las plantas por las esperadas temperaturas y niveles de CO<sub>2</sub> elevados, fomentando la biomasa de las arvenses (Führer, 2003; Patterson, 1995); una más intensa mineralización causada por una reproducción acelerada de la microflora del suelo (Pimentel, 1993; Swaminathan y Kesavan, 2012). También se pronostica una alteración

de las poblaciones de hongos y bacterias patógenos (Biggs y Webb 1986; Dwivedi *et al.*, 2013), menor actividad de micorrizas (Augé, 2001) y un incremento de ciclos reproductivos de insectos plaga (Altieri y Koohafkan, 2008).

En cuanto a los cultivos que componen la milpa, *Phaseolus* spp. es el más afectado, especialmente por períodos de sequía cuando tiene que invertir más energía en su crecimiento vegetativo para poder desarrollar un sistema radicular suficientemente profundo para extraer humedad del suelo (Dwivedi *et al.*, 2013). Con respecto al maíz, su rendimiento puede disminuir hasta un 20% si los productores latinoamericanos siguen enfrentando una disminución de las precipitaciones (Dempewolf *et al.*, 2014). La sequía afectará también su calidad; se espera una reducción de proteínas y un aumento de fibra, almidón y azúcar (Ali y Ashraf, 2011). Para *Brassicaceas*, una sequía prolongada resulta en una floración precoz, así como en descendientes con tallos más delgados (Dwivedi *et al.*, 2013). Cabe mencionar que la mayoría de los estudios relacionados con las consecuencias del cambio climático se refiere al manejo de monocultivos.

Por el contrario, los agroecosistemas tradicionales se caracterizan por una biodiversidad funcional que genera sinergismos que garantizan una resiliencia ante perturbaciones externas y un alto potencial de adaptación a situaciones cambiantes (Altieri, 2004). Cuando más complejo y diverso sea un agroecosistema, menos es la fluctuación en términos de diversidad de especies lo que fomenta la estabilidad del sistema (Sullivan, 1998). Esta virtud de los policultivos depende del nivel de interacción entre los componentes bióticos, domesticados y salvajes, y abióticos de un agroecosistema (Altieri, 2009a) y del manejo de los productores (Altieri, 2009b). Consecuentemente, el policultivo, la agrobiodiversidad implementada, destaca por ser una estrategia eficiente para enfrentar los retos del cambio climático.

Aparte de su alta resistencia a perturbaciones, otras ventajas de los policultivos incluyen: bajo riesgo de una pérdida completa de la cosecha en caso de una perturbación (Ebel *et al.*, 2013); la utilización adecuada del tiempo por el productor, ya que no todos los cultivos se desarrollan simultáneamente (Aguilar *et al.*, 2003); correspondientemente, un período más extenso de cosecha; una variedad de alimentos producidos para productores en subsistencia; un aprovechamiento eficiente del área disponible

<sup>1</sup> Rosales G., M., I. Solís F. y A. Ayala S. 2004. Problemática campesina, retos y perspectivas de la investigación y el servicio para el mejoramiento de la milpa en Yucatán. De los maiceros, necesidades y expectativas. Memoria de Trabajos y Resultados del Foro Taller. INIFAP, INAH. Mérida, México.

(Gliessman, 1985); un uso eficiente de luz, agua y nutrientes disponibles siempre que se asocien cultivos con diferentes fisionomías (Liebman, 1997; Bavec *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2010); alta disponibilidad de nitrógeno en el suelo cuando se intercalan leguminosas (Agboola y Fayemi, 1971); mayor captura de luz por tener más superficie foliar que en monocultivos; como consecuencia, mayor producción de biomasa (Zhang *et al.*, 2014); la supresión biológica de enfermedades (Root, 1973; Altieri, 1994; Guzman y Alonso, 2000; Khan *et al.*, 2008); una mayor actividad biológica de los suelos comparado con monocultivos (Gliessman, 1985); y asiduamente una amplia cobertura del suelo, reduciendo la erosión, el crecimiento de arvenses y la evaporación de agua (Ebel *et al.*, 2013).

Las desventajas de los policultivos son su baja mecanización (Molina *et al.*, 2016) e investigación al respecto; consecuentemente, una alta demanda de mano de obra (Frison *et al.*, 2011); una falta de expertos en el área; una contracorriente social, política y económica; una difícil aplicación de métodos estadísticos convencionales para evaluar experimentos biodiversos; competencia entre los cultivos por nutrientes, luz y agua si los policultivos son mal diseñados; posibles interacciones alelopáticas entre las plantas; y una alta humedad relativa que puede fomentar mayor presencia de hongos patógenos (Gliessman, 1985).

A pesar de las múltiples fortalezas de los policultivos, la magnitud del cambio climático reta a los productores tradicionales de una manera que reaccionan con medidas como la disminución de la agrobiodiversidad que ponen en peligro su capacidad de resiliencia y adaptación. Es probable que la milpa tradicional no es capaz de enfrentar este reto, sino que requiere de una adaptación a los retos del siglo XXI sin perder sus características: su agrobiodiversidad y baja dependencia de insumos externos. Proponemos, pues, desarrollar agroecosistemas basados en la agricultura tradicional, adaptados a las condiciones climáticas y edáficas de un determinado lugar, pero enriquecidos por técnicas contemporáneas del manejo sostenible. Consecuentemente, la presente investigación busca aportar insumos para el desarrollo de un sistema de producción milpero adaptado a las condiciones ambientales del Estado de México, combinando el manejo tradicional con estrategias de la agricultura orgánica. Su objetivo fue encontrar el policultivo más productivo. Por lo tanto, se compararon todas las posibles combinaciones de policultivos de las plantas

que componen la milpa (maíz, frijol, calabaza) con los monocultivos de cada una de estas especies, evaluando su rendimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Campus El Cerrillo Piedras Blancas de la Universidad Autónoma del Estado de México, a 18 km al norte de la ciudad de Toluca, y a 55 km del sur de la ciudad de Atlacomulco. Se ubica a 19° 14' N y 92° 42' O, a una altitud de 2611 m. El clima prevaleciente es C (w<sub>2</sub>) (García y Falcón, 1980). En la ciudad de Almoloya de Juárez, ubicada a 9.5 km del lugar del experimento, la temperatura media es de 13.3 °C, la precipitación anual de 744 mm (CONAGUA, 2016). Se trata de una zona templada subhúmeda donde las heladas anuales representan una limitación ambiental para la agricultura. En esta zona, la mayor parte de la producción de maíz es de temporal; el riego es generalmente de auxilio. Tradicionalmente, se siembran variedades nativas de maíz blanco, negro, amarillo y rosado, destacando 'Cacahuacintle' y 'Palomero Toluqueño' (Aguilar *et al.*, 2003).

El experimento se implementó en un área de una extensión total de 201.6 m<sup>2</sup>. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con siete tratamientos (de 7.2 m<sup>2</sup> cada uno) y cuatro repeticiones de cada uno, resultando 28 unidades experimentales donde los tres cultivos experimentados se sembraron en diferentes densidades de siembra. Según recomendaciones de productores de la región, se sembraron 8 plantas de maíz m<sup>2</sup>. La composición de los policultivos se calculó de la siguiente manera: la siembra de una planta de maíz equivale a 0.75 plantas de frijol y a 0.25 plantas de calabaza.

Las semillas de maíz, frijol y calabaza utilizadas en este experimento procedieron de la comunidad de El Rincón de la Candelaria (altitud de 2570 m), municipio de Atlacomulco, México. Estos materiales fueron proporcionados por productores cooperantes que han sembrado dichos cultivos por muchos años obteniendo buenos resultados. La siembra del maíz se llevó a cabo el 25 de abril de 2015, utilizándose semilla de maíz nativo localmente conocido como 'Criollo blanco'. Esta variedad es localmente apreciada por una amplia resistencia al volcamiento, satisfactorias características de nixtamalización y buen sabor de su tortilla. Tres semanas después, se sembró frijol criollo 'Rosita' de mata y calabaza criolla de guía.

El manejo del riego, de la nutrición y del control de plagas, enfermedades y arvenses fue idéntico para todos los tratamientos. El experimento se implementó principalmente en temporal. Únicamente en tres ocasiones se realizó riego por aspersores circulares: en virtud de bajas precipitaciones en el mes de abril, con la siembra de maíz se aplicó una cantidad de 500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; con la siembra de los otros cultivos el 16 de mayo de 2015 se aplicó la misma cantidad; un último riego de 350 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> se realizó el 27 de mayo de 2015.

En cuanto a la nutrición vegetal, se aplicaron 10 Mg ha<sup>-1</sup> estiércol de bovino con la siembra. Durante el desarrollo vegetativo de los diversos cultivos se emplearon 0.5 Mg ha<sup>-1</sup> del fertilizante comercial orgánico "Naturabono". Se trata de un fertilizante producido a través del compostaje de residuos orgánicos urbanos y enriquecido con bacterias entomopatógenas, con un contenido de 1.1 (Vol.) % N, 0.7% K, 0.8% P, 0.3% Mg, 3.1% Ca y 0.2% S, aparte de trazas de Fe, Mn, Zn y B. Este producto se aplicó directamente al suelo donde se incorporó superficialmente. Adicionalmente, se aplicó quincenalmente un lixiviado de lombricomposta en dosis al equivalente de 7 L ha<sup>-1</sup> diluidos 1:4 en agua como fertilizante foliar (Cuadro 1). La aportación total de estas dos medidas corresponde a 165 kg ha<sup>-1</sup> N, 95 kg ha<sup>-1</sup> P y 245 kg ha<sup>-1</sup> K durante el ciclo del cultivo.

Las plagas que se presentaron a lo largo del ciclo vegetativo de los cultivos fueron *Diabrotica undecimpunctata* Mannerheim, *D. longicornis* Say, *Macrodactylus* sp., *Phyllophaga* sp., *Spodoptera frugiperda* Walker, *Rhopalosiphum maidis* Fitch, *Chaetocnema pulicaria* F. E. Melsheimer, *Dalbulus maidis* De Long, *Helix aspersa* Müller, *Helicoverpa zea* Boddie y *Sphenophorus* sp.; todas de baja incidencia. Preventivamente, se aplicó cal en los contornos del área experimental (en una ocasión), se fumigó un té de

chile, ajo y cebolla (semanalmente con una dosis de 1.5 L ha<sup>-1</sup>) y se instalaron trampas de cerveza. Aparte de insectos, se presentaron ocasionalmente roedores de las especies *Rattus norvegicus* Berkenhout y *Rattus rattus* L.

Las enfermedades que se observaron en baja incidencia fueron *Puccinia sorghi* en maíz, *Fusarium* sp. en frijol y *Sphaerotheca* sp. en la calabaza. No fue necesaria la aplicación de fungicidas orgánicos.

El manejo de arvenses fue manual a través de un deshierbe selectivo semanal. Las especies con mayor presencia fueron *Medicago polymorpha* L. (tolerada), *Brassica napa* L., *Rumex crispus* L., *Lopezia racemosa* Cav. y *Commelina erecta* L. (no toleradas). Su distribución fue pareja sobre todos los tratamientos. Lo mismo aplica para otras arvenses que se presentaron con menor frecuencia, tales como *Calandrinia micrantha* Schltld., *Bidens odorata* Cav., *Chenopodium album* L. y *Avena fatua* L.

El desarrollo vegetativo de las plantas fue monitoreado semanalmente. La cosecha de maíz se realizó en los meses de septiembre y octubre considerando la madurez fisiológica del cultivo. Para la medición del rendimiento, se seleccionaron al azar tres plantas del surco central de cada tratamiento que se secaron hasta alcanzar un promedio de 14% de humedad, para posteriormente pesarlas y conocer su rendimiento. El frijol se cosechó en el mes de septiembre en cuanto alcanzó la madurez fisiológica y se dejó secar bajo sombra al aire libre hasta también alcanzar un 14% de humedad para pesarse posteriormente. La calabaza fue recolectada entre los meses de julio y agosto. Este cultivo se cosechó en forma de flor y fruto verde dos veces por semana hasta la senescencia de la planta; en cada corte, se pesó el fruto y se contó el número de flores.

**Cuadro 1. Calendario de las principales actividades de nutrición y de control de plagas, implementadas el año 2015 en el campus El Cerrillo, Piedras Blancas de la Universidad Autónoma del Estado de México.**

Mes	Estiércol de bovino	Fertilizante comercial orgánico	Lixiviado de lombricomposta	Té de chile, ajo y cebolla
Abril	X			
Mayo				X
Junio		X	X	X
Julio			X	X
Agosto			X	X
Septiembre				X

Se evaluó la producción por área y por planta. También se comparó la producción de maíz, frijol y calabaza en los diversos arreglos con sus rendimientos usuales en la región; la producción regional de un cultivo equivalió a un 100%; y su rendimiento en los siete tratamientos experimentados se calculó en forma de puntos porcentuales basados en este valor (producción referenciada).

Adicionalmente, se calculó la razón equivalente de la tierra (RET). Corresponde al área en monocultivo que se requiere para generar la misma cosecha que en 1 ha del policultivo analizado (Altieri *et al.*, 1983; Gliessman, 1985). Genera una base estandarizada para comparar diferentes arreglos en diferentes situaciones (Francis y Decoteau, 1993). Para obtener la RET, primero se calcula la relación entre el rendimiento de cada cultivo que compone un policultivo y su respectivo rendimiento en monocultivo. Después se suman las áreas equivalentes para cada cultivo que compone un policultivo como desglosado en la Ecuación 1:

$$RET = \sum_{i=1}^n \frac{CP_i}{CM_i} \quad (1)$$

Donde n corresponde al número de cultivos asociados, CP al rendimiento por hectárea de un cultivo en policultivo y CM a la cosecha del mismo cultivo en monocultivo en la misma superficie y con un manejo idéntico. Una RET > 1 expresa una ventaja productiva de un policultivo (Bavec *et al.*, 2005).

La distribución normal de todos los datos fue comprobada con la prueba Shapiro-Wilk. La homogeneidad de las varianzas se evaluó con la prueba de Levene. Las significancias se detectaron con un análisis de varianza y una prueba post-hoc de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para cada parámetro analizado, los cuales fueron: producción total por área ( $Mg\ ha^{-1}$ ), producción por planta (g) y número de flores (en el caso de la calabaza).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto al rendimiento por superficie, el maíz mostró mayor producción en monocultivo, donde también fue sembrado con mayor densidad (Cuadro 2). El frijol rindió más por superficie en monocultivo y asociado con el maíz (Cuadro 3). La producción de la calabaza por superficie fue mayor en asociación con

**Cuadro 2. Rendimiento por superficie ( $Mg\ ha^{-1}$ ) y referenciado de maíz nativo en monocultivo, asociado con frijol, con calabaza y con frijol más calabaza.**

	Rendimiento	Rendimiento referenciado <sup>†</sup>
	$Mg\ ha^{-1}$	%
Maíz	9.3 a <sup>‡</sup> (0.2) <sup>§</sup>	133
Maíz-Frijol	7.9 b (0.3)	113
Maíz-Calabaza	7.9 b (0.9)	113
Maíz-Frijol-Calabaza	4.5 c (0.7)	65

<sup>†</sup> Tomando como referencia un rendimiento de maíz de  $7\ Mg\ ha^{-1}$  (100%) como esperable en la región Atlacomulco, Estado de México. <sup>‡</sup> Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). <sup>§</sup> Desviación estándar.

el frijol, evaluando tanto la producción de flores como de frutos (Cuadro 4). En cambio, maíz, frijol y calabaza mostraron su menor rendimiento por superficie en el policultivo de las tres hermanas.

Para generar alta RET, el reto es encontrar la combinación de densidades de siembra más productiva (Sullivan, 1998). Siguiendo el manejo tradicional de la milpa, los policultivos en la presente investigación mostraron un arreglo suplementario donde las densidades de siembra de cada cultivo fue menor que en sus respectivos monocultivos. Productores del norte del Estado de México recomiendan una relación de 0.75 plantas de frijol y de 0.25 plantas de calabaza por cada maíz sembrado, tal como lo implementado en esta investigación. Gliessman (1985) reporta en un experimento con 0.8 plantas de frijol y 0.07 plantas de calabaza sembradas por cada planta de maíz (o sea, ligeramente mayor densidad de frijol y drásticamente

**Cuadro 3. Rendimiento absoluto ( $Mg\ ha^{-1}$ ) y referenciado de frijol en monocultivo, asociado con maíz nativo, con calabaza y con maíz nativo más calabaza.**

	Rendimiento	Rendimiento referenciado <sup>†</sup>
	$Mg\ ha^{-1}$	%
Frijol	1.9 a <sup>‡</sup> (0.4) <sup>§</sup>	124
Maíz-Frijol	1.9 a (0.5)	128
Frijol-Calabaza	0.6 b (0.2)	40
Maíz-Frijol-Calabaza	0.9 b (0.3)	52

<sup>†</sup> Tomando como referencia un rendimiento de frijol de  $1.5\ Mg\ ha^{-1}$  (100%) como esperable en la región Atlacomulco, Estado de México. <sup>‡</sup> Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). <sup>§</sup> Desviación estándar.

**Cuadro 4. Rendimiento absoluto (Mg ha<sup>-1</sup>) y referenciado de calabaza (frutos) y número de flores de calabaza por ha en monocultivo, asociado con maíz nativo, con frijol y con maíz nativo más frijol.**

	Rendimiento (frutos)	Rendimiento (frutos) referenciado <sup>†</sup>	Rendimiento (flores)
	Mg ha <sup>-1</sup>	%	Flores ha <sup>-1</sup>
Calabaza	10.3 b <sup>‡</sup> (2.6) <sup>§</sup>	86	1268 b (124)
Maíz-Calabaza	7.3 c (0.7)	61	788 c (76)
Frijol-Calabaza	14.0 a (1.0)	116	1531 a (109)
Maíz-Frijol-Calabaza	6.2 c (1.9)	62	1120 b (91)

<sup>†</sup> Tomando como referencia un rendimiento de calabaza de 12 Mg ha<sup>-1</sup> (100%) como esperable en la región Atlacomulco, Estado de México. <sup>‡</sup> Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). <sup>§</sup> Desviación estándar.

menor densidad de calabaza que en el presente experimento) que generó una RET excepcional de 1.73. Este resultado se debe a un mayor rendimiento por planta de maíz en policultivo que en monocultivo (sobrecosecha), independiente de diferentes densidades de maíz en monocultivo comparadas.

En el presente experimento, la producción por superficie de maíz en el policultivo de las tres hermanas también generó sobrecosecha. Corresponde a un 48% de su producción en monocultivo (cuando la densidad de siembra del maíz era tan solo un 33% del monocultivo). Correspondiente al frijol, la producción por superficie en el policultivo con maíz y calabaza correspondió a un 47% del rendimiento de frijol en monocultivo (con un tercio de densidad del monocultivo). Este resultado sugiere un potencial de incremento de la producción de maíz a expensas del frijol si el maíz se sembrara con mayor densidad: incrementando la densidad de maíz, la productividad por área del mismo aumenta mientras la de una leguminosa asociada disminuye (Francis y Decoteau, 1993).

Finalmente, la calabaza produjo un 60% de su rendimiento por superficie en este policultivo cuando su densidad de siembra era de un 33% del monocultivo. Usualmente, la producción de calabaza en la milpa es menor que en monocultivo (Gliessman, 1985). Sin embargo, se encuentra cuatro especies diferentes de calabaza (cada una con múltiples variedades) en las milpas de México (Aguilar *et al.*, 2003) que se distinguen por considerables diferencias morfológicas y productivas (Mera *et al.*, 2011). Por lo tanto, la calabaza es probablemente el componente de la milpa donde la comparación con otros experimentos tenga el menor valor informativo.

Para poder equiparar los rendimientos de las tres hermanas, se evaluó el rendimiento por planta: el maíz

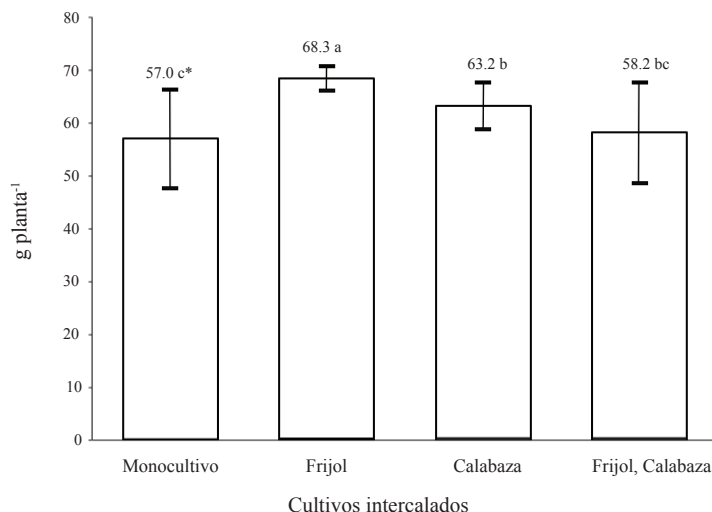
mostró su mayor rendimiento por planta en asociación con el frijol (Figura 1); el frijol rindió más asociado con maíz y en monocultivo (Figura 2); y la calabaza tuvo su mayor rendimiento asociada con maíz y frijol a la vez (Figura 3).

Arreglos suplementarios tienen un efecto positivo al rendimiento por planta del cultivo principal en comparación con su monocultivo la que usualmente no es compensada por la competencia interespecífica entre los cultivos asociados. Para el maíz, esta sobrecosecha fue comprobada para climas tropicales y templados (Iverson *et al.*, 2014). Esto explica por qué el rendimiento por planta del maíz fue superior al monocultivo en su asociación con el frijol y con la calabaza (Figura 1).

Destaca sobre todo una interacción mutuamente positiva entre maíz y frijol. Es congruente con la observación de Zhang *et al.* (2014) según la cual policultivos de maíz y frijol generan sobrecosecha gracias a una mayor producción de biomasa de ambos que en un monocultivo. Sin embargo, sobre todo en el caso del frijol, esta sobrecosecha depende altamente de la variedad sembrada (Santalla *et al.*, 2001). En cambio Albino *et al.* (2015) observaron solo un efecto positivo al rendimiento por planta de maíz. Opuesto a la costumbre en México existe también el enfoque de ver el frijol como cultivo principal de esta asociación. Tanto Tembakazi y Lucas (2002) como Sullivan (1998) reportan de experimentos que generaron alta RET y donde la densidad de siembra del frijol superó la del maíz.

