Si el suelo respira, tú respiras

Compiladoras
Dra. Mariana Saucedo García
Dra. Judith Prieto Méndez


45
CONGRESO
NACIONAL
DE LA CIENCIA
DEL SUELO
2021 VIRTUAL



UAEH®

Si el suelo respira, tú respiras
Mariana Saucedo García, Judith Prieto Méndez, compiladoras.

Memorias del 45 Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

El contenido de los artículos publicados en estas Memorias es responsabilidad de sus autores.

Portada: Alejandra Valencia.
Identidad del 45 Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo: UAEH, Dirección de Imagen y Mercadotecnia, Departamento de Imagen Institucional.
Editor: Juan Alfonso Valencia Badillo: Al Margen., Servicios Editoriales.

Primera edición digital: febrero de 2022.
ISBN: 978-607-99732-0-9

Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visite http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/ o envíe una carta a Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

Comité Editorial

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval

Dr. Armando Peláez Acero

Dra. Mariana Saucedo García

Dra. Eliazar Aquino Torres

Dr. Oscar Arce Cervantes

Dr. Fabian Fernádez Luqueño

Dr. Alfredo Madariaga Navarrete

Dra. Judith Prieto Méndez

Compilación y Edición

Dra. Mariana Saucedo García

Dra. Judith Prieto Méndez

DIRECTORIO

Adolfo Pontigo Loyola
Rector

Saúl Agustín Sosa Castelán
Secretario General

Marco Antonio Alfaro Morales
Coordinador de la División de Extensión de la Cultura

Otilio A. Acevedo Sandoval
Director del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

Armando Peláez Acero
Director del Instituto de Ciencias Agropecuarias

COMITÉ ORGANIZADOR

Dr. Alfredo Madariaga Navarrete
Coordinador general regional
Instituto de Ciencias Agropecuarias. UAEH

Dra. Mariana Saucedo García
Presidenta del Comité Científico
Instituto de Ciencias Agropecuarias. UAEH

Dr. Óscar Arce Cervantes
Coordinador regional de cursos pre-congreso
Instituto de Ciencias Agropecuarias. UAEH

Dr. Alfredo Madariaga Navarrete
Coordinador regional de Simposios

Mtro. Luis González de la Rosa
Coordinador regional de Actividades culturales
Instituto de Ciencias Agropecuarias. UAEH

Dr. Benito Flores Chávez
Coordinador regional de Actividades deportivas
Instituto de Ciencias Agropecuarias. UAEH

Dr. Javier Bello Hernández
FERTILAB
Tesorero de la Asociación Mexicana de la Ciencia del Suelo

Mtro. Alberto Suárez Navarrete
Coordinador regional de logística virtual
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. UAEH

Comité Técnico Científico

Mesa 1. Diagnóstico, metodología y evaluación del recurso suelo

Coordinadora: Judith Prieto Méndez

Alfonso Serna Pérez

José María Solís Portillo

Luis Enrique Fregoso Tirado

Martín Espinosa Ramírez

Ramón Jarquin Gálvez

Mesa 2. Relación suelo-clima-biota

Coordinador: Fabián Fernández Luqueño

Alfredo De Jesús Martínez Roldán

Alma Yadira Martínez Rendón

Catarino Perales Segovia

César Roberto Sarabia Castillo

César Valenzuela Solano

Eduardo Armienta Aldana

Elizabeth Selene Gómez Acata

Erika Bustos Bustos

Ernesto González Gaona

Evelyn Zamudio Pérez

Fabián Fernández Luqueño

Fernando López Valdez

Francisco Guadalupe Echavarría Chairez

Francisco Javier Bacame Valenzuerla

Hermes Pérez Hernández

Ileana Vera Reyes

Jesús Noel Herrera Pedroza

Jorge Gracida

José Saúl Padilla Ramírez

José Waizel Bucay

Ma. Eugenia Miranda Martínez

Marcos Ventura Vázquez Hernández

María Soledad Córdova Aguilar

Mónica Marcela Galicia Jiménez

Peggy Elizabeth Alvarez Gutiérrez

Sergio De Jesús Romero Gómez

Víctor Manuel Ruíz Valdiviezo

Mesa 3. Aprovechamiento del recurso suelo

Coordinador: Óscar Arce Cervantes

Addi Santiago Cruz Méndez

Alejandro Amante Orozco

Alfonso Serna Pérez

Alexis Joavany Rodríguez Solís

Benito Flores Chávez

Christian Eduardo Hernández Mendoza

Juan Felipe Martínez Montoya

Ma. Eugenia Miranda Martínez

Nallely Trejo González

Oscar Arce Cervantes

Sergio Ruben Perez Rios

Mesa 4. Educación y asistencia técnica

Coordinadora: Eliazar Aquino Torres

Carlos Rojas Santillán

Eduviges Javier García Herrera

Juan Francisco De La Trinidad Cabrera

Luis Reyes Muro

Sergio Arellano Arciniega

PRESENTACIÓN

Las actividades que desarrollan las sociedades industriales han ocasionado la alteración de los ciclos biogeoquímicos de los suelos, este ritmo actual de degradación que sufren los suelos (física, química, biológica) amenaza su capacidad y como consecuencia la baja productividad de los suelos poniendo en riesgo la vida humana.

La FAO-ITPS, en 2015, reporta que la pérdida de la fertilidad de los suelos se debe a la erosión, la compactación, sellado y anegamiento, la acidificación y salinización, la contaminación, el desequilibrio de nutrientes, la pérdida del carbono orgánico del suelo que se asocia a la producción de gases de efecto invernadero.

Los seres humanos debemos tomar conciencia de la importancia que tiene el recurso suelo, del manejo respetuoso de este, que lo valore y conserve, no sólo para incrementar la producción de alimentos, sino para preservar los servicios ecosistémicos y regular el clima; por lo que hay que introducir cambios en los patrones de comportamiento para respetar el suelo, sus componentes y en general la vida que habita en él.

La Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo tiene clara esta situación, son retos que se deben abordar, por lo que en el 45 Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, llevado a cabo en el estado de Hidalgo, México, se presentaron trabajos con rigor científico que coadyuvan para dar respuestas a los problemas que experimentan los suelos de la república mexicana.

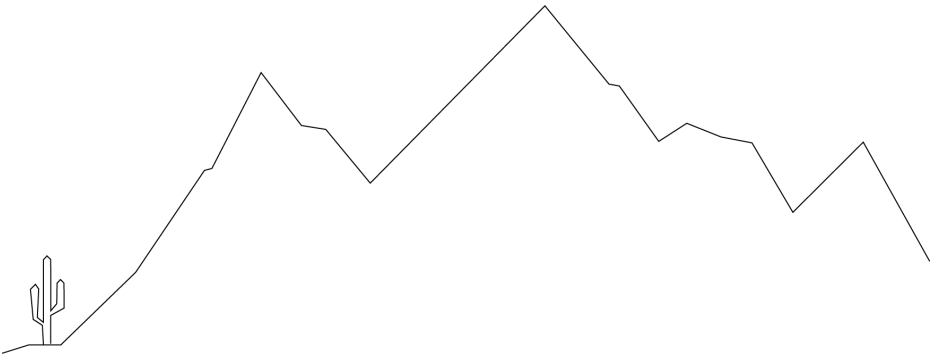
“Si el suelo respira, tú respiras”

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval

Presidente de la SMCS 2021-2023

MESA 1

DIAGNÓSTICO, METODOLOGÍA Y EVALUACIÓN DEL RECURSO SUELO



Biorremediación de cobalto (II) por hongos resistentes a cobalto (II) aislados del suelo del Tanque Tenorio

Nancy Pacheco-Castillo[1]
Erika Enríquez-Domínguez[1]
Juan F. Cárdenas-González[2]
Adriana Rodríguez-Pérez[2]
Víctor M. Martínez Juárez[3]
Ismael Acosta-Rodríguez[1]

Resumen

El cobalto es un elemento esencial necesario para la formación de vitamina B12, sin embargo, la exposición excesiva a este metal puede resultar en una variedad de síntomas en los seres humanos, incluido el bocio y la reducción de la actividad tiroidea. Una de las principales vías de exposición de los seres humanos y las plantas es la actividad minera y los desechos asociados. Hay reportes que indican que los hongos pueden adsorber metales pesados. El objetivo fue analizar la capacidad de remoción de 100

[1] Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias Químicas. Laboratorio de Micología Experimental. nancycecilia.pc@gmail.com.

[2] Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Unidad Académica Multidisciplinaria Zona media.

[3] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agrícolas. Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Instituto de Ciencias Agropecuarias.

mg/L de cobalto (II) en solución por 14 biomasas fúngicas aisladas a partir de suelos de una laguna de desechos industriales en San Luis Potosí, encontrando que las biomasas de *Paecelomyces* sp., *Penicillium* sp-1 y *Penicillium* sp-2, fueron las más eficientes para eliminar el metal (determinado espectrofométricamente a 622 nm usando metilisobutilcetona como agente acomplejante, con los siguientes porcentajes de remoción: 61%, 56% y 53%, respectivamente a un pH de 5.0, a 28 °C y 24 horas de incubación, 100 rpm y 1 g/L de biomasa fúngica.

Palabras clave: *Contaminación, biosorción, biomasas fúngicas, cobalto*.

Introducción

El cobalto (Co) es un metal de transición que se encuentra en el cuarto período de la tabla periódica. Es un elemento natural ampliamente distribuido en rocas, suelos, sedimentos, agua, plantas y animales, y desde 2011 ha sido reconocido por la Comisión Europea como una "Materia Prima Crítica", y está considerado estratégicamente importante debido a su creciente demanda por su utilidad en múltiples industrias, desde el cuidado de la

salud, aleación de alta temperatura, en motores de combustión a energías renovables como la solar y la energía, y el almacenamiento de datos, debido a sus muchas características únicas, incluidas las propiedades magnéticas y su resistencia a altas temperaturas, desgaste, corrosión y su uso en baterías recargables (Ziwa *et al*., 2021).

El cobalto es un elemento esencial necesario para la formación de vitamina B12 (hidroxocobalamina), sin embargo, una exposición excesiva puede resultar en una variedad de síntomas en los seres humanos, como el bocio y la reducción de la actividad tiroidea. Una de las principales vías de exposición de los seres humanos y las plantas al metal es la actividad minera y las actividades asociadas a la eliminación y manejo de desechos contaminados con el mismo (Banza *et al*., 2009).

Por otra parte, se ha incrementado la búsqueda de microorganismos con capacidad para bioadsorber contaminantes, entre los que se encuentran ciertos iones metálicos y/o mezclas, así como el uso de biomasas microbianas para la remoción de cobalto (II) de aguas residuales industriales y/o contaminadas con resultados

altamente satisfactorios (Sánchez Silva *et al*., 2020). Al respecto, existen reportes con bacterias, algas, hongos y plantas, donde se remueven eficientemente este metal, entre los que se encuentran: la remoción de cobalto de aguas contaminadas por la biomasa de *Eichhornia crassipes* (Acosta Rodríguez *et al*., 2021), por diferentes biomasas fúngicas (Cárdenas González *et al*., 2019; Dusengemungu *et al*., 2020; Li *et al*., 2013), por *Cocos nucifera* L. (Hymavathi y Prabhakar, 2017), por el alga *Hypnea valentiae* (Vafajoo *et al*., 2018), y paja de arroz (Swelam *et al*., 2017). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la capacidad de remoción de cobalto (II) en solución por diferentes biomasas fúngicas aisladas a partir de suelos de una laguna de desechos industriales.

Materiales y métodos

Las muestras (5 g) se recolectaron a partir del suelo de una laguna de desechos industriales (Tanque Tenorio), ubicada en la zona poniente de San Luís Potosí, tomadas con ayuda de una pala pequeña y estéril, y se guardaron en bolsas de plástico, se trasladaron al laboratorio y se procesaron, sembrando 1 g de tierra en medio mínimo de Lee sólido y modificado (Lee *et al*.,

1975), adicionado con 200 mg/L de cloruro de cadmio ($CdCl_2$), ajustado a un pH de 6.0, y se incubaron a 28 °C, durante 7 días. Posteriormente las colonias resultantes se sembraron en resiembras sucesivas en Agar Extracto de Malta para su purificación e identificación con base en sus características macro y microscópicas (Kirk *et al*., 2001).

La biomasa celular se obtuvo sembrando 1 x 10^6 esporas/600 mL en medio de caldo tioglicolato, incubando 7 días a 28 °C, en un baño metabólico a 100 rpm. La biomasa obtenida se separó del medio por filtración, después se lavó con agua tridesionizada estéril, se secó 24 h a 80 °C, y finalmente se molió y se guardó en un frasco ámbar hasta su uso. Para los estudios de biosorción, se prepararon una serie de soluciones de 100 mg/L de cobalto ($CdCl_2$), se ajustó el pH con ácido nítrico y la cantidad de biomasa añadida a cada matraz fue de 1,0 g/100 mL de solución de cobalto. Se tomaron muestras a diferentes tiempos, la biomasa se remueve por centrifugación (3000 rpm/5 minutos) y al sobrenadante se le analizó la concentración del ion metálico por el método colorimé-

trico de la Metilisobutilcetona, con la que se forma un complejo azul, el cual se lee a una absorbancia de 622 nm (Charlot, 1964).

Resultados y discusión

A partir de las muestras analizadas, se aislaron 14 especies diferentes de hongos, siendo las más frecuentes *Penicillium* sp., (50%) y *Aspergillus* sp., (35.7%), además, todas las cepas identificadas presentaron diferentes características macroscópicas, entre las que se encuentran: diferentes colores, aspectos y textura (Cuadro 1). También, las cepas aisladas crecen a diferentes concentraciones del metal, lo cual indica que pueden ser resistentes al mismo, indicando la presencia de cobalto (II) en las zonas muestreadas. Los resultados obtenidos son similares a algunos reportes de la literatura, donde se aíslan microorganismos resistentes a metales pesados, lo cual indica contaminación por los mismos, por ejemplo: el aislamiento de hongos resistentes a cobalto (II) (Cárdenas González *et al*., 2019), para *Candida albicans*, la cual crece a 300 mg/L del metal (Acosta Rodríguez *et al*., 2018) y para *Pichia guilliermondii* aislada de aguas de minas en Perú, la cual presenta una resistencia entre 400-600 mM de cobalto (Orbegozo *et al*., 2008).

Cuadro 1. Hongos identificados a partir de las muestras analizadas

Hongo identificado	Porcentaje Total	Crecimiento en Cobalto (II) (%)	(mg/L)
Penicillium sp	7	50	400-600
Aspergillus sp*	5	35.7	300-500
Paecelomyces sp	1	7.14	300-400
Candida albicans	1	7.14	200-300

* *A. niger* (2), *A. flavus* (2) *A. fumigatus* (1)

Posteriormente, se analizó la capacidad de remoción de cobalto (II) de las cepas aisladas, encontrándose que estas biomasas biosorben el metal en diferentes proporciones a un pH de 5.0 y 24 horas de incubación, siendo los más eficientes: *Paecelomyces* sp., (61%), *Penicillium* sp-1 (56%) y *Penicillium* sp-2 (53%), además de otras biomasas en porcentajes más bajos (Cuadro 2). Los hon-

gos analizados bioadsorben diferentes porcentajes, y esto se debe, tal vez, a la diferente constitución de la pared celular de las biomasas estudiadas, y estos resultados son similares a algunos reportes de la literatura como: la remoción de cobalto (II) por hongos resistentes a éste (Cárdenas González *et al*., 2019), por la levadura *C. albicans* (Acosta Rodríguez *et al*., 2018), con *P. guilliermondii* aislada de aguas de minas en Perú. (Orbegozo *et al*., 2008) y la remoción de cobalto de aguas contaminadas por *E. crassipes* (Acosta Rodríguez *et al*., 2021).

Conclusiones

Se aislaron 14 especies de hongos, los cuales presentan diferentes resistencias a cobalto (II). Las biomasas fúngicas remueven de manera eficiente el metal en solución, y pueden ser una excelente alternativa para la eliminación del metal de sitios contaminados por el mismo.

Cuadro 2. Remoción de 100 mg/L de cobalto (II) por las biomasas de los hongos aislados*

Biomasa fúngica	Porcentaje de remoción (%)
Paecelomyces sp	61
Penicillium sp-1	56
Penicillium sp-2	53
Penicillium sp-3	52
Aspergillus niger-1	49
Aspergillus flavus-1	48
Aspergillus flavus-2	47
Penicillum sp-4	46
Penicillium sp-5	45
Aspergillus niger-2	45
Penicillium sp-6	42
Penicillium sp-7	41
Aspergillus fumigatus	39
Candida albicans	33

28 ˚C, pH 5.0, 1 g de biomasa, 24 h de incubación, 100 rpm.

Literatura citada

Acosta-Rodríguez, I., Cárdenas-González, J.F., Martínez Juárez, V.M., Rodríguez-Pérez, A., Moctezuma-Zarate, M.G. & Pacheco-Castillo, N.C. 2018. Biosorption of heavy metals by Candida albicans. In *Advances in Bioremediation and Phytoremediation*, N. Shiomi, Ed., Intechopen, Croatia, 1st edition.

Acosta-Rodríguez, I., Rodríguez-Pérez, A., Pacheco-Castillo, N.C., Enríquez-Domínguez, E., Cárdenas-González, J.F., & Martínez-Juárez. V.M. 2021. Removal of Cobalt (II) from Waters Contaminated by the Biomass of Eichhornia crassipes. *Waters*. 2021, 13, 1725. 1-13.

Banza, C.L.N., Nawrot, T.S., Haufroid, V., Decrée, S., De Putter, T., Smolders, E., & Nemery, B. 2009. High human exposure to cobalt and other metals in Katanga, a mining area of the Democratic Republic of Congo. *Environ*. Res. 109, 745–752.

Cárdenas González, J.F., Rodríguez Pérez, A.S., Vargas Morales, J.M Martínez Juárez, V.M., Acosta Rodríguez, I., Michel Cuello, M., Gallegos Fonseca, G., Escalera Chávez, M.E. & Muñoz Morales, A. 2019. Biosorption of Cobalt (II) from aqueous solutions by fungal biomasses. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. Volume 2019. Article ID 8757149, 8 pages.

Charlot, G. 1964. *Colorimetric Determination of Elements*, Elsevier Publishing Company-Amsterdam-London-New York, New York, NY, USA, 12th edition.

Dusengemungu, L., Kasall, G. Gwanama, C. & Ouma, K. O. 2020. Recent advances in biosorption of copper and cobalt by filamentous fungi. *Frontiers in Microbiology*. 11. Art. 582016. 1-16.

Hymavathi D. & Prabhakar, G. 2017. Optimization, equilibrium, and kinetic studies of adsorptive removal of cobalt (II) from aqueous solutions using Cocos nucifera L. *Chemical Engineering Communication*. 204 (9): 1094–1104.

Kirk, M.P., Cannon, F.P., Dsavid, C.J. & Stalpers, 2001. *Dictionary of the fungi*. CABI Publishing, UK.

Lee, K., Buckley, L. & Campbell, C.C. 1975. An aminoacid liquid synthetic médium for the development of mycelial and yeasts forms of Candida albicans. *Journal of Medical Veterinary Mycology*. 13, 148-153.

Li, F., Gao, Z., Li, X. & Fang, L. 2013. The effect of environmental factors on the uptake of 60Co by Paecilomyces catenlannulatus. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 29 (3): 1281–1286.

Orbegozo, J., Abanto, M., García, R. & Ramírez, P. Molecular identification of Pichia guillermondii isolated from mine water acidic of Peru and its resistance to heavy metals. *Revista Peruana de Biología*. 15 (1): 91–96.

Sánchez-Silva, J.M., González-Estrada, R.R., Blancas-Benítez, F.J. & Fonseca-Cantabrana, A. 2020. Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 23: 1-18.

Swelam, A.A., Awad, M.B., Salem, A.M.A. & El-Feky, A.S. 2017. Biosorption of cobalt (II) ions from aqueous solution using rice straw and its modification. *Journal of Science. Engineering Research*. 4 (1):121–129.

Vafajoo, L., Cheraghi, R., Dabbagh, R. & McKay, G. 2018). Removal of cobalt (II) ions from aqueous solutions utilizing the pre-treated 2-Hypnea Valentiae algae: equilibrium, thermodynamic, and dynamic studies. *Chemical Engineering Journal*. 331, 39–47.

Ziwa, G., Crane, R. & Hudson-Edwards, K.A. 2021. Geochemistry, Mineralogy and Microbiology of Cobalt in Mining-Affected Environments. *Minerals*. 11, 22: 1-20.

Biorremediación de sitios contaminados empleando enzimas. Una estrategia para la recuperación del suelo

José Pablo Esparza Del Río[1]
Verónica Ávila Vázquez[1]
Hans Christian Correa Aguado[1]
Efrén Alejandro Franco Villegas[1]
Miguel Mauricio Aguilera Flores*[1]

Resumen

La contaminación por un manejo inadecuado de compuestos químicos y residuos peligrosos son una amenaza para el suelo, ya que ocasionan la degradación del recurso, lo que impacta en la disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios. Los suelos contaminados con hidrocarburos, como el aceite lubricante usado, representan un riesgo para la salud humana, por lo que se requiere generar estrategias para su recuperación. La remediación de suelos empleando enzimas se plantea como una alternativa innovadora en las técnicas de recuperación de suelos, ya que se

[1] Instituto Politécnico Nacional. Blvd. del Bote 202 Cerro del Gato Ejido La Escondida, Col. Ciudad Administrativa 98160 Zacatecas, Zac., México. maguileraf@ipn.mx.

logra remediar el sitio en un menor tiempo, con una mayor eficiencia de remoción del contaminante y con una menor generación de desechos. Es por lo que, en el presente trabajo, se estudió la biorremediación de un suelo contaminado con aceite lubricante usado empleando enzimas extraídas de *bola africana* (especie vegetal catalogada como exótico-invasora en México). Los resultados mostraron porcentajes de remoción de aceite lubricante usado en el suelo de hasta 90.95 ± 1.91% en 91 días a condiciones de pH (8) y temperatura (45 °C) en las que tienen mayor actividad hidrolítica las enzimas. Estos resultados demuestran el potencial de las enzimas para catalizar la biodegradación de estos contaminantes en el suelo, lo que representa una tecnología alternativa para la recuperación del recurso mediante un tratamiento *ex situ*.

Palabras clave: *bola africana, contaminación del suelo, especies exótico-invasoras, tecnología enzimática*.

Introducción

En México, se ha generado deterioro ambiental por la contaminación de suelos a lo largo de todo el país, teniendo como principales causas: (i) el manejo inadecuado y abandono de materiales y residuos peligrosos; (ii) el mantenimiento inadecuado o ausente en instalaciones petroleras; (iii) las explosiones en instalaciones de alto riesgo; (iv) las fugas en líneas de conducción y (v) los derrames de hidrocarburos (Trejo, 2002). Un ejemplo de la contaminación de suelos por emergencias ambientales es que, en el periodo 2008-2017, se identificaron 1,776 sitios contaminados por emergencias ambientales, donde los aceites y grasas fueron de los principales contaminantes involucrados presentes en un total de 88 sitios correspondientes al 5 % (SEMARNAT, 2018).

La tecnología enzimática es una técnica de biorremediación de suelos que consiste en la utilización de enzimas producidas a partir de microorganismos, plantas y animales para la eliminación de compuestos tóxicos en aguas y suelos (Bhandari *et al*., 2007). La aplicación de enzimas proporciona mayor flexibilidad en cuanto a las condiciones operacionales. Puede ser aplicada bajo condiciones

ambientales más duras como la concentración del contaminante, la temperatura y la salinidad que no son adecuados para poblaciones microbianas (Choi *et al*., 2015), por lo que este trabajo ofrece una alternativa para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos mediante el uso de enzimas.

En este proyecto se plantea aprovechar las enzimas contenidas en el aceite que se encuentra en las semillas de una especie vegetal catalogada en México como exótico-invasora. Las especies exótico-invasoras son aquellas que no son nativas de un país o una región (en este caso México), a la que llegaron de manera intencional o accidental, generalmente como resultado de actividades humanas, y que se establecen en un nuevo sitio, se reproducen y se dispersan sin control, causando daños al ecosistema, a las especies nativas, a la salud o a la economía (CONABIO, 2020).

Es fundamental mencionar que la necesidad del presente proyecto surge a partir de dos problemáticas ambientales: por una parte, la erradicación y control de especies exótica-invasoras de los ecosistema terrestres, específicamente de la *bola africana*, la cual es capaz de formar masas densas en las riberas de los ríos y

en las llanuras de inundación que, al sustituir especies autóctonas, altera los niveles tróficos y la modificación de los servicios del ecosistema; y por otra parte, la problemática de la contaminación del suelo con hidrocarburos.

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el potencial de las enzimas extraídas de esta especie vegetal invasora en la recuperación de suelos contaminados con aceite lubricante usado.

Materiales y métodos

Muestreo y caracterización fisicoquímica del suelo

Se tomaron dos diferentes muestras de suelo. La primera en un sitio contaminado con aceite lubricante usado. Se analizó su contenido de grasas y aceites mediante extracción Soxhlet, presentando tener un rango entre 10,000 y 30,000 mg/kg de aceite en el suelo. A partir de estos datos, se decidió estandarizar el contenido de aceite en las muestras de suelo para un mejor control en los ensayos de biorremediación. Para ello, se tomaron muestras de suelo residencial (sitio que no presenta contaminación por hidrocarburos) y se contaminaron con 10,000 mg/kg de

aceite lubricante usado obtenido de un taller mecánico. El muestreo se realizó de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000, este fue de tipo zig-zag aleatorio, tomando una muestra de suelo de 1 kg de 8 puntos distintos en un área de 0.30 hectáreas, resultando una muestra compuesta de suelo de 8 kg.

La muestra compuesta de suelo se caracterizó fisicoquímicamente de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000. Los parámetros evaluados y los métodos utilizados fueron pH (AS-02), densidad aparente (AS-03), humedad y retención de humedad (AS-06), materia orgánica (AS-07), nitrógeno inorgánico (AS-08) y textura (AS-09). Estos parámetros se evaluaron para analizar su influencia en la biorremediación.

Ensayos de biorremediación

Los ensayos de biorremediación se llevaron a cabo mediante el método descrito por Margesin (1999) con ligeras modificaciones. Se plantearon tres tipos de ensayos: 1) Atenuación natural (AN), únicamente suelo y aceite, el cual fue utilizado como blanco. 2) Suelo con enzimas, Tritón X y aceite a condiciones am-

bientales (CA); es decir, a temperatura ambiente y pH del suelo (simulando un tratamiento *in situ*). 3) Suelo con enzimas, Tritón X y aceite a condiciones a ideales (CI) de mayor actividad hidrolítica para las enzimas, temperatura 45°C y pH 8 (simulando un tratamiento *ex situ*).

La cantidad de aceite lubricante usado remanente se determinó semanalmente durante 91 días, para cada ensayo mediante extracción Soxhlet utilizando diclorometano como solvente de acuerdo con el método EPA 9071B estipulado en la NMX-AA-134-SCFI-2006. El porcentaje de remoción del aceite lubricante del suelo se calculó de acuerdo con la ecuación 1:

$$Remoción\ (\%) = \frac{C_0 - (C_i - M_e)}{C_0} \times 100 \ldots \text{Ec. } 1$$

donde

Ci= mg de ALU inicial/mg de suelo inicial contaminado.

Cf= mg de ALU extraídos/mg de suelo contaminado.

Mextraíble= mg de material extraíble en suelo no contaminado/mg de suelo no contaminado. La cantidad de este material es determinado calentando suelo sin contaminar en el horno a 70 °C por 24 h y realizando la extracción descrita anteriormente, utilizando los mismos solventes y condiciones de operación.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización fisicoquímica del suelo y su incidencia dentro del proceso de biorremediación. Al comparar los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica del suelo con la literatura consultada, se encontraron resultados favorables en la mayoría de los parámetros analizados con excepción de la humedad.

En cuanto a los resultados obtenidos a pesar de que el pH del suelo se encuentra cerca del pH requerido para la actividad de la lipasa (8), se modificó para que exactamente quedara en el óptimo (8). Cabe mencionar que estudios de biorremediación realizados manejan porcentajes de humedad de 5% como mínimo, mostrando resultados favorables, es decir, existe una remoción del contaminante, no obstante, en la mayoría de los casos se suele ob-

tener un mayor porcentaje de remoción en aquellos suelos en los que el contenido de humedad es mayor al 5%. En el presente trabajo, se obtuvo un contenido de agua inicial del 4.5, lo que podría resultar como una limitante en el proceso de biorremediación (Ordaz *et al*., 2011; Acuña *et al*., 2012; Haghollahi *et al*., 2016; Lahel *et al*., 2016).

Ensayos de descontaminación y determinación del contenido residual de ALU en suelo

En la Figura 1(a) se muestra el porcentaje de remoción de aceite alcanzado semanalmente para los tres ensayos de biorremediación. Es notable que, a los 91 días, el tratamiento CI alcanzó un 90% de eficiencia, estando por encima del tratamiento a CA (33 %) y de AN (6%). La mejora obtenida en la remoción del aceite lubricante usado del suelo incubado a 45 °C y pH 8 es debida precisamente a estos dos parámetros, específicamente al pH. El pH es un parámetro para considerar al momento de desarrollar un tratamiento con enzimas, debido a que pueden desnaturalizarse por niveles extremos de iones de hidrógeno (ya sean altos o

bajos), provocado por cualquier cambio en el pH (Bearne, 2013; Pawar, 2015).

Tabla 1. Caracterización del suelo a tratar.

Parámetro		Valor	Unidad	Condición
Textura	Arcilla	21.1	%	Favorable
	Limo	21.6	%	
	Arena	57.3	%	
Densidad aparente		1.6	g/ml	Favorable
pH		8.3	-	Favorable
Humedad		4.5	%	No favorable
Capacidad de retención de humedad		35.4	%	Favorable
Materia orgánica		4.2	%	Favorable
Nitrógeno inorgánico		10.5	mg/kg	Favorable

Ensayos de descontaminación y determinación del contenido residual de ALU en suelo

En la Figura 1(a) se muestra el porcentaje de remoción de aceite alcanzado semanalmente para los tres ensayos de biorremediación. Es notable que, a los 91 días, el tratamiento CI alcanzó un 90% de eficiencia, estando por encima del tratamiento a CA (33 %) y de AN (6%). La mejora obtenida en la remoción del aceite lubricante usado del suelo incubado a 45 °C y pH 8 es debida precisamente a estos dos parámetros, específicamente al pH. El pH es un parámetro para considerar al momento de desarrollar un tratamiento con enzimas, debido a que pueden desnaturalizarse por niveles extremos de iones de hidrógeno (ya sean altos o bajos), provocado por cualquier cambio en el pH (Bearne, 2013; Pawar, 2015).

La Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 establece una concentración máxima permisible de hidrocarburos de fracción pesada (como el aceite lubricante usado) en suelo residencial y recreativo de 3,000 mg/kg base seca. Al comparar este límite con las concentraciones de aceite lubricante

usado obtenidas después de los tratamientos (Figura 1(b)), se tiene que el ensayo a CI es el único que logra estar por debajo de este límite, incluso se logra a partir de los 65 días, por lo que en un tratamiento *ex situ* bajo estas condiciones, el tiempo necesario para la remediación del suelo sería aproximadamente de dos meses.

Conclusión

Se determinó que el uso de las enzimas extraídas de la especie exótica-invasora *bola africana* para la biorremediación de suelos contaminados con aceite lubricante usado tiene un rendimiento del 90% de remoción en 91 días, pudiendo considerarse una alternativa innovadora para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos al ser aplicada como un tratamiento *ex situ*.

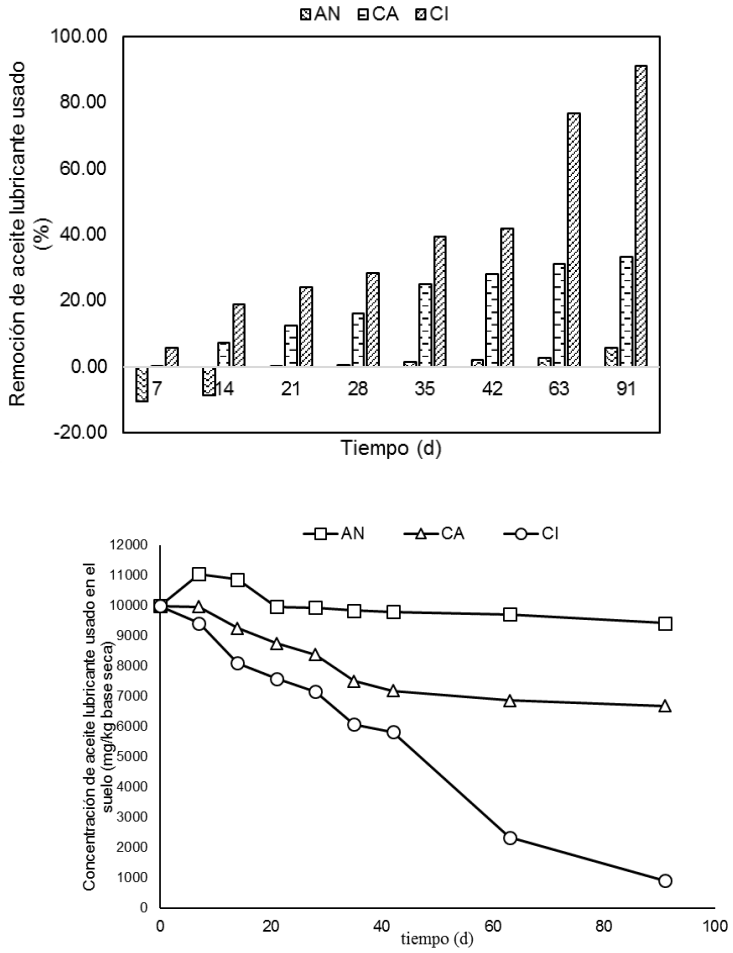


Figura 1. (a) Porcentaje de remoción de aceite lubricante usado en suelo, (b) Concentración de aceite lubricante usado en suelo, durante los ensayos de biorremediación.

Literatura citada

Acuña, A. J., Tonín, N. L., Díaz, V., Pucci, G. N., Pucci, O. H. (2012). Optimización de un sistema de biorremediación de hidrocarburos a escala de laboratorio. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 13(1), 105-112.

Bearne, S. L. (2013). Illustrating the effect of pH on enzyme activity using Gibbs energy profiles. *Journal of Chemical Education*, 91(1), 84-90.

Bhandari, A., Surampalli, R., Champagne, Tyagi, P., Ong, R. S. K. Lo, & MC, I. (2007). Remediation Technologies for Soils and Groundwater Task Committee of the Environmental Council Environmental and Water Resources Institute (EWRI) of the American Society of Civil Engineers.

Choi, J., Han, S., & Kim, H. (2015). Industrial applications of enzyme biocatalysis: current status and future aspects. *Biotechnology Advances*. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.02.014

CONABIO. (2020). Especies exóticas invasoras | Biodiversidad Mexicana. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras

Haghollahi, A., Fazaelipoor, M. H., & Schaffie, M. (2016). The effect of soil type on the bioremediation of petroleum contaminated soils. *Journal of Environmental Management*, 180, 197-201. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.038

Lahel, A., Fanta, A. B., Sergienko, N., Shakya, M., López, M. E., Behera, S. K., Rene, E. R., & Park, H.-S. (2016). Effect of process parameters on the bioremediation of diesel contaminated soil by mixed microbial consortia. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 113, 375-385. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.05.005

Margesin, R., Zimmerbauer, A. & Schinner, F (1999). Soil lipase activity – a useful indicator of oil biodegradation. *Biotechnology Techniques* 13, 859–863. https://doi.org/10.1023/A:1008928308695

Ordaz, J. A., Toledo, Á. M., Morales, F. R. R., Díaz, L. F. S., Martínez, A. J., López, J. A. T., & Cuevas-Díaz, M. del C. (2011). Biorremediación de un sue-

lo contaminado con petróleo mediante el empleo de bagazo de caña con diferentes tamaños de partícula. *Multiciencias*, 11(2), 136-145.

Pawar, R. M. (2015). The effect of soil pH on bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHS). *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 6(3), 291-304

SEMARNAT. (2018). Informe del Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. México. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap7.html#tema6

Trejo, J. A. V. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología.

Caracterización física y química de sustratos para la producción agrícola en invernadero

María Jesús Pérez Hernández[1]
Lenom Cajuste Bontemps[1]
Eréndira Esmeralda Hernández Andrade[1]
Víctor Manuel Ordaz Chaparro[1]
María Magdalena Nevárez Favela[1]
Enrique Ojeda Trejo[1]

Resumen

La caracterización física y química de los sustratos permiten realizar una planeación óptima en el manejo de la fertilización y riego. El objetivo de este trabajo fue determinar las características físicas y químicas de ocho mezclas de sustratos de uso común en la producción bajo invernadero; las mezclas se elaboraron a base de tezontle, aserrín, *peat moss*, perlita y fibra de coco. Se determinó la porosidad total, porosidad de aireación, porcentaje de retención de humedad, densidad aparente, diámetro medio de partículas, índice de grosor y la relación Carbono/Nitrógeno. Se evaluaron ocho tratamientos con tres repeticiones. Los resultados mostra-

[1] Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

mjesusph.18@gmail.com.

ron que las mezclas de los tratamientos 3 y 7 son los que presentan mejores características con base en la proporción de porosidad, retención de humedad, densidad aparente y la relación C/N.

Palabras clave: *sustrato, invernadero, propiedades físicas y químicas*.

Introducción

La condición ambiental actual ha obligado a buscar nuevas técnicas de producción agrícola para contrarrestar las limitantes del suelo. La producción bajo invernadero es una opción que desde décadas se ha venido implementando, y una de sus problemáticas comunes es contar con un sustrato adecuado en el que se optimice el uso de fertilizantes y agua, y se minimicen los problemas principalmente por hongos debido al mal manejo de la humedad (Quintero *et al.*, 2011). Un buen sustrato debe presentar equilibrio entre la cantidad de sólido, aire y agua, los materiales deben presentar baja o nula disolución, ser biológicamente estable, de adquisición local, de bajo costo, libre de contaminante y que no represente un riesgo ambiental (Martínez y Roca, 2011). Las propiedades físicas son las características que se atribuyen a

la relación entre la cantidad de sólidos, líquidos y gases de un sustrato, estas propiedades determinan la cantidad de agua y aire de la que dispondrá la planta. Por su parte, las propiedades químicas se relacionan principalmente con el intercambio de iones entre la proporción sólida y liquida del material. Los rangos deseables de alguna de estas propiedades son: porosidad total de 70 a 85%, porosidad de aireación de 10-20% y capacidad de retención de agua de 55-70% (Abad *et al*., 2004; Cabrera, 1995; Landis *et al*., 1990).

El uso de materiales como turba de musgo, vermiculita y perlita que han sido ampliamente utilizados y que se consideran ideales en la producción bajo invernadero, son materiales que representan un alto costo debido a su disponibilidad, además de ser común la presencia de enfermedades causada por hongos. Estas características hacen poco rentable la producción. Ante la necesidad de disminuir costos, se han buscado alternativas de materiales y mezclas que resulten óptimos, un primer paso para lograr este propósito es conocer las características físicas y químicas de las mezclas de sustratos. Derivado de lo anterior, el objeti-

vo de este trabajo fue determinar las características físicas y químicas de ocho mezclas de sustratos de uso común en la producción bajo invernadero.

Materiales y métodos

La determinación de las propiedades físicas y químicas se realizaron en el laboratorio de física de suelos del Posgrado en Edafología del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. Se seleccionaron seis materiales para realizar las mezclas: tezontle, aserrín, *peat moss*, perlita, fibra de coco y vermiculita. Se evaluaron ocho tratamientos (Cuadro 1). Las propiedades físicas que se determinaron fueron: porosidad total (Pt), porosidad de aireación (Pai), retención de humedad (Prh), densidad aparente (Da), diámetro medio de partículas (Dp) e índice de grosor (Ig), y la propiedad química fue la relación carbono/nitrógeno (C/N). Para cada variable se realizaron tres repeticiones.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados.

Tratamiento	Materiales (%)					
	Tezontle	Aserrín	Peat moss	Perlita	Fibra de coco	Vermiculi-ta
T1	100					
T2	50		20	20	10	
T3	66	34				
T4			40	40	20	
T5	90	10				
T6	90	9				1
T7	82	17				1
T8	83	17				

Para obtener la porosidad total, se saturaron las muestras de cada una de las mezclas de sustrato, se usaron recipientes de peso conocido con agujeros que se cubrieron con cinta masking, se tomó el peso del recipiente con agua, posteriormente se colocó la muestra de sustrato saturado y se tomó el peso, se liberaron los agujeros para el drenado y finalmente las muestra se secaron a 105 °C para obtener el peso seco (Landis *et al*., 1990).

Para la granulometría se usaron siete tamices con los siguientes diámetros (mm): 6.36, 4.76, 3.36, 2.0, 1.0, 0.5, 0.25 y el fondo. Se tomó el peso inicial de cada muestra, después se colocó en el tamiz de 6.36, se acomodaron los tamices en orden descendente y se dejó oscilar por 4 minutos en un agitador, después se pesó la muestra retenida en cada contenedor.

La relación carbono/nitrógeno se determinó con el porcentaje de carbono orgánico mediante el método de calcinado en mufla. La determinación de nitrógeno total se realizó mediante el método de Kjeldhal.

Resultados y discusión

Un buen sustrato debe presentar características físicas equilibradas en cuanto a porosidad total y de este conocer la proporción ocupada por aire y la porosidad de retención de agua. Para los tratamientos evaluados, el valor más bajo de porosidad total lo presentó el T1 con 54% y el valor más alto se obtuvo con el tratamiento 4 con 86%; con base en lo reportado por Landis *et al*. (1990) y Hernández-Zarate *et al*. (2014), los tratamientos 7 y 4 fueron los mejores, ya que se ubicaron en el rango de 70 a 85%.

Para porosidad de aireación se obtuvieron valores de 14 a 19%, por lo que, de acuerdo con este parámetro, todas las mezclas se consideran adecuadas (Cabrera, 1999). En retención de humedad se alcanzó un valor mínimo de 38% con el T1 y máximo de 67% con el T4, por lo que sólo los tratamientos 1 y 4 se encuentran fuera del rango óptimo para producción en maceta (García *et al*., 2001) (Cuadro 2).

En cuanto a la densidad aparente, el valor más bajo lo presentó el T4 y el más alto fue el T1 con 0.12 y 1.31 $g.cm^{-3}$, respectivamente (Cuadro 2); de acuerdo con Abad y Noguera (1998), el rango deseable para Da va de 0.3 a 0.8 $g.cm^{-3}$, mientras que Martínez y Roca (2011) señalan que Da menores a 0.75 $g.cm^{-3}$ son óptimos para la producción.

El valor más bajo de diámetro medio de partículas se obtuvo con el tratamiento 4 (0.96 mm) y el más alto se encontró en el tratamiento 2 (3.86 mm); considerando lo reportado por Martínez y Roca (2011), los tratamientos 4, 5, 6 y 8 se ubican dentro del rango óptimo. El índice de grosor corresponde a la proporción de partículas acumuladas mayores a 1 mm de diámetro, en este es-

tudio se encontró que el T4 presentó el valor más bajo (20.82) y el T4 obtuvo el valor más alto con 72.03.

En sustratos inorgánicos, la relación C/N adecuada debe ser alto (>100), ya que representa mayor estabilidad y se reduce la posibilidad de fitotoxicidad causada por la formación de nuevos compuestos orgánicos generados en el proceso de degradación. Por el contrario, para materiales como abono y composta, se busca una relación C/N bajo (<20) debido a que se relaciona con la actividad microbiana (Castro *et al*., 2019; Gayosso-Rodríguez *et al*., 2018); en los tratamientos evaluados, el T1 presentó el valor más bajo de la relación C/N (3.64) y el valor más alto se obtuvo con el T3 (135).

Conclusiones

En la actualidad existen diversos materiales de origen natural o sintético que pueden ser usados como base para realizar mezclas de sustratos en busca de optimizar el uso de agua, nutrientes y con ello economizar la producción. Para recomendar un sustrato, es importante evaluar la calidad de las mezclas, para ello es primordial conocer sus principales propiedades físicas y

químicas. En esta investigación se encontró que los tratamientos a base de tezontle y aserrín (T7 y T3) presentaron una relación de porosidad, retención de humedad y relación C/N ideales para la producción.

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas de mezclas de sustratos a diferentes proporciones.

Tratamiento	Porosidad total (%)	Porosidad de aireación (%)	Retención de humedad (%)	Densidad aparente ($g.cm^{-3}$)	Diámetro medio de partículas (mm)	Índice de grosor	C/N
T1	54	16	38	1.31	2.80	68.59	3.64
T2	63	15	48	0.86	3.86	72.03	24.71
T3	69	14	55	0.81	2.92	66.01	135.0
T4	86	19	67	0.12	0.96	29.82	37.08
T5	59	15	43	1.08	2.43	62.26	38.95
T6	67	14	53	0.88	2.20	57.03	40.76
T7	72	16	56	0.80	2.72	61.46	120.48
T8	61	16	46	1.00	2.27	59.81	53.68

Literatura citada

Abad M., Noguera, P. y Carrión, C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: Urrestarazu, G. M. *Tratado de cultivo sin suelo*. 3a (Ed.). Mundi-Prensa, Madrid, España. 113-158.

Abad, M., y P. Noguera. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. In: Cadahía, C. (coord). *Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 287-342.

Cabrera R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(1), 5-11.

Cabrera R.I. 1995. Fundamentals of container media management, part I, physical properties. FS812, 1-4. Rutgers Cooperative Research & Extension.

Castro G., S. L., Aldrete, A., López U., J., Ordaz Ch., V. M. 2019. Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. *Madera y Bosques* 25(2), 2521520. https://doi.org/10.21829/myb/2019.2521520.

García C., O.; Alcántar G., G.; Cabrera, R. I.; Gavi R., F.; Volke H., V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana* 19(3), 249-258.

Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello M. A y Garruña R. 2018. Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia* 52(4), 639-652.

Hernández-Zarate, L., Aldrete, A, Ordaz-Chaparro, V. M., López-Upton, J., López-López, M. A. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48(6), 627-637.

Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E. and Barnett, J. P. 1990. Containers and growing media, Volume two, The container tree nursery manual. *Agriculture Handbook* 674, 41-85. USDA, Forest Service.

Martínez, P. F. y Roca, D. 2011. Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En: Flórez R., V. J. (Ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (pp. 37-77). Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Quintero C., M. F., González M., C.A. y Guzmán P., J. M. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. En: Flórez R., V. J. (Ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (pp. 79-108). Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Control de infiltración en regolito volcánico con diferentes técnicas de sellado

Magdalena Francisco-Catarina[1]
Demetrio Salvador Fernández-Reynoso[1]
Rogelio Carrillo-González[1]
Daniel Hernández-Díaz[1]
José Donaldo Ríos-Berber[1]
Patricio Sánchez-Guzmán[1]

Resumen

En la parte alta del municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo, el suelo (regolito) es producto de la intemperización de materiales volcánicos con altas tasas de infiltración de agua (13.25 mm día^{-1}) con serias dificultades para almacenar agua. El objetivo de la investigación fue evaluar, en términos de permeabilidad y costo económico, técnicas de sellado para reducir la infiltración en el área de embalse de un proyecto de bordo de almacenamiento localizado en un suelo residual volcánico. Se evaluaron variables físicas, químicas y mecánicas del suelo. Se aplicaron 46 tratamientos con sus respectivas repeticiones, para sellar el suelo. Se midió en permeámetro de carga constante el coeficiente

[1]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. Texcoco, Estado de México, México.

magro0807@gmail.com.

de permeabilidad del suelo en dos etapas para comparar el efecto a través del tiempo. Los datos de permeabilidad se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) y la comparación de medias se hizo con el método de la diferencia mínima significativa (LSD), α=0.05. Con resultados de permeabilidad se elaboró un análisis económico, comparando los precios unitarios de los tratamientos contra el precio de la geomembrana. En términos económicos y en control de la infiltración los tratamientos con dispersantes de partículas (carbonato de sodio, tripolifosfato de sodio y fosfato de sodio) son recomendables. El tratamiento más económico fue la compactación próctor estándar, sin embargo, esta alternativa no es recomendable por presentar el suelo incrementos de permeabilidad con el tiempo. El uso del cemento-arena y la bentonita sódica resultaron muy eficaces, aunque sus costos son elevados, tienen la ventaja de ser una alternativa duradera.

Palabras clave: *coeficiente de permeabilidad; compactación próctor; dispersantes de partículas; gleyzación; suelos volcánicos*.

Introducción

En el centro de México son comunes pequeñas presas para abrevadero sobre regolitos producto de la intemperización de materiales volcánicos. Existen métodos eficaces para reducir el problema de la infiltración como las geomembranas, pero resultan muy costosas. Como alternativas a la geomembrana o el concreto se tienen los métodos de sellado como la compactación, la gleyzación, los dispersantes de partículas, el cemento-arena, la cal-arcilla y la bentonita sódica

El coeficiente de permeabilidad en obras de ingeniería civil ha sido estudiado por autores como Crespo (2004), quien observó límites entre 0.000864 y 0.0864 mm día^{-1} en arcillas homogéneas ubicadas bajo la zona de meteorización. A partir de los coeficientes de permeabilidad límite reportados para pequeños bordos de almacenamiento, se adoptó un límite máximo permitido de 0.864 mm día^{-1}.

El objetivo de la investigación fue evaluar técnicas de sellado para el control de la infiltración, a un límite máximo permitido de 0.864 mm día^{-1}, en un suelo residual producto del intemperismo químico de tobas volcánicas.

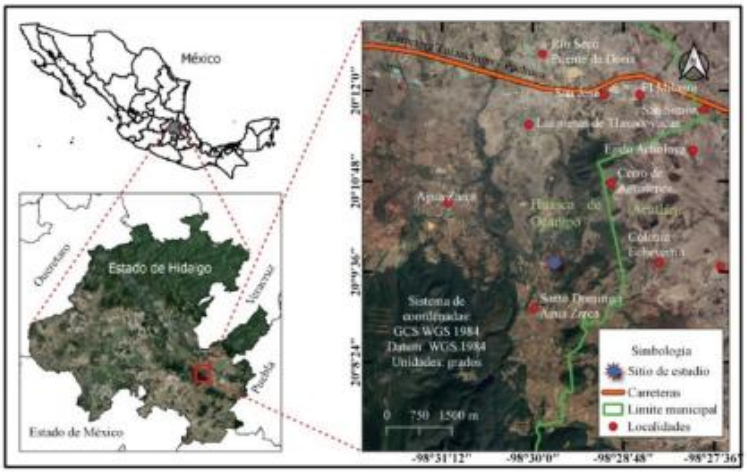


Figura 1. Localización del área de estudio.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El sitio de estudio corresponde a un proyecto de construcción para una obra de almacenamiento en las coordenadas 20° 9' 43.18" N y 98°29' 42.65" W (Figura 1), ubicado en la localidad de Santo Domingo, Huasca de Ocampo, Hidalgo, en suelos residuales volcánicos que de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación

de suelos (SUCS) (ASTM, 1985), se designan como CL (arcilla inorgánica de baja plasticidad) y presentan tasas de infiltración de agua, de entre 1.49 y 17.02 mm día^{-1}(Lenz, 2016).