Un resultado inusual obtenido en esta investigación fue que se obtuvo el rendimiento más alto por planta de calabaza en el policultivo de las tres hermanas. Usualmente, la calabaza rinde menos en policultivos con maíz que en monocultivo. Una explicación es que,





**Figura 1. Rendimiento por planta de maíz en monocultivo, asociado con frijol, con calabaza y con ambos cultivos.** \* Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

de las tres hermanas el rendimiento de la calabaza es el más dependiente de las condiciones atmosféricas (Risch y Hansen, 1982); y precisamente durante el ciclo productivo de la calabaza, se observó más altas precipitaciones de lo usual en el área del experimento (INIFAP, 2016) lo que fomenta la productividad de la calabaza criolla en este arreglo (Molina *et al.*, 2016).

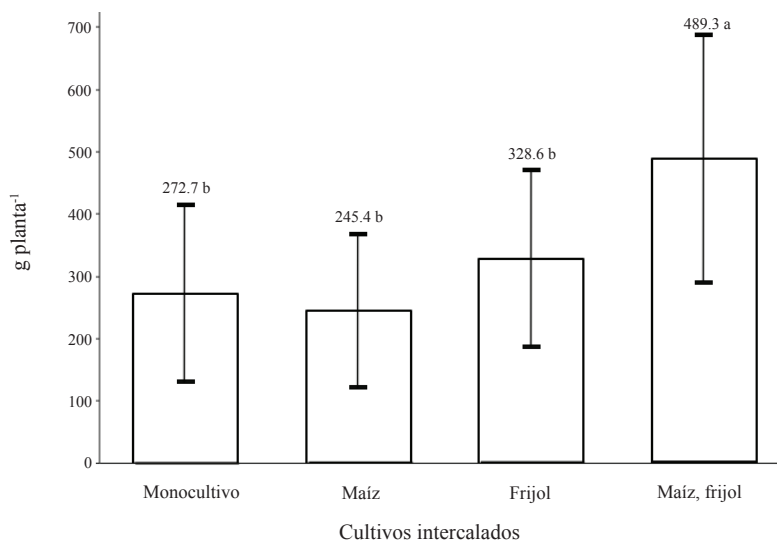
Según la evaluación de la RET, la combinación maíz-frijol resultó ser la más productiva. 1 ha de maíz y frijol mostró el mismo rendimiento como

lo tuvieron 1.9 ha de estas plantas en monocultivo. A esta asociación, le siguen los intercalados maíz-frijol-calabaza y maíz-calabaza. El monocultivo de calabaza fue el tratamiento menos productivo. Destaca que todos los policultivos generaron una RET mayor a 1 (Cuadro 5).

Es comprobado que el policultivo maíz-frijol-calabaza con manejo adecuado genera sobrecosecha (Zhang *et al.*, 2014). Una explicación son sinergias altamente funcionales entre maíz, frijol y calabaza



**Figura 2. Rendimiento por planta de frijol en monocultivo, asociado con maíz, con calabaza y con ambos cultivos.** \* Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 3. Rendimiento por planta de calabaza en monocultivo, asociado con maíz, con frijol y con ambos cultivos.** \* Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

(Wang *et al.*, 2010) ya que las tres plantas fueron domesticadas como policultivos (Zhang *et al.*, 2014). Es decir, desde un inicio de su cultivación, las tres hermanas fueron adaptadas a la “convivencia”.

La RET de 1.6 obtenida en el policultivo de las tres hermanas se debe a la sinergia en el desarrollo radicular de los tres cultivos (Zhang *et al.*, 2014). Precisamente, maíz, frijol y calabaza se caracterizan por una diferente arquitectura radicular donde la mayor heterogeneidad se detecta en cuanto al crecimiento vertical (Postma y Lynch, 2012): las raíces del frijol son las menos y las raíces de la calabaza las más profundas; por ende, las raíces de maíz están en el intermedio de los anteriores

en términos de profundidad, pero demuestran el mayor crecimiento horizontal (Zhang *et al.*, 2014). Naturalmente, la separación de las áreas radiculares no es absoluta sino que puede haber intersecciones (Postma y Lynch, 2012). También cambian durante un ciclo de producción ya que calabaza y frijol tienen ciclos productivos más cortos que el maíz, el que tiende a colonizar las áreas que antes había ocupado el frijol (Albino *et al.*, 2015). Como consecuencia de su distinta arquitectura radicular, los tres cultivos también tienen diferentes estrategias de absorción de nutrientes del suelo. Estas diferencias, resultado de la domesticación en conjunto, resultan en poca competencia y facilitan

**Cuadro 5. Rendimiento referenciado a niveles de producción comunes en la región Atlacomulco, Estado de México, de maíz, frijol y calabaza (frutos) en las siete combinaciones de policultivos experimentadas y suma de los rendimientos referenciados (total).**

	Rendimiento referenciado <sup>†</sup>			Total	RET <sup>¶</sup>
	Maíz	Frijol	Calabaza		
	----- % -----			Puntos %	
Maíz	133.3			133.3	1.0
Maíz-Calabaza	112.9		60.8	173.7	1.6
Maíz-Frijol	112.8	127.6		240.4	1.9
Calabaza			86.1	86.1	1.0
Frijol-Calabaza		39.5	116.5	156.0	1.7
Frijol		124.4		124.4	1.0
Maíz-Frijol-Calabaza	64.8	51.6	62.3	178.7	1.6

<sup>†</sup> 7 Mg ha<sup>-1</sup> = 100%. <sup>‡</sup> 1.5 Mg ha<sup>-1</sup> = 100%. <sup>§</sup> 12 Mg ha<sup>-1</sup> (frutos) = 100%. <sup>¶</sup> Razón equivalente de la tierra.

la sobrecosecha en la milpa. El uso eficiente de los nutrientes disponibles favorece particularmente un rendimiento satisfactorio en suelos de baja fertilidad. Sin embargo, la sobrecosecha de maíz existe también en suelos bien nutridos (Zhang *et al.*, 2014).

Aunque la competencia subterránea es mayor a la competencia superficial en los policultivos (Zhang *et al.*, 2014), en la milpa existen también sinergias en el crecimiento superficial. Esta aplicó particularmente para maíz y frijol cuyo intercalado estimula la altura y producción de biomasa foliar de ambos (Bavec *et al.*, 2005; Tembakazi y Lucas, 2002). Es la consecuencia de que cualquier asociación de maíz con una leguminosa captura más luz que los respectivos monocultivos (Albino *et al.*, 2015; Francis y Decoteau, 1993) siempre que ambos cultivos no entren en competencia (García, 2002). Efectivamente, maíz y frijol tuvieron su mayor producción por planta asociados el uno con el otro (Figuras 1, 2). La RET de 1.9 en el policultivo de maíz y frijol es el resultado de una actividad fotosintética elevada en esta asociación que se refleja en la cosecha (Sullivan, 1998).

Otro factor que favorece la interacción entre maíz y frijol es la captura de nitrógeno atmosférico, ya que el frijol nodula más en asociaciones con el maíz, generando una ganancia neta de nitrógeno en asociaciones de maíz y una leguminosa (Gliessman, 1990). Por lo tanto, muchos productores del centro de México disminuyen sus inversiones en fertilizantes o abonos sembrando asociaciones de maíz y frijol o de maíz y haba (*Vicia faba* L.). En cambio, el policultivo maíz-frijol-calabaza se limita a regiones de alta población indígena (Altieri y Trujillo, 1987). Ya que la asociación de maíz y frijol generó mayor RET que la variante de las tres hermanas, para el Norte del Estado de México es recomendable seguir este patrón; es decir que se puede omitir la calabaza.

Sin embargo, asociando la calabaza con maíz (RET de 1.6), frijol (1.7) o ambos (1.6) para diversificar la producción sigue siendo una opción que también genera sobrecosecha. Como los rendimientos de todos los policultivos superaron los respectivos monocultivos, la selección del policultivo adecuado por el productor dependerá más bien de factores como características del área productiva, manejo preferido, costumbres, condiciones económicas, y disponibilidad de mano de obra (Altieri y Trujillo, 1987). En cuanto a la fertilidad del área de producción conviene considerar que la calabaza es el cultivo de las tres hermanas que es

más sensible a escasa fertilidad, mientras que el frijol es el menos afectado por baja fertilidad (Itulya, 1980; Postma y Lynch, 2012).

Aparte de las ventajas productivas destaca también la alta resistencia de la milpa a perturbaciones externas, un hecho muy conveniente para enfrentar el cambio climático. Adicionalmente, la captación de CO<sub>2</sub> atmosférico por plantas y su consecuentemente integración a la materia orgánica del suelo es una estrategia promisoría para atenuar el cambio climático. Los policultivos no solo superan monocultivos en términos productivos, sino también en su potencial de captar CO<sub>2</sub>. Particularmente la calabaza con su alta producción de biomasa superficial y subterránea tiene gran potencial en este contexto (Wang *et al.*, 2010).

## CONCLUSIONES

- La alta resiliencia de policultivos enfrentando perturbaciones externas es un amplio consenso en la comunidad científica y reconocida por muchos productores. Los policultivos tradicionales como la milpa son apreciados por su alta agrobiodiversidad que puede ser una herramienta esencial en la adaptación de los campos productivos al cambio climático. Pese a ello, persiste la duda por si la milpa todavía puede competir con los monocultivos modernos en términos productivos.
- En la presente investigación se compararon todas las posibles combinaciones de policultivos de maíz, frijol y calabaza (incluyendo los monocultivos de cada cultivo). De estos tratamientos, la combinación de maíz y frijol generó la mayor razón equivalente de la tierra (RET). Precisamente, resultó en una RET de 1.9. En otras palabras, maíz y frijol asociados produjeron 90% más cosecha por área que en sus respectivos monocultivos puesto que ambos cultivos asociados mostraron mayor cosecha por planta que en sus monocultivos. Este resultado encaja con el concepto de la sobrecosecha en asociaciones de maíz y leguminosas. Se demostró también que la inclusión de la calabaza a este policultivo (como es el caso en la clásica milpa), disminuye el rendimiento por planta de maíz y frijol, pero todavía genera una RET de 1.6. Consecuentemente, la asociación de maíz y frijol resultó ser el policultivo más productivo. Sin embargo, incluir la calabaza por motivos de diversificación no se considera una estrategia despreciable. También la cosecha de los policultivos de maíz y calabaza y de

frijol y calabaza superó los respectivos monocultivos. - Se concluye que, al contrario de la tendencia contemporánea de reducir la agrobiodiversidad en los sistemas de producción, la diversificación es una estrategia funcional para incrementar la producción de los campos de maíz. Sí existe la necesidad de adaptar la milpa, un sistema de producción tradicional altamente diverso, a los retos del presente. Sin embargo, esta adaptación debería enfocarse más en cuestiones como la facilitación de su manejo; en términos productivos, la milpa supera los monocultivos de maíz.

## LITERATURA CITADA

- Agboola, A. A. and A. A. Fayemi. 1971. Preliminary trials on the intercropping of maize with different tropical legumes in Western Nigeria. *J. Agric. Sci.* 77: 219-225. doi: 10.1017/S0021859600024345.
- Aguilar, J., C. Illsley y C. Marielle. 2003. Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos. pp. 83-122. *In: G. Esteva y C. Marielle (eds.). Sin maíz no hay país.* CONACULTA. Ciudad de México.
- Albino G., R., A. Turrent F., J. I. Cortés F., M. Livera M. y M. C. Mendoza C. 2015. Distribución de raíces y de radiación solar en el dosel de maíz y frijol intercalados. *Agrociencia* 49: 513-531.
- Ali, Q. and M. Ashraf. 2011. Induction of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) due to exogenous application of trehalose: Growth, photosynthesis, water relations and oxidative defense mechanism. *J. Agron. Crop Sci.* 19: 258-271. doi: 10.1111/j.1439-037X.2010.00463.x
- Altieri S., M. A. 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agric. Tec.* 54: 371-386.
- Altieri, M. A. 2004. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Front. Ecol. Environ.* 2: 35-42.
- Altieri, M. A. 2009a. Agroecology, small farms and food sovereignty. *Mon. Rev.* 61: 102-112. doi: 10.14452/MR-061-03-2009-07\_8.
- Altieri, M. A. 2009b. La agricultura moderna: Impactos ecológicos y la posibilidad de una verdadera agricultura sustentable. University of California, Berkeley, Department of Environmental Science, Policy and Management. Berkeley, CA, USA.
- Altieri, M. A. and J. Trujillo. 1987. The agroecology of corn production in Tlaxcala, Mexico. *Hum. Ecol.* 15: 189-220. doi: 10.1007/BF00888380.
- Altieri, M. A. and P. Koohafkan. 2008. Enduring farms: Climate change, smallholders and traditional farming communities. Third world network. Penang, Malasia.
- Altieri, M. A., D. K. Letourneau, and J. R. Davis. 1983. Developing sustainable agroecosystems. *BioScience* 33: 45-39. doi: 10.2307/1309244.
- Altieri, M. A., F. R. Funes-Monzote, and P. Petersen. 2011. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: Contributions to food sovereignty. *Agron. Sustain. Dev.* 32: 3-15. doi: 10.1007/s13593-011-0065-6.
- Augé, R. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3-42.
- Bavec, F., U. Živec, S. Grobelnik M., M. Bavec, and L. Radics. 2005. Competitive ability of maize in mixture with climbing bean in organic farming. <http://orgprints.org/4214> (Consulta: marzo 2, 2017).
- Biggs, R. and P. Webb. 1986. Effects of enhanced UV-B radiation on yield, and disease incidence and severity for wheat under field conditions. pp. 303-311. *In: R. C. Worrest and M. M. Caldwell (eds.). Stratospheric ozone reduction, solar ultraviolet radiation and plant life.* Springer. Berlin and Heidelberg, Alemania.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016. Datos históricos de la estación meteorológica 15003, Almoloya de Juárez. [http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=189&tmpl=component](http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=189&tmpl=component) (Consulta: julio 6, 2016).
- Dempewolf, H., R. Eastwood, L. Guarino, C. Khoury, J. Müller, and J. Toll. 2014. Adapting agriculture to climate change: A global initiative to collect, conserve, and use crop wild relatives. *Agroecol. Sust. Food Syst.* 38: 369-377. doi: 10.1080/21683565.2013.870629.
- Dwivedi, S. L., K. L. Sahrawat, H. D. Upadhyaya, and R. Ortiz 2013. Food, nutrition and agrobiodiversity under global climate change. pp. 1-128. *In: D. L. Sparks (ed.). Advances in Agronomy.* Academic Press. Waltham, MA, USA. doi: 10.1016/B978-0-12-407686-0.00001-4.
- Ebel, R. and J. A. Castillo-Cocom. 2012. X-Pichil: From traditional to "modern" farming in a Maya community. *Memories of the VIII International Conference on Sustainable Agriculture, Environment and Forestry.* Roma, Italia.
- Ebel, R., M. J. Méndez A., E. E. Brito E. y H. Calix D. 2013. Producción agroecológica de chile habanero en su asociación con la pitahaya. pp. 35-58. *In: R. Ebel (ed.). Producción extensiva de chile habanero.* Académica Española. Saarbrücken, Alemania.
- Francis, R. and D. R. Decoteau. 1993. Developing an effective southernpea and sweet corn intercrop system. *HortTechnology* 3: 178-184.
- Frison, E. A., J. Cherfas, and T. Hodgkin. 2011. Agricultural biodiversity is essential for a sustainable improvement in food and nutrition security. *Sustainability* 3: 238-253. doi: 10.3390/su3010238.
- Führer, J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO<sub>2</sub>, ozone, and global climate change. *Agric. Ecosyst. Environ.* 97: 1-20. doi: 10.1016/S0167-8809(03)00125-7.
- García B., L. 2002. Plant-plant interactions in tropical agriculture. pp. 12-58. *In: J. H. Vandermeer (ed.). Tropical agroecosystems.* CRC Press. Boca Ratón, FL, USA. doi: 10.1201/9781420039887.
- García M., E. y Z. Falcón G. 1980. Nuevo atlas porrúa de la República Mexicana. Edición Porrúa. Ciudad de México.
- Gliessman, S. R. 1977. A biotechnological module for sustained yield agriculture in the humid lowland tropics. *Intecol Newsl.* 7: 173-185.
- Gliessman, S. R. 1985. Multiple cropping systems: A basis for developing an alternative agriculture. pp. 67-83. *In: US Congress Office of Technology Assessment. Innovative biological technologies for lesser developed countries: workshop proceedings.* Congress of the USA. Washington, DC, USA.

- Gliessman, S. R. 1990. Applied ecology and agroecology: Their role in the design of agricultural projects for the humid Tropics. pp. 33-47. *In*: F. Montagnini and R. Goodland (eds.). Race to save the tropics: Ecology and economics for a sustainable future. Island Press. Washington, DC, USA.
- Guzman, G. y A. Alonso. 2000. Las rotaciones y las asociaciones en el manejo de control de plagas y enfermedades. Hoja divulgativa 4.2/100. Comité Andaluz de Agricultura Ecológica. Sevilla, España.
- Hernández X., E. 1995. La milpa en Yucatán: Un sistema de producción agrícola tradicional. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2016. Datos meteorológicos del año 2015 de la estación Arroyo, Almoloya de Juárez. [dehttp://clima.inifap.gob.mx/Inmysr/Estaciones/ConsultaDiarios15Min?Estado=10&Estacion=48020](http://clima.inifap.gob.mx/Inmysr/Estaciones/ConsultaDiarios15Min?Estado=10&Estacion=48020) (Consulta: julio 12, 2016).
- Itulya, F. M. 1980. The influence of intercropping on growth and yield of summer squash (*Cucurbita pepo* L.), Mung bean (*Phaseolus aureus* Roxb.), and Pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). University of Arizona. Tucson, AZ, USA.
- Iverson, A. L., L. E. Marín, K. K. Ennis, D. J. Gonthier, B. T. Connor, J. L. Remfert, J. Cardinale, and I. Perfecto. 2014. Do polycultures promote win-wins or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. *J. Appl. Ecol.* 51: 1593-1602. doi: 10.1111/1365-2664.12334.
- Jones, P. and P. K. Thornton, 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Glob. Environ. Change* 13: 51-59. doi: 10.1016/S0959-3780(02)00090-0.
- Khan, Z. R., C. A. O. Midega, D. M. Amudavi, A. Hassanali, and J. A. Pickett. 2008. On-farm evaluation of the 'push-pull' technology for the control of stemborers and striga weed on maize in western Kenya. *Field Crops Res.* 106: 224-233.
- Lewandowski, S. 1987. Diohe'ko, the three sisters in seneca life: Implications for a native agriculture in the finger lakes region of New York State. *Agricul. Hum. Values* 4: 76-93. doi: 10.1007/BF01530644.
- Liebman, M. 1997. Sistemas de policultivos. pp. 191-202. *In*: M. Altieri. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. CIED. Lima, Perú.
- Mariaca M., R. 2011. La milpa en el sur de México. *Ecofronteras* 42: 22-26.
- Mera O., L. M., R. A. Bye B., C. Villanueva V. y A. Luna M. 2011. Documento diagnóstico de especies cultivadas de *Cucurbita* en México. SAGARPA, SINAREFI, SNICS. México, D. F.
- Molina A., M. F., J. L. Chávez S., A. Gil M., P. A. López, E. Hernández R. y E. Ortiz T. 2016. Eficiencias productivas de asociaciones de maíz, frijol y calabaza (*Curcubita pepo* L.) intercaladas con árboles frutales. *Phyton* 85: 36-50.
- Morton, J. 2007. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104: 19680-19685. doi:10.1073/pnas.0701855104.
- Patterson, D. T. 1995. Weeds in a changing climate. *Weed Sci.* 43: 685-701.
- Pimentel, D. 1993. Climate changes and food supply. *Forum Appl. Res. Public Policy* 8: 54-60.
- Postma, J. A. and J. P. Lynch. 2012. Complementarity in root architecture for nutrient uptake in ancient maize/bean and maize/bean/squash polycultures. *Ann. Bot.* 110: 521-534. doi: 10.1093/aob/mcs082.
- Real Academia Española. 2014. Milpa. *In*: Diccionario de la lengua española, edición 2014. <http://dle.rae.es/?id=PGZxeer> (Consulta: marzo 7, 2017).
- Risch, S. J. and M. K. Hansen. 1982. Plant growth, flowering phenologies, and yields of corn, beans and squash grown in pure stands and mixtures in Costa Rica. *J. Appl. Ecol.* 19: 901-916. doi: 10.2307/2403292.
- Root, R. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: The fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecol. Monogr.* 43: 95-124.
- Santalla, M., A. P. Rodino, P. A. Casquero, and A. M. de Ron. 2001. Interactions of bush bean intercropped with field and sweet maize. *Eur. J. Agron.* 15: 185-196. doi: 10.1016/S1161-0301(01)00104-6.
- Swaminathan, M. and P. C. Kesavan. 2012. Agricultural research in an era of climate change. *J. Agric. Res.* 1: 3-11. doi:10.1007/s40003-011-0009-z.
- Sullivan, P. 1998. Intercropping principles and production Practices. [http://www.iatp.org/files/Intercropping\\_Principles\\_and\\_Production\\_Practi.htm](http://www.iatp.org/files/Intercropping_Principles_and_Production_Practi.htm) (Consulta: marzo 5, 2017).
- Tembakazi S., T. and E. O. Lucas. 2002. The effect of planting combinations and weeding on the growth and yield of component crops of maize/bean and maize/pumpkin intercrops. *J. Agric. Sci.* 138: 193-200. doi: 10.1017/S0021859601001861
- Wang, Q., Y. Li, and A. Alva. 2010. Cropping systems to improve carbon sequestration for mitigation of climate change. *J. Environ. Prot.* 3: 207-215. doi: 10.4236/jep.2010.13025
- Zhang, C., J. A. Postma, L. M. York, and J. P. Lynch. 2014. Root foraging elicits niche complementarity-dependent yield advantage in the ancient 'three sisters'(maize/bean/squash) polyculture. *Ann. Bot.* 191: 1719-1733. doi: 10.1093/aob/mcu191.