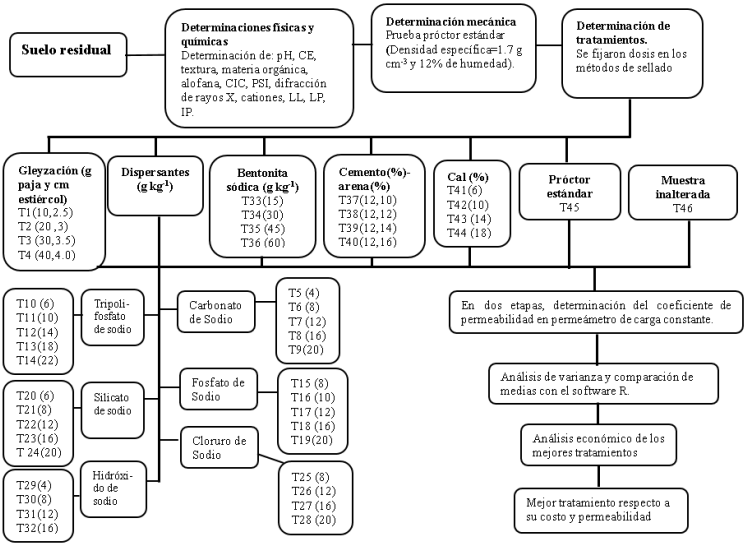


Figura 2. Metodología para identificar los mejores tratamientos en el control de la permeabilidad del agua.

El procedimiento seguido en la investigación (Figura 2) consistió, primero, en determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo residual, entre estas últimas, la prueba

próctor estándar para obtener la máxima densidad específica y la humedad óptima de compactación aplicable a todos los métodos de ensayo. En segundo lugar, se determinaron los tratamientos de cada método de sellado, los cuales se montaron en un permeámetro de carga constante para determinar el coeficiente de permeabilidad (K) del suelo. Las determinaciones de permeabilidad se efectuaron en dos etapas para medir el efecto de los tratamientos a través del tiempo. Las permeabilidades resultantes se analizaron con el Software R para identificar los mejores tratamientos a través de la varianza - con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ - y la comparación de medias con la diferencia mínima significativa (LSD). Con base en los resultados obtenidos, se realizó un análisis económico comparando los precios unitarios de los tratamientos ubicados debajo del límite permisible (K = 0.864 mm día^{-1}) contra el precio de la geomembrana. Finalmente, se seleccionó el mejor tratamiento con respecto a su costo unitario y su permeabilidad.

Determinaciones físicas, químicas y mecánicas del suelo

Para la determinación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo, se realizó un muestreo en el sitio de la posible construcción de la obra de almacenamiento.

El ensayo de la compactación Próctor estándar se realizó aplicando el Método A de la norma ASTM D698-12e2 (2012). La densidad específica, para una humedad óptima del 12%, resultó de 1.70 g cm^{-3}.

Dosis de tratamientos y estabilización del suelo

Se analizaron 11 métodos y un testigo (Cuadro 1). En total 46 tratamientos, con cuatro repeticiones cada uno, dando un total de 184 réplicas, los cuales se homogenizaron, se secaron al aire y se pasaron por el tamiz #4 (4.76 mm); como se especifica en la norma ASTM D698-12e2 (2012). Para la gleyzación se utilizó la metodología descrita por (Nicholaichuk, 1978). El procedimiento consistió en colocar una capa de arena en el fondo del cilindro, seguido por 5 cm de suelo, después una capa de estiércol fresco de porcino, paja y 5 cm de suelo. En las dosis de tratamientos con dispersantes de partículas (Figura 2), primero se obtuvo el peso

molecular (PM) de cada dispersante en g mol^{-1} para posteriormente multiplicarlo por la cantidad de sodio que retiene el suelo en g kg^{-1}, el resultado se dividió entre el PM del sodio (g mol^{-1}). La cantidad de sodio que retiene el suelo se obtuvo multiplicando la CIC (12 $cmol_+ kg^{-1}$) por el PM del sodio (23 g mol^{-1}). La dosis para el método de sellado con bentonita sódica se realizó con base en la recomendación de Pfost *et al*. (1997) con aplicaciones de 15, 30, 45 y 60 gramos de bentonita sódica por kilogramo de suelo. En el sellado con cemento y arena se ensayó la permeabilidad con cemento al 12% y la arena se varió en 10, 12, 14 y 16% (Figura 2).

En tratamientos con cal, se determinó el porcentaje óptimo de cal según indicaciones proporcionadas por la norma ASTM D6276-4 (2019), bajo el criterio de incrementar el contenido de cal hasta que el pH alcance un valor de 12.4 (Mendoza *et al*., 2018). En este caso, para el suelo del sitio resultó un porcentaje de 12% para un pH de 11.9. Con este porcentaje de cal, usado como referencia, la dosis para los tratamientos se fijó en 6, 10, 14 y 18% con respecto al peso del suelo.

Medición del coeficiente de permeabilidad, análisis estadístico y análisis económico

Para la determinación del coeficiente de permeabilidad se utilizó un permeámetro con una carga constante de ocho metros. El agua que pasaba por la columna se midió en periodos de tres y seis horas, dependiendo de los tratamientos.

Para el análisis de la respuesta de los diferentes métodos de sellado, en el control de la permeabilidad del suelo, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA). Para la comparación de medias, se utilizó el método de comparaciones múltiples con la diferencia mínima significativa (LSD), o *t*-Fisher, dicho procedimiento consiste en una prueba de hipótesis por parejas basada en la distribución *t*. El nivel de significancia utilizado fue $\alpha = 0.05$.

Para cada uno de los tratamientos y la geomembrana se realizó un análisis de precios unitarios por m^2. Los precios de mano de obra, equipo y herramienta se obtuvieron del catálogo de costos horarios de maquinaria de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC, 2019). La clasificación de los

tratamientos se hizo con base en el costo relativo (%) entre el precio unitario del tratamiento y de la geomembrana.

Resultados y discusión

Coeficiente de permeabilidad de los tratamientos

Los mayores valores de permeabilidad se encontraron en los tratamientos de gleyzación, seguidos de los tratamientos con cal hidratada, mientras que los valores menores correspondieron a los dispersantes de partículas (Cuadro 1). Con un nivel de significancia α=0.05, no todos los tratamientos producen el mismo efecto (Cuadro 1). El valor Pr=$2e^{-16}$ indicó que al menos una de las medias fue diferente.

Comparación de tratamientos

En total, se obtuvieron 35 tratamientos sin diferencias significativas entre ellos y permeabilidades por debajo del nivel permisible de 0.864 mm $día^{-1}$; pudiendo ser cualquiera de ellos candidatos para el control de la permeabilidad del suelo residual.

En tratamientos con cal hidratada se observa que a mayor dosis, la infiltración se reduce. Sin embargo, existe otro factor que determina la efectividad de esta, y es el tiempo.

La efectividad de los tratamientos con dispersantes de partículas está relacionada con las características químicas del suelo. La primera se debe a la alta proporción de iones de Na^+ que tienen una carga única, gran tamaño hidratado y son atraídos débilmente por los coloides del suelo. La segunda característica es la baja concentración de electrolitos en el suelo (CE), permitiendo la dispersión de las arcillas (Weil y Brady, 2017). La última característica se debió a la incorporación de sodio al suelo, que al hidrolizarse aumentó drásticamente la concentración de iones hidroxilo de la solución del suelo (Brady, 1984), incrementando el pH y el PSI (de 10% a un valor mayor del 15%), provocando la dispersión de la caolinita, montmorillonita y halloysita (Shainberg y Letey, 1984). En el caso de la montmorillonita, ésta aumenta su grado de hinchamiento y a medida que se expanden los poros más grandes, responsables del drenaje del agua en el suelo, se

cierran y desarrollan una estructura de suelo firme e impermeable (Weil y Brady, 2017).

Análisis económico

Se encontró que 35 tratamientos presentan infiltraciones por debajo del umbral de 0.864 mm día^{-1}, marcados con la letra d (Cuadro 1). De estos tratamientos, se analizó costo unitario con relación al precio unitario de la geomembrana, resultando 32 tratamientos con costos inferiores a la geomembrana (Figura 3). Los resultados mostraron que el mejor tratamiento tanto económicamente, como efectivo en el control de la infiltración fue T45 (compactación próctor estándar); sin embargo, al evaluar el coeficiente de permeabilidad hubo inestabilidad en la columna del suelo, dando valores muy dispersos, por lo cual no es recomendable utilizarlo como un método para controlar filtraciones en el sitio del proyecto.

Cuadro 1. Coeficiente de permeabilidad por cada tratamiento.

Tratamiento	K (mm día^{-1})	Tratamiento	K (mm día^{-1})	Tratamiento	K (mm día^{-1})
	1. Gleyzación		5. Silicato de sodio		9. Cemento-arena
T1	80.75 ± 56.92a	T20	0.05 ± 0.02d	T37	0.05 ± 0.04d
T2	47.79 ± 31.22b	T21	0.15 ± 0.06d	T38	0.08 ± 0.06d
T3	11.82 ± 4.21cd	T22	0.14 ± 0.16d	T39	0.06 ± 0.04d
T4	5.86 ± 4.75d	T23	0.30 ± 0.27d	T40	0.08 ± 0.03d
		T24	0.13 ± 0.06d		
	2. Carbonato de sodio		6. Cloruro de sodio		10. Cal hidratada
T5	0 ± 0d	T25	0.08 ± 0.03d	T41	20.08 ± 7.52c
T6	0 ± 0d	T26	0.05 ± 0.04d	T42	12.91 ± 7.35cd
T7	0.03 ± 0.02d	T27	0.03 ± 0.03d	T43	12.22 ± 13.84cd
T8	0.04 ± 0.02d	T28	0.03 ±0.06d	T44	8.61 ± 8.23cd
T9	0.02 ± 0.04d				
	3. Tripolifosfato de so-		7. Hidróxido de sodio		11. Prueba próctor
T10	0 ± 0d	T29	0.01 ± 0.005d	T45	0.7 ± 1.06d
T11	0 ± 0d	T30	0.03 ± 0.02d		
T12	0.02 ± 0.01d	T31	0.06 ± 0.01d		

Tratamiento	K (mm día^{-1})	Tratamiento	K (mm día^{-1})	Tratamien-to	K (mm día^{-1})
T13	0.04 ± 0.04d	T32	0.1 ± 0.03d		
T14	0.05 ± 0.06d				
	4. Fosfato de sodio		8. Bentonita sódica		12. Muestra inalterada (testi-
T15	0.05 ± 0.07d	T33	0.97 ± 0.75d	T46	13.25 ± 2.75cd
T16	0 ± 0d	T34	1.23 ± 1.33d		
T17	0.01 ± 0.01d	T35	0.22 ± 0.04d		
T18	0.01 ± 0.005d	T36	0.12 ± 0.08d		
T19	0.01 ± 0.02d				

Medias (K) ± desviación estándar con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$, Fisher-LSD). K= coeficiente de permeabilidad. Coeficiente de variación = 211.573, LSD (diferencia mínima significativa) =14.036 y cuadrado medio del error=100.78

Como segunda alternativa, se tienen tratamientos con dispersantes, entre ellos el cloruro de sodio (T25, T26, T27 y T28), carbonato de sodio (T5, T6, T7, T8 y T9), hidróxido de sodio (T29, T30, T31 y T32), tripolifosfato de sodio (T10, T11, T12, T13 y T14), silicato de sodio (T20, T21, T22, T23 y T24) y fosfato de sodio (T15 y T16). Estos tratamientos redujeron la permeabilidad promedio entre 0 y 0.30 mm día^{-1}; aunque las permeabilidades son acepta-

bles se tiene el inconveniente, como menciona Neff (1980), de requerir aplicaciones cada dos o tres años para mantener su eficacia.

Como tercera opción se tienen los tratamientos con cemento-arena (T37, T38, T39 y T40), los cuales redujeron el coeficiente de permeabilidad de muy buena manera, entre 0.05 y 0.08 mm día^{-1}, un valor excelente. La ventaja de este método es que no requiere de mantenimiento, según Payán *et al*. (2017) su efecto es duradero y sus costos alcanzan en promedio un 66% respecto a la geomembrana. Por otra parte, los tratamientos con bentonita sódica (T35 y T36) resultaron efectivos y sus costos comparados con la geomembrana son 68% y 88%, respectivamente.

Conclusiones

Los mejores tratamientos en cuanto a reducción de la permeabilidad fueron dosis bajas de carbonato de sodio, tripolifosfato de sodio y fosfato de sodio. El tratamiento más económico fue la compactación próctor estándar, sin embargo, no es recomendable por presentar valores inestables de permeabilidad a través del tiempo. Los tratamientos con dispersantes de partículas son reco-

mendables, en términos económicos y de control de la infiltración, aunque hay que considerar aplicaciones de mantenimiento cada dos o tres años. El uso del cemento-arena y la bentonita sódica resultaron muy eficaces, aunque sus costos son los más elevados, pero tienen la ventaja de ser alternativas duraderas.

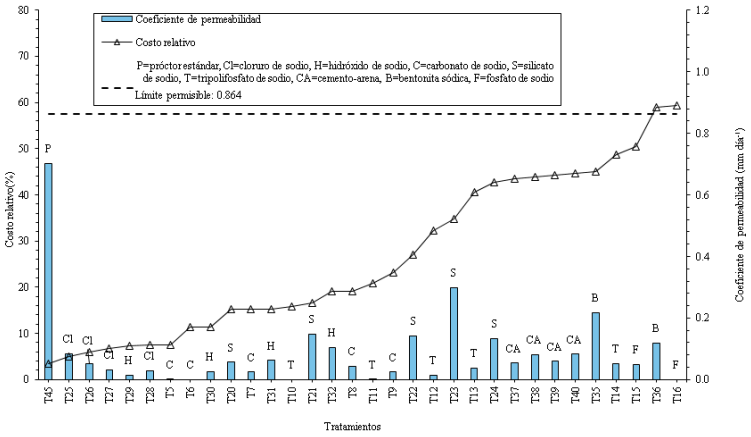


Figura 3. Comparación entre el coeficiente de permeabilidad y el análisis económico de los tratamientos efectivos.

Literatura citada

ASTM D 2487-83, 04.08. (1985). Classification of Soils for Engineering Purposes: Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials.

ASTM D6276-19. (2019). Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization. ASTM International. https://www.astm.org/Standards/D6276.htm (Consulta: julio 8, 2020).

ASTM D698-12e2. (2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3)). ASTM International. https://www.astm.org/Standards/D698.htm (Consulta: mayo 4, 2020).

Brady, N.C. (1984). The nature and properties of soils. Macmillan Publishing Company.

Chapman, H. D. (1965). Cation-Exchange Capacity. In: C.A. Black (Ed.). Methods of Soil Analysis (pp. 891-900) American Society of Agronomy.

CMIC (Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción). 2019. Costos horarios de Maquinaria. Centro Nacional de Ingeniería de Costos.

Crespo V., C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Limusa.

Lenz, O. (2016). Zonificación geotécnica de la ciudad de Xalapa, Veracruz, México. *Ingeniería Civil*, 181(1), 77-88.

McConkey, B.G., Reimer, C.D., Nicholaichuk, W. and Jame Y.W. (1990). Sealing earthen hydraulic structures with enhanced gleization and sodium carbonate II. Application for lining an Irrigation. *Canadian Agricultural Engineering*, 32(2), 171-176.

Mendoza, A., W.F., Salgado V, L.M., Valladares P, R.A., López M, H.R., Marcía C, N. y Antonio V, F. (2018). Estudio del comportamiento de la cal hidratada como estabilizante en arcilla altamente plástica en la aldea de Santa Rita de oriente, municipio de Santa Bárbara, Departamento de Santa Bárbara, Honduras. Sices, 1(1), 63-70. https://www.researchgate.net/publication/327211810

Neff, E.L. (1980). Using Sodium Carbonate to Seal Leaky Stock Ponds in Eastern Montana. *Journal of Range Management*, 33(4), 292-295. doi:10.2307/3898076

Nicholaichuk, W. (1978). Seepage control in excavated earthen reservoirs. *Canadian Agricultural Engineering*, 20(2), 97-101.

Ono, E.A. and Kubitza, F. (2003, 05, 15). Construcción de estanques y de estructuras hidráulicas para el cultivo de peces. Parte 4. *Panorama da Aqüicultura*, 13(75).

Payán, A., M. de L., Tuyub S, L., y Cetina M J.A. (2017). Diseño de suelo-cemento para la impermeabilización de sitios de disposición final. *Multidisciplinarias de la Ingeniería*, V(5), 92-102.

Pfost, D.L., Williams, D. and Koenig, R. 1997. Reducing Pond Seepage (G1555). University of Missouri-Columbia. Recuperado de https://extension.missouri.edu/publications/g1555

Shainberg, I. and Letey J. (1984). Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia*, 52(2). http://hilgardia.ucanr.edu/fileaccess.cfm?article=152852&p=VAFSNP Weil, R.R. and Brady, N.C. (2017).

Degradación de Suelos en Sta. Catarina del Monte, Municipio de Texcoco, Estado de México, México I: Cultivos y Teledetección.

Sánchez-Guzmán, P. [1]
Cajuste-Bontemps, L.[1*]
Bautista-Calderón, E.A.[1]
Pérez-Hernández, M.J.[1]
Ortiz-Solorio, C.A.[1]
Ojeda-Trejo, E.[1]
Gutiérrez-Castorena, M.C. [1]

Resumen

La Organización de Naciones Unidas (ONU) y su organismo sobre agricultura y alimentación (FAO) reconocen la importancia del manejo adecuado de los suelos para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS) dentro de la agenda 2030, haciendo énfasis en la conservación del suelo en zonas rurales. Santa Catarina del Monte es una región en Texcoco donde la agricultura es parte esencial dentro de las actividades de la comunidad, y sus productos tienen un impacto importante dentro del municipio de Texcoco. Pobladores han mencionado una

[1] Colegio de Postgraduados (COLPOS), Edafología. Montecillos, México 56230. MEXICO. *Autor responsable: lenomcb1@colpos.mx; Edif. Edafología, cub. 225, Campus Montecillo, Texcoco, México. MEXICO. CP 56230; Tel. +52(555)-195-4285.

disminución sensible en el rendimiento de sus cultivos; por lo que se realizó un muestreo en varios predios agrícolas geo-ubicados y caracterizados con información de LandSat 8 y análisis de muestras de suelo (0-10 cm), en dos periodos: marzo 2020 y 2021. Los resultados preliminares identifican una asociación entre disminución de rendimientos con índices de teledetección que expresan el contenido de la fracción fina de los suelos de la región, pudiendo ser una posible evidencia de degradación física y química de suelos.

Palabras clave: *análisis factorial; análisis espacial; cambisoles; medio ambiente*.

Introducción

Los objetivos de desarrollo tanto sustentables como sostenibles (ODS) de la Organización de las Naciones Unidades (ONU, 2015) reconocen la importancia de la conservación y el manejo adecuado del recurso suelo, a fin de cubrir los propósitos de dichos objetivos. Este reconocimiento incluye el rol del recurso suelo en servicios ambientales (Evans *et al*., 2020) y como medio de

sostén y abasto nutrimental en la producción de cultivos (FAO, 2019). Santa Catarina del Monte es una comunidad mexiquense cuya población ha preservado su tradición agrícola a través de las décadas. En la actualidad, un grupo de campesinos ha reportado experimentar una disminución sensible en el rendimiento de los cultivos sembrados, aunado a una distribución cada vez más irregular de la lluvia y acompañado de una disminución de la cubierta forestal. Ellos fundamentan esta disminución en un decremento de la fertilidad de sus parcelas, en las que practican una agricultura convencional (Evans *et al*., 2021); mientras que otro grupo de campesinos de la misma comunidad reportan no percibir esta situación, aparentemente porque practican una agricultura más "orgánica" y, consecuentemente, más "regenerativa" y "circular" (Hartemink y McBratney, 2008). Es por esta razón que el objetivo de esta investigación es identificar si existe una degradación de los suelos en esta región de lomeríos ubicada al oriente del municipio de Texcoco.

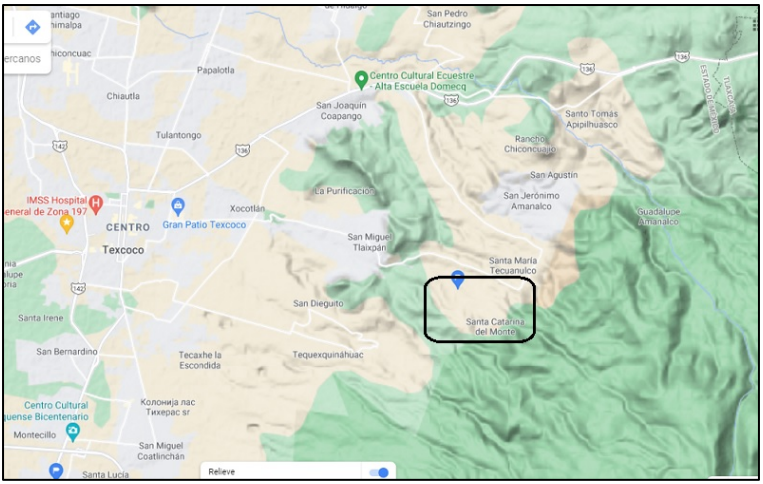


Figura 1. Localización del área de estudio (Fuente: Google Maps, 2021).

Materiales y Métodos

Área de Estudio

La zona de estudio se localiza en el municipio de Texcoco, Estado de México (Figura 1), el cual está delimitado por las coordenadas extremas 19°28.75' y 19°29.75' de latitud norte, y 98°46.25' y 98°47.25' de longitud oeste, y con una altitud media entre los 2570 y los 2710 msnm.

Los suelos del área fueron anteriormente clasificados (con la nomenclatura FAO) como regosoles éutricos. Actualmente con el sistema WRB se les conoce como antrosoles con calificadores hortic e irragric; pocos lugares (parches de bosques con manejo) se les clasifican como regosoles antrópicos. Estos suelos se hallan al sur-poniente de las faldas de la montaña Tláloc, formación rocosa de origen ígneo extrusivo y de acidez intermedia a alta. La hidrografía del lugar está conformada por corrientes en un patrón subparalelo rodeando las terrazas contienen a las parcelas de cultivo. El clima es templado subhúmedo (Cw_2) con lluvias en verano, acumulando 780 mm al año. Además de los cultivos como maíz, avena, calabaza, frijol, cebolla, acelga y zanahoria, entre otros y algunos frutales como la pera, el chabacano y la ciruela, la flora está compuesta principalmente por herbáceas gramíneas y pocas leguminosas. La fauna principal la componen animales domesticados.

Procedimiento

Se establecieron 25 sitios para colección de muestras superficiales georrefenciadas en el epipedón (0-10 cm de profundidad) de suelos, durante dos periodos: marzo de 2020 y marzo del 2021. Estos sitios incluyeron solamente parcelas agrícolas seleccionadas aleatoriamente, cuya distribución se muestra en la Figura 2. Además de las muestras de suelos, se registró el rendimiento de cultivos de ciclos anteriores (maíz, avena, frijol, calabaza y cebolla) y se utilizó la información proveniente de dos imágenes LandSat 8 de los mismos periodos de tiempo.



Figura 2. Ubicación de sitos de muestreo (Imagen: Google Earth, 2021).

Las muestras de ambos periodos fueron secadas al aire para su análisis en laboratorio. Como propiedades físicas se tomaron en cuenta las siguientes determinaciones: densidad aparente (δ_a), porosidad (ε), porcentaje de arcilla (R) y retención de humedad (ϕ) (Dane y Topp, 2002). Como propiedades químicas se tomaron en cuenta las siguientes determinaciones: acidez (pH en agua), carbono orgánico total (CO, y materia orgánica, mo), fósforo soluble en ácido cítrico (P_{sol}), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y conductividad eléctrica (CE) (Sparks *et al*., 1996). A partir de las bandas de imágenes LandSat se ubicaron los sitios de muestreo y se calcularon los índices de arcilla (I_c), de minerales ferrosos (I_{Fe}), y óxidos de hierro (I_{FeO}), según Jensen (2007). Con esta información se realizó un análisis gráfico (barras) de las variables y una prueba de medias mediante ANOVA (análisis de varianza), siendo la fuente variación el tiempo (años 2020 y 2021). Para los análisis de correlación y regresión, se obtuvieron diferencias de las variables entre años y se expresaron dichas diferencias como porcentaje de cambio con respecto al año 2020. Como

software para los análisis de datos, se usó Excel, SAS y QGIS. Los resultados se presentan a continuación, en la siguiente sección.

Resultados y Discusión

Por extensión, solamente se reportan los hallazgos más importantes encontrados hasta ahora.

Evidencia por cultivos

En lo que concierne a los rendimientos por cultivo, se observan diferencias disminuidas promedio significativas para las gramíneas (avena y maíz); para los demás cultivos no se observan tendencias que sugieran pérdida de la fertilidad (Figura 3). Es cierto también que se requiere de más información (precipitación, cantidad de luz y radiación, presencia de plagas, etc.) para considerar los datos como evidencia válida de una degradación del suelo.

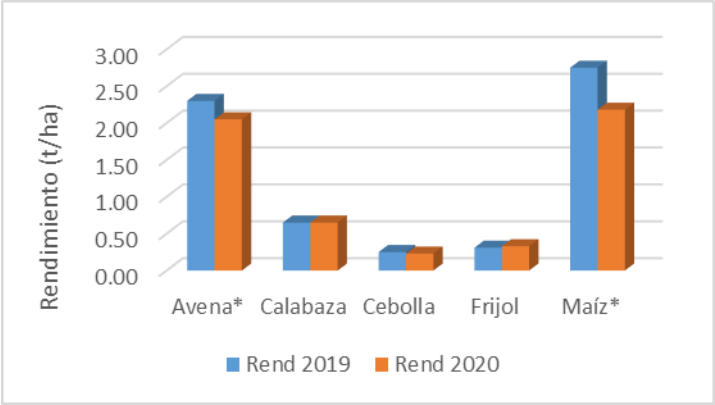


Figura 3. Rendimientos promedio para cinco cultivos en dos ciclos (* indica diferencia estadística significativa detectada con ANOVA).

Evidencia por teledetección

Los índices de teledetección construidos mostraron una disminución sensible entre años, cuya magnitud fue del 11% (I_c) al 68% (I_{FeO}), en promedio, independiente del comportamiento de los rendimientos de cultivos. No obstante, se obtuvieron correlaciones significativas entre estas variables y los rendimientos de cultivos, como se indica en los valores mostrados en la Tabla 1.

La mayor asociación identificada con los cultivos fue con el índice de arcilla, y la menor asociación fue con el índice de óxidos de hierro. Se atribuye esta relación como parámetros que están vinculados con la capacidad de intercambio, que a su vez está relacionado con la fracción arcillosa de suelos.

En cuanto a las relaciones obtenidas con las propiedades edáficas analizadas, se encontraron resultados positivos que indican una posible degradación física y química de suelos en la región, y que se presentarán en otra publicación.

Conclusiones

Se registró una disminución significativa de rendimientos de cultivos en la región que está asociada a cambios en los suelos detectados a través de información obtenida con sensores remotos. Esta evidencia nos indica una posible degradación de suelos en la región que pudiera explicar la mencionada disminución en los rendimientos de dichos cultivos.

Tabla 1. Cuadro de correlación entre rendimientos de cultivos.

	Ren	I_c	I_{Fe}	I_{FeO}
Ren	1			
I_c	0.9551**	1		
I_{Fe}	0.9730**	0.9683*	1	
I_{FeO}	0.9125*	0.8107*	0.9260*	1

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo recibido a través de los fondos del proyecto #38294 para la realización de este trabajo y su difusión. También desean expresar su agradecimiento a todas las personas que de alguna manera participaron en la realización de este trabajo.

Literatura citada

Dane, J.H. & Topp, G.C. (2002). *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods*, v.5.4; SSSA Book Series. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI. 1692 pags. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.

Evans, D. L., Quinton, J. N., Davies, J. A. C., Zhao, J., & Govers, G. (2020). Soil lifespans and how they can be extended by land use and management change. *Environmental Research Letters*, 15(9), 1–10.

https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba2fd.

Evans, D. L., Janes-Bassett, V., Borrelli, P., Chenu, C., Ferreira, C.S., Griffiths, R.I., Lal, R., Smith, P., Tomas, A. & Visser, S. (2021). Sustainable futures over the next decade are rooted in soil science. *European Journal of Soil Science* 2021;1–16. https://doi.org/10.1111/ejss.13145.

FAO (Oganización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación). (2019) Recarbonization of global soils: a dynamic response to offset global emissions. Retrieved from

https://www.fao.org/3/i7235en/I7235EN.pdf.

Hartemink, A. E., & McBratney, A. (2008). A soil science renaissance. *Geoderma*, 148(2), 123–129.

Jensen, J.R. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, 2nd Edition. Pearson, Hoboken, NJ. 592 pags.

Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., & Sumner, M.E. (1996). *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, v.5.3; SSSA Book Series. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI. 1390 pags. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.

United Nations (2015) *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. Publication A/RES/70/1. New York. 41 pags. Retrieved from https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf.

WRB (World Reference Base for Soil Resources). 2008. *Marco conceptual para la clasificación y correlación de suelos*. FAO. Rome. 128 p.

Densidad aparente, resistencia mecánica a la penetración en diferentes profundidades y años de siembra directa

Jefferson Hernán Vitt Ojeda[1]
Julio Cesar Karajallo Figueredo[1]
Isabel Fariña Irala[1]
Mirna Alemán[1]
Evelyn Paola Paster[1]

Resumen

La compactación de suelo agrícola es uno de los mayores problemas que enfrenta la agricultura mundial, el objetivo de este trabajo fue evaluar la densidad aparente y resistencia mecánica a la penetración del suelo en diferentes profundidades y años de adopción de siembra directa. Se utilizó el diseño de Bloques Completo al Azar con arreglo bifactorial donde el factor 1 corresponde a años de adopción de siembra directa (2, 3, 5 y 10 años) y el factor 2, profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) con 12 tratamientos y 4 repeticiones, totalizando 48 unidades experimentales. Los resultados muestran que tanto la densidad como la resistencia es menor en la profundidad de 10-20 cm, en cuanto a los tiempos de adop-

[1]Universidad Nacional del Este, Facultad de Ingeniería Agronómica, Filial Itakyry. krajallojc@hotmail.com.py.

ción, la resistencia varia significativamente entre los 2 y 10 años de adopción, la densidad más elevada se da en los 3 años de siembra directa. En relación con la interacción de los factores, se observa una menor densidad en la camada de 20-30 cm con 5 años de adopción de la siembra directa, en comparación con la profundidad de 10-20 cm, con 3 años de adopción; 20-30 cm con 2 y 10 años de adopción. La resistencia mecánica a la penetración y la densidad aparente del suelo sufren variaciones de acuerdo con el tiempo de adopción y la profundidad.

Palabras clave: *compactación, megapascal, propiedades físicas*.

Introducción

La producción de granos (soja, maíz, trigo, etc.) en el Paraguay se realiza en el sistema siembra directa que es parte de un sistema integral de producción de granos que evolucionó hacia la implementación del cultivo sin remoción de suelo y con una cobertura permanente del suelo con residuos de cosecha, para minimizar los problemas de la degradación de tierras agrícolas y así ir avanzando sobre la agricultura sustentable.

Panigatti *et al*. (2001) señala que a principios de la década de 1990 comienza la difusión de sistemas de labranzas conservacionistas (particularmente la siembra directa), como medida para contrarrestar la erosión del suelo y favorecer la capacidad de retención de agua a través de la cobertura superficial con rastrojos; así también, trabajos realizados por Silva *et al*., (2000) mencionan que la adopción de sistemas de conservación de suelos, como la siembra directa, se ha presentado como una alternativa para contribuir a la sostenibilidad económica y ambiental, vale la pena mencionar que en este contexto, principalmente suelos extremadamente frágiles, tales como arenosos, podemos mejorar y mantener los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo.

En los últimos años se viene realizando un sistema de preparación de suelo de forma intensiva que puede llevar a la compactación y degradación de este, para lo cual los productores adoptaron el sistema de siembra directa como una forma de conservación del suelo. En la zona de Itakyry, Alto Paraná, Paraguay, la adopción de este sistema ya va por varios años y de ahí la necesidad de realizar esta investigación para verificar si afecta o no

las propiedades físicas del suelo, tales como densidad aparente, resistencia mecánica a la penetración.

Para Rillo *et al*. (2008) la densidad aparente y la resistencia a la penetración son las variables más utilizadas para la caracterización de la compactación del suelo. Reinert y Reichert (2001) proponen valores críticos de la densidad del suelo, donde los suelos arcillosos (más del 55% de arcilla) sería aproximadamente 1,45 g cm^{-3}; a suelos de textura media (arcilla entre 20 y 55%) 1.55 g cm^{-3}, y para suelos de textura arenosa (menos del 20% de arcilla) el valor sería 1,65 g cm^{-3}. De acuerdo con Silva *et al*. (2017) las menores densidades observadas en las camadas superficiales están relacionadas a la mayor densidad de raíces de los cultivos agrícolas utilizados y al mayor contenido de materia orgánica.

El objetivo del trabajo fue evaluar la densidad aparente y la resistencia mecánica a la penetración del suelo con diferentes años de adopción de siembra directa en distintas profundidades.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en la colonia Acaray Poty, ubicada en el distrito de Itakyry, Alto Paraná, Paraguay, las coordenadas geográficas son: 24°55´ 02,47" S, 55°18´ 31,66" W. Los suelos son derivados del basalto, pertenecen al orden Ultisol. La textura superficial es en general franco arenoso a franco, de color pardo a rojo, con una profundidad media de 20 a 30 cm (López *et al*., 1995).

Los tratamientos fueron diseñados de acuerdo con los diferentes años de adopción del sistema de siembra directa en las diferentes profundidades, identificados en la zona de estudios.

El área total de las parcelas de 2, 3 y 5 años es de 29 hectáreas que se encuentran en una misma área, y la parcela de los 10 años se encuentra en un área vecina a las demás con un área total de 12 hectáreas; fueron colectados 10 muestras por cada unidad experimental luego se obtuvo la media de cada una de ellas.

El diseño utilizado es de Bloques Completo al Azar, con arreglo factorial, 4 x 3, factor 1, tiempos de adopción de siembra directa y factor 2, profundidades, siendo 12 tratamientos y 4 repeticiones, totalizando 48 unidades experimentales.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos del experimento.

Tratamientos	Tiempos de adopción del sistema siembra directa (años)	Profundidad (cm)
1	2	0-10
2	2	10-20
3	2	20-30
4	3	0-10
5	3	10-20
5	3	20-30
7	5	0-10
8	5	10-20
9	5	20-30
10	10	0-10
11	10	10-20
12	10	20-30

Para la medición de la resistencia a la penetración mecánica, se utilizó un penetrómetro, valorando la resistencia que el suelo produce en kilogramos Newton (kN), que luego se convir-

tió a mega pascal (MPa). Con relación a la densidad aparente se quitaron 10 muestras de suelo por unidad experimental, a través de anillos metálicos que tiene un volumen de 100 cm^3. Posteriormente se sometió al secado del suelo en horno eléctrico, según Fonseca (2009), es lo que nos da resultados más cercanos que con el secado de la estufa. A partir que el suelo esté seco se sometió a la fórmula que según Embrapa (1997), está dada por la siguiente formula:

$$DAp\ (g\ cm^3) = \frac{\text{peso seco de suelo (g)}}{\text{Vol. del cilindro } (cm^3)}$$

El análisis estadístico se realizó mediante el análisis de varianza del diseño de bloques completamente al azar, con arreglo factorial y posteriormente, en donde hubo diferencia, se utilizó la prueba de Tukey, para la comparación de media, utilizando el paquete estadístico InfoStat versión 2020 (Di Rienzo, *et al*. 2020).

Resultados y discusión

Los factores evaluados, en forma individual, presentaron diferencias significativas donde los 10 años de adopción arrojó una mayor resistencia con 0,94 MPa , pero a su vez es estadísticamente igual al de 5 años y el de 3 años de adopción, con 0,62Mpa y 0,83Mpa respectivamente, en los 2 y 3 años no presentaron diferencias estadísticas entre sí, y el menor valor de la resistencia se dio en los 2 años de adopción con 0,52Mpa; en relación a esto se puede notar que para este parámetro el tiempo de utilización de siembra directa modificó considerablemente la resistencia aumentándose con el mayor tiempo de adopción.

Con relación a la profundidad en la camada superficial de 0-10 presentó un menor valor de resistencia con 0,48 MPa, mientras que en la profundidad de 10-20 y 14 20-30cm no difieren entre sí. Este resultado coincide con los de Colombo *et al*., (2017), en que el área manejada con siembra directa presentó menor valor entre las camadas superficiales y se puede afirmar que la resistencia a la penetración no perjudica el desarrollo radicular del cultivo por ser inferior al valor critico de 2Mpa indicado por

Guimarães (2013). En relación con la interacción entre las profundidades y los años de implementación del sistema, no presentaron diferencias significativas entre sí.

La densidad aparente en relación con el tiempo de adopción presentó diferencia significativa (Cuadro 3) donde en los 5 años de adopción presentó el menor valor en comparación con los otros tratamientos, pero es estadísticamente igual a los 10 años con 1,54 g cm^{-3} y 1,62 g cm^{-3} respectivamente, en cuanto al tratamiento de dos y tres años no presentan diferencias significativas entre sí.

En relación con la profundidad, el de 0-10cm presentó un menor valor que difiere de los otros tratamientos con 1,57 g cm^{-3}, mientras el de 20-30 y el 10-20 son estadísticamente iguales entre sí. De acuerdo con Silva *et al*. (2017) las menores densidades observadas en las camadas superficiales están relacionadas a la mayor densidad de raíces de los cultivos agrícolas utilizados y al mayor contenido de materia orgánica.

Cuadro 2. Nivel de significancia obtenido por el análisis de varianza para la Resistencia del suelo a la penetración mecánica.

Fuente de variación	Resistencia mecánica a la penetración (Mpa)		
Tiempos de adopción de siembra directa (años)			
2	0,52 a		
5	0,62 ab		
3	0,83 ab		
10	0,94 b		
Profundidad (cm)			
0-10	0,48 a		
10-20	0,78 b		
20-30	0,92 b		
Comportamiento de la interacción			
Tiempos de adopción de SD (años)	Profundidad (cm)		
	0-10	10-20	20-30
2	0,25	0,54	0,76 ns
3	0,64	0,83	1,02
5	0,32	0,67	0,88
10	0,73	1,07	1,01

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$); ns: no significativo.

Cuadro 3. Análisis de varianza de la densidad aparente del suelo.

Fuente de variación	Densidad aparente (g cm-3)		
Tiempos de adopción de siembra directa (años)			
5	1,54 a		
10	1,62 ab		
2	1,66 b		
3	1,69 b		
Profundidad (cm)			
0-10	1,57 a		
10-20	1,65 b		
20-30	1,66 b		
Comportamiento de la interacción			
Tiempos de adopción de SD (años)	Profundidad (cm)		
	0-10	10-20	20-30
2	1,56 ab	1,67 ab	1,74 b
3	1,66 ab	1,71 b	1,69 ab
5	1,52 ab a	1,62 ab	1,48
10	1,53 ab	1,63 ab	1,71 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Conclusiones

De los resultados de campo y sus respectivos análisis, podemos concluir lo siguiente:

1. La mayor resistencia a la penetración se observó en los 10 años de adopción y el de menor valor se dio en los 2 años de adopción.

2. Con relación a la profundidad, se obtuvo que en la camada de 0-10 cm presento un menor valor de resistencia, mientras que en la profundidad de 10- 20 cm y 20-30 cm no hubo diferencias.

3. En cuanto a la densidad aparente, el menor valor se tuvo con 5 años de adopción, comparando con el de 2 y 3 años, pero es igual al de 10 años, así también en la profundidad de 0-10, se obtuvo el menor valor de la densidad.

4. Se presenta una menor densidad en la camada de 20-30 cm con 5 años de adopción de la siembra directa, en relación con la profundidad de 10-20 cm, con 3 años de adopción; 20-30 cm con 10 y 2 años de adopción.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional del Este, Facultad de Ingeniería Agronómica, filial Itakyry, Alto Paraná-Paraguay.

Literatura citada

Colombo, G. A.; M. B. S. López, M. C. Dotto, R. Campestrini, S. De Oliveira Lima. 2017. Atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo distroficosob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. *Campo digital*, v. 12 n. 1.

Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L.González, M. Tablada, C.W. Robledo. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.-com.ar

EMBRAPA. 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Brasília. 212p.

Fonseca, S. O. 2009. Avaliação do método do forno elétrico para a determinação de umidade do solo em relação ao método padrão de estufa. En: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba.

Guimarães R.M.L, C.A. Tormena, E. Blainski, J. Fidalski. 2013. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. Vol 37:1512-21p.

López O., P. Llamas, A. Molinas, S. Franco, S. García, E. Rios 1995. República del Paraguay: Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental. Asunción: Wiliam Heintz Mar Corporation. Esc 1:500000. Color.

Panigatti, J.L., H. Marelli & D. Buschiazzo (EDS.). 2001. *Siembra Directa II*. INTA. Buenos Aires. Argentina. 377p.

Rillo, S.,P. Richmond & M. Mazzai. 2008. Descompactación en suelos franco-arenosos en siembra directa: efectos sobre la DA, resistencia a la pene-

tración, y el rendimiento del cultivo de maíz. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación experimental Pergamino.

Reinert, D.J. & Reichert, J.M. 2001 Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. Santa Maria. p.114-131.

Silva, A.P., P.L. Libardi, & O.A. Camargo, 2000. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol 10:91-95p.

Silva, M.P. O. Arf, M.E. Sá, F. L. Abrantes, C.L.F. Berti, L. C. D. De Souza, 2017. Plantas de cobertura y cualidad química y física de Latossolo Vermelho distrófico sobre siembra directa. *Revista Brasileira de Ciencias Agrarias*, v.12, n.1, p. 60-67.

Determinación de manganeso (Mn) en agroecosistemas en Nonoalco, Hidalgo

Erika María López-García[1]
Otilio Arturo Acevedo-Sandoval[1]
Erika Marlene Ortega Zavala[1]

Resumen

El manganeso (Mn) es un elemento primordial que es implementado en los procesos naturales y fisiológicos de las plantas, así como en procesos químicos. También se considera un metal que produce toxicidad cuando está presente en procesos naturales como la fotosíntesis de manera excesiva y por ello es importante que se maneje con estricto cuidado. El manganeso sin medida puede alentar y afectar severamente el proceso de desarrollo y crecimiento, especialmente en los suelos que son altos en ácidos. Debido a la alta toxicidad del manganeso, las plantas, con el paso del tiempo, han desarrollado una variedad de estrategias que conllevan este estrés. Las concentraciones excesivas de Mn en los tejidos vegetales pueden alterar varios procesos, como la

[1]Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Ciudad del Conocimiento, CP 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. *erika.lopez@correo.buap.mx.

actividad enzimática, la absorción, la translocación y la utilización de otros elementos minerales (Ca, Mg, Fe y P), provocando estrés oxidativo. El umbral de daño por Mn, así como la tolerancia a un exceso de este metal, dependen en gran medida de las especies de plantas y de los cultivares o genotipos dentro de una especie. Con la disminución del pH, la cantidad de manganeso intercambiable, principalmente en forma de Mn2+, aumenta en la solución del suelo. Esta forma de Mn está disponible para las plantas y puede transportarse fácilmente a las células de la raíz y trasladarse a los brotes, donde finalmente se acumula. Presentamos los resultados obtenidos en los mecanismos de tolerancia a la toxicidad del Mn en las plantas, lo que contribuye a la desintoxicación del Mn.

Palabras claves: *Contaminación, especies vegetales, cultivos*.

Introducción

En el centro de México existen importantes depósitos del mineral de Mn para su explotación y extracción, de los cuales, en el distrito minero (3) de Molango, en el estado de Hidalgo, inició en 1960 y es considerado el segundo depósito más grande en

América Latina. La superficie de 1,250 km² es explotadA desde 1962 por la minera Autlán. Esta zona manganesífera se encuentra localizada en la región montañosa del este de México y su vegetación original era de bosque mesófilo tropical, tiene una extensión de 50 km² y a sus alrededores cuenta con una población de 120 mil habitantes. El área de impacto directo radica en localidades de Molango, Lolotla, Xochicoatlán y Tlanchinol.

En el distrito minero (3) se incluye la extracción y el aprovechamiento superficial, donde se encuentran construidas dos plantas de procesamiento para nódulos de manganeso que se utilizan para aleaciones de acero y baterías. El manganeso es un metal que se encuentra en forma natural en diversos tipos de rocas. Los usos más frecuentes de este mineral son: la manufactura de cerámica, cerillos, vidrio, colorantes, puntas de soldadura; componentes de acero, aleaciones de acero, hierro fundido, súper aleaciones y aleaciones no ferrosas (el acero constituye el 94% de su mercado). La producción de baterías alcalinas (principalmente dióxido de manganeso), latas de aluminio (6-8% del mercado), componentes electrónicos, aditivo en las gasolinas para incre-

mentar el octanaje (MMT); Y otros usos, como suplemento alimenticio para animales, fertilizante, colorante, lubricante, televisores, electrolíticos, anticorrosivo y en organometálicos. El manganeso (Mn) es el segundo oligoelemento más prevalente en la corteza terrestre, después del hierro (Fe), y está ampliamente distribuido en suelos, sedimentos y otros materiales biológicos (Appenroth, 2010). En los suelos, el Mn está presente en una amplia gama de estados de oxidación, incluidos Mn (II), Mn (III), Mn (IV), Mn (VI) y Mn (VII). Entre las formas oxidadas de Mn, el Mn divalente (II) es la especie más soluble en los suelos y también es la forma de Mn más disponible para la adquisición de plantas. La solubilidad del Mn está fuertemente influenciada por el pH del suelo y las condiciones redox. A pH neutro o más alto del suelo, Mn (III) y Mn (IV) son las formas predominantes e insolubles de Mn (Barakat, 2011). Sin embargo, en suelos ácidos mal-drenados con niveles de pH por debajo de 5,0 y un entorno reductor, el Mn oxidado se reduce fácilmente a Mn divalente. Así, el Mn disponible en los suelos es variable y generalmente oscila entre 450 y 4000 mg por kilogramo (Nagajyoti *et al*., 2010).

Investigaciones realizadas por el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) en zonas cercanas a los yacimientos de Autlán, en los municipios de Molango, Lolotla, Xochicoatlán y Tlanchinol, indican que el manganeso que se explota desde hace décadas ha causado importantes estragos sanitarios, los resultados revelaron que el 60% de los adultos que habitan cerca de la zona de explotación de la minera Autlán, en la Sierra de Hidalgo, tienen problemas neurológicos y temblores similares a los producidos por la enfermedad de Parkinson (Cortez *et al*., 2018). Y un 50% de la población estudiada presentó altas concentraciones de manganeso en la sangre, por encima de los niveles recomendados internacionalmente. Estas investigaciones previas realizadas a la población nos permiten abordar el estudio en otro enfoque ambiental para los agroecosistemas con relación al suelo y especies vegetales comestibles en condiciones particulares para determinar indicadores ambientales y socioeconómicos, en situaciones reales. Este proyecto tiene por objetivo determinar las concentraciones de manganeso en suelo en agroecosistemas de interés económico que se enmarca de forma sistémica y holística, en el que se

persigue que los resultados puedan ser un punto de referencia para los agricultores y pobladores en general. Al realizarse la recopilación de datos e información en muestreos de suelos en agroecosistemas que muestran concentraciones de Mn, por lo que el mineral es catalogado como contaminante al estar presente en el ambiente, en el caso de la región minera de Molango se propondrán estrategias para la mitigación del metal.

Materiales y métodos

El manganeso juega un papel en diversos procesos del ciclo de vida de una planta, como la fotosíntesis, la respiración, la eliminación de especies reactivas de oxígeno (ROS), la defensa de patógenos y la señalización hormonal. En muchas enzimas, el Mn es intercambiable con otros cationes divalentes como Ca, cobalto (Co), cobre (Cu), Mg o Zn. El trabajo de campo consistió en recorridos por la zona de estudio. Al tener una concepción de las condiciones socio ambientales del territorio, se procedió a la selección de los agroecosistemas y sitios de muestreo, de modo que en la investigación se reflejen las condiciones reales del área estudiada; para relacionar la actividad humana y sus alteraciones

que han provocado deterioro del entorno original, haciendo énfasis en los cambios en el suelo y su impacto en las formas de vida. Se estudiaron las condiciones del entorno basados en la Guía de la FAO 2009 y para el diagnóstico de la pérdida de suelo se seguirá la metodología provisional de evaluación de la degradación de los suelos establecida por FAO 1980, la cual tiene en cuenta los factores naturales de cada sitio (precipitaciones, vegetación, relieve y características de los suelos).

Se realizaron los muestreos de suelo, los análisis físicos y químicos de suelo en laboratorio siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Las propiedades físicas en suelo a determinar son: Textura, Densidad aparente y Color. Y para las propiedades químicas: Materia orgánica, Capacidad de intercambio de base (Ca, Mg, K, Na), pH, Nitrógeno y Concentraciones de Manganeso. También se consideró la norma PROY-NMX-AA-132-SCFI-2006, que establece el MUESTREO DE SUELOS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y LA CUANTIFICACIÓN DE METALES Y METALOIDES, Y MA-

NEJO DE LA MUESTRA. Se analizaron los resultados con el apoyo de herramientas estadísticas como el software Statgraphics Centurion XVI (Ver. 16.1.2.0, 2010) esto con la finalidad de encontrar diferencias significativas que ayuden a identificar los factores en las concentraciones de manganeso en los agroecosistemas con relación a las otras propiedades del suelo (Pineda *et al*., 2009).