# Aplicación de inóculos líquidos de microorganismos nativos en el suelo: efecto en el crecimiento de plántulas de maíz

## *Application of native microbial inocula to the soil: effect on maize seedlings growth*

Saúl Mendoza Sánchez<sup>1</sup>, Andrés Zepeda Hernández<sup>1</sup>,  
Erendira Gabriela Campeche Calixto<sup>1</sup> y Fidel Adolfo Payán Zelaya<sup>1‡</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Calzada del Hueso 1100 Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán. 04960 México, CDMX.

<sup>‡</sup> Autor responsable (fpayan@correo.xoc.uam.mx)

---

### RESUMEN

La liberación de nutrientes provenientes de la descomposición de residuos vegetales en el suelo es importante para obtener una adecuada nutrición de cultivos sobretodo en sistemas agroforestales. Algunos autores han señalado la posibilidad de utilizar inóculos microbianos para acelerar tanto la descomposición de dichos residuos como el crecimiento de los cultivos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de plantas de maíz (*Zea mays*) a la aplicación de caldos nutritivos microbianos sobre residuos de *Erythrina americana* en el suelo. Se condujo un experimento en condiciones semicontroladas en invernadero. El maíz se sembró en macetas llenas con suelo tratado con caldos nutritivos microbianos de seis diferentes localidades, los indicadores de la respuesta de las plantas de maíz fueron área foliar, biomasa y altura de la planta; se midió además producción de CO<sub>2</sub> del suelo contenido en las macetas. Los resultados mostraron que área foliar, biomasa y producción de CO<sub>2</sub> respondieron positivamente a la aplicación de follaje de *Erythrina americana*. Sólo algunos caldos nutritivos microbianos afectaron significativamente las variables de respuesta evaluadas, y ninguno resultó superior a los resultados obtenidos con el tratamiento control que tenía suelo más residuos sin microorganismos. Los resultados señalan la necesidad de mayor investigación sobre la composición, dosis y frecuencia de aplicación de los inóculos y muestran la utilidad del método de comparación para encontrar diferencias en el impacto de los mismos.

**Palabras clave:** caldos microbianos, dióxido de carbono, *Erythrina americana*, follaje, suelo.

### SUMMARY

The release of nutrients from decomposing plant residues is important to obtaining adequate crop nutrition especially in agroforestry systems. Some authors have pointed out the possibility of using microbial inocula to accelerate both residue decomposition and crop growth. In order to evaluate the response of maize (*Zea mays*) to application of liquid microbial inoculum on *Erythrina americana* residues in the soil, an experiment was conducted in semi-controlled conditions. Maize was planted in pots filled with soil treated with microbial inocula from six different locations. Indicators of maize plant response were leaf area, biomass, and seedling height; CO<sub>2</sub> production of soil in pots was also measured. The results showed that leaf area, biomass and CO<sub>2</sub> production responded positively to the addition of foliage of *E. americana*. However, only microbial nutrient inocula from two locations caused significant differences in the variables evaluated, and none was superior to the results obtained with the control, which contained soil with residue addition but without microbial inoculants. The results indicate the need for further research on dose and frequency of application and they also highlight the usefulness of the method used to find differences in the impact of different inocula.

**Index words:** microbial broths, carbon dioxide, *Erythrina americana*, foliage, soil.

### INTRODUCCIÓN

La sincronía entre la liberación de nutrientes provenientes de la descomposición de los residuos

---

#### Cita recomendada:

Mendoza Sánchez, S. A. Zepeda Hernández, E. G. Campeche Calixto y F. A. Payán Zelaya. 2017. Aplicación de inóculos líquidos de microorganismos nativos en el suelo: efecto en el crecimiento de plántulas de maíz. Terra Latinoamericana 35: 161-168.

---

Recibido: agosto de 2016. Aceptado: febrero de 2017.

Publicado en Terra Latinoamericana 35: 161-168.

arbóreos en el suelo y la demanda de nutrientes por los cultivos puede ayudar a obtener una adecuada nutrición de cultivos en sistemas agroforestales (Carrillo *et al.*, 2011). Al utilizar *Erythrina americana* en suelos Typic Humitropept, se encontraron buenos resultados en el crecimiento de cultivos de maíz y mayores contenidos de C y N en suelos fertilizados con 9.2 Mg MS (materia seca) ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de residuos de poda (Bueno y Camargo, 2012; Martins *et al.*, 2013). En experimentos bajo invernadero con plántulas de maíz, tasas más altas de crecimiento fueron observadas fertilizándolas con residuos de rápida descomposición provenientes de árboles fijadores de nitrógeno (Munguía *et al.*, 2004).

El interés agronómico en la actividad microbiana se debe a su potencial para reciclar los nutrimentos, mejorar la nutrición de las plantas y disminuir o sustituir la aplicación de fertilizantes de origen industrial (Velasco *et al.*, 2001; Alarcón *et al.*, 2002).

Shintani y Tabora (2000) aceleraron la descomposición de residuos de banano utilizando una mezcla de inóculos microbianos. Velikonja *et al.* (2003) usaron otra mezcla microbiana para acelerar la descomposición de residuos vegetales urbanos con una ganancia de 28% en la mineralización del C en comparación con testigos no tratados. Se ha sugerido, utilizar las poblaciones microbianas como reservorios vivientes de nutrientes (Efthimiadou *et al.*, 2010; Patel *et al.*, 2010). En experimentos realizados con plántulas de maíz en macetas adicionadas con residuos de *E. americana*, Payán *et al.* (2013) obtuvieron mayores crecimientos utilizando inóculos microbianos con cepas nativas que sin ellas. Sin embargo, dichos experimentos originaron la necesidad de mayor investigación en cuanto a dosis y frecuencia de adición de los inóculos.

La búsqueda de estrategias para el manejo de las adiciones de biomasa arbórea utilizando la interacción entre poblaciones microbianas y la mesofauna con las condiciones del suelo, ha sido propuesta por Schroth (2003) para encontrar sistemas eficientes para reciclar los nutrientes a través de la descomposición de la materia orgánica. Teklay *et al.* (2007) plantearon que la sincronía entre la liberación de nutrientes provenientes de la descomposición de residuos y su demanda por parte de las plantas, puede mejorar la nutrición de cultivos en sistemas agroforestales. Por lo anterior, se plantea como problema científico la búsqueda de formas eficientes y económicamente

viabiles para la manipulación de la materia orgánica del suelo, maximizando la toma de nutrientes pero manteniendo también los niveles de la misma a largo plazo, esto a través de la manipulación de poblaciones microbianas para la liberación y aprovechamiento de nutrientes provenientes de los residuos de poda de los árboles en sistemas agroforestales. Considerando esta problemática, los objetivos centrales de este trabajo fueron: analizar los efectos de mezclas microbianas de cepas nativas añadidas a los residuos de poda de *E. americana* y su incorporación al suelo, sobre el crecimiento de plántulas de maíz. Así como, estimar la producción de CO<sub>2</sub> de los residuos de poda con y sin adición de mezclas microbianas y determinar la sensibilidad del método utilizado para detectar diferencias significativas entre distintas cepas microbianas obtenidas en diferentes localidades.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Colecta de los Microorganismos

La colecta de microorganismos se realizó en trampas de arroz colocadas al azar (diez frascos/sitio) durante siete días. En cada trampa, se colocó un frasco con 80 g de arroz, precocido y esterilizado. Una vez preparadas, se ubicaron en el suelo de tal manera que la boca del frasco quedara a ras de suelo, por último estas fueron cubiertas con hojarasca para conservar la humedad dentro de la trampa hasta el momento de ser retiradas. Las trampas fueron colocadas en cuatro zonas diferentes de la Ciudad de México donde se encontraban arboles de colorín (*Erythrina poeppigiana*): zoológico Los Coyotes, ubicado al sur de la ciudad en el ejido de San Francisco Culhuacán delegación Coyoacán; Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas (CIBAC) a 300 m del embarcadero de Cuemanco; Centro de compostaje axolotl: Periférico Sur s/n Parque Ecológico Xochimilco Delegación Xochimilco y en el bosque de Amecameca, al oriente del Estado de México.

### Preparación de Caldos Microbianos

Se preparó la solución microbiana con una mezcla de 10 L de agua destilada, 189.17 g de soya texturizada molida, 208.33 g de yogurt, 33.33 g de arroz invadido por microorganismos nativos de las trampas, con una población mayoritariamente compuesta de hongos de

los géneros *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicilium*, determinados por observación de la morfología de las colonias que crecieron en las trampas, y 208.33 g de melaza. Se preparó el caldo microbiano con macerado de hojas deshidratadas de colorín que se molieron hasta obtener un polvo fino, se pesaron 150 g de las hojas en polvo y se vertieron en un bote con caldo microbiano, se almacenó a 4 °C hasta su uso. Para el control se preparó un caldo solo con las mismas cantidades de soya, yogurt y melaza sin inóculo.

### Experimento de Invernadero

En el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas (CIBAC) de la Universidad Autónoma Metropolitana a 300 m del embarcadero de Cuernavaca en el sur de la Ciudad de México, se implementó un experimento con un diseño completamente al azar con ocho tratamientos con cinco repeticiones cada uno, distribuyéndose de la siguiente manera: T0 (suelo testigo); T1 (suelo + hojas de colorín (HC)); T2 (suelo + HC + caldo sin microbios); T3 (suelo + caldo con macerado + HC); T4 (suelo + HC + caldo con microbios parque Coyotes); T5 (suelo + HC + caldo con microbios Amecameca); T6 (suelo + HC + caldo con microbios compostero CIBAC); T7 (suelo + HC + caldo con microbios Axolotl). Cada unidad experimental se constituyó con una maceta de un litro de capacidad. Se cortaron hojas de colorín de una superficie de un cm<sup>2</sup>. El sustrato para las macetas fue 40 kg de suelo de la unidad experimental “Las Ánimas” en la zona de Tulyehualco, Ciudad de México; de una capa comprendida entre 10-20 cm de profundidad, se homogenizó con una tolva mezcladora, se dejó secar al sol durante una semana y por último se dejó en un lugar sombreado durante un mes, para estabilizar la actividad microbiana del suelo.

Para cada unidad experimental con tratamiento, se colocó un círculo de periódico en la base de la maceta, se vertió 1 kg de suelo y 26 g de cuadros de hoja de colorín, previamente homogenizado (8 g de materia seca), se asperjó una dilución microbiana (195 mL de agua destilada y 5 mL de caldo microbiano). Antes de usar el caldo microbiano se agitó vigorosamente. Se sembraron tres semillas de maíz por maceta, el suelo de todos los tratamientos fue mantenido a capacidad de campo con riegos de agua destilada cada tercer día. El experimento fue conducido bajo invernadero durante 60 días.

Cada tercer día se monitorearon las plantas, se registró la altura de la planta de mayor crecimiento. Al final del experimento se cortaron las plantas y se midió área foliar (AF), biomasa fresca (BF), biomasa seca (BS) de la planta mayor. La producción de CO<sub>2</sub> emitida del suelo de la maceta como indicador de actividad microbiana, se midió con un analizador de gas infrarrojo PP SYSTEMS modelo EGM-4, la cámara de análisis se colocó sobre la superficie de cada maceta a las 48 h de haberse sembrado las plantas y antes de que hubiera germinación.

### Análisis Estadístico

Los datos de las variables de respuesta fueron analizados para cada una de las fechas de medición, utilizando ANDEVA en un diseño completamente al azar de ocho tratamientos con cinco repeticiones. Los datos de respiración fueron analizados de la misma manera y cuando se detectaron diferencias significativas se aplicó la prueba Tukey de comparación de medias  $P = 0.05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

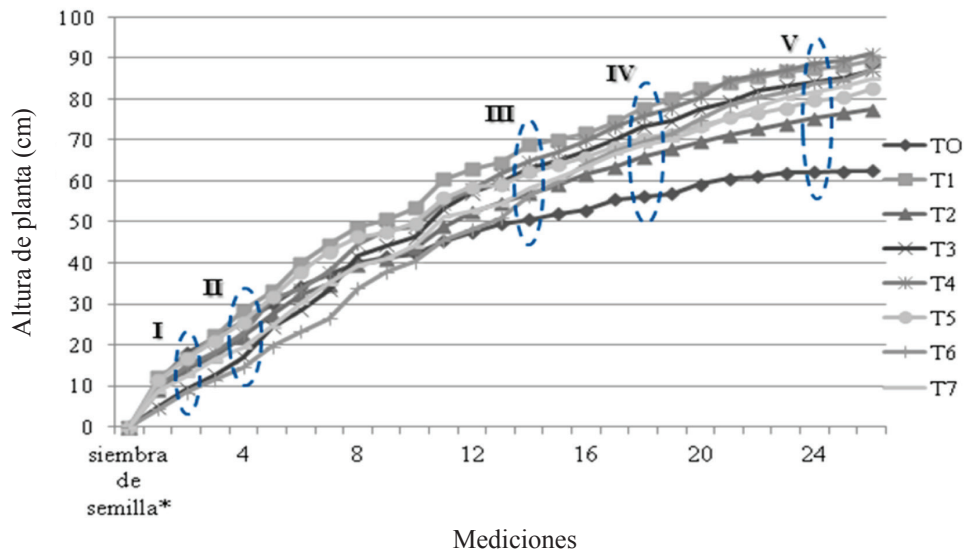
### Bioensayo con Plántulas de Maíz

#### Altura

Los parámetros de crecimiento de las plantas de maíz fueron homogéneos desde la germinación, y a partir de los cinco días desde la siembra se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos. Los resultados obtenidos con el uso de hojas del colorín (*E. americana*) se tomaron en cinco puntos de medición (I, II, III, IV, V) de las 26 mediciones que se realizaron, tales puntos muestran mayor claridad la diferencia significativa que existía entre tratamientos (Figura 1).

En la medición realizada a partir del quinto día después de la emergencia de las plántulas de maíz (Punto I), únicamente el tratamiento T6 mostró un crecimiento significativamente menor a los demás que resultaron estadísticamente similares entre sí. A los 15 días (Punto II) después de la emergencia de las plántulas, T3 y T6 tuvieron una altura menor que los demás tratamientos. Estos resultados concuerdan con experimentos de invernadero donde se observó un mayor crecimiento de plantas de maíz como resultado





**Figura 1. Altura de plantas de maíz de los diferentes tratamientos identificando los puntos (I, II, III, IV, V) que se tomaron para realizar pruebas estadísticas, ANDEVA y Tukey.**

del arropado con residuos de poda del follaje de especies utilizadas como sombra en cafetales (Muñoz, 2002<sup>1</sup>; Munguía *et al.*, 2004; Osorio 2004<sup>2</sup>). Y también se alinean con los obtenidos en un experimento con residuos de cuatro especies agroforestales etíopes Teklay *et al.* (2007), quienes propusieron formas de manejo de residuos con el mejoramiento de la actividad microbiológica. Sin embargo, las diferencias entre todos los tratamientos fueron observadas en un periodo muy corto, indicando que el flujo de nutrientes fue igualado sin adiciones artificiales de poblaciones microbianas durante los últimos días del experimento como resultado de un proceso de homeostasis, en el cual las poblaciones microbianas tienden a alcanzar un equilibrio entre ellas tanto en su número, como en el aprovechamiento de los nutrientes disponibles, regresando al estado inicial del experimento, tal como lo plantea Alvarenga *et al.* (2013). Por otra parte no se observaron diferencias en crecimiento en ese periodo entre las plántulas abonadas solo con hojas (T1) y las que fueron inoculadas, señalando la falta de efectividad de dicha inoculación en ese periodo experimental. En el experimento reportado se observaron morfológicamente los géneros *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicillium*, que son hongos del suelo con actividad degradadora de materiales lignocelulósicos. En un experimento similar Payán *et al.* (2013) detectaron los géneros *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Verticilium*, *Metarizzum*

y *Glilocadium* así como 6 cepas de bacterias de tinción gram+, que no pudieron ser identificados. De acuerdo a Fischersworing (2001) se puede esperar un incremento en la descomposición por la acción del consorcio microbiano total sin necesidad de una identificación más específica. Más aún, en algunos casos en la medición a los 15 días de la emergencia de las plántulas el tratamiento sin inoculo tuvo crecimiento significativamente mayor que los tratamientos T3 y T6 que si fueron inoculados.

En la medición de 38, 49 y 63 días (Puntos III, IV y V) después de la emergencia, solamente el testigo T0 fue significativamente menor que todos los demás, este efecto de los inóculos microbianos se le atribuye a los residuos de *E. americana* que produjeron una alta actividad microbiana, medida indirectamente a través de la producción de CO<sub>2</sub>, en consecuencia de la incorporación de materiales de fácil descomposición que no provocan una acumulación “envejecida” de materia orgánica. De acuerdo a Munguía *et al.* (2004) la disponibilidad de N en parcelas con cobertura vegetal de *E. americana* fue mayor que el suelo desnudo debido a la acumulación a largo plazo de la MOS y N orgánico, concluyendo así que los residuos añadidos recientemente contribuyen sólo en una pequeña proporción al N mineral absorbido por las plántulas de maíz, basándose en las altas tasas de descomposición de los residuos de *E. americana* (Figura 2).

<sup>1</sup> Muñoz, C. Y. 2002. Disponibilidad de nutrimentos de tres compostas. MScThesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica 66 pp.

<sup>2</sup> Osorio M., V. E. 2004. Descomposición y liberación de nitrógeno de material foliar y radicular de siete especies de sombras en un sistema agroforestal con café. MScThesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica 75 pp.

## Área Foliar y Biomasa

Al evaluar el área foliar a los 63 días después de la germinación de las semillas, se encontró que las plantas cultivadas en las macetas inoculadas con caldos nutritivos microbianos de colorín (T4) y de estiércol CIBAC (T6), mostraron un incremento en la magnitud de dicha variable, respecto a los tratamientos T2, T3, y T7, incluyendo el tratamiento control T0

y fueron estadísticamente iguales a los tratamientos T1 y T5 (Figura 3). Las diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en alturas de planta, solo se observaron entre algunos tratamientos microbianos 15 días después de la emergencia, y el tratamiento sin microbios no se diferenció de los tratados, lo que indica que si los nutrientes de los residuos de poda se conservaron en la biomasa microbiana, no se dio una mayor liberación de nutrientes por lo menos en los 63 días de duración

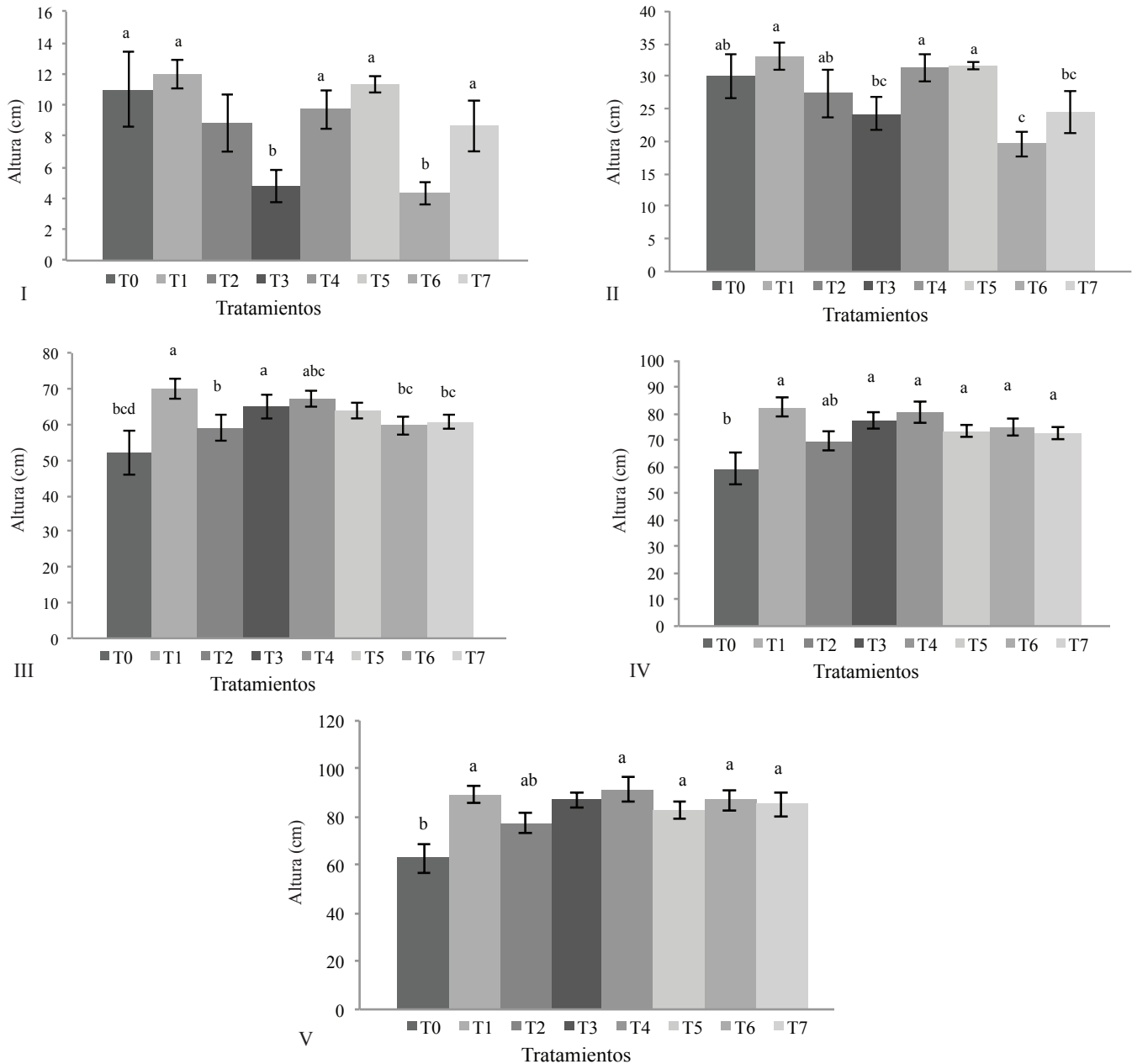
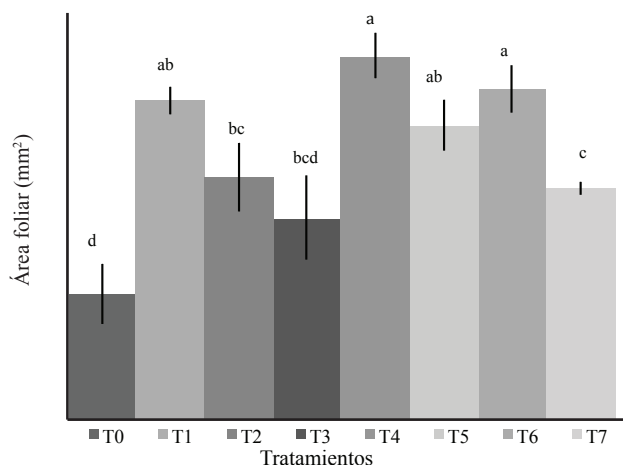


Figura 2. Altura de plantas de maíz de los diferentes tratamientos en los puntos I, II, III, IV, V. Columnas con letras iguales no son significativamente diferentes.



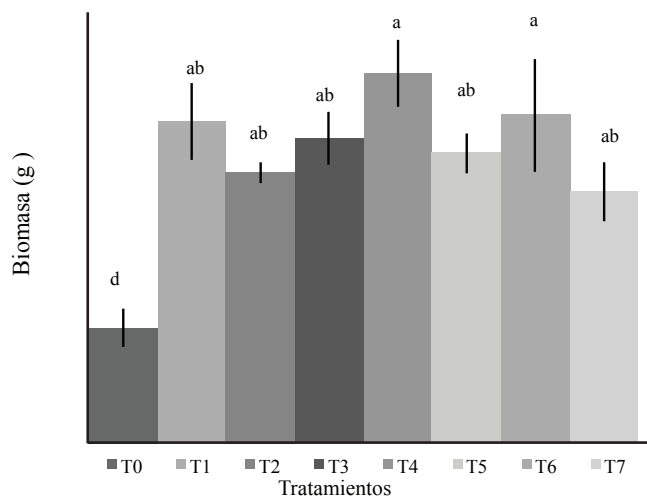
**Figura 3. Área foliar de plántulas de maíz con siete tratamientos microbianos después de 63 días de la primera aplicación de inóculos.** Valores con las mismas letras no son significativamente diferentes.

del experimento. Este resultado pudo deberse a la falta de un inóculo adecuado o a la falta de actividad del mismo ya que Patel *et al.* (2010) encontraron que la productividad de arroz (*Oryza sativa*) en la India se mejoró debido a un aumento en biomasa microbiana del suelo concomitantemente con una mayor liberación de nutrientes 50 días después de la aplicación de un abono verde, manteniendo un flujo anual de N a través de la biomasa microbiana de 30-45 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

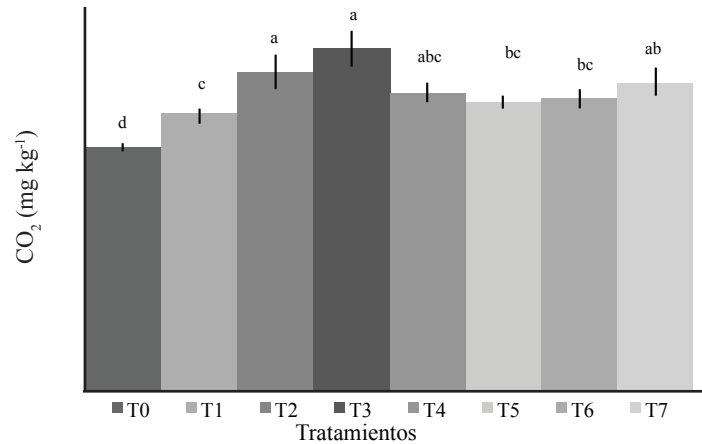
La biomasa (peso seco de follaje, tallo y raíces) al final del experimento solo mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos y el control T0, y fueron estadísticamente similares entre ellos (Figura 4).

### Producción de CO<sub>2</sub> del Suelo

Las mediciones de CO<sub>2</sub> y la segunda y tercera medición de la altura junto con la medición final de área foliar fueron las variables más sensibles a las diferencias entre tratamientos. Particularmente la de CO<sub>2</sub> antes de la emergencia permitió ver que aquellos tratamientos con mayor actividad microbiana (reflejada por las emisiones) mostraron menores tasas de crecimiento. (T3 Figura 2 y Figura 5). Por el contrario los tratamientos sin aplicaciones microbianas y solo adición de hojas (T1 Figura 2 y Figura 5) mostraron tendencia a tasas superiores o al menos similares a las que si tenían aplicaciones. Lo cual apoyaría



**Figura 4. Producción de biomasa.** Letras iguales corresponden a valores que no son significativamente diferentes.



**Figura 5. Producción de CO<sub>2</sub>.** Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los valores correspondientes.

la hipótesis de que ocurrió una inmovilización de nutrientes al menos en las primeras dos semanas del experimento que impidió un mayor crecimiento de plántulas. La sensibilidad de la medición de CO<sub>2</sub> a la adición de inóculos microbianos es congruente con lo observado por Payán *et al.* (2013), en un experimento en que se midió el CO<sub>2</sub> después de la aspersión de microorganismos descomponedores a fracciones aisladas de la materia orgánica del suelo.

Por otra parte a los tres días de sembradas las semillas y previo a la emergencia de las plántulas los tratamientos T3 y T2 mostraron una producción de CO<sub>2</sub> superior a los tratamientos T6 y T1 y al testigo, todos los demás tratamientos no mostraron diferencias (Figura 5). Es de notar que el tratamiento de mayor respiración fue el que se detectó como el de menor crecimiento en el punto II de la medición de altura. A pesar de que mayor respiración, indicaría que hay mayor descomposición de la MO y disponibilidad de nutrientes para la planta, entonces indirectamente debió favorecerse el mayor crecimiento de la planta. Sin embargo los datos indican que los nutrientes fueron tal vez inmovilizados en la biomasa microbiana o perdidos por volatilización. La sincronía entre la mayor actividad microbiana expresada en producción de CO<sub>2</sub> con los mayores flujos naturales de liberación de nutrientes que ocurren en residuos de fácil degradación como los de colorín pudieron haber enmascarado la actividad de las mezclas microbianas, pues pueden haber sido llevadas a cabo muy cerca del flujo natural de liberación de nutrientes. Por

otro lado podrían utilizarse residuos más resistentes a la descomposición para obtener resultados más efectivos.

Las mediciones realizadas también proveen una indicación sensitiva de la respuesta de la actividad microbiana a variaciones de temperatura y humedad, los efectos de humedecimiento-secado, la aplicación de agroquímicos o elementos metálicos, la exudación de sustancias supresoras y el manejo del medio, o como en nuestro caso la adición de materiales ricos en C y N (García *et al.*, 2003; Peña, 2004<sup>3</sup>).

## CONCLUSIONES

- La falta de incrementos significativos en el crecimiento de las plántulas y diferencias significativas entre los tratamientos con microbios de cuatro distintas localidades, restringido temporalmente a las primeras dos semanas del experimento sugiere un limitado efecto de la adición de las soluciones microbianas aceleradoras de la descomposición de los residuos de poda utilizadas en este experimento.
- Una recomendación de su uso por tanto resultaría injustificada y menos en suelos con fertilidad media.
- La igualación de las tasas de crecimiento después de 17 días también indica que no se dio una mayor disponibilidad de los nutrientes provenientes de los residuos a través del uso de las soluciones microbianas nativas o se requiere de mayor tiempo para alcanzarla.
- Debido a utilización de residuos de muy fácil descomposición como los de *E. americana*,

<sup>3</sup> Peña, W. 2004. Los suelos desarrollados sobre serpentinitas y su relación con la flora endémica. Índice bioquímico y metales. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela y CSIC, España. 404p.

la velocidad del proceso no puede ser acelerado por lo que sería recomendable realizar estudios con materiales arbóreos de lenta descomposición.

- Se propone la realización de nuevos estudios sobre dosis, calidad del inoculo y espaciamiento entre las aplicaciones de inóculos microbianos.

### LITERATURA CITADA

- Alarcón, A., F. T. Davies, J. N. Egilla, T. C. Fox, A. A. Estrada-Luna, and R. Ferrera-Cerrato. 2002. Short term effects of *Glomusclaroideum* and *Azospirillum brasilense* on growth and root acid phosphatase activity of *Carica papaya* L. under phosphorus stress. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 44: 31-37.
- Alvarenga, P., C. Laneiro, P. Palma, A. de Varennes, and A. C. Cunha-Queda. 2013. A study on As, Cu, Pb and Zn (bio) availability in an abandoned mine area (Sao Domingos, Portugal) using chemical and ecotoxicological tools. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20: 6539-6550.
- Bueno, L. y J. C. Camargo. 2012. Cambios del nitrógeno durante etapas de desarrollo temprano de la leucaena (*Leucaenaleucocephala* (Lam) de Wit). *Liv. Res. Rural Dev.* 24, <http://www.lrrd.org/lrrd24/2/buen24033.htm>
- Carrillo, Y., C. F. Jordan, K. L. Jacobsen, K. G. Mitchell, and P. Raber. 2011. Shoot pruning of a hedgerow perennial legume alters the availability and temporal dynamics of root-derived nitrogen in a subtropical setting. *Plant Soil* 345: 59-68.
- Efthimiadou, E., E. M. Papatheodorou, N. Monokrousos, and G. P. Stamou. 2010. Changes of soil chemical, microbiological, and enzymatic variables in relation to management regime and the duration of organic farming in *Phaseolus vulgaris*. *J. Biol. Res. Thessalon.* 14: 151-159.
- Fischersworing, B. y R. Roßkamp. 2001. Guía para la caficultura ecológica. GTZ. Popayán, Colombia.
- García, C., F. Gil-Sotres, T. Hernández y C. Trasar-Cepeda. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Mundi Prensa. Madrid.
- Martins, S. C., J. Galmés, A. Molins, and F. M. DaMatta. 2013. Improving the estimation of mesophyll conductance to CO<sub>2</sub>: On the role of electron transport rate correction and respiration. *J. Exp. Bot.* 64: 3285-3298.
- Munguía, R., J. Beer, J. M. Harmand y J. Hagggar. 2004. Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Coffea arabica* y de hojas verdes de *Erythrina poeppigiana* solas y en mezclas. *Agroforestería en las Am.* 11: 62-68.
- Patel, K., J. I. N. Kumar, R. N. Kumar, and R. K. Bhoi. 2010. Seasonal and temporal variation in soil microbial biomass C, N and P in different types land uses of dry deciduous forest ecosystem of Udaipur, Rajasthan, Western India. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 8: 377-390.
- Payán-Zelaya, F., J. M. Harmand, A. Flores-Macías, J. Beer, G. Ramos-Espinoza, and F. De León González. 2013. Soil nutrient availability and C<sub>2</sub> production in agroforestry systems after de addition of *Erythrina poeppigiana* pruning residues and native microbial inocula. *Agrofor. Syst.* 87: 439-450.
- Schroth, G. 2003. Decomposition and nutrient supply from biomass. pp. 131-150. *In:* G. Schroth and F. L. Sinclair (eds.). *Trees, crops and soil fertility concepts and research methods.* CABI Publishing, Bristol,
- Shintani, M. and P. Tabora. 2000. Organic fertilizer: Managing banana residues with effective microorganism (EM). *In:* T. Alfoldi, W. Lockeretz, and U. Niggli (eds.). *The world grows organic. Proceedings 13th International IFOAM Scientific Conference.* Zurich, Switzerland. ISBN: 3-7281-2754-X.
- Teklay, T., A. Nordgren, G. Nyberg, and A. Malmer. 2007. Carbon mineralization of leaves from four Ethiopian agroforestry species under laboratory and field conditions. *Appl. Soil Ecol.* 35: 193-202.
- Velasco V., J., R. Ferrera-Cerrato y J. J. Almaráz-Suárez. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasiliense* en tomate de cáscara. *Terra* 19: 241-248.
- Velikonja, S., R. Mihelic, F. Lobnik, and D. Lestan. 2003. Microbial community structure during composting with and without mass inocula. *Comp. Sci. Util.* 11: 6-15.

# Inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afroditita en invernadero

## *Inoculation of greenhouse tomato (Solanum lycopersicum L.) cv. afroditita with plant growth-promoting rhizobacteria*

Bernardo Espinosa Palomeque<sup>1</sup>, Alejandro Moreno Reséndez<sup>2†</sup>, Pedro Cano Ríos<sup>3†</sup>,  
Vicente de Paul Álvarez Reyna<sup>4</sup>, Jorge Sáenz Mata<sup>5</sup>,  
Homero Sánchez Galván<sup>5</sup> y Gabriela González Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Estudiante del Programa de Posgrado en Ciencias Agrarias, <sup>2</sup> Departamentos de Suelos, <sup>3</sup> Departamento de Horticultura, <sup>4</sup> Departamento de Riego y Drenaje, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. <sup>†</sup> Integrante del Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria UAAAN-CA-14. Periférico Raúl López Sánchez km 1.5 y Carretera a Santa Fe S/N. 27059 Torreón, Coahuila, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (alejamosa@yahoo.com.mx)

<sup>5</sup> Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n Fracc. Filadelfia. 35010 Gómez Palacio, Durango, México.

### RESUMEN

La producción de los cultivos agrícolas, entre otros factores, es impactada por el clima, el suelo, el agua y los microorganismos rizosféricos. De estos últimos, las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), desempeñan funciones importantes para las plantas como es la producción de reguladores del crecimiento vegetal y disminuir o prevenir los efectos de microorganismos fitopatógenos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inoculación de tres RPCV: *Bacillus* spp., *Aeromonas* spp., y *Pseudomonas lini* Delorme, utilizando dos sustratos: 1) compost+arena de río+perlita; y 2) arena de río; y como testigos ambos sustratos sin RPCV (lo que dio un total de 8 tratamientos), sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Afroditita) desarrollado bajo condiciones de invernadero. El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar con cinco repeticiones, con arreglo factorial 2 × 4, los factores fueron: A) sustratos y B) RPCV. Las variables evaluadas en fruto fueron: diámetro polar y ecuatorial, espesor de pericarpio, contenido de sólidos solubles, firmeza, fenoles totales y capacidad antioxidante, así como rendimiento total. Los datos fueron analizados estadísticamente por análisis de varianza y las comparaciones de medias mediante la prueba de DMS 0.05%. Los frutos del tratamiento T1 (50 compost+40 arena de río+10 perlita+*Bacillus* spp.) presentaron los mayores diámetros polar y ecuatorial,

contenido de sólidos solubles, firmeza, contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante, 6.54 cm, 5.50 cm, 5.94 °Brix, 12.54 N, 51.70 mg de AG 100 g<sup>-1</sup> FF y 66.68 μM Trolox g<sup>-1</sup> FF, respectivamente; en comparación con el resto de los tratamientos. La aplicación de RPCV y la utilización de sustratos a base de compost podrían ser una alternativa de manejo en la producción de tomate en invernadero para incrementar el rendimiento y la calidad nutracéutica de los frutos sin la aplicación de fertilizantes inorgánicos.

**Palabras claves:** *bacillus*, control biológico, calidad nutracéutica, diferentes sustratos.

### SUMMARY

Production of agricultural crops is affected by weather, soil, water, and microorganisms in the rhizosphere, among other factors. Of these factors, plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) have important functions, such as the production of plant growth regulators and reduction or prevention of effects of pathogenic microorganisms. The objective of this study was to evaluate the effect of inoculating greenhouse tomatoes with three PGPR: *Bacillus* spp., *Aeromonas* spp., and *Pseudomonas lini* Delorme, using two substrates: 1) compost+river sand+perlite; and 2) river sand, and as controls both substrates without PGPR (T1-T8), on fruit yield and quality. The experimental design used was completely randomized

#### Cita recomendada:

Espinosa Palomeque, B., A. Moreno Reséndez, P. Cano Ríos, V. P. Álvarez Reyna, J. Sáenz Mata, H. Sánchez Galván y G. González Rodríguez. 2017. Inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afroditita en invernadero. Terra Latinoamericana 35: 169-178.

Recibido: noviembre de 2016. Aceptado: febrero de 2017.

Publicado en Terra Latinoamericana 35: 169-178.

blocks with five replicates in a  $2 \times 4$  factorial arrangement, the factors were: A) substrates and B) PGPR. The evaluated variables in fruit were polar and equatorial diameter, pericarp thickness, content of soluble solids, firmness, total phenols and antioxidant capability, as well as total yield. The data were statistically analyzed through analysis of variance and comparison of means with the DMS test, 0.05%. The fruits from treatment T1 (50 compost + 40 river sand + 10 perlite + *Bacillus* spp.) had the highest values in polar and equatorial diameters, content of total soluble solids, firmness, total phenol content, and antioxidant capability: 6.54 cm, 5.50 cm, 5.94 °Brix, 12.54 N, 51.70 mg AG 100 g<sup>-1</sup> FF, and 66.68 µM Trolox g<sup>-1</sup> FF, respectively. Application of PGPR and use of the compost based substrate could constitute alternative fertilization for greenhouse tomato production to increase yield and nutraceutical quality of the fruits without inorganic fertilizers.

**Index words:** *bacillus*, *biocontrol*, *nutraceutical quality*, *substrates*.

## INTRODUCCIÓN

El tomate es una de las hortalizas más cultivada y de mayor valor económico a nivel mundial, su demanda se incrementa de forma permanente aunado a mayor producción y comercio (Ortega-Martínez *et al.*, 2010). Este fruto constituye uno de los principales componentes de la alimentación diaria de la población de muchos países, ya que es una fuente importante de minerales, vitaminas y compuestos antioxidante (Fraser *et al.*, 2009). En México 70% de la superficie total cultivada en agricultura protegida es dedicada al cultivo de tomate (Juárez-Maldonado *et al.*, 2015).

En la actualidad los productores están interesados en la búsqueda de nuevos sistemas de producción que incrementen los rendimientos y generen productos de excelente calidad (Santiago-López *et al.*, 2016). Debido a lo anterior han surgido insumos agrícolas con base en microorganismos y otros materiales de origen orgánico, por ejemplo las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) (Kloepper y Schroth, 1978) y los sustratos a base de compost (Raviv, 2015), como opciones que fortalecen el enfoque de la agricultura sustentable (Pretty, 2008).

Para incrementar los rendimientos del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Afrodita, tanto en condiciones de campo abierto como en condiciones de agricultura protegida, es de vital importancia la obtención de plántulas sanas y vigorosas (Costales *et al.*, 2007), en este sentido se ha propuesto el uso de RPCV (Vessey, 2003) entre las que se encuentran los géneros *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterim*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* entre otros (Rodríguez y Fraga, 1999; Spaepen *et al.*, 2009), los cuales son capaces de estimular el crecimiento de las plantas a través de diferentes mecanismos: (i) fijación biológica de nitrógeno; (ii) solubilización de fosfatos; (iii) síntesis de fitohormonas, como las auxinas y principalmente el ácido indolacético (AIA); e (iv) inhibición del desarrollo de microorganismos fitopatógenos por la síntesis de antibióticos o sideróforos (Khan *et al.*, 2007; Lucy *et al.*, 2004; Saharan y Nehra, 2011; Vessey, 2003). Bashan y de-Bashan (2010), destacan que las RPCV actúan como elicitores naturales mejorando el crecimiento y rendimiento de los cultivos vegetales. Por consiguiente, el empleo de insumos a base de RPCV, aplicados al suelo o a las plantas, podría ser una alternativa biotecnológica para la producción de cultivos agrícolas, reduciendo la aplicación de fertilizantes sintéticos y agroquímicos que deterioran el ambiente (Yang *et al.*, 2009). Se ha demostrado en varios estudios que la inoculación con RPCV ha logrado mejorar el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (Noh *et al.*, 2014; Rojas-Solís *et al.*, 2016; Santillana *et al.*, 2005).

Por otra parte, el compost como abono orgánico contiene elementos nutritivos que puede complementar la nutrición de las plantas (Raviv *et al.*, 2005), su aplicación mejora el crecimiento, desarrollo y por consecuencia una mayor productividad de los cultivos, lo cual se debe a las propiedades físicas y químicas del abono (de la Cruz-Lázaro *et al.*, 2009), aporta N, P, K, Ca, Mg y hormonas promotoras del crecimiento (Olivares-Campos *et al.*, 2012). Según Viti *et al.* (2010) una de las características del compost es estimular el desarrollo de las RPCV. Por lo que el compost puede usarse como sustrato para la producción de cultivos hortícolas en invernadero (Rodríguez *et al.*, 2008). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto

de la inoculación de tres RPCV (*Bacillus* spp., *Aeromonas* spp. y *Pseudomonas lini* Delorme) utilizando sustratos a base de compost o arena de río sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate cv. Afrodita, bajo condiciones de invernadero.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se realizó durante el ciclo agrícola primavera-verano 2015, en la Comarca Lagunera (101° 40' y 104° 45' O y 25° 05' y 26° 54' N), en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México. El invernadero cuenta con un área de 200 m<sup>2</sup>, es de forma semicircular, con cubierta de acrílico reforzado, piso de grava y sistema de enfriamiento automático mediante pared húmeda y extractores de aire.

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) utilizadas fueron: *Bacillus* spp., *Aeromonas* spp. y *P. lini*, pertenecientes a la colección microbiana del Laboratorio de Ecología Microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México. Para la preparación de los inóculos bacterianos, las tres cepas fueron inoculadas individualmente en medio líquido Luria Bertani® y colocadas en una incubadora durante 24 h a 30 °C, con agitación de 200 rpm (Precisión Scientific 815®) las concentraciones bacterianas se ajustaron a 1 × 10<sup>8</sup> UFC mL<sup>-1</sup> con buffer fosfato salino al 0.5X.

El material vegetal empleado fue el tomate cv. Afrodita, el cual se sembró en bandejas de poliestireno

de 200 cavidades, utilizando Peat moss (Premier, México®) como sustrato. Las bandejas fueron colocadas en el interior del invernadero, éstas se cubrieron con plástico negro durante 72 h, aplicando cada 24 h riego, las características del agua fueron: pH 7.38, RAS 3.2 y CE 1.18 dS m<sup>-1</sup>, clasificada como agua de baja salinidad y bajo contenido de sodio (Ayers y Westcot, 1994). La inoculación de las RPCV se realizó a los 12 días después de la emergencia de las plántulas, empleando el método de inmersión, durante un periodo de 5 minutos, en una suspensión bacteriana de 4 L, a una concentración de 1 × 10<sup>8</sup> UFC mL<sup>-1</sup>, los tratamientos testigos solo se trataron con agua destilada (Cuadro 1).