Resultados y discusiones

La zona de estudio se localiza en la comunidad de Nonoalco, a 111 km al norte de la ciudad de Pachuca, sus coordenadas son 20° 42´56" y 20°42´59" latitud norte y 98° 41´39" y 98°42 ´13" de longitud oeste con una altitud de 1695 msnm. El distrito manganesífero de Molango se localiza al noreste del estado de Hidalgo, se caracteriza por presentar un clima Templado Húmedo con lluvias todo el año C(fm), con una temperatura media anual de 17 °C, y una precipitación pluvial anual de 1438(mm). Se realizaron análisis en cultivos de manzano (*Malus pumila*), durazno (*Pronus persica*), limón (*citrus limon*), naranjo (*Citrus sinensis*), guayabo (*Psidium guajava*), aguacate (*persea americana*). Se consideran concentraciones de manganeso óptimas en hojas del

manzano y duraznero de 25-150 mg kg^{-1} en peso seco (Ramírez, 2001). La toxicidad del manzano se manifiesta con clorosis en las hojas, caída prematura de éstas, reducción en la formación de yemas florales y en el crecimiento y una necrosis interna en la corteza; en el caso de el duraznero demanda una concentración de nitrógeno mucho mayor que los manzanos para lograr el crecimiento óptimo, las concentraciones nutricionales de la hoja cambian de acuerdo a la posición que tengan éstas en el frutal. De acuerdo con el cuadro 1, los resultados son 32.15 a 32.95 mg kg^{-1} para el manzano considerándose dentro del rango normal, y de 428 a 435 mg kg^{-1} (Cuadro 1) para el duraznero en este caso se consideran valores altos, por lo que presenta un problema de toxicidad. En el caso del limón, los valores de manganeso en hojas son de 150 a 155 mg kg^{-1} (Cuadro 1) por lo que se considera tóxico, con referencia a Maldonado *et al*., (2001) establecieron intervalos de concentración para hojas de limón con concentraciones de 103 mg kg^{-1} en peso seco. En el caso del naranjo se obtuvieron valores de 46.5 a 49.0 mg kg^{-1} (Cuadro 1) de acuerdo con Malavolta *et al*. (1989) reportaron valores entre 25-100 mg kg^{-1}, esto da lugar

a considerar los resultados en valores sin riesgo a toxicidad de Mn. En el caso del guayabo se determinaron valores que oscilan entre 108 a 137.05 mg kg^{-1} (Cuadro 1), por lo que se consideran altas concentraciones de Mn a comparación de los resultados de Guerra y Bautista (2002) en donde reportan valores óptimos de 88 mg kg^{-1}. Los valores obtenidos de Mn presente en las hojas de aguacate variaron de 128 a 133 mg kg^{-1} (Cuadro 1) de acuerdo a Fertiberia (2004) se encuentra dentro de los valores normales. En el caso del pasto estrella africana y de los frutales níspero e higuera no se cuenta con reportes relacionados a las concentraciones de Mn en sus tejidos vegetales, los resultados indican que el cultivo de la estrella de África presentó valores de 462 mg kg^{-1}, comparándola con las otras especies vegetales estudiadas, ésta presentó la mayor acumulación de Mn, que ocasionaría problemas de neumonitis además de saturar la excreción biliar en ganado vacuno (Riojas, *et al*., 2003). Con relación al níspero e higuera, la concentración de Mn en hoja varió de 125 a 140 y de 66 a 84.5 mg kg-1 (Cuadro 1) respectivamente, considerándose estos como moderadamente tolerantes al Mn.

Cuadro 1. Concentración de manganeso en vegetales.

	Ag	Dur	E. de Áfr	Lim	Nís	Nar	Hig	Guay	Manz
					Mg/kg				
1	128	428	462	152.5	140	46.55	78	137.05	32.15
2	128.5	435	428	150.5	125	48.95	66	114	32.65
3	133	430.5	432	155	134.5	49.05	84.5	108	32.95
Media	129.83	431.16	440.66	152.66	133.16	48.18	76.16	119.66	33.58
Desv. stand	2.75	3.54	18.58	2.25	7.58	1.41	9.38	15.33	0.4

Ag= Aguacate; Dur= Durazno; E. de Áfr= Estrella de África; Lim= Limón; Nís= Níspero; Nar= Naranja; Hig= Higuera; Guay= Guayaba; Manz= Manzana.

Conclusiones

Las hojas de los vegetales son utilizadas como bioindicadores ya que responden a la carga de contaminación en el caso de las hojas de los vegetales analizados no presentan síntomas de toxicidad por los niveles medios de manganeso que presentaron. Y no responden a la carga de contaminación de manganeso cambiando

sus funciones vitales o acumulando contaminantes. El contenido de manganeso en las nueve especies vegetales estudiadas se encuentra por debajo de los niveles de toxicidad con excepción del Durazno y Estrella de África. El porcentaje de manganeso soluble presente en el suelo es bajo, debido al pH del suelo (6.5 - 7). Los contenidos de manganeso total en el suelo son bajos por lo que no se considera un riesgo a la salud humana. Los valores de manganeso que se registran en los suelos se deben al mal manejo que hacen del beneficio, lo que representa pérdidas a la Minera. Las características físicas y químicas del suelo lo hacen potencialmente fértil por lo que se recomienda no cambiar la vocación del suelo.

Literatura citada

Appenroth K.-J., What are 'heavy metals' in Plant Sciences?, *Acta Physiologiae Plantarum*, vol. 32, no. 4, pp. 615–619, 2010.

Barakat M. A., New trends in removing heavy metals from industrial wastewater, *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 4, no. 4, pp. 361–377, 2011.

Chalkiadaki O., M. Dassenakis, and N. Lydakis-Simantiris, Bioconcentration of Cd and Ni in various tissues of two marine bivalves living in different habitats and exposed to heavily polluted seawater, *Chemistry and Ecology*, vol. 30, no. 8, pp. 726–742, 2014.

Cortez-Lugo, M., Riojas-Rodríguez, H., Moreno-Macías, H., Montes, S., Rodríguez-Agudelo, Y., Hernández-Bonilla, D., & Rodríguez-Dozal, S. (2018). Evaluation of the effect of an environmental management program on

exposure to manganese in a mining zone in Mexico. *Neurotoxicology*, 64, 142-151.

Malavolta, E., G. C. Vitti Y S. A. Oliveira. 1989. Ava licao do estado nutricional dos plantas: principios e aplicacoes. Associacao Brasileira para Pesquisa do Potassa e do Fosfato Piracicaba, Brazil.

Maldonado, T. r. Etchevers, B. J. D., Alcántar, G. G. Rodríguez, A. J. y Colinas, L. M. T. 2001. Estado nutrimental del limón mexicano en suelos calcimórficos. Publicado en *Terra* 19: 163-174 pp.

Pineda Jaimes, N. B., Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., & Plata Rocha, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*, (69), 33-52.

PROY-NMX-AA-132-SCFI-2006, que establece el MUESTREO DE SUELOS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y LA CUANTIFICACIÓN DE METALES Y METALOIDES, Y MANEJO DE LA MUESTRA.

Ramírez, D. F. 2001. Fertilización balanceada en frutales caducifolios. Especialista en fertilidad de suelo y fertilizantes. Corporación Misti. S. A.

Riojas, R. H., Sabido P. E., Rodríguez A. Y., 2003. Programa de municipios Saludables. Comunicación de riesgos a la salud Ocasionado por la exposición a manganeso en ocho comunidades de la cuenca manganesífera del estado de Hidalgo, México. Editado por la Secretaría de Salud, Instituto de Salud, Ambiente y Trabajo, S. C., Servicios de Salud de Hidalgo. 110 pp.

Nagajyoti P. C., K. D. Lee, and T. V. M. Sreekanth, Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review, *Environmental Chemistry Letters*, vol. 8, no. 3, pp. 199–216, 2010.

SEMARNAT, (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-021. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis, México, 189 pp.

Statgraphics, (2010). STATGRAPHICS® Centurion XVI User's Manual. StatPoint Technologies, Inc. USA.

Distribución iónica en el perfil de suelo, Cuenca del Río San Pedro en Nayarit

Álvaro Can Chulim[1]
Óscar Germán Martínez Rodríguez[1]
Elia Cruz Crespo[1]
Héctor Manuel Ortega Escobar[2]
José Irán Bojórquez Serrano[1]
Juan Diego García Paredes[1]
Edgar Iván Sánchez Bernal[3]

Resumen

La llanura de la cuenca del río San Pedro, de formación fluvio deltaica, es una de las áreas costeras que fueron afectadas por la intrusión marina durante la última glaciación. En esta región, la agricultura es la principal actividad económica, sin embargo, las prácticas agrícolas intensivas, su pasado geológico, la actual interacción con el sistema marino y el transporte de sales a través de los sedimentos y aguas, hacen que esta zona sea susceptible a la salinización de los suelos. Con el objetivo de identificar la distribución de las sales en el perfil vertical en el área agrícola

[1] Universidad Autónoma de Nayarit.

[2]Colegio de Postgraduados.

[3]Universidad del Mar.

canchulim@yahoo.com.mx.

de la llanura del río San Pedro, se realizó un muestreo de suelos a cada 0.1m hasta la profundidad de 3m. Se obtuvieron extractos de saturación ($1:\theta sat$) de las muestras de suelos y se les determinó el pH, CE, cationes y aniones mayoritarios. El pH del suelo es neutro en los primeros centímetros y medianamente alcalino a mayores profundidades. La conductividad eléctrica y la distribución de iones demuestran que existe un espesor salino a la profundidad de 60 a 80cm donde el catión predominante fue el calcio, y el anión predominante fue el cloro. A profundidades mayores a 100cm el catión que predomina es el sodio con el anión cloro. Se demuestra que existe influencia de intrusión salina hasta esta área.

Palabras clave: *Salinidad, extracto de saturación, llanura deltáica.*

Introducción

A nivel mundial, existen más de 800 millones de hectáreas de suelos afectados por altas concentraciones de sales (Fathizad *et al*., 2020). Estos se encuentran comúnmente en regiones áridas y semiáridas, sin embargo, también se presentan en zonas húmedas y semihúmedas de regiones costeras, donde la entrada de

agua de mar a través de estuarios, ríos y aguas subterráneas, salinizan los suelos a gran escala (Xian *et al*., 2019).

La presencia de elevadas concentraciones de sales en el suelo impacta seriamente en la agricultura. Si bien, la salinización del suelo puede reducir la productividad de los cultivos, las prácticas agrícolas intensivas pueden ser en sí mismas una fuente de aumento de la salinidad (Litalien y Zeeb, 2020).

La fuente de sales en suelos y aguas es el intemperismo geoquímico de rocas y minerales que conforman el estrato superior de la corteza terrestre. No obstante, la meteorización de los diferentes tipos de rocas rara vez forman suelos afectados por sales *in situ*, generalmente la acumulación ocurre en regiones que reciben sales de otras áreas, siendo el agua el principal transportador (FAO, 1988).

La cuenca del río San Pedro se encuentra sobre las provincias fisiográficas Sierra Madre Occidental (SMO) y Llanura Costera del Pacífico (LCP) en el estado de Nayarit, México. Abarca un área de drenaje de 29,300km^2 (Curray *et al*., 1969), con una

longitud del río de 255km desde su nacimiento aproximadamente a 3000 metros sobre el nivel del mar en la SMO, hasta desembocar en el océano Pacífico. El gasto medio anual del río San Pedro es de 2,692.83 Mm^3 y acarrea anualmente 2.83 Mm^3 de sedimentos hacia sus áreas de deposición sobre la plataforma continental y su llanura deltaica (Lanza *et al*., 1996), la cual, tiene una elevación que oscila desde 1 a 27 msnm. En la LCP, se encuentra el área agrícola de la cuenca. Su morfología refleja que los suelos se formaron a partir de la sedimentación del río San Pedro, juntamente con todos los afluentes que han tenido cauces transitorios en su deriva hacia su desembocadura en el mar. Estos procesos de sedimentación han venido ocurriendo por lo menos desde una longitud de tiempo geológico considerado como Mioceno-Pli-Pleistoceno.

La composición iónica de las soluciones electrolíticas de los suelos es debida a los procesos de intemperismo de las rocas de la SMO, y en las proximidades de la costa, lagunas y estuarios a la intrusión marina. Con el objetivo de identificar la influencia de la intrusión salina en el área agrícola actual se realizó un

muestreo vertical para identificar la distribución de sales en el perfil del suelo del área agrícola de la llanura del río San Pedro en Nayarit.

Materiales y métodos

Área de estudio.

El área de estudio se encuentra sobre la llanura deltaica del río San Pedro, entre las coordenadas UTM 13N 24349-24345 y 13N 24249-24046, datum WGS84, en Nayarit, México (Figura 1). En el área predomina el clima cálido subhúmedo con temperatura media anual entre 26 – 28°C, la precipitación total anual promedio es de 1259.1 mm de julio a octubre, y estas precipitaciones se encuentran superadas por la evaporación total anual promedio de 1753.3 mm.

Las principales actividades económicas son la pesca, acuicultura, ganadería y la agricultura, esta última, ocupa una superficie de 125,856 ha, de las cuales, el 85% son superficies de riego (INEGI, 2017). Los principales grupos de suelos en el área agrícola son los Luvisol, Cambisol, Fluvisol, Fluvisol con propiedades

de Solonchak y Solonetz (Bojórquez *et al*., 2006); siendo el frijol, maíz, sorgo, tomatillo, tabaco y papayo los cultivos registrados en las áreas muestreadas.

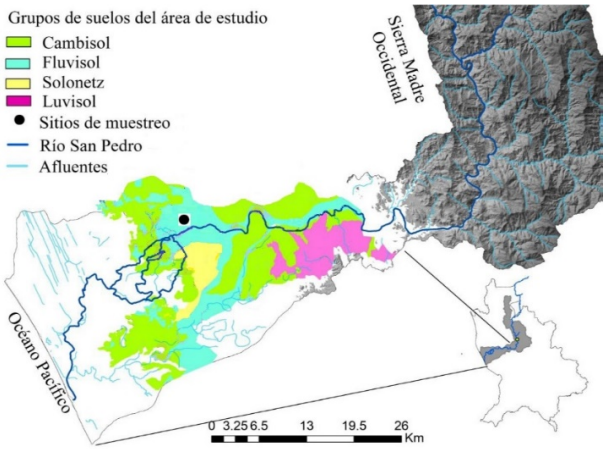


Figura 1. Sitio de muestreo en la llanura del río San Pedro, Nayarit.

Muestreo de suelos.

Se realizó un muestreo en junio, previo al temporal de lluvias. El sitio de muestreo fue georreferenciado usando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con sistema de coordenadas

UTM (Figura 1). Se tomaron muestra cada 10 cm hasta la profundidad de 3 m.

Preparación de las muestras y análisis

Las muestras de suelos se secaron al aire y se tamizaron por medio de una malla de 2 mm, se prepararon pastas saturadas para proceder a la extracción de sales de acuerdo con el Manual 60 (Richards, 1990). Para los extractos a saturación se utilizaron 400 g de suelo.

A los extractos se les determinó el pH, CE, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, CO_3^{2-}, Cl^{-} y SO_4^{2-}. Los análisis se realizaron por triplicado de acuerdo con la metodología de la American Public Health Association (APHA, 2012).

Análisis de datos

Se realizaron gráficas de distribución de pH, CE y de iones en el perfil vertical del suelo.

Resultados y discusión

Distribución vertical del pH y la conductividad eléctrica

El valor de pH máximo fue de 7.96, mínimo de 7.12 y promedio de 7.57. Fue neutro en los primeros centímetros del suelo y medianamente alcalina a mayores profundidades (Figura 2).

El valor de conductividad eléctrica máximo fue de 2.02, mínimo de 0.23 y promedio de 0.91 dS m^{-1}. Con un comportamiento típico hasta los 40 cm de profundidad, en donde se puede observar la capa superficial de los 10 cm con CE de 0.60 dS m^{-1} y disminuye a 0.23 a los 30 cm y 0.24 a los 40 cm. A partir de los 50 cm de profundidad, empieza a incrementar hasta el valor más alto encontrado en el perfil de 2.02 dS m^{-1} en la profundidad de 70 cm, para iniciar un descenso hasta un valor de a 0.73 dS m^{-1} a los 110 cm (Figura 2). Con estos valores se puede observar que la capa arable de 0.30 cm de profundidad de puede utilizar para la producción agrícola. Es necesario tener cuidado de la capa entre 60 a 80 cm que es donde se observa una capa con una conductividad eléctrica alta.

Distribución iónica

En las diferentes condiciones de humedad, las soluciones acuosas que se tienen en los suelos están compuestos mayoritariamente por los iones: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, CO_3^{2-}, HCO_3^{-}, Cl^{-} y SO_4^{2-} en diferentes concentraciones. De acuerdo con la ley de la disociación electrolítica estas soluciones son electro neutrales, es decir: $\Sigma n^{+}=\Sigma n^{-}$ (López-García *et al*., 2016). Bajo esta premisa es posible graficar la distribución iónica en meq L^{-1} y observar con certeza su predominancia.

Distribución iónica

En las diferentes condiciones de humedad, las soluciones acuosas que se tienen en los suelos están compuestos mayoritariamente por los iones: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, CO_3^{2-}, HCO_3^{-}, Cl^{-} y SO_4^{2-} en diferentes concentraciones. De acuerdo con la ley de la disociación electrolítica estas soluciones son electro neutrales, es decir: $\Sigma n^{+}=\Sigma n^{-}$ (López-García *et al*., 2016). Bajo esta premisa es posible graficar la distribución iónica en meq L^{-1} y observar con certeza su predominancia.

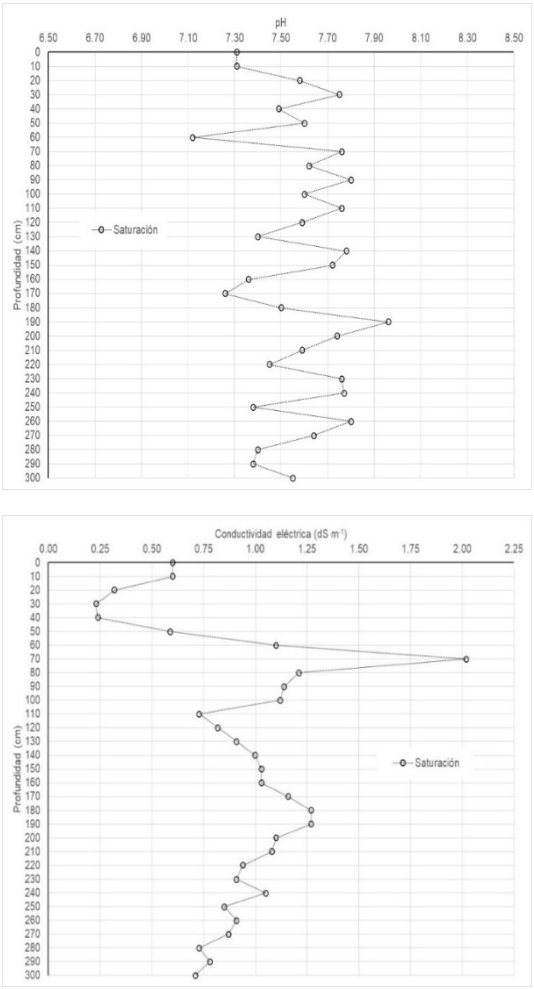


Figura 2. Distribución del pH y Conductividad eléctrica en el perfil litológico 0-300 cm en el suelo de la llanura de la cuenca del río san Pedro, Nayarit.

En los suelos cercanos a los sistemas lagunares costeros y del océano, es de esperarse encontrar espesores salinizados. Es así que, en este estudio, los datos que se presentan en la Figura 3 demuestran que existe un espesor salino a la profundidad de 60 a 80 cm. El catión predominante es el calcio, por lo que se infiere que este ion es producto del manejo agronómico de los suelos y de su lavado, ya que el anión predominante es el cloro, anión que no se lava en el proceso de mejoramiento. Como se puede observar a profundidades mayores a 100 cm el catión que predomina es el sodio con el anión cloro. De acuerdo con Novikova *et al*. (2011) y Korolyuk (2015), en aquellas zonas que existan depósitos marinos o suelos salinos sepultados por debajo de la deposición contemporánea, la acumulación de sales se encontrará en partes más profundas del perfil. Lo que se observa en este perfil estudiado confirma esta teoría.

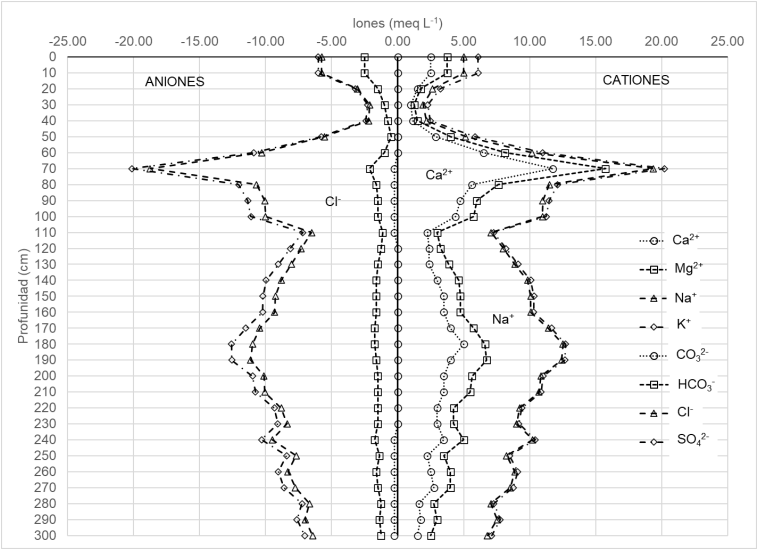


Figura 3. Distribución de iones en el perfil litológico 0-300 cm en el suelo de la llanura de la cuenca del río san Pedro, Nayarit.

Conclusiones

En este trabajo exploratorio se encontró que el pH del suelo es neutro en los primeros centímetros y medianamente alcalino a mayores profundidades.

La conductividad eléctrica y la distribución de iones demuestran que existe un espesor salino a la profundidad de 60 a 80 cm donde el catión predominante fue el calcio, y el anión pre-

dominante fue el cloro. A profundidades mayores a 100 cm el catión que predomina es el sodio con el anión cloro.

Se demuestra con este perfil que existe influencia de intrusión salina hasta esta área. Sin embargo, se requiere muestrear más perfiles.

Literatura citada

APHA (American Public Health Association). 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association*. 22nd Edition. APHA, AWWA, WEF. Washington, DC, USA. ISBN-13: 978-0875530130.

Bojórquez, I., Nájera, O., Hernández, A., Flores, F., González, A., García, D., Madueño, A. 2006. Particularidades de formación y principales suelos de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). *Cultivos Tropicales* 27 (4), 19-26.

Curray, J.R., Emmel, F., Crampton, P. 1969. Holoceno history of strand plain, lagoonal coast, Nayarit, Mexico. *Memorias del Simposio Internacional de Lagunas Costeras*, UNAM–UNESCO, México, 63–100.

FAO, 1988. Salt-affected soils and their management. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. *FAO soils bulletin* 39 ISBN: 92-5-102686-6.

Fathizad, H., Ali Hakimzadeh Ardakani, M., Sodaiezadeh, H., Kerry, R., Taghizadeh-Mehrjardi, R. 2020. Investigation of the spatial and temporal variation of soil salinity using random forests in the central deserto of Iran. *Geoderma* 365 (2020), 14233. doi: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114233.

INEGI. 2017. Anuario estadístico y geográfico de Nayarit 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México).

Korolyuk, T.V. 2015. Soil forming factors: Their role in the formation of saline soils on the plains of Western and Central Ciscaucasia. *Eurasian Soil Sci*. 48 (7), 689–700. doi:10.1134/s1064229315070066.

Lanza, E.G., Sánchez, S.N., Sorani, V., Bojóquez, T.J. 1996. Características geológicas, hidrológicas y del manglar en la planicie costera de Nayarit, México. Investigaciones Geográficas 32, 33-54.

Litalien, A., Zeeb, B. 2020. Curing the earth: A review of anthropogenic soil salinization and plant-base strategies for sustainable mitigation. *Science of the Total Environment* 698 (2020), 134235.

López-García, A.D., Ortega-Escobar, H.M., Ramírez-Ayala, C., Sánchez-Bernal, E.I., Can-Chulim, A., Gómez-Meléndez, D.J., Vázquez-Alvarado, R.E. 2016. Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura. *Tecnología y Ciencias del Agua* ISSN 0187-8336. VII (6), 139-157.

Novikova, A.F., Pankova, E.I., Kontoboitseva, A.A. 2011. Zonal, provincial, lithological, and geomorphic features of soil salinization in the Southern federal okrug of Russia. *Eurasian Soil Sci*. 44 (8), 848–861.

Richards, L.A. 1990. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Manual núm. 60. Sexta reimpresión. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Laboratorio de Salinidad. México, DF: Limusa.

Xian, X., Pang, M., Zhang, J., Zhu, M., Kong, F., Xi, M. 2019. Assessing the effect of potential water and salt intrusion on coastal wetland soil quality: simulation study. *Journal of Soils and Sediments* 19, 2251–2264.