El trasplante se efectuó a los 46 días después de la siembra, cuando las plántulas presentaron, en promedio, 15 cm de altura, colocando una planta en el centro de las bolsas de polietileno negro de 18 L de capacidad. Las bolsas se llenaron con sustratos a base de compost, arena de río y perlita y otras sólo con arena (Cuadro 1). Éstas fueron colocadas en doble hilera, con una separación de 1.60 m entre hileras, con arreglo “tresbolillo”, y a 0.30 m de centro a centro entre las bolsas, para obtener una densidad de 4.2 plantas m<sup>-2</sup>. Las características nutrimentales de los sustratos se presentan en el Cuadro 2. La arena de río utilizada se desinfectó con una solución al 5% de hipoclorito de sodio y se dejó secar al ambiente por tres días. Al sustrato a base de compost, arena de río y perlita se le aplicó un lavado para lixiviar el exceso de sales de acuerdo a la metodología de Cano *et al.* (2011).

Después del trasplante los riegos se dosificaron según las etapas de desarrollo del cultivo. A los cuatro días después del trasplante (ddt) se aplicaron en

**Cuadro 1. Tratamientos establecidos con diferentes composiciones de sustrato y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) inoculadas en tomate bajo condiciones de invernadero.**

Tratamiento	RPCV inoculadas	Composición del sustrato v/v/v†
T1	<i>Bacillus</i> spp.	50 compost + 40 arena + 10 perlita
T2	<i>Aeromonas</i> spp.	50 compost + 40 arena + 10 perlita
T3	<i>Pseudomonas lini</i>	50 compost + 40 arena + 10 perlita
T4	Testigo 1	50 compost + 40 arena + 10 perlita
T5	<i>Bacillus</i> spp.	100 arena
T6	<i>Aeromonas</i> spp.	100 arena
T7	<i>Pseudomonas lini</i>	100 arena
T8	Testigo 2	100 arena

† Volumen: volumen: volumen



**Cuadro 2. Características químicas del compost y arena empleados como medio de crecimiento de tomate bajo condiciones de invernadero.**

Sustrato	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	pH	CE <sup>†</sup>
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----										
Compost	120.1	42.0	610.6	90.0	85.0	3.0	7.5	5.1	4.1	8.56	6.7
Arena de río	1.15	11.2	100.2	45.0	4.30	0.17	5.75	0.7	4.43	7.5	0.65

<sup>†</sup> Conductividad eléctrica.

promedio 0.5 L de agua por maceta día<sup>-1</sup>, el volumen se incrementó a 1 y 2 L día<sup>-1</sup>, a los 30 y 71 ddt, respectivamente. La solución nutritiva empleada en los tratamientos testigos (T4 y T8) durante todo el ciclo del cultivo fue la recomendada por Castellano y Ojodeagua (2009). La demanda nutricional del cultivo para los tratamientos inoculados con las RPCV fue cubierta utilizando Maxifrut y Maxiquel, ambos productos de la compañía BioCampo®, para aplicar macro y micro elementos. Estos productos han sido aprobados por las normas de producción orgánica certificada IFOAM (2003). De ambos productos se prepararon soluciones madre a razón de 10 y 50 g 20 L<sup>-1</sup> de agua de riego, para la fertilización de las bolsas se realizaron diluciones de 1 y 0.5 L en 1000 L de agua, respectivamente. La dilución del Maxifrut se aplicó todos los días y la del Maxiquel cada semana, a través de los volúmenes de riego ya mencionados. El manejo y cuidado del cultivo se realizó de acuerdo con lo establecido por Muñoz (2009).

La cosecha de frutos se efectuó del primer al octavo racimo, cuando éstos presentaron un color rosa de 30 y 60% de acuerdo a la clasificación de color de la USDA (1991). El ciclo de cultivo duró 120 ddt, la temperatura mínima y máxima al interior del invernadero fluctuó entre 17.4 y 32.6 °C respectivamente, mientras que la humedad relativa mínima y máxima osciló entre 30 y 70%.

La calidad del tomate se determinó en 18 frutos por planta, correspondientes a cada repetición de los tratamientos, registrándose los diámetros polar y ecuatorial, y el espesor de pericarpio con un vernier (Truper, México®), el contenido de sólidos solubles con un refractómetro (Master-T ATAGO, Tokio, Japón®), la firmeza con un penetrómetro (FHT200, Exttech Instruments, USA®), con émbolo de 3 mm, y el peso de fruto con una balanza (Ohaus 3729, México®). El contenido de fenoles totales se determinó de acuerdo al método descrito por Waterman y Mole (1994),

realizando la extracción con metanol y la cuantificación mediante la reacción con el reactivo Folin Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis MO, USA®); los datos se reportaron como miligramos de ácido gálico por 100 g en fruto fresco (FF) (mg de AG 100 g<sup>-1</sup> FF). La capacidad antioxidante se evaluó de acuerdo al método desarrollado por Brand-Williams *et al.* (1995), los resultados se expresaron en actividad equivalente a Trolox (µM Trolox g<sup>-1</sup> FF). El rendimiento total se estimó con el peso del fruto, considerando el número total de frutos obtenidos en la cosecha y la densidad de plantas.

El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar con arreglo factorial (2 × 4), con ocho tratamientos y cinco repeticiones: el factor A correspondió a los sustratos, mientras que el factor B fueron las RPCV: *Bacillus* spp., *Aeromonas* spp. y *P. lini*. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza, en los casos en los que se encontró diferencia estadística, se realizaron comparación de medias aplicando la prueba Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 0.05% (Olivares-Sáenz, 1993).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los diámetros ecuatorial y polar de los frutos de los diferentes tratamientos, así como el contenido de sólidos solubles, presentaron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ), del mismo modo, se encontraron significancias estadísticas en espesor de pericarpio y firmeza de fruto ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de la interacción sustratos × RPCV. En el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante se registró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en la interacción sustratos × RPCV. En el peso de fruto se encontró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de las RPCV, sin embargo no hubo diferencias significativas entre diferentes sustratos, ni en la interacción sustratos × RPCV (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables de calidad de fruto y rendimiento total en el cultivo de tomate desarrollado en invernadero.**

Variable	Sustratos	RPCV	Sustratos × RPCV	Error	CV
					% †
Peso de fruto	0.441 NS	303.023 **	43.146 NS	28.046	7.5
Diámetro polar	0.001 NS	0.963 **	0.362 **	0.264	2.7
Diámetro ecuatorial	0.020 NS	0.096 **	0.2033 **	0.009	1.8
Espesor de pericarpio	0.011 NS	0.019 **	0.012 *	0.004	9.2
Sólidos solubles	0.600 **	0.3929 **	0.154 **	0.027	3.0
Firmeza	3.088 NS	2.312 NS	4.065 *	1.137	9.5
Fenoles totales	1017.042 **	208.538 **	30.308 *	9.837	7.9
Capacidad antioxidante	2591.134 **	100.962 *	74.393 *	24.898	9.4
Rendimiento	737.970 *	656.866 **	273.420 NS	118.3	14.3

RPCV = rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal; † Coeficiente de variación; NS = no significativo; \* = significativo ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ).

Para los diámetros polar y ecuatorial los mayores valores se registraron en el tratamiento T1, con medias de 6.54 y 5.50 cm respectivamente (Cuadro 4), los cuales corresponden a frutos de calidad comercial aceptable (Mena-Violante y Olalde-Portugal, 2007). Estos valores superaron en 15.14 y 4.76%, respectivamente, a los valores registrados en el tratamiento T8. Por lo anterior, la inoculación con RPCV y el compost generaron efectos positivos en la calidad y tamaño de los frutos, efectos que coinciden con lo establecido por Bhattacharjee *et al.* (2015). El

diámetro polar registrado resultó ser similar al valor promedio reportado por Mena-Violante *et al.* (2009) en frutos de tomate cv. Río Fuego, provenientes de plantas inoculadas con *B. Subtilis* BEB-13bs. Por su parte, el diámetro ecuatorial fue superior en 11 y 17% a los valores promedios reportados por Mena-Violante *et al.* (2009) en condiciones de manejo ya descrita y Mena-Violante y Olalde-Portugal (2007) al evaluar la calidad y el rendimiento de tomate cv. Río Fuego inoculado con *B. subtilis* BEB-13bs en condiciones de invernadero, respectivamente.

**Cuadro 4. Calidad de fruto del cultivo de tomate con diferentes tratamientos bajo condiciones de invernadero.**

Tratamiento	PF	DP	DE	EP	SS	F
	g	cm	cm	° Brix	Newton	
T1 = 50 compost + 40 arena + 10 perlita + <i>Bacillus</i> spp.	77.90	6.54 a†	5.50 a	0.70 ab	5.94 a	12.54 a
T2 = 50 compost + 40 arena + 10 perlita + <i>Aeromonas</i> spp.	71.80	5.93 c	5.12 d	0.74 a	5.68 b	11.92 a
T3 = 50 compost + 40 arena + 10 perlita + <i>Pseudomonas lini</i>	65.28	6.06 c	5.15 cd	0.72 ab	5.36 cd	11.47 ab
T4 = 50 compost + 40 arena + 10 perlita (testigo 1)	66.30	5.46 e	4.95 e	0.58 d	5.26 cd	10.23 b
T5 = 100 arena + <i>Bacillus</i> spp.	77.66	6.06 c	5.16 cd	0.62 cd	5.42 c	11.21 ab
T6 = 100 arena + <i>Aeromonas</i> spp.	69.84	6.31 b	5.32 b	0.69 abc	5.30 cd	10.14 b
T7 = 100 arena + <i>Pseudomonas lini</i>	71.46	5.94 c	5.16 cd	0.64 bcd	5.38 c	11.30 ab
T8 = 100 arena (testigo 2)	63.16	5.68 d	5.25 bc	0.65 bcd	5.16 d	11.30 ab
Media	70.43	6.00	5.20	0.67	5.44	11.26
DMS	6.86	0.21	0.12	0.07	0.21	1.38

† Promedios con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes (DMS,  $P \leq 0.05$ ). NS = no significativo; \* = significativo; \*\* = altamente significativo. PF = peso de frutos; DP = diámetro polar; DE = diámetro ecuatorial; EP = espesor de pericarpio; SS = sólidos solubles; F = firmeza del fruto.

En el caso de espesor de pericarpio el mayor valor se presentó en el tratamiento T2, con 0.74 cm, superando al menos en 2.78% a los valores registrados en el resto de los tratamientos (Cuadro 4). Este valor fue superior al promedio de espesor de pericarpio, 0.39 cm, reportado por Pal *et al.* (2015), en tomate cv. Azad T-6, al evaluar la fertilización sintética más la aplicación de la cepa *Azotobacter*. A su vez resultó ligeramente inferior al valor promedio de 0.8 cm reportado por Rodríguez *et al.* (2009), para frutos de tomate empleando abonos orgánicos. Lo anterior permite suponer que la aplicación del compost y de las RPCV promovió el desarrollo de un mayor grosor del pericarpio, lo cual es deseable ya que contiene los niveles más altos de antioxidantes en comparación con la pulpa y las semillas de frutos de tomate (Luna-Guevara y Delgado-Alvarado, 2014), además, está relacionado con el peso del fruto, así también podría aumentar la vida de anaquel (Coelho *et al.*, 2003).

En relación al contenido de sólidos solubles el mayor valor se registró en el tratamiento T1, con un media de 5.94 °Brix, y fue superior en 4.38, 9.76, 11.45, 8.75, 10.77, 9.43 y 13.13% a los contenidos de sólidos solubles registrados en los tratamientos T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8, respectivamente (Cuadro 4). El valor 5.94 °Brix coincide con lo establecido por Kumar *et al.* (2015), quienes indican que los sustratos orgánicos más la aplicación de RPCV generan frutos de mayor contenido de sólidos solubles. Al respecto Cuartero y Fernández (1998), destacan que el contenido de sólidos solubles se incrementa debido a la mayor concentración de sales presentes en los sustratos orgánicos. Por otra parte, el contenido de sólidos solubles registrado en el tratamiento T1 superó en 32% al contenido de sólidos solubles reportado por de la Cruz-Lázaro *et al.* (2009) en frutos de tomate cv. SUN 7705, cuyas plantas fueron fertilizadas con solución nutritiva inorgánica, bajo condiciones de invernadero. Por lo cual se fortalece la hipótesis de que el desarrollo de los cultivos será favorable si se aplican los bioinsumos a base de RPCV mezclados con abonos orgánicos, como el compost.

La firmeza del fruto se incrementó 8.5 y 3.7% en los tratamientos T1 y T2, respectivamente, en comparación a las plantas desarrolladas en el tratamiento T8 (Cuadro 4). Este comportamiento coincide con lo establecido por Mena-Violante *et al.* (2009) quienes reportaron que la firmeza es significativamente mayor en frutos de tomate proveniente de plantas inoculadas

con RPCV. Por otro lado, el valor de firmeza, 12.54 N, obtenido en los frutos del tratamiento T1, fue superior en 19.08% a la firmeza reportada por Mena-Violante y Olalde-Portugal (2007), en frutos de tomate cv. Río Fuego, fertilizadas con solución Long Ashton e inoculadas con la cepa *B. subtilis* BEB-13bs, en condiciones de invernadero. De acuerdo con Cooper *et al.*, 1998 los frutos más firmes podrían ser más resistentes al ataque de microorganismos causantes del decaimiento, por lo tanto, las plantas inoculadas con RPCV no solo incrementaron la firmeza, sino que además podrían disminuir la incidencia del deterioro del fruto.

Los mayores contenidos de fenoles totales se obtuvieron en el tratamiento T1, con una media de 51.70 mg de AG 100<sup>-1</sup> FF, superando en 26.05 y 44.29% al contenido determinado en los tratamientos testigos T4 y T8, respectivamente (Cuadro 5), comportamiento que coincide con lo establecido por Dashti *et al.* (2014), quienes resaltaron que el contenido de fenoles totales se incrementa en frutos de tomate, provenientes de plantas inoculadas con RPCV en comparación a plantas sin inocular. Los compuestos fenólicos se acumulan como un mecanismo de defensa contra un estrés biótico y abiótico (Rivero *et al.*, 2001; Toor *et al.*, 2006). Esta situación pudo contribuir a que los frutos del tratamiento T1 hayan destacado en la mayoría de las variables evaluadas en el presente experimento.

**Cuadro 5. Contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de frutos de tomate en diferentes tratamientos con inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV).**

Tratamiento	Fenoles totales	Capacidad antioxidante
	mg de AG 100 g <sup>-1</sup> FF	μM Trolox g <sup>-1</sup> FF
T1	51.70 a <sup>†</sup>	66.68 a
T2	45.38 b	58.66 bc
T3	43.05 b	64.55 ab
T4	38.00 c	55.62 c
T5	36.47 c	48.58 d
T6	37.64 c	42.51 d
T7	34.87 c	43.03 d
T8	28.80 d	47.00 d
Media	39.49	53.33
DMS	1.38	4.06

<sup>†</sup> Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia estadísticas significativas (DMS  $P \leq 0.05$ ).

Adicionalmente, es posible que las diferencias determinadas para fenoles totales pudieran ser atribuidas a las temperaturas máximas registradas en el interior del invernadero (Wahid *et al.*, 2007). Los valores obtenidos superaron ampliamente al valor de 26.22 mg AG 100 g<sup>-1</sup> FF reportados por Kim *et al.* (2013) en frutos de tomate. Por otro lado, el valor 51.70 mg de AG 100 g<sup>-1</sup> FF registrado en el tratamiento T1, superó en 207% al contenido de fenoles totales de 16.8 mg AG 100 g<sup>-1</sup> FF en frutos de tomate cv. Río Grande, cuyas plantas se desarrollaron con aplicación de fertilizantes sintéticos (Ilahy *et al.*, 2011). En general, los resultados obtenidos coinciden con los informes de otros investigadores que han reportado un mayor contenido de fenoles totales en frutos de tomate, al aplicar abonos orgánicos contra la aplicación de fertilizantes sintéticos (Bhattacharjee *et al.*, 2015; Toor *et al.*, 2006).

En relación a la capacidad antioxidante destacó el valor 66.68 μM Trolox g<sup>-1</sup> FF registrado en el tratamiento T1, superando en al menos 3.30% al resto de los tratamientos (Cuadro 5). Estos resultados coinciden con lo establecido por Ordookhani *et al.* (2010) quienes indican que el uso de RPCV puede aumentar el contenido de licopeno y la actividad antioxidante en frutos de tomate. Por otro lado, el contenido de sales presentes en el sustrato orgánico podría causar estrés nutricional en las plantas de tomate, promoviendo el incremento de la producción de compuestos fenólicos, lo que provoca un aumento en la actividad antioxidante en los frutos (Preciado-Rangel *et al.*, 2015; Wang y Lin, 2003). Por lo tanto, es factible recomendar la aplicación de la cepa *Bacillus* spp., más la utilización del sustrato a base de compost, como una alternativa de fertilización, para la producción de tomate en invernadero con calidad comercial aceptable y una mejor capacidad antioxidante.

En cuanto al peso del fruto del tomate, el cual fue significativamente diferente ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de las RPCV, las plantas inoculadas con la cepa *Bacillus* spp., presentaron el mayor peso, con una media de 77.78 g, superando en 8.95, 12.10 y 16.78% al peso de fruto obtenido en las plantas inoculadas con las cepas *Aeromonas* spp., *P. lini* y al testigo sin inocular, respectivamente (Cuadro 6). El que haya sobresalido *Bacillus* spp., puede deberse a que, la promoción del crecimiento vegetal (p. ej.: peso seco de los brotes, altura de planta, número de frutos y rendimiento (Lucy *et al.*, 2004) está relacionada con la capacidad

de cada microorganismo de sintetizar reguladores de crecimiento como AIA, citocininas, giberelinas, etileno, ácido abscísico, entre otros (Adriano *et al.*, 2011). Los resultados sugieren que los bioinsumos basados en RPCV pueden aumentar la capacidad de absorción de los elementos nutritivos por las plantas, y de este modo evidenciar los efectos positivos sobre los cultivos (Adesemoye *et al.*, 2009). En un estudio sobre el rendimiento y peso del fruto de tomate Mayak *et al.* (2004), determinaron resultados significativamente mayores en plantas de tomate inoculadas con *A. piechaudii*, respecto a plantas testigo sin inocular. Resultados semejantes observaron Dursun *et al.* (2010), con la aplicación de las cepas *A. baumannii* y *B. megaterium* en los cultivos de tomate y pepino (*Cucumis sativus* L.).

Los resultados del presente estudio muestran que el rendimiento total fue influenciado positivamente por las RPCV, sin embargo no hubo diferencias significativas para esta variable entre los diferentes sustratos, ni para la interacción sustratos × RPCV (Cuadro 3). De acuerdo con Vessey (2003) el incremento en el rendimiento de los cultivos vegetales por la aplicación de RPCV puede ser debido a la producción de metabolitos secundarios, tales como fitohormonas (auxinas, citoquininas y giberelinas), riboflavina y vitaminas (tiamina, niacina y ácido pantoténico). Existen relaciones positivas entre la inoculación de raíces de tomate con RPCV, ya que la inoculación de la cepa *B. subtilis* al cultivo de tomate superó en 28% al rendimiento del tratamiento testigo (Mena-Violante y Olalde-Portugal, 2007).

**Cuadro 6. Peso de fruto y rendimiento total del cultivo de tomate inoculado con RPCV, bajo condiciones de invernadero.**

RPCV	Peso de fruto g	Rendimiento Mg ha <sup>-1</sup>	Incremento del rendimiento <sup>‡</sup> %
<i>Bacillus</i> spp.	77.78 a <sup>†</sup>	86.693 a	25.06
<i>Aeromonas</i> spp.	70.82 b	78.051 ab	12.59
<i>Pseudomonas lini</i>	68.37 bc	70.176 b	1.23
Testigo	64.73 c	69.321 b	--
Media	70.43	76.06	
DMS	4.85	9.96	

RPCV = rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. <sup>†</sup> Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia estadísticas significativas (DMS  $P \leq 0.05$ ). <sup>‡</sup> Incremento con relación al testigo.

El rendimiento promedio, al aplicar las RPCV, fue de 76.06 Mg ha<sup>-1</sup>, es decir, se incrementó 34.82% con respecto al rendimiento promedio obtenido, por los productores mexicanos en condiciones de riego y temporal (SAGARPA, 2014). Las plantas inoculadas con la cepa *Bacillus* spp., presentaron el mayor rendimiento, con una media de 86.69 Mg ha<sup>-1</sup>, superando en 25.06% al rendimiento obtenido en el testigo sin inocular (Cuadro 6). Resultados similares han sido reportados por Xue *et al.* (2009) quienes evidenciaron que los géneros *Acinetobacter* y *Enterobacter* mejoraron significativamente el rendimiento del cultivo de tomate. Los resultados obtenidos en el presente experimento, de acuerdo con Sánchez *et al.* (2012), sugieren que la inoculación de las plantas de tomate con RPCV exhibe un gran potencial para estimular el crecimiento y producción en este cultivo.

### CONCLUSIONES

La inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) y la utilización del sustrato a base de compost incrementaron el rendimiento y la calidad nutraceutica de los frutos de tomate producido bajo condiciones de invernadero. Específicamente el uso de la cepa *Bacillus* spp. con el sustrato a base de compost tuvo efectos positivos sobre el diámetro polar y ecuatorial, contenido de sólidos solubles, fenoles totales y capacidad antioxidante de frutos de tomate cv. Afrodita. Los bioinsumos basados en RPCV y el compost podrían ser una alternativa de fertilización en la producción de tomate en agricultura protegida, puesto que se incrementa el rendimiento y la calidad nutraceutica de los frutos sin el suministro de fertilizantes inorgánicos.

### AGRADECIMIENTO

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar estudios de maestría No. 001924, CVU No. 661904. También se agradece la revisión crítica del documento realizada por el Dr. José Luis Reyes Carrillo.

### LITERATURA CITADA

- Adesemoye, A. O., H. A. Torbert, and J. W. Kloepper. 2009. Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbiol. Ecol.* 58: 921-929. doi:10.1007/s00248-009-9531-y.
- Adriano A., M. L., R. Jarquín G., C. Hernández R., M. Salvador F. y C. T. Monreal V. 2011. Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2: 417-431.
- Ayers, R. S. and W. D. Westcot. 1994. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. Rome. ISBN 92-5-102263-1.
- Bashan, Y. and L. E. de-Bashan. 2010. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth - A critical assessment. *Adv. Agron.* 108: 77-136. doi:10.1016/s0065-2113(10)08002-8.
- Bhattacharjee, P., B. Chakraborty, and U. Chakraborty. 2015. Field evaluation of vermicompost and selective bioinoculants for the improvement of health status of tomato plants. *J. Biol. Earth Sci.* 5: 25-33.
- Brand-Williams, W., M. E. Cuvelier, and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 28: 25-30.
- Cano R., P., U. Figueroa V., J. M. Cruz M., I. A. Araiza E. y A. Moreno R. 2011. Determinación del requerimiento de lavado y fitotoxicidad en composta y sustratos para la producción en invernadero. pp. 320-334. *In:* M. Fortis H., E. Salazar S., J. Dimas López M. y P. Preciado R. (eds.). *Agricultura orgánica: Cuarta parte.* Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo., México.
- Castellano, Z. J. y J. L. Ojodeagua. 2009. Formulación de la solución nutritiva. pp. 131-156. *In:* J. Z. Castellano (ed.). *Manual de producción de tomate en invernadero.* Intagri, S. C. Celaya, Gto., México.
- Coelho, E. L., P. C. Rezende F., F. L. Finger, e A. A. Cardoso. 2003. Qualidade do fruto de melão rendilhado em função de doses de nitrogênio. *Bragantia* 62: 173-178.
- Cooper, W., M. Bouzayen, A. Hamilton, C. Barry, S. Rossall, and D. Grierson. 1998. Use of transgenic plants to study the role of ethylene and polygalacturonase during infection of tomato fruit by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Pathol.* 47: 308-316.
- Costales, D., L. Martínez y M. Núñez. 2007. Efecto del tratamiento de semillas con una mezcla oligogalacturónidos sobre el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cul. Trop.* 28: 85-91.
- Cuartero, J. and R. Fernández Muñoz. 1998. Tomato and salinity. *Sci. Hortic.* 78: 83-125.
- Dashti, N. H., M. S. Montasser, N. Y. A. Ali, and V. M. Cherian. 2014. Influence of plant growth promoting rhizobacteria on fruit yield, pomological characteristics and chemical contents in cucumber mosaic virus-infected tomato plants. *Kuwait J. Sci.* 41: 205-220.

- de la Cruz-Lázaro, E., M. A. Estrada-Botello, V. Robledo-Torres, R. Osorio-Osorio, C. Márquez-Hernández y R. Sánchez-Hernández. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Univ. Cienc.* 25: 59-67.
- Dursun, A., M. Ekinçi, and M. F. Dönmez. 2010. Effects of foliar application of plant growth promoting bacterium on chemical contents, yield and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Pak. J. Bot.*, 42: 3349-3356.
- Fraser, P. D., E. M. Enfissi, and P. M. Bramley. 2009. Genetic engineering of carotenoid formation in tomato fruit and the potential application of systems and synthetic biology approaches. *Arch. Biochem. Biophys.* 483: 196-204. doi:10.1016/j.abb.2008.10.009.
- Ilahy, R., C. Hdider, M. S. Lenucci, I. Tlili, and G. Dalessandro. 2011. Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high-lycopene tomato cultivars. *J. Food Compos. Anal.* 24: 588-595. doi:10.1016/j.jfca.2010.11.003.
- IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements). 2003. Norma para la producción y procesado orgánico. Die Deutsche Bibliothek. Frankfurt, Germany. ISBN: 3-934055-24-9.
- Juárez-Maldonado, A., K. de Alba R., A. Zermeño G., H. Ramírez y A. Benavides M. 2015. Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. *Rev. Mex. Cienc. Agrar.* 6: 943-954.
- Khan, M. S., A. Zaidi, and P. A. Wani. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture - A review. *Agron. Sust. Dev.* 27: 29-43. doi:10.1051/agro:2006011.
- Kim, I. S., S. K. Jin, M. R. Yang, G. M. Chu, J. H. Park, R. H. I. Rashid, J. Y. Kim, and S. N. Kang. 2013. Efficacy of tomato powder as antioxidant in cooked pork patties. *Asian Aust. J. Anim. Sci.* 26: 1339-1346. doi:10.5713/ajas.2013.13079.
- Kloepper, J. W. and M. N. Schroth. 1978. Plant growth promoting rhizobacteria on radishes. pp. 879-882. *In: Gilbert-Clorey* (ed.). *Proceeding of the 4th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria* Vol. 2. France.
- Kumar, N., H. K. Singh, and P. K. Mishra. 2015. Impact of organic manures and biofertilizers on growth and quality parameters of *Strawberry* cv. Chandler. *Indian J. Sci. Technol.* 8: 1-6. doi:10.17485/ijst/2015/v8i15/51107.
- Lucy, M., E. Reed, and B. R. Glick. 2004. Application of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek* 86: 1-25.
- Luna-Guevara, M. L. y A. Delgado-Alvarado. 2014. Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avan. Invest. Agropec.* 18: 51-66.
- Mayak, S., T. Tirosh, and B. R. Glick. 2004. Plant growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomatoes and peppers. *Plant Sci.* 166: 525-530. doi:10.1016/j.plantsci.2003.10.025.
- Mena-Violante, H. G., A. Cruz-Hernández, O. Paredes-López, M. Á. Gómez-Lim y V. Olalde-Portugal. 2009. Cambios relacionados con textura de frutos y mejoramiento de la vida de anaquel por la inoculación de raíces de tomate con *Bacillus subtilis* BEB-13BS. *Agrociencia* 43: 559-567.
- Mena-Violante, H. G. and V. Olalde-Portugal. 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Sci. Hortic.* 113: 103-106. doi:10.1016/j.scienta.2007.01.031.
- Muñoz R., J. J. 2009. Manejo del cultivo de tomate en invernadero. pp. 63-108. *In: J. Z. Castellano* (ed.). *Manual de producción de tomate en invernadero*. Intagri, S. C. Celaya, Gto., México.
- Noh, M. J., C. Yam C., L. Borges G., J. J. Zúñiga A. y G. Godoy H. 2014. Aislados bacterianos con potencial biofertilizante para plántulas de tomate. *Terra Latinoamericana* 32: 273-281.
- Olivares-Campos, M. A., A. Hernández-Rodríguez, C. Vences-Contretas, J. L. Jáquez-Balderrama y D. Ojeda-Barrios. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Univ. Cienc.* 28: 27-37.
- Olivares-Sáenz, E. 1993. Paquete de diseños experimentales versión 2.4. Facultad de Agronomía UANL. Marín, NL, México.
- Ordookhani, K., K. Khavazi, A. Moezzi, and F. Rejali. 2010. Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. *African J. Agric. Res.* 5: 1108-1115. doi:10.5897/ajar09.183.
- Ortega-Martínez, L. D., J. Sánchez-Olarte, R. Díaz-Ruiz, y J. Ocampo-Mendoza. 2010. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Ra Ximhai* 6: 365-372.
- Pal, A., S. Maji, Goid, R. Kumawat, S. Kumar, and D. C. Meena. 2015. Efficacy of various sources of nutrients on growth, flowering, yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum*) cv. Azad T-6. *The Bioscan Int. Quat. J. Life Sci.* 10: 473-477.
- Preciado-Rangel, P., K. M. García-Villela, M. Fortis-Hernández, R. Trejo Valencia, E. O. Rueda Puente, and J. R. Esparza-Rivera. 2015. Nutraceutical quality of cantaloupe melon fruits produced under fertilization with organic nutrient solutions. *Cienc. Invest. Agra.* 42: 475-481. doi:10.4067/s0718-16202015000300015.
- Pretty, J. 2008. Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363: 447-465. doi:10.1098/rstb.2007.2163.
- Raviv, M. 2015. Production of high-quality composts for horticultural purposes: A mini-review. *HortTechnology* 15: 52-57.
- Raviv, M., Y. Oka, J. Katan, Y. Hadar, A. Yogev, S. Medina, A. Krasnovsky, and H. Ziadna. 2005. High-nitrogen compost as a medium for organic container-grown crops. *Bioresour. Technol.* 96: 419-427. doi:10.1016/j.biortech.2004.06.001.
- Rivero, M. R., M. J. Ruiz, C. P. García, R. L. López-Lefebvre, E. Sánchez, and L. Romero. 2001. Resistance to cold and heat stress: Accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Sci.* 160: 315-321.
- Rodríguez D., N., P. Cano R., U. Figueroa V., E. Favela C., A. Moreno R., C. Márquez H., E. Ochoa M. y P. Preciado R. 2009. Uso de abonos orgánicos producción tomate invernadero. *Terra Latinoamericana* 27: 319-327.
- Rodríguez D., N., P. Cano R., U. Figueroa V., A. Palomo G., E. Favela C., V. P. Álvarez R., C. Márquez H. y A. Moreno R. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 265-272.

- Rodríguez, H. and R. Fraga. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol. Adv.* 17: 319-339.
- Rojas-Solís, D., C. E. Hernández-Pacheco, and G. Santoyo. 2016. Evaluation of *Bacillus* and *Pseudomonas* to colonize the rhizosphere and their effect on growth promotion in tomato (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.). *Rev. Chapingo Serie Hortic.* 22: 45-57. doi:10.5154/r.rchsh.2015.06.009.
- SAGARPA ( Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Anuario Estadístico de Producción Agrícola. Producción Agrícola de Tomate Rojo (Jitomate). <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: mayo 4, 2016).
- Saharan, B. S. and V. Nehra. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: A critical review. *Life Sci. Med. Res.* 21: 1-30.
- Sánchez L., D. B., R. M. Gómez V., M. F. Garrido R. y R. R. Bonilla B. 2012. Inoculación con bacterias de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3: 1401-1415.
- Santiago-López, G., P. Preciado-Rangel, E. Sánchez-Chavez, J. Esparza-Rivera, M. Fortis-Hernández, and A. Moreno-Reséndez. 2016. Organic nutrient solutions in production and antioxidant capacity of cucumber fruits. *Emir. J. Food Agric.* 28: 518-521. doi:10.9755/ejfa.2016-01-083.
- Santillana, N., C. Arellano y D. Zúñiga. 2005. Capacidad del *Rhizobium* de promover el crecimiento en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller). *Ecol. Apl.* 4: 47-51.
- Spaepen, S., J. Vanderleyden, and Y. Okon. 2009. Plant growth-promoting actions of rhizobacteria. *Adv. Bot. Res.* 51: 283-320. doi:10.1016/s0065-2296(09)51007-5.
- Toor, R. K., G. P. Savage, and A. Heeb. 2006. Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *J. Food Compos. Anal.* 19: 20-27. doi:10.1016/j.jfca.2005.03.003.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1991. United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes. <https://www.ams.usda.gov/?dDocName=STELPRDC5050331> (Consulta: marzo 02, 2016).
- Vessey, K. J. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil* 255: 571-586.
- Viti, C., E. Tatti, F. Decorosi, E. Lista, E. Rea, M. Tullio, E. Sparvoli, and L. Giovannetti. (2010). Compost effect on plant growth-promoting rhizobacteria and mycorrhizal fungi population in maize cultivations. *Compost Sci. Util.* 18: 273-281. doi:10.1080/1065657x.2010.10736966.
- Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf, and M. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environ. Exp. Bot.* 61: 199-223. doi:10.1016/j.envexpbot.2007.05.011.
- Wang, S. Y. and H. S. Lin. 2003. Compost as soil supplement increases the level of antioxidant compounds and oxygen radical absorbance capacity in strawberries. *J. Agric. Food Chem.* 51: 6844-6850.
- Waterman, P. G. and S. Mole. 1994. Analysis of phenolic plant metabolites. Black Scientific Publications. Oxford, UK.
- Xue, Q. Y., Y. Chen, S. M. Li, L. F. Chen, G. C. Ding, D. W. Guo, and J. H. Guo. 2009. Evaluation of the strains of *Acinetobacter* and *Enterobacter* as potential biocontrol agents against Ralstonia wilt of tomato. *Biol. Control* 48: 252-258. doi:10.1016/j.biocontrol.2008.11.004.
- Yang, J., J. W. Kloepper, and C. M. Ryu. 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Sci.* 14: 1-4. doi:10.1016/j.tplants.2008.10.004.

# Calidad de Andosols en sistemas forestal, agroforestal y agrícola con diferentes manejos en Zacatlán, Puebla

*The quality of Andosols under forestry, agroforestry and agricultural management in Zacatlán, Puebla*

Jonathan Omar Hernández Ordoñez<sup>1</sup>, Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena<sup>1‡</sup>,  
Carlos Alberto Ortiz Solorio<sup>1</sup>, Patricio Sánchez Guzmán<sup>1</sup> y Efraín Ángeles Cervantes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Área de Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos, Edafología. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230 Texcoco, Estado de México, México.

<sup>‡</sup> Autora responsable (castor@colpos.mx)

<sup>2</sup> Laboratorio de Eco-hidrología, UMIEZ, FES Zaragoza, UNAM. Batalla 5 de Mayo SN, Iztapalapa, Ejercito Oriente. 09230 Ciudad de México, CDMX.

## RESUMEN

Los estudios de suelos en sistemas agroforestales relacionados con bosques mesófilos de montaña han sido poco abordados en nuestro país, especialmente los desarrollados en Andosols, los cuales son susceptibles a los procesos de degradación por el cambio de uso del suelo. El presente estudio se realizó en el municipio de Zacatlán, Puebla con el objetivo de caracterizar la calidad de los Andosols bajo diferentes sistemas de manejo. Los métodos que se emplearon fueron: entrevistas a productores para identificar los sistemas, descripción de perfiles de suelos, análisis de laboratorio y análisis de similaridad de los diferentes manejos. Los resultados indicaron que la zona de estudio está integrada por tres sistemas: bosque mesófilo de Montaña (BMM), agroforestal (asociaciones manzana-maíz-calabaza-arándanos) y agrícola, con adición de abonos orgánicos (FO) o fertilización inorgánica (FI). En los Andosols con BMM, la estructura biológica domina (agregados migajosos y granulares hasta los 55 cm de profundidad), presentan alto contenido de materia orgánica del suelo (MOS) (31%), alta retención de humedad (194.5%) y baja densidad aparente (Da) (0.49 g cm<sup>-3</sup>). Con el cambio de uso de suelo (de bosque a agroforestal o agrícola), la estructura biológica se reduce en espesor o desaparece y dominan los bloques sub-angulares, debido a la disminución drástica del contenido de MOS (a 16.3 o a 6.3%), y retención de humedad (de 97 o a 47%). Además, la Da aumentó hasta 1 g cm<sup>-3</sup> en el sistema agrícola. Por el contrario, en tierras degradadas, el sistema agroforestal con manejo orgánico ha mejorado la calidad del horizonte superficial en menos de seis

años y con la FO o FI algunos sistemas agroforestales aumentaron los contenidos de N<sub>tot</sub> y P. Los índices que mejor caracterizaron la calidad de los Andosols bajo diferentes sistemas fueron: estructura del suelo, MOS, N<sub>tot</sub>, P y retención de humedad.

**Palabras clave:** bosque mesófilo, manejo orgánico e inorgánico, estructura del suelo.

## SUMMARY

Soil studies on agroforestry systems related to cloud forests have been poorly studied in our country, especially those systems that develop in Andosols, which are very susceptible to land degradation processes with changes in land use. The present study was carried out in the municipality of Zacatlán, Puebla, to characterize the quality of Andosols under different management systems. The methods used were interviews with producers to identify the systems, description of soil profiles, laboratory analysis and similarity analysis of different management systems. In addition, with edaphic information, quality indices of the different management systems were established. The results indicate that the study area is composed of three systems: cloud forest, agroforestry (apple-blueberry-pumpkin-maize-associations) and agricultural management, with addition of organic and inorganic fertilization (OF and IF, respectively). In Andosols under cloud forests, the biological structure is dominant (crumb texture and granular aggregates, up to 55 cm deep). Furthermore, they have high contents of soil organic matter (31%), high moisture retention (194.5%), and low bulk density 0.49 g cm<sup>-3</sup>.

### Cita recomendada:

Hernández Ordoñez, L. O., M. del C. Gutiérrez Castorena, C. A. Ortiz Solorio, P. Sánchez Guzmán y E. Ángeles Cervantes. 2017. Calidad de Andosols en sistemas forestal, agroforestal y agrícola con diferentes manejos en Zacatlán, Puebla. *Terra Latinoamericana* 35: 179-189.

Recibido: mayo de 2016. Aceptado: noviembre de 2016.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 35: 179-189.



With land use change (to agroforestry or agricultural), the biological structure is reduced in thickness or even disappears from the topsoil, and sub-angular blocks dominate, due to the drastic decrease in organic matter content (16.3 to 6.3%), and water retention (97 to 47%). In addition, bulk density increases from 0.49 to 1 g cm<sup>-3</sup> in the agricultural system. Conversely, in degraded lands, agroforestry systems with organic fertilization has improved the quality of the surface horizon in less than six years, and with organic or inorganic fertilization some agroforestry systems increase the contents of total N and P. The indexes that best characterize the quality of the Andosols under different systems are soil structure, soil organic matter, N<sub>tot</sub>, and moisture retention.

**Index words:** cloud forest, organic and inorganic fertilization, soil structure.

## INTRODUCCIÓN

En México, el manejo agroforestal se ha centrado principalmente en zonas tropicales y templadas, (Moreno-Calles *et al.*, 2013), en donde se presentan los bosques mesófilos de montaña (BMM). Estos ecosistemas cubren una superficie entre 0.4-1% del territorio nacional, presentan alta biodiversidad (Villaseñor, 2010; Fa y Morales, 1993) y gran variedad de servicios ecosistémicos (Martínez *et al.*, 2009). Sin embargo, el avance de la frontera agrícola hacia estas superficies forestales ha traído como consecuencia la aparición de una superficie de labor frágil, con alta susceptibilidad a los procesos erosivos y, por ende, una baja productividad (Orozco *et al.*, 2004).

Los sistemas agroforestales pueden ser una alternativa para la agricultura en los bosques mesófilos pues ofrecen beneficios económicos, sociales y ambientales (Young, 1989 y 1997; CATIE, 2001; USDA, 2014; Wilson y Lovell, 2016), así como la reducción del uso de insumos (Strong y Jacobson, 2006). No obstante, han sido cuestionados por su baja productividad económica a corto plazo, se aplican sólo en áreas pequeñas y los resultados no son fácilmente reproducibles por las condiciones ambientales específicas en donde se han realizado (CATIE, 2001; Moreno-Calles *et al.*, 2013). Además, estos estudios se basan en la evaluación de la producción de biomasa y alimentos, servicios ecosistémicos, calidad del aire y del agua (Casanova-Lugo *et al.*, 2016; Torralba *et al.*,

2016), pero poco se analiza su manejo de manera integral, donde se consideren factores clave como la calidad del suelo e indicadores como la agregación, importante en la estabilización del carbono.

En la región de Zacatlán, Puebla, los BMM forman parte de la Región Terrestre Prioritaria de Conservación RTP 102, y presentan predominantemente Andosols (Krasilnikov *et al.*, 2013). Esta región muestra fragmentación del hábitat en 60% e intensa degradación de suelos (SEMARNAP-CP, 2002). Un diagnóstico de los sistemas (o del impacto del cambio de uso de suelo) son importantes para proponer estrategias que mitiguen el impacto de las prácticas agrícolas y ganaderas, y con ello, lograr la conservación de los BMM y sus servicios ecosistémicos (Arriaga *et al.*, 2000).

Los Andosols constituyen uno de los grupos de suelos de referencia para la producción agrícola en el mundo por su elevada fertilidad potencial (IUSS Working Group WRB, 2015). La relación que tienen con zonas volcánicas permiten actividades forestales, agrícolas y frutícolas bajo diferentes manejos tanto orgánicos como inorgánicos, y con diferentes sistemas de labranza: convencional, tradicional, mínima o cero (Tapia-Vargas *et al.*, 2001; Velásquez-Valle *et al.*, 2006, 2007; Muñoz-Villalobos *et al.*, 2011). El problema de estos suelos es que son altamente susceptibles a la erosión hídrica y eólica (Krasilnikov *et al.*, 2013), lo que incrementa aún más la fragilidad de los ecosistemas de los BMM. La hipótesis que se plantea en la presente investigación es que los sistemas agroforestales en BMM son adecuados para la conservación o mejoramiento de la calidad de los Andosols después del cambio de uso de suelo; no obstante, puede haber diferencias entre los manejos orgánicos e inorgánicos en sus propiedades edáficas.

El objetivo principal del estudio fue evaluar la calidad de los Andosols bajo diferentes sistemas: forestal, agroforestal y agrícola con diferentes manejos, en Zacatlán, Puebla.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El Municipio de Zacatlán se localiza dentro de la región de la Sierra Norte, del estado de Puebla, entre los paralelos 19° 50' 06" y 20° 08' 12" de N y los meridianos 97° 51' 06" y 98° 12' 36" O; presenta una elevación que varía de 1120 a 2860 m. El clima es templado húmedo con abundantes lluvias en verano (temperatura media anual de 14.5 °C y con

precipitaciones medias anuales de 1073 mm); la vegetación está dominada principalmente por BMM y bosque de pino-encino que pertenecen a la Región Terrestre Prioritaria de Conservación RTP 102 (Arriaga *et al.*, 2000). Los suelos predominantes son Andosols, aunque también pueden ocurrir Luvisols y Cambisols de acuerdo con la información del Plan de Desarrollo Municipal (H. Ayuntamiento de Zacatlán, 2011).