Efectividad biológica de la Spanish River Carbonatite como inmovilizadora de metales tóxicos en el suelo

Zianya Gómez-Soto[1]
Dr. Antonio Vázquez-Alarcón[1]
Dr. Joel Pineda-Pineda[1]
Dr. Edmundo Robledo-Santoyo[1]

Resumen

Se han desarrollado diversas técnicas de remediación de suelos. Una de estas es la inmovilización de los metales pesados, que implica disminuir su actividad a valores en los que el riesgo sea mínimo. Para este método, se hace uso de enmiendas como el fertilizante mineral Spanish River Carbonatite (SRC), que posee constituyentes en su estructura que pueden modificar propiedades del suelo como pH y carbonatos, y disminuir la movilidad de los metales tóxicos. El propósito de este trabajo fue evaluar la capacidad de la SRC para inmovilizar metales pesados en suelos contaminados y evitar su absorción por las raíces del cultivo. Para esto se añadieron diferentes concentraciones de SRC a un suelo contaminado con cadmio y plomo, y se estableció un culti-

[1] Universidad Autónoma Chapingo, zianyagomezsoto1@gmail.com

vo de girasol (Helianthus annuus L.). Se hicieron pruebas de carbonatos, pH, materia orgánica, extracciones de metales al girasol y al suelo antes de sembrar y después de cosechar. Se hizo un análisis de varianza y Tukey a los resultados obtenidos. La variabilidad entre tratamientos no fue significativa y mostró tendencia a presentar valores elevados en diferentes tratamientos, el comportamiento de cada metal fue diferente en cuanto a las especiaciones; hubo cambios en el pH y carbonatos, pero, los metales no se inmovilizaron. El girasol almacenó mayor concentración de cadmio y plomo en las raíces que en la parte aérea. Todo esto se debe a que se requiere mayor concentración de SRC en el suelo y mayor tiempo de estabilización.

Palabras clave: *cadmio, plomo, inmovilización, metales pesados, carbonatos*.

Introducción

El suelo, por sus características de alta capacidad de amortiguamiento, es un receptor de multitud de sustancias potencialmente contaminantes. Al permanecer los contaminantes en el ambiente edáfico, hace posible que puedan ser asimilados por los

cultivos y de esta forma ingresar a la cadena trófica y se reflejen en el ser humano su efecto tóxico.

Dentro de los contaminantes destacan los metales pesados, estos elementos pueden ser depositados en el suelo por descargas directas, uso de agua residual no tratada, uso de insumos agrícolas, etc. Existen diversas técnicas para bajar la concentración de metales tóxicos, una de ellas es hacer que el metal sea disminuido en su actividad a valores que el riesgo sea cercano a cero. Dentro de los métodos de remediación de suelos, se encuentra la inmovilización, ésta intenta alterar ciertas propiedades del suelo y los metales se vuelvan menos disponibles.

La adición del fertilizante Spanish River Carbonatite (SRC) a suelos contaminados con metales pesados genera una inmovilización de estos por medio de tres vías. Elevando el pH del suelo, formando compuestos de baja solubilidad y siendo adsorbidos por los minerales del producto. Por lo anterior, se utilizó este producto para la elaboración de este trabajo para evaluar su capacidad de inmovilizar el plomo y el cadmio en el suelo y se eligió el girasol (Helianthus annuus L.), porque presenta una alta

capacidad para acumular metales y responder con alta biomasa radicular, además tiene la capacidad de acumular altas concentraciones de cadmio en sus tejidos (tallo y raíz) con una razonable tolerancia; por esta razón se emplea en los procesos de fitorremediación acumulando y reciclando dichos metales excesivos en los suelos para promover la limpieza de estos (García Liz, 2009).

Materiales y métodos

Para realizar la evaluación del producto SRC y su capacidad para inmovilizar los metales Pb y Cd en un suelo, tanto en condiciones de laboratorio como de invernadero se realizaron las actividades.

Se utilizó un suelo limpio y se le agregó Nitrato de cadmio (60 mg/kg) y Nitrato de plomo (600 mg/kg), se hicieron pruebas de pH con Spanish River Carbonatite (SRC) a diferentes concentraciones, en diferente tiempo y se definió el tratamiento con el producto. Después se procedió a aplicar el producto a diferentes dosis: 0.5 %, 1% y 2%. Se dejó reposar por diez días para que se realizaran las reacciones de fijación de los metales con la SRC. Posteriormente se estableció un cultivo de girasol en invernadero

con los diferentes tratamientos preparados y cuatro repeticiones de cada uno. Se realizaron análisis de pH, carbonatos y extracciones de metales hidrosoluble, intercambiables, ligado a materia orgánica y total de acuerdo con la metodología de Basta *et al*, (2001), después de cosechar el girasol. Una vez que creció el girasol a los cuarentaisiete días, se cortó, se lavó, se puso a secar en una estufa, se molió y se realizaron las extracciones de metales en la raíz y parte aérea (hojas y tallo). Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y prueba Tukey en The SAS System para determinar la variabilidad de los tratamientos en cada una de las especiaciones de los metales.

Resultados y discusión

Se realizaron las pruebas a los cinco tipos de suelo obtenidos: testigo absoluto, testigo con metales, 0% SRC; tratamiento con metales, 0.5% SRC; tratamiento con metales, 1% SRC y tratamiento con metales, 2% de SRC. De cada tratamiento, se llevaron a cabo cuatro repeticiones y todas las pruebas se hicieron antes de sembrar el girasol y después de cosecharlo.

Pruebas de Potencial Hidrógeno (pH) en el suelo antes de sembrar y después de cosechar

En la Figura 1, se pueden observar los resultados del análisis estadístico de las pruebas de pH donde se observa un efecto positivo del producto, ya que, este aumentó después de cosechar el girasol.

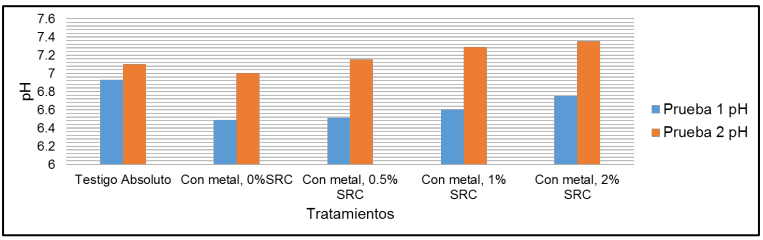


Figura 1. Pruebas de pH de suelo antes de sembrar (Prueba 1) y después de cosechar (Prueba 2).

Pruebas de carbonatos (%$CaCO_3$) en el suelo antes de sembrar y después de cosechar

En la Figura 2, se puede observar los resultados del análisis estadístico de las pruebas del porcentaje de carbonatos donde

se observa un efecto positivo del producto, ya que, el contenido de este también aumentó después de cosechar el girasol.

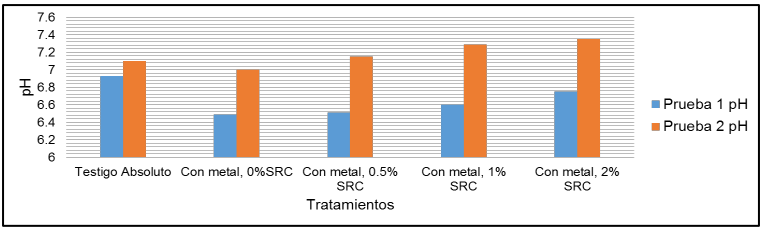


Figura 2. Pruebas de carbonatos (% $CaCO_3$) en suelo antes de sembrar (Prueba 1) y después de cosechar (Prueba 2).

Resultados del análisis de prueba Tukey del suelo con cadmio después de cosecha

En el Cuadro 1, se muestran los resultados del análisis estadístico de la concentración de cadmio en el suelo, expresado en mg/kg, después de que se cosechó en girasol, ya que, los resultados del suelo antes de sembrar no mostraron cambios significativos entre los tratamientos con Spanish River Carbonatite y el testigo con metal sin SRC.

Después de cosechar, tampoco se reflejó mucha variabilidad entre los tratamientos, sin embargo, el cadmio hidrosoluble disminuyó con respecto al testigo con metal sin SRC, en el cadmio intercambiable aumentó su concentración. Esto se puede definir como un efecto positivo, ya que, la fracción intercambiable es menos móvil que la hidrosoluble. Las fracciones ligada a materia orgánica y carbonatos y residual, se mantuvieron constantes. Esto es un efecto positivo.

Cuadro 1. Resultados del análisis de varianza de suelo con cadmio después de cosechar.

TRATAMIENTO	Suelo antes de sembrar				Suelo después de la cosecha			
	Cdh	Cdint	Cdlmo	Cd residual	Cdh	Cdint	Cdlmo	Cd residual
Testigo Absoluto	A 0.02	A 0.03	B 0.16	B 0.121	B 0.00	AB 0.00	B 0.128	B 0.04
Con metales, 0% SRC	A 0.10	A 2.87	A 45.28	A 16.61	A 0.14	AB 2.73	A 45.42	A 6.97
Con metales, 0.5% SRC	A 0.11	A 2.57	A 43.55	AB 11.86	A B 0.09	A 5.61	A 44.33	A 5.49
Con metales, 1% SRC	A 0.09	A 2.72	A 40.92	A 16.48	A B 0.07	A 5.32	A 44.21	A 7.24
Con metales, 2% SRC	A 0.10	A 2.81	A 52.04	AB 11.02	B 0.04	A 4.86	A 38.42	A 6.11

Cdh= Cadmio hidrosoluble; Cdint= Cadmio intercambiable; Cdlmo= Cadmio ligado a materia orgánica y carbonatos; Cd residual= Cadmio residual

Los resultados de la prueba Tukey entre la relación de la concentración de cadmio en los tejidos de la raíz (mgkg-1) con respecto a la concentración de cadmio en el suelo (mgkg-1). Es decir, que, por cada unidad de cadmio presente en el suelo, la raíz acumuló ciertas cantidades en sus tejidos. Mostraron un efecto positivo, ya que, la acumulación de cadmio intercambiable disminuyó con respecto al testigo con metal sin SRC y el cadmio ligado a materia orgánica y carbonatos y residual se mantuvieron por debajo de 1.

Al igual que en el tejido radicular, la planta acumuló mayor concentración de cadmio hidrosoluble en su tejido foliar, en la forma intercambiable disminuyó y en el resto de las formas se mantuvo constante.

Resultados de la prueba Tukey del suelo con plomo después de la cosecha

En el Cuadro 2, se muestran los resultados del análisis estadístico de la concentración de plomo en el suelo, expresado en mg/kg, después de que se cosechó en girasol, ya que, los resul-

tados del suelo antes de sembrar no mostraron cambios significativos entre los tratamientos con Spanish River Carbonatite y el testigo con metal sin SRC.

Los resultados mostraron que hubo un efecto positivo en las fracciones ligada a materia orgánica y carbonatos y residual, ya que sus concentraciones son mayores a las del testigo con metal sin Spanish River Carbonatite.

En la relación de la concentración de plomo acumulado en la raíz con respecto al plomo presente en el suelo, únicamente la fracción intercambiable mostró niveles más bajos que el testigo con metal sin SRC. Las fracciones ligada a materia orgánica y carbonatos y residual se mantuvieron por debajo de 1, esto reflejó un efecto positivo del tratamiento. Para la relación de plomo del tejido foliar, con respecto al presente en el suelo, todas las fracciones se mantuvieron por debajo del testigo con metal sin SRC. Esto significa que el producto tuvo un efecto positivo.

Cuadro 2. Resultados del análisis de varianza de suelo con plomo después de cosechar

TRATAMIENTO	Suelo antes de sembrar									Suelo después de la cosecha								
	Pbh		Pbint		Pblmo		Pb residual			Pbh		Pbint		Pblmo		Pb residual		
Testigo Absoluto	A	0.054	A	0.09	B	9.15	B	13.62	C	0.24	A	2.95	C	5.4	B	8.06		
Con metales, 0% SRC	A	0.092	A	5.92	A	525.5	A	179.9	B	0.56	A	6.85	B	431.9	A	86.70		
Con metales, 0.5% SRC	A	0.004	A	4.85	A	545.8	A	145.8	B	0.57	A	7.15	AB	472.5	A	84.16		
Con metales, 1% SRC	A	0.079	A	4.87	A	530.5	A	212.7	B	0.70	A	7.12	AB	505.53	A	109.43		
Con metales, 2% SRC	A	0.041	A	6.29	A	489.1	A	158.1	A	1.05	A	7.86	AB	533.3	A	98.60		

Pbh= Plomo hidrosoluble; Pbint= Plomo intercambiable; Pblmo= Plomo ligado a materia orgánica y carbonatos; Pb residual= Plomo residual

Conclusiones

El fertilizante Spanish River Carbonatite (SRC) tuvo un efecto diferente en cada metal. Para el caso del cadmio, en el suelo se observó efecto positivo en la fracción hidrosoluble. Tanto en la relación de la raíz con el suelo como en la parte aérea con el suelo, se notó efecto positivo en la forma intercambiable.

En el plomo, se observó efecto positivo en el suelo en las fracciones ligado a materia orgánica y carbonatos y residuales. En la relación de la raíz con el suelo, hubo efecto positivo en las fracciones intercambiables y en la relación de la parte aérea con el sue-

lo, se observó efecto positivo en todas las fracciones. El fertilizante produjo un aumento en el pH y en el contenido de carbonatos.

Literatura citada

Adriano, D. (2001). *Trace Elements in Terrestrial Enviroments* (2ed.). USA: Springer Verlag.

Diez, F. J. (2008). Fitocorrección de suelos contaminados por metales pesados: evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas. (Tesis). Universidad de Santiago de Compostela, España.

EPA. (1997). Innovative Site Remediation Design and Application, Volume 4: Stabilization/Solidification. EPA 542-B-97-007.

Felipo, M. T. (1992) Contaminación del suelo e impacto ambiental. Seminario de contaminación, protección y saneamiento de suelos UIMP, Valencia.

Huertos, E. & Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 1(10), 48.

Munive, R. (2018). Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de stevia y fitorremediación. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Roca Fernández. (2016). Contaminación del suelo por Metales Pesados. Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. INGACAL. Xunta de Galicia.

La atenuación natural y fitorremediación con *Leersia hexandra* remueven el petróleo de humedales tropicales

María del Carmen Rivera Cruz[1]
Nadia Stephany Calao León[1]
Roberto de la Rosa Santamaria[1]
Antonio Trujillo-Narcía[2]
Julián Delgadillo-Martínez [3]

Resumen

Los hidrocarburos del petróleo crudo (PC) son contaminantes en suelos de humedales tropicales influenciados por la industria petrolera. Las tecnologías de descontaminación del suelo incluyen la atenuación natural (AN) y la fitorremediación (FR) a través de la rizosfera de plantas tolerantes a la exposición a PC. Ambas son alternativas sustentables para la eliminación de contaminantes del suelo. El objetivo fue aplicar tratamiento biológico en suelo inundado y contaminado con petróleo crudo. Se realizó en microtúnel durante 180 días un experimento de biodegradación en suelo de un humedal, los tratamientos evaluados fueron

[1]Colegio de Postgraduados, campus Tabasco. Laboratorio de Microbiología. mariari@colpos.mx

[2]Universidad Popular de la Chontalpa.

[3]Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Edo. de México.

0, 22, 52 y 76 g/kg de PC. Se irrigó el suelo para estimular la microflora autóctona e inducir la AN y FR en la rizosfera del pasto hidrófito *Leersia hexandra*. El día 180 se evaluó la remoción de los hidrocarburos totales del petróleo (RHTP). La remoción del petróleo en el suelo del humedal artificial fue más eficiente por AN (86%) que por FR (31%), fue 1.8 veces mayor. La atenuación estimuló las densidades poblacionales de hongos heterótrofos y microalgas, y se relacionaron en forma positiva con la remoción de petróleo. La FR estimula las densidades de bacterias hidrocarbonoclásticas y también las desnitrificadoras pero no la remoción. Estos hallazgos pueden ayudar a mejorar el uso de tecnologías in situ que recuperen el humedal afectado por derrames de petróleo en suelos tropicales sin alterar la estructura y textura del suelo. Los resultados de ambas tecnologías sugieren beneficios a bajo costo y respuesta efectiva para la recuperación de suelos inundables con uso ganadero y de reserva forestal.

Palabras clave: *bacterias, hongos, microalgas, pasto, remoción*.

Introducción

La extracción de petróleo crudo y la conducción a los centros de procesamiento industrial implica riesgos de accidentes que alteran el medio ambiente acuático (Lee *et al*., 2016). En la región de las Cuencas del Sureste Mexicano, dentro de la zona cálido-húmeda de México, se localiza el estado de Tabasco con una extensión de 681248 ha de humedales continentales (Barba-Macías *et al*., 2006; CNH, 2014). El anegamiento permanente del humedal incrementa la probabilidad de daños a los ductos subterráneos, y mayor riesgo de contaminación por la liberación de petróleo en el medio inundado (Rivera-Cruz *et al*., 2016), y su acumulación en el suelo. La AN y la FR con microorganismos y plantas autóctonas son tecnologías naturales para sedimentos, suelo y agua afectados con hidrocarburos del petróleo, son métodos ecológicos amigables para el ambiente, ahorran energía y economía (Zheng *et al*., 2016; Chiu *et al*., 2017). Ambas tecnologías biológicas son usadas para la remediación y el control de la contaminación, incluye el aprovechamiento de microorganismos nativos, volatilización, emulsión, advección, dispersión, dilución,

difusión, sorción/desorción, además reacciones químicas de intercambio iónico, complejación y transformación abiótica (Lee *et al*., 2003; Declercq *et al*., 2012). La AN basada en la estimulación con agua para el establecimiento de microflora nativa predomina en el trópico húmedo mexicano aplicado a humedales con uso ganadero, asimismo el establecimiento de *L. hexandra*, pasto forrajero que forma abundante biomasa mediante estolones, rizomas y semillas. Tiene sistema radicular fibroso y perenne con rizomas profundos y superficiales que crecen y flotan en el agua. *L. hexandra* crece en suelo arcilloso y orgánico contaminado con petróleo; tolera condiciones ácidas, neutras e inundación (Rivera-Cruz *et al*., 2016). Por lo anterior, la AN y la FR pueden ser tecnologías prometedoras para la descontaminación del suelo arcilloso del humedal. El objetivo fue evaluar la recuperación del suelo arcilloso inundado y contaminado con petróleo crudo, mediante una tecnología sustentable basada en la atenuación natural y fitorremediación con el pasto *Leersia hexandra.*

Materiales y métodos

El experimento fue establecido bajo diseño completamente aleatorio con arreglo factorial 4x2, el primer factor fue la concentración de petróleo: testigo (0.675 g, origen biogénico), 22, 54 y 76 g/kg HTP base seca; el factor 2 fueron dos tecnologías de remediación: AN y FR con el pasto *L. hexandra*. El total de tratamientos evaluados fueron ocho con seis repeticiones cada uno, las unidades experimentales fueron evaluadas durante 180 días a temperatura ambiente y humedad relativa entre 85 a 96%. El suelo en las unidades experimentales se mantuvo de manera permanente con una lámina de agua de 5 cm.

Remoción de hidrocarburos totales del petróleo

Los efectos de la aplicación de la AN y FR fueron cuantificados por el porcentaje de remoción de HTP en el suelo. Muestras compuestas de suelo fueron colectadas los días 1 y 180 después de la aplicación del petróleo al suelo y a la rizosfera de *L. hexandra*, y fue extraído por 8 h en equipo soxhlet (EPA-3540C, 1996) con diclorometano grado analítico. La remoción del petróleo crudo fue calculada por diferencia de peso entre la cantidad

extraída el día 1 y la cantidad correspondiente al día 180 y después fue multiplicado por 100.

Colonización de suelo y rizosfera por bacterias, hongos y microalgas

El efecto de la AN, FR y cuatro concentraciones de petróleo en cinco grupos microbianos en suelo y rizosfera fueron determinados por el conteo de células viables. Tres grupos de microorganismos en medios de cultivos específicos por cuenta viable en caja Petri (Pepper y Gerba, 2015). Las bacterias heterótrofas (BH) en medio agar nutriente, b) hongos heterótrofos (HH) en medio papa dextrosa agar, y c) bacterias hidrocarbonoclásticas (BHC) fueron crecidas en medio de cultivo mineral y 200 μL de petróleo. La incubación de bacterias hidrocarbonoclásticas bacterias y hongos heterótrofos fue por 96 h. Las colonias de bacterias y hongos fueron contadas y expresadas como unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de suelo. La población de bacterias desnitrificantes (BDEs) fue evaluada por la técnica del número más probable (Pepper y Gerba, 2015), se utilizó medio de cultivo líquido desnitrificante [5.0g sodio citrato, 2.0 KNO_3, 1.0g KH_2PO_4, 1.0g $K_2HPO_4.3H_2O$; 0.2 g $MgSO_4.7H_2O$ (pH 7.0)] (Liu *et*

al., 2008). Los cultivos se incubaron a 30 °C durante dos semanas, después de la cual se probó la remoción de NO_3^- y aquellos con crecimiento y producción de gas fueron positivos. Se consideraron los tubos que cumplieron con los criterios positivos de la desnitrificación: crecimiento, eliminación de nitrato y producción de gas. La población de microalgas (cel mL-1) en agua superficial de suelo y rizosfera fueron evaluados mediante el recuento celular con cámara de 0.1 mm (Neubauer) (Arredondo y Voltolina, 2006).

Análisis estadístico

Las diferencias de medias entre las variables se determinaron con la prueba de separación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) y la homogeneidad de la variación de los datos fue verificada. Se aplicó la correlación bivariada de Pearson´s entre variables. Los análisis estadísticos fueron corridos con SAS programa versión 8.01 (SAS, 2005).

Resultados y discusión

La concentración inicial de HTP en el suelo fue 22, 52 y 76 g/kg de petróleo y al final del periodo del experimento, día 180, se encontró que la AN en los tres suelos contaminados incrementa la remoción en comparación con suelo plantado con L. hexandra (Cuadro 1). La alta remoción de HTP (79.7 y 85.6%) fue observado en suelo con 22 y 52 g de petróleo sometidos a la AN, seguido de 60.7% de remoción en suelo con 76 g de petróleo aplicando la misma tecnología. Las menores remociones de HTP (24, 27 y 30 %) fueron estadísticamente iguales en suelo con 22, 52 y 76 g de petróleo tratados con la FR (Cuadro 1).

Cuadro 1. Eficiencia de remoción (%) de hidrocarburos totales del petróleo en suelo inundado después de 180 días de aplicada la tecnología.

Petróleo (g/kg)	Tecnología	HTP (g/kg suelo seco) Final	Remoción (%)
22	Atenuación natural	2.46 ± 0.7d¶	79.7 ± 1.9a
	Fitorremediación	16.72 ± 1.4bc	24 ± 0.4c
52	Atenuación natural	7.48 ± 0.3c	85.6 ± 5a
	Fitorremediación	37.96 ± 1.1b	27 ± 1.8c
76	Atenuación natural	14.57 ± 0.3bc	60.7 ± 1.4b
	Fitorremediación	52.4 ± 0.5a	31 ± 0.7c

Letras diferentes dentro de cada columna representan medias con diferencias estadísticas (Tukey, p≤0.05, n=6).

Densidades de bacterias, hongos y microalgas

Las densidades poblacionales de los cinco grupos de microorganismos registraron diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$) por efecto de las dos tecnologías de tratamiento de suelos contaminados (Cuadro 2).

Las densidades poblaciones de bacterias heterótrofas (BH), hidrocarbonoclásticas (BHC) y desnitrificantes (BDEs) parecen estar relacionadas con la presencia de la rizosfera del pasto *L. hexandra*, en cambio las poblaciones de hongos heterótrofos (HH) y microalgas (MAL) se relacionan con el suelo sin planta (AN). El tratamiento testigo en presencia de rizosfera el recuento de colonias de BH y BHC fue mayor ($38x10^5$ y $36x10^4$ UFC g-1) y las menores de BH y BHC ($22x10^5$ y $8x10^3$ UFC) en suelo testigo y con 76 g de petróleo después de la AN, sin embargo, la población de BDEs fue más abundante ($221x10^2$ UFC g-1) en rizosfera de *L. hexandra* con 76 g de petróleo, que incrementó 3.6 veces respecto al

suelo con similar contaminación, pero con AN. Las poblaciones de HH y MAL fueron mayores, $12x10^2$ UFC por efecto de la AN.

Conclusiones

La recuperación del suelo arcillo del humedal contaminado con petróleo puede inducirse usando la tecnología de atenuación natural basada en el establecimiento de hongos y microalgas nativas para oxidar o reducir en suelo anegado a los hidrocarburos del petróleo.

El pasto *Leersia hexandra* estabiliza los hidrocarburos del petróleo, y para recuperar suelo degradado por la contaminación posiblemente requiera mayor tiempo de permanencia en el humedal para que los microorganismos en la rizosfera usen como fuente de carbono y energía a los hidrocarburos del petróleo.

Cuadro 2. Densidades poblacionales de bacterias, hongos y microalgas después de 180 días de la atenuación natural y fitorremediación en suelos inundados con petróleo.

Petróleo (mg/kg)	Tecnología	Bacterias (10^4 UFC g-1 ss)		Bacterias desnitrican tes	Hongos heteró-trofos	Microalgas
		BH¶	BHC	(102 UFC g-1 ss)		10_4 cel/mL
0.675	Atenuación natural	20d†	3d	7cd	6b	7e
(Testigo)	Fitoremediación	380a	36a	5d	48b	7e
22	Atenuación natural	310ab	2d	0.90d	10b	3d
	Fitorremediación	160c	19c	48b	6b	4d
54	Atenuación natural	200c	1d	0.80d	28b	40cd
	Fitorremediación	220bc	25b	28c	11b	14bc
76	Atenuación natural	150c	0.8d	61b	120a	88a
	Fitorremediación	160c	17c	221a	7b	48b

BH: Bacterias heterótrofas, BHC: bacterias hidrocarbonoclásticas. †Letras diferentes dentro de cada columna representan medias con diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$, a>b, n=12).