Los sitios de muestreo se ubicaron en dos comunidades de Zacatlán: Atzingo y Poxcuatzingo, los cuales se localizan al norte de la cabecera municipal. A través de recorridos de campo se identificaron sitios en diferentes sistemas: forestal (Testigo), agroforestal y agrícola. Posteriormente, se entrevistaron a comisariados ejidales y productores para conocer el manejo agronómico (adición de abonos orgánicos o aplicación de fertilizantes inorgánicos) y el tipo de labranza (mínima o cero y convencional); además se cuestionó si los suelos habían presentado algún tipo de degradación. En cada sitio se realizaron pozos pedológicos con diferentes profundidades y se describieron de acuerdo con el manual de Cuanalo (1990). Las muestras de suelo fueron colectadas en cada uno de los horizontes; además, se obtuvieron muestras compuestas (tres sub-muestras) de la capa superficial (0 a 20 cm) de cada sistema de manejo, para su posterior análisis en el laboratorio.

Las muestras alteradas se secaron a temperatura ambiente y se tamizaron con una malla de 2 mm de apertura para separar la fracción de tierra fina del suelo. Las determinaciones químicas que se realizaron fueron: reacción del suelo (pH relación agua suelo 2:1); Nitrógeno total ( $N_{tot}$ ) por el método de Kjeldahl, Materia Orgánica del Suelo (MOS) con el método de Walkley y Black; Fósforo soluble en ácido cítrico ( $P_{ac\ cit}$ ); y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) con el método del acetato de amonio. Las determinaciones físicas fueron: densidad aparente ( $D_a$ ), con el método del terrón parafinado; Textura con el método de la pipeta americana, Retención de Humedad (Membrana y olla de presión) y Color (Carta de color Munsell). Todos los procedimientos fueron extraídos del manual de van Reeuwijk (2003) y fueron realizados con tres repeticiones.

La calidad de suelo de cada sistema analizado se obtuvo a través de índices de acuerdo con Larson y Pierce (1994) y Bautista-Cruz *et al.* (2004). Con los datos de las propiedades edáficas de cada sistema

se realizó un análisis de similaridad utilizando una codificación 0-1, donde 0 se asigna al valor mínimo y 1 al valor máximo de cada propiedad y se usó la distancia euclidiana.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de similaridad de las propiedades del suelo mostró que en la zona de estudio se presentaron tres grupos: forestal (BMM), agroforestal (con manejo orgánico y labranza mínima) y agrícola (manejo inorgánico y labranza convencional). El grupo o sistema que dominó fue el agroforestal. En la Figura 1 se muestra el paisaje de cada sistema estudiado.

En los sistemas agroforestales destacan las plantaciones de manzana, arándanos, cultivo de maíz; además de asociaciones de maíz-habacalabaza con árboles de manzana. El tiempo durante el cual se ha realizado el manejo de estos suelos es variado, desde 2 hasta 50 años implementando mecanismos de abonamiento similares. En general, la producción de estos sistemas agroforestales se destina para autoconsumo; pocos son los casos en donde la producción y los intereses del propietario son con fines comerciales. El manejo agrícola está reservado principalmente a la producción de maíz para autoconsumo. En el Cuadro 1 se reportan los sistemas estudiados y sus principales características.

### Propiedades Edáficas

La estructura del suelo es una de las propiedades que más se relaciona con otras propiedades físicas y químicas como: color, MOS, porosidad, retención de humedad y densidad aparente (Brady y Weil, 1999), de ahí la importancia de su análisis a nivel de perfil de suelos en los diferentes sistemas estudiados. En la Figura 2 se reportan diferentes grados de descomposición de la materia orgánica (a y b) y la formación de agregados en el horizonte orgánico y superficial (c y d); mientras que en la Figura 3 se ilustran los diferentes tipos de agregados del suelo que se presentaron en los sistemas estudiados.

En el BMM, los agregados migajosos y granulares son abundantes desde la superficie hasta profundidades de 55 y 70 cm, respectivamente (Sitio 1). Este tipo de agregados son comunes en los horizontes orgánicos y superficiales como resultado de la actividad biológica

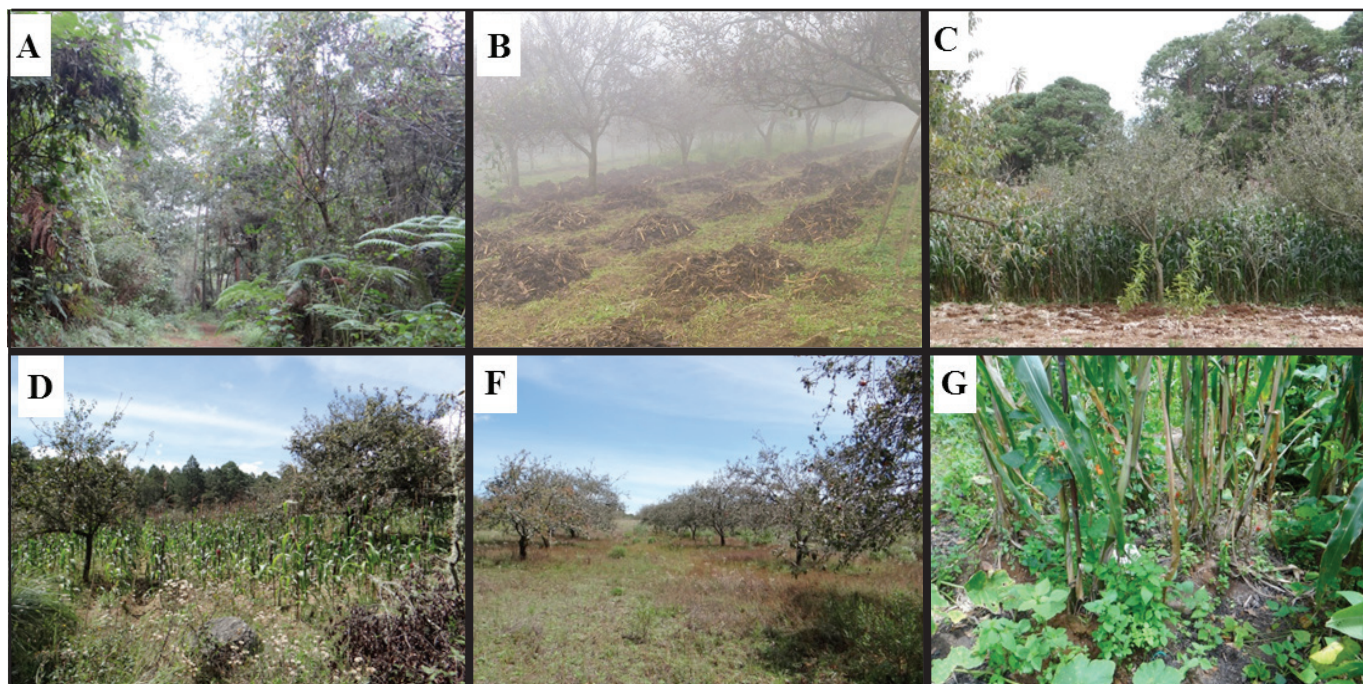


Figura 1. (A) Bosque mesófilo de montaña (BMM); (B) Sistema agroforestal: con enmiendas orgánicas; (C) Agrícola con cero labranza; (D) Agrícola con labranza mínima; (F) Huerto de manzana abandonado; (G) Asociaciones maíz-frijol- haba-calabaza-árboles frutales.

Cuadro 1. Manejo de los sistemas presentes en Zacatlán, Puebla.

Sitio	Manejo
<b>Bosque Mesófilo de Montaña</b>	
1	BMM; gran cantidad de herbáceas y espesor de hojarasca de 12 cm; la actividad de la fauna del suelo y mamíferos medianos es notable.
<b>Sistema Agroforestal (Manejo orgánico)</b>	
2	Cultivo de maíz y árboles de manzana; abonado con estiércol y cáscara de semilla de calabaza; incorporado con arado animal; 30 años; autoconsumo.
3	Asociación maíz-haba-manzano entre surcos; abonado con composta a base de fruta, estiércol, zacate, etc.; 2 Mg ha <sup>-1</sup> anuales de maíz; incorporada con arado somero; 2 años; autoconsumo.
4	Plantación de arándanos; abonado con estiércol de borrego y caballo; no se incorpora, sólo es superficial; 3 kg por mata; 6 años; comercial.
5	Asociación maíz-haba-manzano; abonado con estiércol, lombrices, aserrín y cáscara de semilla de calabaza; incorporado con maquinaria ligera; 15 años; comercial.
6	Plantación de manzana y fresa o frutilla silvestre; abonado y tiempo desconocido; labranza cero; comercial.
7	Asociación maíz-haba-calabaza; abonado de manera irregular. Autoconsumo.
<b>Sistema Agroforestal (Manejo convencional)</b>	
8	Plantaciones de manzano enano; fertilización química; 50 años; ocho años sin uso; comercial.
9	Cultivo de maíz entre árboles de manzana; fertilización química; 2 años de manejo; labranza cero; autoconsumo.
<b>Sistema Agrícola (Manejo convencional)</b>	
10	Cultivo de maíz y bosque; cultivo de maíz; fertilización química ocasional; tiempo desconocido; labranza convencional; autoconsumo.



**Figura 2.** Desarrollo estructural de Andosols bajo BMM. A) y B) Horizonte orgánico con diferente grado de descomposición; C) y D) agregados migajosos y bloque subangulares.

de los hongos que descomponen la materia orgánica, o bien, por excretas de fauna del suelo (Bullock *et al.*, 1985; Bronick y Lal, 2005; Kooistra y Pulleman, 2010), que se acumulan debajo de la hojarasca y superficie del suelo. El gran espesor de los agregados biológicos indica que el BMM no ha sido perturbado.

Con el cambio de uso de suelo (de BMM a manejo orgánico), la frecuencia de los agregados migajosos disminuyó hasta 50% (Sitios 2 y 3) o inclusive no se presentan en suelos con manejo inorgánico (Sitio 9). Sin embargo, los agregados de origen biológico se pueden desarrollar rápidamente en sistemas agroforestales cuyos suelos estuvieron degradados (Sitio 4). Tavares Filho y Tessier (2009) observaron que a una profundidad de 0 a 20 cm, la labranza convencional destruyó a los microagregados, debido a que el manejo del suelo aceleró el proceso de degradación de la MOS (Brady y Weil, 1999).

Los agregados granulares con bloques subangulares son comunes en el sistema agrícola (Sitios 9 y 10), como resultado de la labranza convencional (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 1999), pero también se pueden formar los agregados granulares por la alteración de las cenizas volcánicas de los Andosols (Stoops, 1983; Torn *et al.*, 1997; Stoops *et al.*, 2006). Pagliai *et al.* (2004)

mencionan que la estructura es una de las propiedades del suelo que se modifica rápidamente por el cambio de uso de suelo y por el sistema de labranza.

Otra característica importante que se observó en el sistema agroforestal y agrícola fue la estructura de bloques subangulares cerca de la superficie (manejo agrícola) o entre 15 y 35 cm de profundidad (Figura 4). Esto implica una degradación de la estructura por disminución en el contenido de MOS (Bronick y Lal, 2005), tanto en labranza convencional como en labranza cero (Cássaro *et al.*, 2011), debido a que esta estructura en Andosols ocurre en los horizontes sub-superficiales (McDaniel *et al.*, 2012). La actividad biológica relacionada con la formación de estos agregados está relacionada sólo con las raíces, las cuales son las responsables del redondeo de los bloques (Brady y Weil, 1999).

El análisis de la estructura cuando ocurre cambio de uso de suelo permite establecer patrones de impacto a nivel de agregación, la cual en el contexto del cambio climático global significa un aspecto importante en el secuestro de carbono, y por ende en la gestión del recurso suelo (Shrestha *et al.*, 2004). No obstante, en estudios de sistemas de agroforestería en nuestro país, este aspecto es generalmente subestimado.

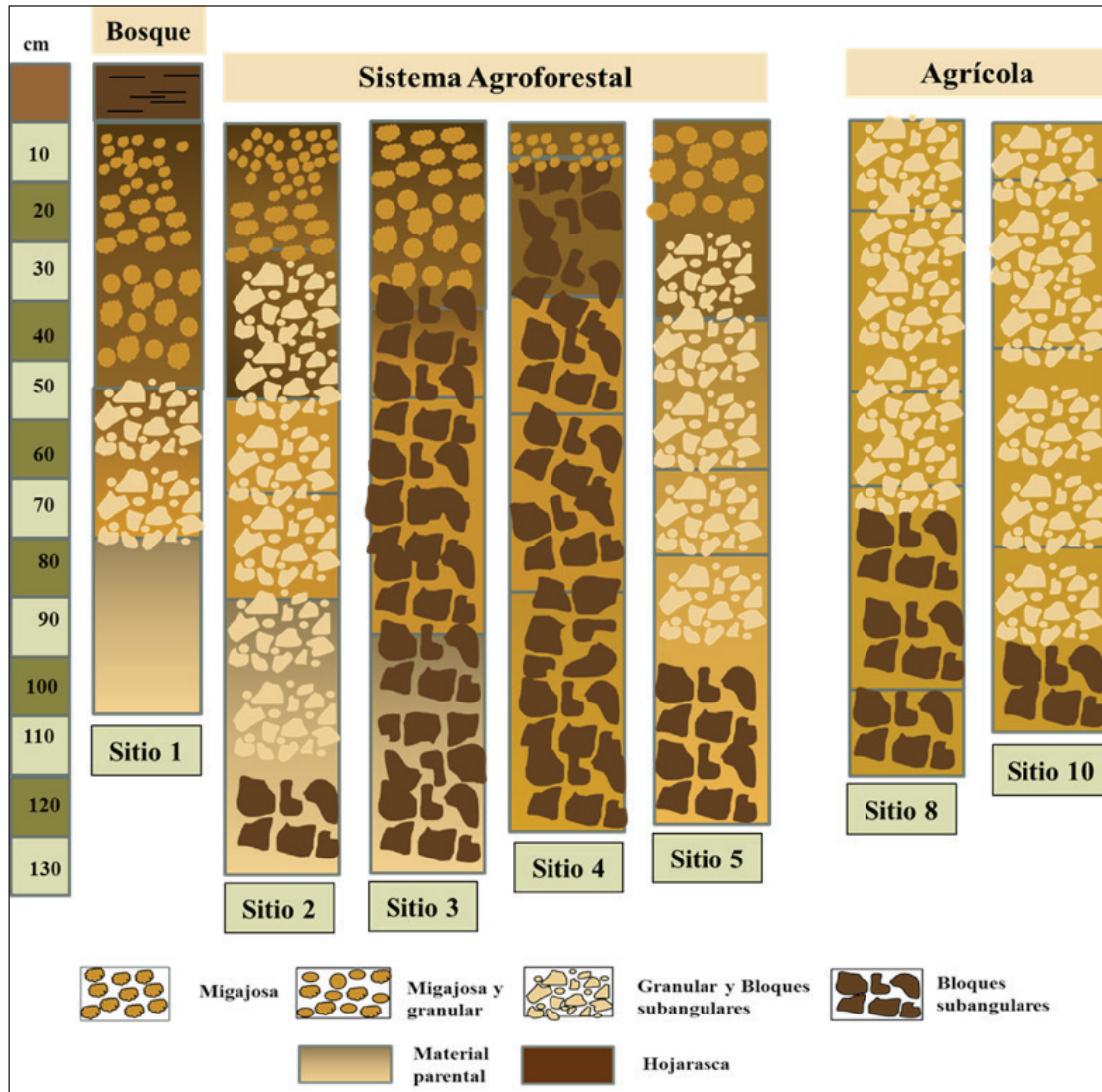


Figura 3. Tipos de agregados presentes en los diferentes sistemas estudiados.

Con la modificación de la estructura, la densidad aparente baja de los Andosols con BMM ( $0.49 \text{ g cm}^{-3}$ ) comenzó a incrementarse regularmente ( $0.69 \text{ g cm}^{-3}$ ) (sistema agroforestal con manejo orgánico; Sitio 3), hasta  $1 \text{ g cm}^{-3}$  (sistema agrícola; Sitio 10). El mismo comportamiento sucedió con la retención de humedad, al disminuir el porcentaje hasta 47% (Sitio 2) e incluso a 24% en el manejo convencional (Sitio 8). La densidad aparente baja, alta capacidad de retención de humedad y altos contenidos de amorfos y materia orgánica son comunes en Andosols (IUSS Working Group WRB, 2015); sin embargo, éstas propiedades pueden sufrir cambios irreversibles (McDaniel *et al.*, 2012), por eliminación de la cubierta vegetal o por los diferentes

sistemas de labranza. Pires *et al.* (2017) reportaron que la porosidad total puede disminuir hasta 40% (0 a 30 cm de profundidad) de suelos sin labranza a suelos con labranza tradicional.

Finalmente, la textura en la mayoría de los suelos se considera franca limosa y franca; los colores son oscuros en la superficie por el alto contenido de materia orgánica y tienden a ser claros en los horizontes subsuperficiales principalmente en el bosque y en los sistemas agroforestales. En los suelos con manejo agrícola los colores son principalmente claros.

En lo que respecta a las propiedades químicas (Cuadro 2), los cambios más drásticos se presentan en el contenido de MOS,  $N_{\text{tot}}$  y P. El BMM presentó

**Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas del horizonte superficial (0-20 cm) de los sistemas forestales, agrícola y agroforestales de Zacatlán, Puebla.**

Manejo/Sitio †	pH	C/N	MOS	N <sub>tot</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CIC	P <sub>disp</sub>	Humedad	Da
		----- % -----			----- cmol (+) kg <sup>-1</sup> -----				mg kg <sup>-1</sup>	%	g cm <sup>-3</sup>
<b>Bosque mesófilo de montaña</b>											
1. Bosque	4.8	100	31.1	0.18	1.14	7.87	2.97	54.4	3.1	194.1	0.49
<b>Agroforestal (manejo orgánico)</b>											
2. Mz-Mnz-30	4.9	18.2	16.3	0.52	0.18	1.97	0.07	38.4	3.1	91.7	0.78
3. Mz-Mnz-Hb-15	5.8	35.7	13.6	0.22	109.65	4.85	1.82	43.2	6.4	61.2	0.79
4. Bl-3	5.2	20.9	16.9	0.47	0.3	0.43	0.05	37.8	3.8	90.8	0.7
5. Mz-Hb-2	5.3	17.8	18.2	0.59	0.26	1.14	0.05	39.4	3.6	88.2	0.69
6. Mnz-ND	6.2	20.5	13.8	0.39	1.37	2.59	1.09	35.7	3.5	58.8	0.79
7. Mz-Hb-Cal-ND	5.4	28.3	17.1	0.35	0.86	1.61	0.73	38.9	10.7	57.7	0.88
<b>Agroforestal (manejo tradicional abandonado)</b>											
8. Mnz-50	6.1	20.3	11.9	0.34	1.68	4.2	0.18	31.6	3.6	54.7	0.81
<b>Agrícola (manejo inorgánico o tradicional)</b>											
9. Mnz-2	5.7	16.0	6.3	0.23	98.05	4.96	0.72	40.6	4.1	50.4	0.85
10. Mz-ND	5.7	21.8	7.2	0.19	0.54	2.13	0.05	21.5	2.9	47.6	1.00

† Se menciona el: #sitio-asociación-años de manejo y ND = no determinado; Mz = maíz; Mnz = manzana; Hb = haba; Cal = calabaza; Bl = blue berry.

los valores más altos en MOS (31.1%) en el horizonte A; mientras que en el sistema agroforestal se redujo hasta 50% en manejo orgánico (Sitios 2 y 7) y hasta 80% en el sistema agrícola (Sitios 9 y 10). Esos resultados son similares a lo reportado por varios autores cuando hay cambio de uso del suelo (Brady y Weil, 1999; Spaccini *et al.*, 2001; Lal, 2002; Nogueira *et al.*, 2006; Cardoso *et al.*, 2013). Sin embargo, hay que indicar que del bosque nativo a los sistemas agroforestales, el contenido de MOS continua siendo alto (más de 13%) de acuerdo con la escala de Brady y Weil (1999). Otros autores mencionan que a pesar de que el reemplazo de los bosques por sistemas agroforestales reduce el contenido de MOS, este tipo de sistemas ofrecerá mejores opciones de almacenamiento de carbono que las tierras agrícolas intensamente cultivadas (Nair *et al.*, 2009; Sharma *et al.*, 2016).

La relación C:N presente en todos los sitios de estudio fue variable de acuerdo con el bosque y con el tipo de manejo del suelo. Los valores más altos se presentaron en el BMM (C/N de 100), por la presencia de acículas que poseen más lignina, material resistente a la descomposición (Hammel, 1997; Rahman *et al.*, 2013). Con el cambio de uso del suelo e incorporaciones de compostas, las relaciones C:N disminuyen entre 16

y 28, comunes en este tipo de materiales orgánicos (Sánchez *et al.*, 2008; Bernal *et al.*, 2009; Romero-Figueroa *et al.*, 2015). En tanto, el Sitio 5 presenta los contenidos de N<sub>tot</sub> y MOS más altos del manejo orgánico (0.52 y 18.2% respectivamente), por el cultivo frecuente de haba, leguminosa que fija nitrógeno (Brady y Weil, 1999); no obstante, también se encontró la relación C:N más alta (35.7), por la incorporación de estiércol, aserrín y cáscara de semilla de calabaza como composta que dificulta la descomposición de la materia orgánica. Finalmente, los altos valores de la CIC de todos los sitios son considerados óptimos en cuanto a su fertilidad química (Cuadro 2) y la reacción química fue de moderada a fuertemente ácida de acuerdo con la NOM-REC/NAT-2000 (Norma Oficial Mexicana, 2002).

En cuanto a elementos como el K<sup>+</sup> y los fosfatos se encontró que presentan concentraciones altas en algunos sistemas. En sistemas agroforestales, en donde se incorporan cenizas volcánicas, tanto en manejo orgánico (Sitio 5) como inorgánico (Sitio 6), los contenidos de K<sup>+</sup> se incrementaron hasta 109 y 98 cmol (+) kg<sup>-1</sup> respectivamente, en relación con el BMM que presentó 1.14 cmol (+) kg<sup>-1</sup>. El mismo comportamiento ocurrió con los fosfatos, donde los porcentajes se

incrementaron de 2 a 3.5 veces más con el manejo orgánico (Sitio 3 y 7). En todos los sistemas analizados, el  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  presentan valores bajos y muy bajos de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana, 2002), por lo que es necesario su adición para mejorar la calidad de los suelos.