Literatura citada

Arredondo V.B.O. & D. Voltolina. 2006. Concentración, recuento celular y tasa de crecimiento. En: Arredondo-Vega B.O. & D Voltolina. (Eds.). *Métodos y Herramientas Analíticas en la Evaluación de la Biomasa Microalgal*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz. BCS. México pp. 21-29

Barba-Macías E., J. Rangel-Mendoza. & R. Ramos-Reyes. 2006. Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistemas de información geográfica. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 22 (2): 101-110 https://doi.org/10.19136/era.a22-n2.313

Chiu H.Y., F.Verpoort ., J.K. Liu., Y.M. Chang., & C.M. Kao. 2017. Using intrinsic bioremediation for petroleum-hydrocarbon contaminated groundwater clea-

nup and migration containment: Effectiveness and mechanism evaluation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 72: 53-61 https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.01.002

CNH (Comisión Nacional de Hidrocarburos). 2014. *Atlas Geológico. Cuencas del Sureste-Cinturón Plegado de la Sierra de Chiapas*. México Gobierno de la República. México. 55 p. http://www. cnh.gob.mx

Declercq I., V. Cappuyns, & Y. Duclos. 2012. Monitored natural attenuation (MNA) of contaminated soils: State of the art in Europe. A critical evaluation. *Science of the Total Environment* 426: 393-405 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.03.040

EPA 1986. Method 418.1 modif. Petroleum Hydrocarbons Total Recoverable Spectrophotometric Infrared. Environmental Protection Agency. Washington, D.C.

Lee K., R.C. Prince., C.W. Greer., K.G. Doe., J.E.H. Wilson., S.E. Cobanli., G.D. Wohlgeschaffen., D. Alroumi., T King., & G.H.Tremblay. 2003. Composition and toxicity of residual Bunker C fuel oil in intertidal sediments after 30 years. *Spill Science and Technology Bulletin* 8: 187-199 DOI:10.1016/S1353-2561(03)00014-8

Pepper L.I., & P.C. Gerba. 2015. Cultural methods. In: Pepper L.I., Gerba P.C., and Gentry J.T. (Eds.). *Environmental Microbiology. Academic Press*. pp. 195-212

Rivera-Cruz M.C., A. Trujillo-Narcía., E.A.Trujillo-Rivera., A. Arias-Trinidad., & M.R.Mendoza-López. 2016. Natural attenuation of weathered oil using aquatic plants in a farm in southeast México. *International Journal of Phytoremediation* 18 (9): 877-884. DOI: 10.1080/15226414.1156632

SAS (Statiscal Analysis System). 2005. User_s Guide, Versi_on 9.1.3. Cary. NC. SAS Institute, Inc.

Zheng Z., Y. Zhang., X. Su., & X. Cui. 2016. Responses of hydrochemical parameters, community structures, and microbial activities to the natural biodegradation of petroleum hydrocarbons in a groundwater-soil environment. *Environmental Earth Sciences* 75 (1400): 1-13 https://doi.org/10.1007/s12665-016-6193-1.

Mineralización del carbono orgánico y remoción del petróleo por *Eleocharis palustris* en humedal artificial

María del Carmen Rivera-Cruz[1]
Antonio Trujillo-Narcía[2]
Karla Chávez-Alvarez[1]
Omar Senéca-Falcón[2]
José Alberto Orocio-Carrillo[1]

Resumen

El flujo del agua en los humedales en Tabasco es alterado por la infraestructura petrolera y por los derrames de petróleo crudo (PC). El objetivo fue evaluar la mineralización del carbono y su relación con la remoción de hidrocarburos totales del petróleo (RHTP). Se estableció en suelo durante 270 días la planta *Eleocharis palustris* expuesta a siete dosis de petróleo, las variables fueron COS, Nt, fósforo disponible (PO4-2), sulfato asimilable (SO4-2) y las relaciones COS/Nt, COS/PO4-2 y COS/SO4-2; también se calculó la RHTP. La mineralización del carbono, basa-

[1]Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental. LEGAC-Manejo Sustentable de los Recursos Naturales. mariari@colpos.mx.

[2]Universidad Popular de la Chontalpa, Cuerpo Académico Energía y Medioambiente.

da en las relaciones COS/Nt, COS/PO4-2 COS/SO4-2, registró medias con diferencias estadísticas (Duncan, $p \leq 0.05$) los días 135 y 270. Ocurrió mayor mineralización de C el día 135, varió de 37 a 91% en COS/Nt y COS/SO4-2, respectivamente; día 270 fue menor, fluctuó de 19 a 26.5% en presencia de SO4-2 y de Nt. La correlación fue altamente significativa (0.656**) entre SO4-2 y COS, el efecto del Nt en la mineralización de C también fue positiva (0.651**). La RHTP en el humedal artificial aumentó con el tiempo (0.786**), fue mayor el día 270 en todos los tratamientos en presencia de *E. palustris*, la disminución del petróleo varió de 43.13% en suelo con 75 g de petróleo a 67.8% en suelo con 30 g/kg. Los resultados sugieren que existe disponibilidad de N, S y P en el suelo del humedal, promueven la mineralización del C mediante actividad microbiana. La atenuación natural dentro del humedal, en presencia de *E. palustris*, promueve la recuperación del suelo contaminado.

Palabras clave: *fosfato, nitrógeno, sulfato, hidrocarburos totales del petróleo.*

Introducción

Los humedales se encuentran entre los más productivos ecosistemas naturales del mundo, realiza funciones importantes de recarga de agua subterránea, suministro de agua, almacenamiento de agua de inundación, atrapamiento de sedimentos, control de la contaminación y hábitat de vida silvestre (Mitsch y Gosselink, 1993). En suelo de humedales costeros salinos el petróleo altera la dinámica del ecosistema, sorbe los hidrocarburos e interrumpe la tasa de mineralización de la materia orgánica y también la tasa de remineralización de nutrientes (Nyman, 1999; Andrade *et al*., 2004). La mineralización del carbono basado en la relación carbono nitrógeno (COS/Nt), carbono sulfato (COS/SO4-2) y carbono fosfato (COS/PO4-2) presenta cambios significativos bajo condiciones anaeróbicas prevalecientes en humedal de agua dulce (Wang *et al*., 2010). En el sureste de México existen humedales de agua dulce cubiertos con la ciperacea *E. palustris* (Figura 1), estas poblaciones vegetales son afectadas por las alteraciones del flujo del agua (sequía-inundación) causadas por infraestructura petrolera; asimismo es afectada por derrames de

petróleo (Rivera-Cruz *et al*., 2016). Se desconocen las características de la mineralización del carbono en estos sitios anegados en relación con las cantidades de nitrógeno, fosfato y sulfafo, y tampoco se conoce respecto a la degradación del petróleo. En este contexto, el objetivo fue evaluar la mineralización del carbono y su relación con la remoción de hidrocarburos totales del petróleo en rizosfera de *E. palustris* expuesta a siete dosis de petróleo crudo durante 270 días.



Figura 1. Paisaje del humedal de agua dulce con *Eleocharis palustris* en La Venta, Tabasco, México.

Materiales y métodos

Se estableció un experimento de fitorremediación (FT) de petróleo con la ciperácea *E. palustris*, se aplicó un diseño completamente al azar integrado con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Se utilizó suelo arcilloso y siete dosis de PC (0, 3, 15, 30, 45, 60 y 70 g/kg base seca). La unidad experimental fue un humedal artificial (contenedor de vidrio con 3 kg de suelo inundado con 10 cm de lámina de agua. Las variables evaluadas fueron carbono orgánico del suelo (COS) (Walkley y Black, 1934), nitrógeno total (Nt) por micro-Kjeldahl digestión con H2SO4 (Page *et al*., 1982), sulfato asimilable (SO4-2) fue determinado por método turbidimétrico en espectrofotómetro (Etchevers, 1992), fósforo disponible (PO4) (NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) e hidrocarburos totales del petróleo (HTP) fueron extraídos durante ocho horas en equipo soxhlet (USEPA, 1996) con diclorometano grado analítico. Las variables fueron evaluadas en tres tiempos secuenciales: días 1, 135 y 270 después de la siembre de la planta. La remoción de HTP (%) fue calculada por la diferencia de peso entre la cantidad extraída el día uno y la cantidad co-

rrespondiente al día 135 y 270, y la diferencia fue multiplicada por 100. La mineralización del carbono se obtuvo de las relaciones COS/Nt, COS/SO4-2 y COS/PO4-2. Los análisis estadísticos de las variables evaluadas y de la remoción de HTP fueron calculados con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$), se aplicó la correlación de Pearson y verificó la homogeneización de datos. El análisis estadístico se realizó con el programa SAS v.8.01 (SAS, 2005).

Resultados y discusión

Mineralización de carbono orgánico durante la fitorremediación

La mineralización del carbono orgánico en suelo del humedal, en función de las relaciones COS/Nt, COS/PO4 y COS/SO4, registró medias de tratamientos con diferencias estadísticas (Duncan, $p \leq 0.05$) por efectos de la dosis de petróleo y del tiempo de exposición (Cuadro 1, Figura 1). La mineralización del C en relación con el Nt, SO4-2 y PO4-2 fue mayor en las muestras de suelo colectadas el día 135 del proceso de fitorremediación y atenuación natural respecto a las muestras del día 270 (Cuadro 1). Los resultados variaron de 26.5 a 37% en función del Nt, 22 a 68.9% respecto al PO4-2 y aumentó de 19 a 91% en presencia de

SO4-2. El P y el S estimularon valores mayores de la mineralización del C del suelo del humedal. El efecto del petróleo registró que dosis bajas de 3 g de petróleo promovió (Cuadro 2, 0.513**) la mineralización en presencia de PO4-2 a los 135 y 270 días después de la siembra de *E. palustris*, en cambio, fueron las dosis de 60 y 75 g de petróleo que estimularon la mineralización por efecto de Nt y de SO4-2 (Cuadro 1). En cuanto a los datos de la mineralización del C respecto a las relaciones con el nitrógeno, fosfato y sulfato también existen diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en función del tiempo (Figuras1 A, B, C), en los tres casos la correlación fue negativa (Cuadro 2). La relación C/N fluctuó de 27 a 33.5 el día 1 y disminuyó de 21 a 24 el día 270, fue similar el día 135 con valores de 21 a 26; estos valores muestran poca variación en el tiempo. Estos resultados sugieren que el N es poco determinante en la mineralización del COS a través del tiempo. En los casos de las relaciones COS/PO4-2 y COS/SO4-2 la tendencia de la mineralización es más pronunciada entre los días 1 y 135 (Figuras 1 B, C), los máximos valores correspondieron al tratamiento con 3 g de petróleo, los datos variaron de 0.29 a 0.116 y 3.2 a 1.0, respectivamen-

te La acumulación de S y P sugiere origen petrogénico. Nuestros resultados indican que durante el proceso de mineralización del carbono aumenta la liberación de sulfato por efecto positivo de las condiciones anaeróbicas del humedal en presencia de *E. palustris*. Resultados recientes (Trujillo-Narcía *et al*., 2018) reportaron presencia de bacterias sulfatos reductoras en el humedal correlacionadas de manera positiva con HTP y sulfato en suelo.

Cuadro 1. Mineralización del carbono a los 135 y 270 días relacionados con los contenidos de nitrógeno, fosfato y sulfato con petróleo fitorremedidado con *Eleocharis paustris*.

Petróleo (g/kg)	Mineralización (%)					
	COS/Nt		COS/PO4-2		COS/SO4-2	
	Día 135	Día 270	Día 135	Día 270	Día 135	Día 270
0	0	7.3	57	0	66	8
3	7.7	18	68.9*	22*	51	10
15	3.9	14.8	54.4	13.8	34	10
30	25	26.5*	64	19	67	19*
45	14	8	57	10	78	13
60	29	9	67	-12	91*	-11
75	37*	-7.4	50.7	-5	87	-0.5

*Mayor nivel de significancia según la media entre tratamientos en cada tiempo (Duncan $p<0.05$).

Cuadro 2. Correlación de parámetros.

	Nt	COS	COS/N	SO4	COS/SO4	PO4	COS/PO4	RHTP
Dosis	.780**	.854**	NS	.797**	-.664**	.513**	NS	NS
Tiempo	.288**	NS	-.470**	.317**	-.435**	.666**	.819**	.786**
Nt		.651**	-.445**	.917**	-.618**	.686**	-.354**	.332**
COS			.387**	.656**	-.467**	.422**	NS	NS
COS/Nt				-.318**	-.235*	-.343**	.437	-.442**
SO4-2					-.615**	-.725**	.422**	.284*
COS/SO4						-.682**	.646**	-.402**
PO4							.839**	.600**
COS/PO4								-.643**

Remoción del petróleo y mineralización de carbono

La Figura 1D muestra el rango de remoción de HTP entre 10.6 a 67.8% en los 12 tratamientos de FT. La mayor remoción ocurrió el día 270 en suelo con 30 g/kg de petróleo y la menor (10.62%) en suelo con 60 g/kg de petróleo el día 135. La relación de la remoción con el tiempo es altamente significativa y positiva (0.786**) y con similar relación con el Nt (0.332**), pero sin tendencia alguna con la dosis de petróleo en el suelo (Cuadro 2). La relación remoción - mineralización del carbono fue negativa respecto COS/Nt, COS/SO4-2 y COS/PO4-2 (Cuadro 2). Nuestros resultados sugieren que la disponibilidad de N pero principal-

mente los altos contenidos de fosfato y sulfato estimulan la actividad microbiana (Neymann y Romheld, 2012) en la mineralización del carbono orgánico del suelo

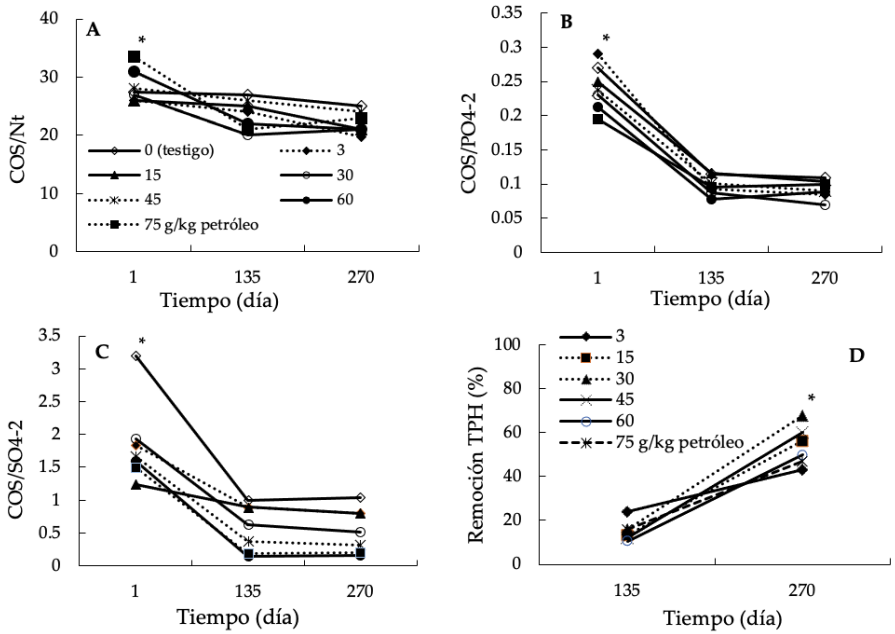


Figura 1. Tendencias de las relaciones carbono-nitrógeno, carbono-fosfato, carbono-sulfato y remoción de HTP según tiempo en suelo contaminado con petróleo en humedal artificial sometido durante 270 días a fitorremediación con *Eleocharis palustris*.

Conclusiones

El humedal del agua dulce cubierto con *Eleocharis palustris* tiene contenidos altos de sulfato y fosfato que contribuyeron en la mineralización del carbono orgánico del suelo.

La remoción del petróleo crudo alcanzó hasta 67.8% el día 270 del bioensayo.

La relación mineralización del carbono respecto a la RHTP fue negativa pero significativa.

El proceso químico - biológico en la rizosfera de *E. palustris* indujo atenuación natural, lo cual es una alternativa viable para la recuperación de suelos afectados por la industria petrolera en humedales de regiones tropicales

Literatura citada

Andrade, M.L, E.F. Covel, F.A. Vega, & P. Marcet. 2004. Effect of the Prestige oil spill on salt marsh soils on the coast of Galicia (northwestern Spain). *Journal of Environmental Quality*, 33: 2103-2110. Doi:10.2134/jeq2004.2103

Etchevers B.J.D. 1992. Manual de métodos para análisis de suelos, plantas agua y fertilizantes. Análisis rutinarios en estudios y programas de fertilidad. Montecillos. México: Laboratorio de Fertilidad, Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

Page, A.L, R.H. Miller, & D.R. Keeney. 1982. Nitrogen total. In: Page A.L., Miller R.H., and Keeny D.R. (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. ASA. Madison. SSSA. pp. 595-629

SAS. 2005. Statistical Analysis System. User's Guide. Ver. 9.1.3. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.

USEPA-3540C. 1996. Soxhlet extraction organics. SW-846 test methods for evaluating solid waste physical/chemical methods. http://www. epa.-gov/wast e s/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3540c.pdf

Walkley A, & I.A. Black. 1934. An examination of Degjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37 (1): 29-38. Doi: 10.1097/00010694-193401000-00003

Neumann, G, & V. Romheld. 2012. Rhizosphere Chemistry in Relation to Plant Nutrition. In: Marschner P. (Ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Third Edition. San Diego. pp. 347-360

Mitsch, W.J. & J.G. Gosselin. 1993. *Wetlands*. 2nd edition. New York. Wiley. 920 p.

Nyman, J.A. 1999. Effect of crude oil and chemical additives on metabolic activity of mixed microbial populations in fresh marsh soils. *Microbial Ecology* 37: 152-162 Doi:10.1007/s002489900139.

Trujillo-Narcía, A, M.C.Rivera-Cruz, E.A.Trujillo-Rivera, & A. Roldán. 2018. Reintroducing plant coverage in a tropical wetland contaminated with oil and sulfate: rhizosphere effects on Desulfovibrio populations. *International Journal of Tropical Biology* 66 (2): 908-917 DOI: 10.15517/rbt.v66i2.33422

Wang, X, J. Feng, & J. Zhao. 2010. Effects of crude oil residuals on soil chemical properties in oil sites, Momoge Wetland, China. *Environmental Monitoring and Assessment* 161: 271-280. DOI 10.1007/s10661-008-0744-1.

Perfilación de nutrientes en luvisoles con alta precipitación pluvial

Finlandia Barbosa Moreno[1]
Luis Eduardo García Mayoral[1]
Verónica Mariles Flores[1]
Miguel Ángel Cano García[1]
Leodegario Osorio Alcalá[1]

Resumen

El análisis de macro y micronutrientes para suelos agrícolas se enfoca en la capa arable (30 cm), sin embargo, los elementos se pueden mover en diferentes horizontes, sobre todo en aquellas áreas donde la precipitación es alta. Por lo anterior, es importante el estudio de los nutrientes a diferentes profundidades del suelo para tener una mayor precisión en el cálculo de las dosis de fertilización; un procedimiento que contribuye al análisis vertical de los suelos es la generación de modelos. En 2020, para Tequila y Mixtla de Altamirano, Veracruz, se tomaron muestras de luvisoles en diez perfiles con el objetivo de conocer la disponibilidad vertical de nutrientes; a estas se les determinó textu-

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. barbosa.finlandia@inifap.gob.mx.

ra, pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, fierro, cobre, zinc y manganeso. Los resultados indicaron que el promedio y la desviación estándar de arena, arcilla, limo y materia orgánica fueron de 67, σ=16.07; 14.6, σ= 10.35; 18.4, σ= 851 y 4.2 %, σ= 1.67; respectivamente; la media en pH = 4.5, N =17.87, P=8.15, K= 9.93, Ca= 448.2, Mg= 49, Fe= 13.8 y Mn= 2.7 (mg/kg), además de bajos contenidos de cobre y zinc. Con analítica predictiva se realizaron nueve ciclos de iteraciones por horizontes para la formulación de 22 ecuaciones que calculan la cantidad de macro y micronutrientes en función del pH.

La secuencia de concentración vertical en nutrientes del Horizonte 1 al Horizonte 5 fue de:

Ca>Mg>P>Fe>K>N>Mn>Cu>Zn

y los modelos generados representarán bajos costos económicos por efecto de medir solo un parámetro.

Palabras clave: *Macroelementos, microelementos, pH, ecuaciones*.

Introducción

Los elementos químicos del suelo y que son indispensables para la alimentación de las plantas se clasifican en macroelementos y microelementos, en los macronutrientes se encuentran el N, P, K, Ca y Mg y en los micronutrientes el Fe, Cu, Zn y Mn (Shuman, 1991) cada uno de los cuales desempeña una función importante en el desarrollo de las plantas ya sean cultivos o vegetación propia del ecosistema natural. La cantidad de los anteriores nutrientes es muy variable y depende del tipo de uso del suelo, algunos de ellos están disponibles para su absorción por las plantas y otros se encuentran fijos o están inmovilizados por una serie de reacciones químicas que suceden la relación suelo-planta-atmósfera.

En sistemas agrícolas, durante los últimos años, el conocimiento acerca de la cantidad de nutrientes en el suelo ha retomado su importancia, de forma principal por el daño al medio ambiente ocasionado por la incorporación excesiva de diferentes fertilizantes al suelo. El alto consumo de alimentos por la población mundial ocasiona una mayor demanda de productos agríco-

las tanto en cantidad como en calidad y para lo que el suelo es el principal medio de crecimiento de los diferentes cultivos requeridos. Al proceso mediante el cual se equilibran los nutrientes en el suelo se le denomina fertilización y puede ser tanto negativa como positiva; negativa cuando los nutrientes requeridos por las plantas se encuentran disponibles en el suelo, y positiva cuando hay que agregar uno o mas nutrientes al suelo; para poder conocer si es positiva o no, es necesario saber la cantidad de dichos elementos químicos en el suelo por medio de análisis químicos normalizados por diferentes reglamentaciones; estos procedimientos y con fines de producción agrícola, se enfocan en la capa arable del suelo que en promedio tiene 30 cm de profundidad, sin embargo los nutrientes se pueden mover en diferentes capas del suelo a mayores profundidades (Jiao *et al*., 2018), sobre todo en aquellas áreas donde las precipitaciones son altas, pero por el costo y el tiempo en el proceso de muestreo solo se considera la capa superficial para determinar la cantidad de nutrientes en el suelo con fines agrícolas. Por lo anterior se hace necesario el estudio de los nutrientes a diferentes profundidades del suelo para

tener una mayor precisión en el cálculo de las dosis de fertilización y un procedimiento que contribuye al análisis nutrimental y vertical de los suelos es la generación de modelos que pueden relacionar diferentes variables como las químicas, parte de estas son los macro y microelementos (Dawit *et al*., 2020). Los análisis de estos nutrientes en los laboratorios son costosos por lo que los modelos a generar deben ser con base en variables de fácil medición y bajo costo como lo es el pH.

En el marco de lo ya mencionado, para 2020, en Tequila y Mixtla de Altamirano, Veracruz, se tomaron muestras de suelo de diez perfiles distribuidos en los dos municipios con el objetivo de conocer la disponibilidad vertical de nutrientes en los suelos, que en el 80% de su superficie son luvisoles.

Materiales y métodos

Los municipios se ubican en los 18° 42', 18° 48' y los 96° 57', 97° 08' para el caso de Tequila y Mixtla de Altamirano en los 18° 33', 18° 39' y los 96° 56', 97° 02'; con un rango de precipitación de 1400-2600 y 2400-2600 mm en cada uno de ellos; los suelos que

ocupan el 80% de la superficie municipal son los luvisoles (INEGI, 2020).

En las localidades de Cotlajapa, Oxtotitla, Coxititla, Poxcautla, Ocotempa, Mitepec, Zincalco, Coximalco y Capultitla que pertenecen a los municipios mencionados, se tomaron 33 muestras de suelo, de acuerdo con la metodología de Schoeneberger *et al*., 2002, distribuidas en cinco horizontes. Las muestras se mandaron a laboratorio donde se hicieron las siguientes determinaciones: textura, pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, fierro, cobre, zinc y manganeso, con base en los procedimientos analíticos de la NOM 021 RECNAT 2000.

Los datos obtenidos se analizaron con estadística descriptiva y analítica predictiva mediante el uso SAS® Studio y Minitab®.

Resultados y discusión

Variables porcentuales

El promedio y la desviación estándar de arena, arcilla, limo y materia orgánica en los luvisoles de Tequila y Mixtla fueron de 67, σ=16.07; 14.6, σ= 10.35; 18.4, σ= 851 y 4.2 %, σ= 1.67;

respectivamente; la cantidad de arenas y materia orgánica decrece cuando aumenta la profundidad del suelo, es decir desde el H1 (Horizonte 1) y hasta H5 (Horizonte 5), mientras que sucede lo contrario con la proporción de arcilla y limo (Figura 1).