En la Figura 4 se ilustra de manera radial el comportamiento de algunas propiedades edáficas (Da, MOS, retención de humedad y CIC) entre los diferentes sistemas estudiados (forestal, agroforestal y agrícola). En términos generales, el sistema que más se diferencia del BMM, es el manejo agrícola; no obstante, si este último sistema incorpora un manejo agroforestal puede disminuir estas tendencias, como fue el caso del Sitio 4, el cual fue un sitio degradado.

También la incorporación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos incrementa el contenido  $N_{tot}$ , como ocurrió en los Sitio 2, 4 y 5.

### Índices de Calidad

En cuanto a los índices de calidad de cada sistema se encontró que las propiedades que más se modificaron por el cambio de uso de suelo fueron: la morfología (estructura), el contenido de MOS y la humedad. Además, la adición de fertilizante ha incrementado el contenido de  $N_{tot}$ , el cual determina la tasa de descomposición de la materia orgánica (Koranda *et al.*, 2014) y la adición de cenizas incrementó el contenido de  $K^+$ .

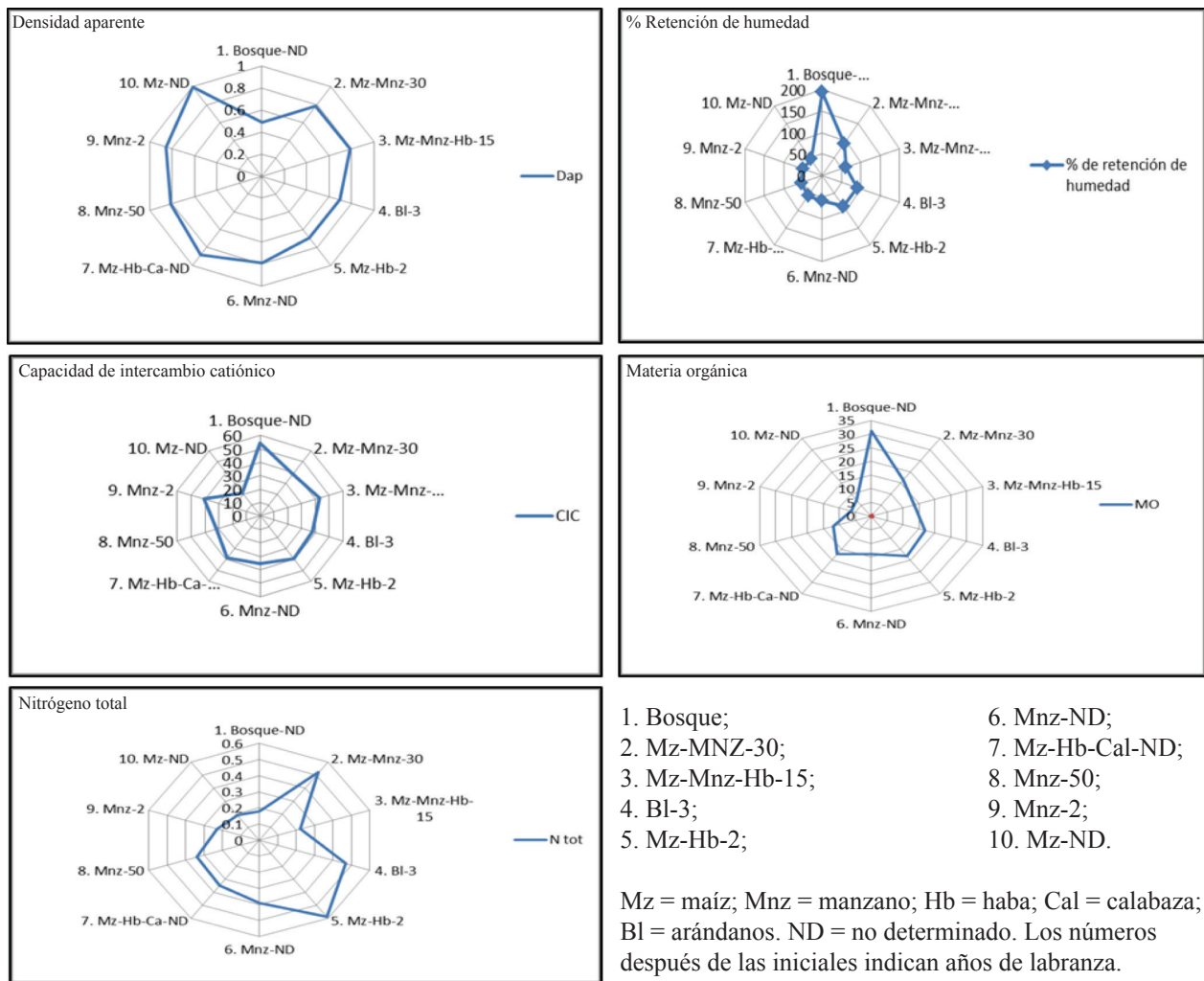


Figura 4. Propiedades edáficas del bosque mesófilo de montaña (BMM) y los diferentes manejos agroforestales y agrícolas.

Estos indicadores contrastan con los obtenidos por otros autores; por ejemplo, Cornwell (2014) encontró que del bosque nativo a la agroforestería (cacao, cacao-plátano, cacao-piña y cacao-pastizal) las propiedades que cambiaron fueron: Da, pH, CIC, Ca; mientras que las que no se modificaron fueron: MOS, N,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  y P. En cuanto al tipo de labranza, Neupane y Thapa (2001) reportaron que en sistemas agroforestales contra sistemas de labranza convencional establecidos durante 4 años el pH, MOS,  $N_{tot}$ , P y  $K^+$  no reflejaron diferencias significativas.

Dada la variación de los indicadores de calidad en los sistemas agroforestales y agrícolas es necesario un entendimiento de los procesos edáficos, sobre todo para identificar procesos de degradación o recuperación de suelos (Orellana *et al.*, 1997) y no sólo evaluar la capacidad de un suelo para llevar a cabo sus funciones (Larson y Pierce, 1994). Además, es conveniente seleccionar atributos o propiedades del suelo que sean más sensibles al manejo (Arshad y Martin, 2002), sus características y las condiciones ambientales donde se desarrollan (Cardoso *et al.*, 2013).

### Consideraciones Finales

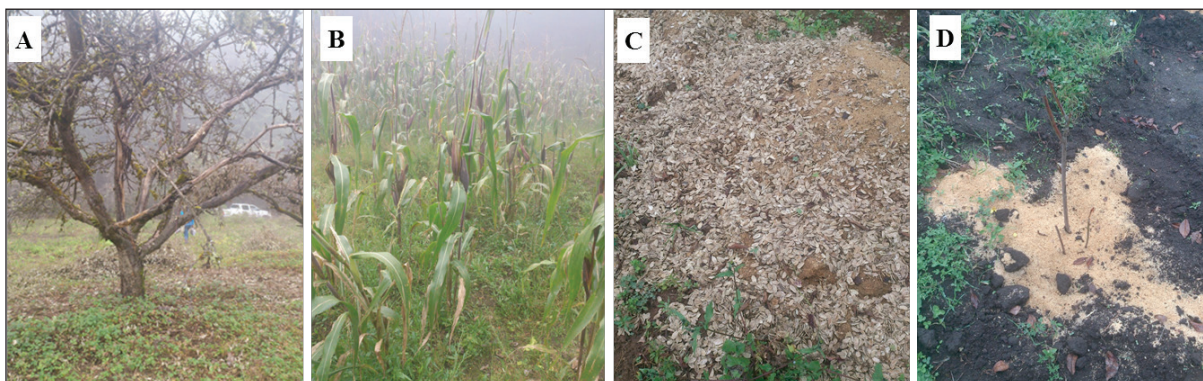
Como información adicional, en los sistemas agroforestales se encontró que las huertas de manzano tienen problemas en el manejo de las plagas y deficiencias nutrimentales (Figuras 5a y b); además, las prácticas de incorporar aserrín y residuos de semillas al suelo (Figura 5c y d), pueden disminuir la disponibilidad del nitrógeno (Brady y Weil, 1999), y la calidad del suelo.

### CONCLUSIONES

En el municipio de Zacatlán, Puebla, se presentaron tres tipos de sistemas en los Andosols: forestal, agroforestal y agrícola, con manejo orgánico e inorgánico y diferente tipo de labranza (cero y convencional). Los manejos orgánicos e inorgánicos con cualquier tipo de labranza han disminuido la calidad de los suelos en comparación con los suelos del bosque, tanto en sus propiedades físicas, químicas como morfológicas. El sistema agroforestal y agricultura con labranza mínima tienden a parecerse más al bosque mesófilo de montaña (BMM); además posiblemente están contribuyendo a la recuperación de suelos degradados. Caso contrario es el sistema agrícola con fertilización inorgánica, donde sus propiedades edáficas difieren hasta en 80% del BMM. Los índices de calidad de los tres sistemas estudiados que mejor representaron los cambios por uso del suelo fueron: morfología del suelo (estructura), el contenido de MOS y la retención de humedad, cuyos valores disminuyen de BMM a sistema agroforestal y agrícola. El  $N_{tot}$ , P y  $K^+$  están relacionados con la aplicación de fertilizantes y cenizas.

### LITERATURA CITADA

- Arriaga, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Arshad, M. A. and S. Martin. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88: 153-160.
- Bautista-Cruz, A., J. Etchevers-Barra, R. F. del Castillo y M. C. Gutiérrez-Castorena. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13: 90-97.



**Figura 5.** Problemas comunes en los sistemas agroforestales y agrícolas. A) Incidencia de plagas; B) Deficiencias nutrimentales en sistemas agrícolas. Malas prácticas agronómicas: C) aplicación de residuos de cáscara de semilla de calabaza; D) aplicación de aserrín.



- Brady, N. C. and R. R. Weil. 1999. The nature and properties of soil. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Bernal, M. P., J. A. Albuquerque, and R. Moral. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Biores. Technol.* 100: 5444-5453.
- Bronick, C. J. and R. Lal. 2005. Soil structure and management: A review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Bullock, P., A. Jongerius, T. Tursina, N. Federoff, G. Stoops y U. Babel. 1985. Manual para la descripción micromorfológica de suelos. Trad. al español por M. C. Gutiérrez C. y C. A. Ortiz S. Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Cardoso, E. J. B. N., R. L. F. Vasconcelos, D. Bini, M. Y. H. Miyauchi, C. A. Santos, P. R. L. Alves, A. M. Paula, A. S. Nakatani, J. M. Pereira, and M. A. Nogueira. 2013. Soil health: Looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Sci. Agric.* 70: 274-289.
- Casanova-Lugo, F., L. Ramírez-Avilés, D. Parson, A. Caamal-Maldonado, A. Piñeiro-Vázquez, and V. Díaz-Echeverría. 2016. Environmental services from tropical agroforestry systems. *Rev. Chapingo Serie Cienc. For. Amb.* 22: 269-284.
- Cássaro, F. A. M., A. K. Borkowski, L. F. Pires, J. A. Rosa, and S. C. Saab. 2011. Characterization of a Brazilian clayey soil submitted to conventional and no-tillage management practices using pore size distribution analysis. *Soil Tillage Res.* 111: 175-179.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2001. Módulos de enseñanza agroforestal. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica.
- Cornwell, E. 2014. Effects of different agricultural systems on soil quality in Northern Limon province, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 62: 887-897.
- Cuanalo de la C., H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Fa, J. E. and J. L. Morales. 1993. Patterns of mammalian diversity in Mexico. pp. 319-365. *In:* T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, and J. Fa (eds.). *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution.* Oxford University Press. Nueva York, NY, USA.
- Gutiérrez-Castorena, Ma. del C., J. Reyes Ch. y B. Figueroa S. 1999. Desarrollo estructural en un Entisol bajo el sistema de labranza de conservación y tradicional. *Terra Latinoamericana* 17: 87-96.
- Hammel, K. E. 1997. Fungal degradation of lignin. pp. 33-45. *In:* G. Cadish and K. E. Giller (eds.). *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition.* CAB international. Oxon, UK.
- IUSS Working Group WRB. 2015. Base referencial mundial del recurso suelo. 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.
- Koranda, M., C. Kaiser, L. Fuchslueger, B. Kitzler, A. Sessitsch, S. Zechmeister-Boltenstern, and A. Ritzler. 2014. Fungal and bacterial utilization of organic substrates depend on substrate complexity and N availability. *FEMS Microbiol. Ecol.* 87: 142-152.
- Kooistra, M. J. and M. M. Pulleman. 2010. Features related to fauna activity. pp. 397-418. *In:* G. Stoops, V. Marcelino and F. Mees (eds.). *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths.* Elsevier. The Netherlands.
- Krasilnikov, P., M. C. Gutiérrez-Castorena, R. J. Ahrens, C. O. Cruz-Gaistardo, S. Sedov, and E. Solleiro-Rebolledo. 2013. *The soils of Mexico.* Springer. Dordrecht, Netherlands.
- Lal, R. 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environ. Pollut.* 116: 353-362.
- Larson, W. E. and F. J. Pierce. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. pp. 37-51. *In:* J. Doran, D. Coleman, D. Bezdicek, and A. Stewart. (eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment.* SSSA Inc. Special Publication 35. Madison, WI, USA.
- Martínez, M. L., O. Pérez-Maqueo, G. Vázquez, G. Castillo-Campos, J. García-Franco, K. Mehlreter, M. Equihua and R. Landgrave. 2009. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forest of Mexico. *For. Ecol. Manage.* 258: 1856-1863.
- McDaniel, P. A., D. J. Lowe, O. Arnalds, and Ch. L. Ping. 2012. Andisols. pp. 3-29, 33-48. *In:* P. M. Huang, Y. Li, M. E. Sumner (eds.). *Handbook of soil science: Properties and processes.* CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Moreno-Calles, A. I., V. M. Toledo y A. Casas. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Bot. Sci.* 91: 375-398.
- Muñoz-Villalobos, J. A., K. Oleschko-Lutkova, M. A. Velásquez-Valle, J. J. Velázquez-García, M. Martínez-Menes y B. Figueroa-Sandoval. 2011. Propiedades físicas de un Andosol mólico bajo labranza de conservación. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 1: 151-162.
- Nair, P. K. R., B. M. Kumar, B. M., and V. D. Nair, 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 172: 10-23.
- Neupane, R. P. and G. B. Thapa. 2001. Impact of agroforestry intervention on soil fertility and farm income under the subsistence farming system of the middle hills, Nepal. *Agric. Ecosyst. Environ.* 84: 157-167.
- Nogueira, M. A., U. B. Albino, O. Brandao-Junior, G. Braun, M. F. Cruz, B. A. Dias, R. T. D. Duarte, N. M. R. Gioppo, P. Menna, J. M. Orlandi, M. P. Raimam, L. G. L. Rampazo, M. A. Santos, M. E. Z. Silva, F. P. Vieira, J. M. D. Torezan, M. Hungria, and G. Andrade. 2006. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 115: 237-247.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Federación, 31 de diciembre de 2002. México, D. F.
- Orellana, J. A., M. A. Pilati, and D. A. Grenón. 1997. Soil quality: An approach to physical state assessment. *J. Sustain. Agric.* 9: 91-108.
- Orozco, H. E., V. Peña, R. Franco y N. Pineda. 2004. Atlas agrario ejidal del Estado de México. Cuadernos de Investigación, Núm. 34. UAEM. Toluca, Estado de México, México.

- Pagliai, M., N. Vignozzi, and S. Pellegrini. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil Tillage Res.* 79: 131-143.
- H. Ayuntamiento de Zacatlán. 2011. Plan de Desarrollo Municipal 2011-2014. Zacatlán, Puebla, México.
- Pires, L. F., J. A. R. Borges, J. A. Rosa, M. Cooper, R. J. Heck, S. Passoni, and W. L. Roque. 2017. Soil structure changes induced by tillage systems. *Soil Till. Res.* 165: 66-79.
- Rahman, M. M., J. Tsukamoto, M. M. Rahman, A. Yoneyama, and K. M. Mostafa. 2013. Lignin and its effects on litter decomposition in forest ecosystems. *Chem. Ecol.* 29: 540-553.
- Romero-Figueroa, J. C., J. Sánchez-Escudero, M. N. Rodríguez-Mendoza y M. C. Gutiérrez-Castorena. 2015. Producción de vermicompost a base de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) y estiércol de bovino lechero. *Agroproductividad* 8: 52-59.
- Sánchez, E. J., M. M. N. Rodríguez, R. C. V. Sánchez y L. F. Fernández. 2008. *Abonos orgánicos*. Ediciones Papiro Omega. México, D. F.
- SEMARNAT-CP (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas). 2002. Evaluación de la degradación de los suelos causada por el hombre en la República Mexicana a escala 1:250 000. Información complementaria a la Memoria Nacional. (CD Sitios de muestreo y datos analíticos). México, D. F.
- Sharma, R., S. K. Chauhan, and A. M. Tripathi. 2016. Carbon sequestration potential in agroforestry system in India: An analysis for carbon project. *Agroforest. Syst.* 90: 631-644.
- Shrestha, B. M., B. K. Sitaula, B. R. Singh, and R. M. Bajracharya. 2004. Soil organic carbon stocks in soil aggregates under different land use systems in Nepal. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 70: 201-213.
- Spaccini, R., A. Zena, C. A. Igwe, J. S. C. Mbagwu, and A. Piccolo. 2001. Carbohydrates in water-stable aggregates and particle size fractions of forested and cultivated soils in two contrasting tropical ecosystems. *Biogeochemistry* 53: 1-22.
- Stoops, G. 1983. Mineralogy and micromorphology of some andisols of Rwanda. pp. 150-165. *In*: F. H. Beinroth, H. Neel, and H. Eswaran (eds.). *Proceedings of the Fourth International Soil Classification Workshop, Rwanda. Part 1, Papers.* ABOS-AGCD, Agricultural Editions 4. Rwanda
- Stoops, G., E. Valvoulidou, and F. Monteiro. 2006. Micropedology, mineralogy and biology of soils derived from volcanic ash on Santorini (Greece). *Geophys. Res. Abstr.* 8: 10388.
- Strong, N. and M. G. Jacobson. 2006. A case for consumer-driven extension programming: Agroforestry adoption potential in Pennsylvania. *Agrofor. Syst.* 68: 43-52.
- Tapia-Vargas, M., M. Tiscareño-López, J. Stone, J. Oropeza-Mota, and M. Velázquez-Valle. 2001. Tillage system effects on runoff and sediment yield in hillslope agriculture. *Field Crop Res.* 69: 173-182.
- Tavares Filho J. and J. D. Tessier. 2009. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 33: 1837-1844.
- Torn, M. S., S. E. Trumbore, O. A. Chadwick, P. M. Vitousek, and D. M. Hendricks. 1997. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. *Nature* 389: 170-173.
- Torralba, M., N. Fagerholm, P. J. Burgess, G. Moreno, and T. Plieninger. 2016. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 230: 150-161.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2014. An overview of agroforestry, *Agroforestry Note #1, General #1*. Washington, DC, USA.
- Van Reeuwijk, L. P. 2003. *Procedimiento para análisis de suelos*. Trad. al español por M. C. Gutiérrez Castorena, C. A. Tavares E. y C. A. Ortiz Solorio. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Velásquez-Valle M. A., M. R. Martínez-Menes, M. Bravo-Espinosa, J. J. Velázquez-García, K. N. Potter y M. Tiscareño-López. 2006. Erosionabilidad acanalada de un Andosol en dos sistemas de labranza en la Meseta Tarasca, Michoacán. *Terra Latinoamericana* 24: 119-123.
- Velázquez-García, J. J., K. Oleschko, J. A. Muñoz-Villalobos, M. A. Velásquez-Valle, Y. Girón-Ríos, M. Martínez-Menes, y B. Figueroa-Sandoval. 2007. El color del Andosol como un indicador de su calidad física bajo el manejo. *Terra Latinoamericana* 25: 1-8.
- Villaseñor, J. L. 2010. El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares. Catálogo florístico-taxonómico. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-UNAM. México, D. F.
- Wilson, M. H. and S. T. Lovell. 2016. Agroforestry-The next step in sustainable and resilient agriculture. *Review. Sustainability* 8: 574. doi:10.3390/su806057.
- Young, A. 1989. *Agroforestry for soil conservation (Science and practice of agroforestry)*. CAB International. Oxford University Press. Wallingford, UK.
- Young, A. 1997. *Agroforestry for soil management*. CAB International. Oxford University Press. Wallingford, UK.

## **Revisores de este número Reviewers of this number**

Arozarena Daza, Noel J.	INIFAT “Alejandro de Humboldt”. Santiago de las Vegas, La Habana, Cuba.
Bautista Zúñiga, Francisco	Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. Morelia, Michoacán, México.
Carcaño Montiel, Moisés	Instituto de Ciencias, BUAP. Puebla, Puebla, México.
Cazal Ferreira, Alejandra	Universidad del Caribe. Cancún, Quintana Roo, México.
Cobos Peralta, Mario	Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Edo. de México, México.
Cornejo Oviedo, Eladio	Depto. Forestal, UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
Cram Heydrich, Silke	Instituto de Geografía, UNAM. Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.
Espinosa Calderón, Alejandro	INIFAP C.E. Valle de México. Coatlinchán, Texcoco, Edo. de México, México.
Espinosa Victoria, David	Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Edo. de México, México.
García Calderón, Norma	Facultad de Ciencias, UNAM campus Juriquilla. Querétaro, Querétaro, México.
Gardezi, Abdul Khalil	Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Edo. de México, México.
Granados Sánchez, Dióodoro	División de Ciencias Forestales, UACH. Chapingo, Edo. de México, México.
López García, José	Instituto de Geografía, UNAM. Ciudad Universitaria, CDMX, México.
López Reyes, Lucia	Instituto de Ciencias, BUAP. Puebla, Puebla, México.
Polanco Jaime, Alejandro	FMVZ-UNAM. Ciudad Universitaria, CDMX, México.
Ponce Mendoza, Alejandro	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CDMX, México.
Reyes Serrano, Héctor F.	Escuela de Agronomía, Universidad de la Serena. La Serena, Chile.
Rodríguez, Julio Cesar	Depto. de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México.
Romero P. G., Ricardo	Katholieke Universiteit Leuven, Heverlee-Leuven, Belgium.
Sandoval Villa, Manuel	Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Edo. de México, México.