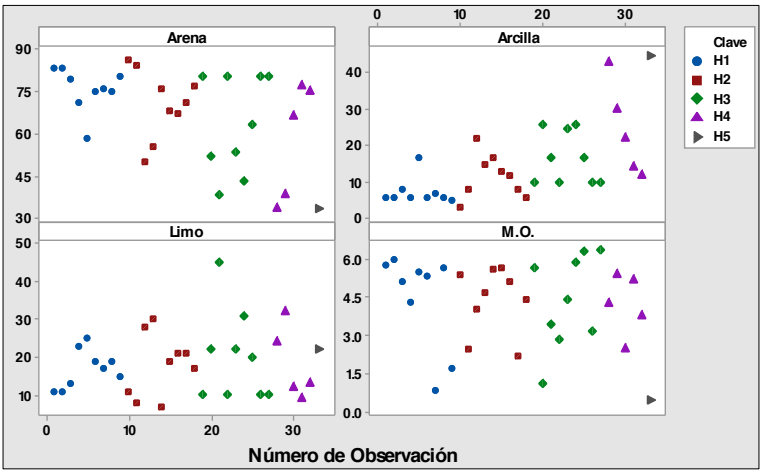


Figura 1. Distribución textural y de materia orgánica en perfiles tipo de suelos, Tequila y Mixtla, Veracruz.

Estratificación de nutrientes del suelo

La variación espacial del pH y los nutrientes medidos por cada horizonte (H) se muestran en la Figura 2.

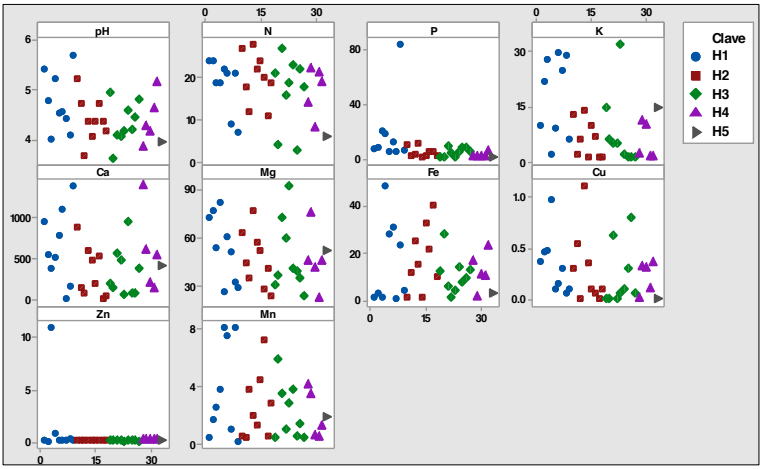


Figura 2. Dispersión vertical del pH, macro y micronutrientes disponibles en suelos de Tequila y Mixtla, Veracruz.

Como se puede observar, los suelos tienen en promedio, pH de 4.5, N =17.87, P=8.15, K= 9.93, Ca= 448.2, Mg= 49, Fe= 13.8, Mn= 2.7 (mg/kg) y bajos contenidos de cobre y zinc.

Modelos en función del pH vertical

Los análisis descriptivos antecedentes fueron necesarios para la elaboración de los modelos a nivel de horizontes que pronostiquen los macro y micronutrientes de los luvisoles en

función del pH. Se realizaron nueve ciclos de iteraciones por horizontes y para seis ecuaciones de diferentes dimensiones, los de mayor ajuste se muestran en el Cuadro 1 y 2.

Conclusiones

La secuencia de concentración vertical en macro y micronutrientes del Horizonte 1 al Horizonte 5 fue de:

Ca>Mg>P>Fe>K>N>Mn>Cu>Zn

Esto se validó con las pruebas de generación de modelos en donde la variable a medir es el pH del suelo; en general los luvisoles tienen un alto porcentaje de materia orgánica y una proporción equilibrada de arenas, arcillas y limos. Las ecuaciones generadas pueden ser utilizadas para el cálculo de nutrientes disponibles en los luvisoles a nivel de horizontes, lo que servirá en la formulación de dosis de fertilización más precisas y esto representará bajos costos económicos por efecto de medir solo un parámetro (pH) para determinar la cantidad de macro y micronutrientes del suelo además de la disminución en gastos por sobrecompra de fertilizantes.

Cuadro 1. Formulación transversal de N-P-K en función del pH.

Horizonte	Nutriente	Ecuación en función del pH	R^2
H1	N	y = -9.107x2 + 85.609x - 179.92	0.2305
H2	N	y = 6.5612x - 8.809	0.2396
H3	N	y = -15.077x2 + 140.45x - 306.19	0.3474
H4	N	y = -8.1963x2 + 79.746x - 173.79	0.314
H1	P	y = 32.453x2 - 334.26x + 863.97	0.3545
H2	P	y = 3.0453x2 - 23.119x + 47.129	0.2809
H3	P	y = -11.19x2 + 96.721x - 202.42	0.4133
H4	P	y = 2.9815x - 10.878	0.6841
H1	K	y = -15.058x + 89.314	0.6439
H4	K	y = -11.996x2 + 104.41x - 219.63	0.3912

Cuadro 2. Formulación transversal de Ca-Mg-Fe-Cu-Zn-Mn en función del pH

Horizonte	Nutriente	Ecuación en función del pH	R^2
H1	Ca	y = 524.07x - 1842.2	0.4683
H2	Ca	y = 420.41x - 1529.5	0.3713
H4	Ca	y = 1937.6x2 - 17989x + 41819	0.7888
H1	Mg	y = -36.082x2 + 357.8x - 820.36	0.2817
H3	Mg	y = -61.807x2 + 510.12x - 992.74	0.4378
H3	Fe	y = 35.43x2 - 309.83x + 682.51	0.6586
H4	Fe	y = 32.772x2 - 288.51x + 640.7	0.8422
H4	Cu	y = -0.1563x2 + 1.5723x - 3.6466	0.3014
H1	Zn	y = 6.5159x2 - 65.862x + 165.32	0.4824
H1	Mn	y = -2.7099x2 + 23.219x - 44.592	0.3396
H3	Mn	y = -3.0438x + 15.427	0.4223
H4	Mn	y = 3.6822x2 - 35.194x + 84.81	0.4936

Literatura citada

Dawit Habte, Fassil Kebede, Bobe Bedadi & Lema Wogi (2020) Phosphorus sorption–desorption properties of Luvisols and Vertisols, sorption kinetics and models comparison, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51:4, 527-540, DOI: 10.1080/00103624.2020.1717512

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2020). Sistema de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (SIEGVER). *Cuadernillos Municipales 2020*. Tequila. 11 p.

Jiao, S., Chen, W., Wang, J., Du, N., Li, Q., & Wei, G. (2018). Soil microbiomes with distinct assemblies through vertical soil profiles drive the cycling of multiple nutrients in reforested ecosystems. *Microbiome*, 6(1). https://doi.org/10.1186/s40168-018-0526-0

Schoeneberger, P.J., Wysocki, O.A., Benham, E.C., and Broderson, W.O. (editors], (2002). *Field Book for describing and sampling soils, version 2.0*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Linco/n, NE.

Shuman, L.M. (1991). Chemical Forms of Micronutrients in Soils. In *Micronutrients in Agriculture*, J.J. Mortvedt (Ed.). https://doi.org/10.2136/sssabookser4.2ed.c5

Predicción mediante MRNL e indicadores fisicoquímicos y biológicos de la actividad de la biomasa microbiana en suelos contaminados por lixiviados de exbasurero

Héctor Iván Bedolla-Rivera [1*]
Bianka Guadalupe Salas-Enríquez [2**]
María de la Luz Xóchilt Negrete-Rodríguez [1]
Midory Samaniego-Hernández [1]
Aidé Minerva Torres-Huerta [2]
Eloy Conde-Barajas [1***]

Resumen

Los biosólidos urbanos presentan una concentración considerable de nutrientes, actualmente son desperdiciados y depositados en rellenos sanitarios provocando contaminación ambiental. En el presente estudio se emplea una técnica de reducción de dimensionalidad para seleccionar indicadores fisicoquímicos y biológicos con mayor relación con la variabilidad de los datos. Posteriormente se empleó un proceso de regresión no lineal mul-

[1]Departamento de Ingeniería Bioquímica y Ambiental, TNM/IT en Celaya, Celaya, Guanajuato, México.

*, *** hibr117@gmail.com, eloy.conde@itcelaya.edu.mx.

[2]Instituto Politécnico Nacional, CICATA-Altamira, Altamira, Tamaulipas, México. ** bianka_79_5@hotmail.com.

tivariable (MRNL) para establecer una ecuación que permita predecir la actividad de la biomasa microbiana en suelos contaminados por lixiviados de residuos sólidos urbanos. Los indicadores con mayor relación con la variabilidad de los datos fueron Nmin y C-CO2. La ecuación resultante represento el 31% de la actividad enzimática de la biomasa microbiana en los sistemas de suelo/biosólido.

Palabras clave: *biosólido, nitrificación, enzimas, análisis de componentes principales, análisis multivariado*.

Introducción

Los biosólidos urbanos son un producto de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas que en la actualidad es desechado en rellenos sanitarios, provocando contaminación ambiental por lixiviados. El uso de biosólidos urbanos como enmienda orgánica para la remediación de suelos es un tema de interés nacional e internacional por el aprovechamiento de sus nutrientes, así mismo en suelos con actividad agrícola es de interés por su vínculo no solo en la calidad o salud del suelo sino tam-

bién por el contexto de la seguridad alimentaria que en el país actualmente forma parte de los problemas naciones a resolver.

Materiales y métodos

La zona de estudio fue un ex basurero a cielo abierto localizado en las coordenadas 22°13´46´´ N, 97°53´06´´ O. Para el estudio se emplearon muestras de suelo contaminado (SC) por lixiviados del ex basurero, suelo no contaminado (SNC) de los alrededores del ex basurero y biosólido (BS).

El biosólido se obtuvo de la planta tratadora de aguas residuales urbanas con tratamiento de lodos activados ubicada en las coordenadas (22°19´29.97´´ N, 97°50´45.17´´ O). El muestreo de los suelos se realizó estableciendo subparcelas de 600 m2, las muestras se tomaron cada 18 m empleándose un patrón de zigzag dentro de cada subparcela, obteniéndose 45 submuestras de 2 kg por tipo de suelo. El muestreo para el biosólido fue sistemático, tomándose una muestra de 5 kg de la banda de prensado cada 10 minutos por una hora.

Se realizó la caracterización fisicoquímica de las muestras de suelo contaminado, suelo no contaminado y biosólido, anali-

zándose por triplicado los indicadores: conductividad eléctrica (CE) según (Hendrickx *et al*., 2002) para las muestras de suelo y (Ho *et al*., 2010) para el biosólido, carbono orgánico total (COT) (Walkley & Black, 1934), materia orgánica (MO) (Yilmaz & Sönmez, 2017), nitrógeno total (NT) (Bremner, 2018), relación carbono nitrógeno (C/N), capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2003; Webster, 2007), macronutrientes (P-3, K+, Ca+2, Mg+2 y Na+) y micronutrientes (Cu+2, Cd+2, Pb+2, Ni+3 y Zn+2) (Bettinelli & Baroni, 1991). Además, para las muestras de biosólido se analizó coliformes fecales (CO), salmonella (S) y huevos de helminto (HO) (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2003).

El Diseño experimental establecido fue por bloques completamente al azar, tres tratamientos y tres réplicas, realizándose análisis de los indicadores durante una dinámica de mineralización C y N los días 0, 7, 14 y 28. Las unidades experimentales consistieron en jarras de vidrio (900 mL) con un bote de vidrio (125 mL) en su interior con una mezcla de 100 g de suelo/biosó-

lido al que se le ajustó la capacidad de retención de agua (CRA) al 40%. Los tratamientos se establecieron en función de la relación C/N (COT/NT) de mezclas de suelo/biosólido, configurándose de la siguiente manera: T1, C/N de 8; T2, C/N de 10 y T3, C/N de 12. Durante la dinámica de mineralización se analizaron por triplicado los indicadores de nitrógeno inorgánico (N-NH4+, N-NO2- y N-NO3-) (Alef & Nannipieri, 1995), nitrógeno mineralizado (Nmin), relación amonio nitrato (N-NH4+/N-NO3-), dióxido de carbono evolucionado (C-CO2) (Conde *et al*., 2005), carbono de biomasa microbiana (CBM) (Sparling & Williams, 1986), así, como las actividades enzimáticas de lípasas, esterasas y proteasas a partir de la actividad de fluoresceína di acetato (FDA) (Green *et al*., 2006).

La reducción de dimensionalidad se llevó a cabo empleando la técnica de análisis de componentes principales (ACP), utilizando el software estadístico R versión 4.0.5 (R Core Team, 2021) y los paquetes agricolae (de Mendiburu, 2020) y caret (Kuhn, 2021). El procedimiento inició con una prueba de correlación de Spearman (Muñoz-Rojas *et al*., 2016), además de un proce-

so de adecuación KMO (Johnson & Wichern, 2014), empleándose el criterio del $eigenvalor \geq 1$ como criterio de selección de los componentes principales (CPs) (Yu *et al*., 2018). Una vez seleccionados los CPs, se realizó una matriz de correlación de Spearman para aquellos indicadores correlacionados con sus CPs, seguido de un proceso de eliminación de redundancia bajo los siguientes criterios: número de interacciones significativas > pertenencia a PC (PC1 > PC2 > ...> PCn) > correlación con su PC (Bai *et al*., 2018). Los indicadores resultantes fueron utilizados para el proceso de regresión, para la cual se generó dos bases de datos (base de entrenamiento y predicción) para la ecuación de regresión.

Resultados y discusión

Respecto a la caracterización de los suelos y el biosólido, los resultados se muestran en el cuadro 1. Se pudo enfatizar que las muestras de SC y SNC presentaron condiciones ligeramente alcalinas, con concentraciones altas de sales (macronutrientes) que pueden afectar el crecimiento de plantas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales[SEMARNAT], 2002). A la vez, cabe resaltar que todas las muestras presentaron concentra-

ciones altas para COT, MO y bajas para NT, a excepción del BS, lo que pudiera ocasionar dificultades en los procesos de degradación de compuestos orgánicos por parte de la biomasa microbiana presente en los sistemas suelo/biosólido. La matriz de correlaciones de Spearman mostró que el indicador CBM no presentó correlaciones significativas $\left(r^2 < \pm 0.6\right)$ con ningún otro indicador, los indicadores restantes mostraron al menos una correlación significativa (Figura 1). Se pudo observar correlaciones positivas entre los indicadores N-NH4+, N-NO2-, NH4+/NO3-, Nmin y C-CO2, pudiéndose establecerse que el proceso de nitrificación aumenta la cantidad de N mineralizado, posiblemente debido a la utilización del N para la producción de enzimas por parte de la biomasa microbiana.

En referencia al ACP, este proceso generó dos CPs que representan el 98.2% de la variabilidad de los datos obtenidos de los indicadores analizados durante la dinámica de mineralización (Figura 2A). La correlación entre los indicadores analizados y los CPs se muestra en la Figura 2B, donde podemos observar que el indicador N-NH4+, N-NO2- y Nmin se encuentran relacionados

con el CP1, mientras que la correlación del indicador C-CO2 se encuentra distribuida entre ambos CPs. En la Figura 2C podemos observar que los indicadores se encuentran en mayor medida correlacionados con el CP1, mientras que el CP2 presenta correlación significativa con el indicador C-CO_2.

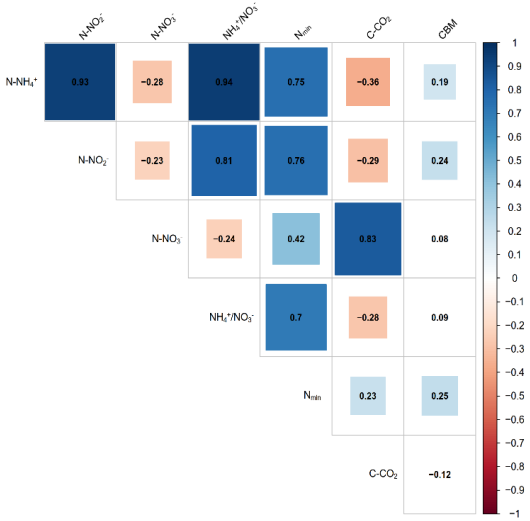


Figura 1. Matriz de correlación de Spearman.

Cuadro 1. Caracterización de muestras de suelos y biosólido.

Indicador		SC	SNC	BS
CE	mS/cm	4.27	1.11	2.00
COT		3.98	1.81	13.4
MO	%	6.85	3.11	23.05
NT		0.07	0.14	1.76
C/N	---	56.8	12.9	7.6
CIC		53.8	42.5	---
P-3		0.03	0.02	---
K+		0.43	0.91	---
Ca+2		22.21	31.79	---
Mg+2		10.25	4.61	---
Na+	meq/100g	17.05	5.74	---
Cu+2		0.11	0.03	1.03
Cd+2		<0.01	<0.01	<0.01
Pb+2		0.02	<0.01	0.04
Ni+3		0.06	0.05	0.06
Zn+2		0.06	0.03	1.07
CO	NMP/g	---	---	11†
S		---	---	<3
HO	H/2g	---	---	0

Cuadro 2. Desempeño de ecuación de regresión no lineal multivariable.

	Coeficiente	p	Significancia	RMSE	F	r2
Intercepto	9.278	1.54x10-10	***	5.60	14.76	0.31
Nmin	0.585	4.83x10-5	***			
Nmin2	- 6.514x10-3	1.42x10-3	**			
Nmin3	2.030x10-5	5.53x10-3	**			
C-CO2	4.627x10-3	4.56x10-2	*			
(Nmin x C-CO2)2	1.095x10-6	1.99x10-3	**			
(Nmin x C-CO2)3	- 1.464x10-10	5.65x10-3	**			

p, valor de probabilidad; (***, ** y *), muy significativo ($p \leq 0.001$) y significativo ($p \leq 0.01, p \leq 0.05$); RMSE, error estándar medio residual; F, valor de Fisher; r2; coeficiente de correlación lineal.

Al finalizar el proceso de eliminación de redundancia, los indicadores más relacionados con la variabilidad de los datos fueron Nmin y C-CO2, los cuales se emplearon en el proceso de regresión no lineal. Para el proceso de regresión no lineal se emplearon los indicadores antes mencionados hasta una potencia de 4, la ecuación resultante fue:

$$FDA = 9.278 + 0.585 \times (N_{min}) - 6.514x10^{-3} \times (N_{min})^2 + 2.030x10^{-5} \times (N_{min})^3 + 4.627x10^{-3} \times (C - CO_2) + 1.095x10^{-6} \times (N_{min} \times C - CO_2)^2 - 1.464x10^{-10} \times (N_{min} \times C - CO_2)^3$$

El desempeño de la ecuación de regresión se muestra en el Cuadro 2.

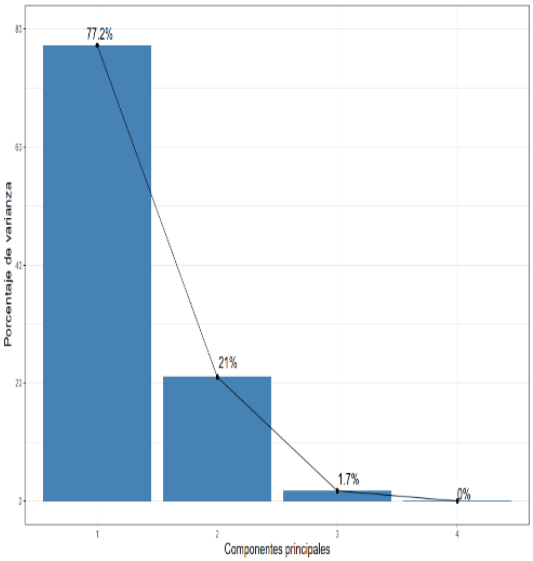


Figura 2. Porcentaje de varianza por CP (A); biográfica de la correlación de indicadores con los CPs (B); Matriz de correlación producto-momento de Pearson entre indicadores y su CP (C).

Conclusiones

Los indicadores N-NH4+, N-NO2-, NH4+/NO3-, Nmin, reflejaron un proceso de nitrificación posiblemente debido principalmente a la utilización del N (CBM no presentó correlaciones significativas) para la producción de enzimas y de síntesis de compuestos nitrogenados celulares de la biomasa microbiana. El ACP permitió reducir la dimensionalidad del sistema, seleccionando solamente dos indicadores relacionados con la variabilidad de los datos. El proceso de regresión lineal explicó el 31% de la variabilidad de la actividad enzimática (FDA) de la biomasa microbiana presente en los sistemas suelo/biosólido analizados. El desempeño de la ecuación de regresión presentó un RMSE bajo. Sin embargo, los resultados obtenidos fueron una primera aproximación al proceso complejo de adición de biosólido a suelo un contaminado.

Literatura citada

Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-513840-6.X5014-9

Bai, Z., Caspari, T., Gonzalez, M. R., Batjes, N. H., Mäder, P., Bünemann, E. K., de Goede, R., Brussaard, L., Xu, M., Ferreira, C. S. S., Reintam, E.,

Fan, H., Mihelič, R., Glavan, M., & Tóth, Z. (2018). Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 265(November 2017), 1–7. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.028

Bettinelli, M., & Baroni, U. (1991). A Microwave Oven Digestion Method for the Determination of Metals in Sewage Sludges by ICP-AES and GFAAS. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 43(1), 33–40. https://doi.org/10.1080/03067319108028117

Bremner, J. M. (2018). Nitrogen-Total. In D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, & M. E. Summer (Eds.), *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods* (pp. 1085–1121). https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c37

Conde, E., Cardenas, M., Ponce-Mendoza, A., Luna-Guido, M., Cruz-Mondragon, C., & Dendooven, L. (2005). The Impacts of Inorganic Nitrogen Application on Mineralization of C-Labelled Maize and Glucose, and on Priming Effect in Saline Alkaline Soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(4), 681–691. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.08.026

de Mendiburu, F. (2020). agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research (R package version 1.3-3). https://cran.r-project.org/package=agricolae

Green, V. S., Stott, D. E., & Diack, M. (2006). Assay for Fluorescein Diacetate Hydrolytic Activity: Optimization for Soil Samples. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(4), 693–701. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.06.020

Hendrickx, J. M. H., Das, B., Corwin, D. L., Wraith, J. M., & Kachanoski, R. G. (2002). Relationship Between Soil Water Solute Concentration and Apparent Soil Electrical Conductivity. In J. H. Dane & G. C. Topp (Eds.), *Methods of Soil Analysis: Part 4* (pp. 1275–1282). Soil Science Society of America. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4

Ho, C. P., Yuan, S. T., Jien, S. H., & Hseu, Z. Y. (2010). Elucidating the Process of Co-composting of Biosolids and Spent Activated Clay. Bioresource Technology, 101(21), 8280–8286. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.058

Johnson, R., & Wichern, D. (2014). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (6a ed.). Pearson Education Limited.

Kuhn, M. (2021). caret: Classification and Regression Training (R package version 6.0-88). https://cran.r-project.org/package=caret

Muñoz-Rojas, M., Erickson, T. E., Dixon, K. W., & Merritt, D. J. (2016). Soil quality indicators to assess functionality of restored soils in degraded semiarid ecosystems. *Restoration Ecology*, 24, S43–S52. https://doi.org/10.1111/rec.12368

R Core Team. (2021). R: language and environment for statistical computing (1.3.2). R foundation for statistical computing.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales[SEMARNAT]. (2002). NOM-021-RECNAT-2002. Diario Oficial de la Federación. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2003). NOM-004-SEMARNAT-2002. Diario Oficial de la Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo= 691939&fecha=15/08/2003

Sparling, G. P., & Williams, B. L. (1986). Microbial biomas in organic soils: Estimation of biomass C, and effect of glucose or cellulose amendments on the amounts of N and P by fumigation. *Soil Biology & Biochemestry*, 18(5), 507–513. https://doi.org/10.1016/0038-0717(86)90008-8

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An Examination of Different Methods for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*, 37(1), 29–38. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Webster, R. (2007). Interpreting Soil Test Results: What Do All the Numbers Mean? In P. Hazelton & B. Murphy (Eds.), *European Journal of Soil Science* (2nd ed., Vol. 58, Issue 5). Csiro Publishing. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2007.00943_8.x

Yilmaz, E., & Sönmez, M. (2017). The Role of Organic/Bio–fertilizer Amendment on Aggregate Stability and Organic Carbon Content in Different

Aggregate Scales. *Soil and Tillage Research*, 168, 118–124. https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.003

Yu, P., Liu, S., Zhang, L., Li, Q., & Zhou, D. (2018). Selecting the Minimum Data Set and Quantitative Soil Quality Indexing of Alkaline Soils Under Different Land Sses in Northeastern China. *Science of The Total Environment*, 616–617, 564–571. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.301

Recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos mediante microorganismos que crecen en el mismo sitio

Karen Natalie Fernández Longoria[1]
Flor del Carmen Bañuelos Arcos[1]
Viridiana Quiñones Robles[1]
Verónica Ávila Vázquez[1]
Miguel Mauricio Aguilera Flores[1]

Resumen

La implementación de cualquier tecnología de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados requiere como primer paso el conocer las características del sitio, siendo necesario examinar y analizar las características del suelo, así como los microorganismos presentes y el tipo de contaminante. Estas últimas características se refieren a poder identificar la presencia de microorganismos en el sitio y que éstos puedan ser capaces de degradar al tipo de contaminante presente. Por ello, en este trabajo se realizó un muestreo dirigido de suelo en una Estación de Ferrocarril en Zacatecas, México, con el objetivo de aislar y caracterizar hongos autóctonos, para evaluar su potencial en la

[1]Instituto Politécnico Nacional. Blvd. del Bote 202 Cerro del Gato Ejido La Escondida, Col. Ciudad Administrativa 98160 Zacatecas, Zac., México. kfernandezl1601@alumno.ipn.mx, maguileraf@ipn.mx.

degradación de hidrocarburos de fracción pesada. Para obtener aislados puros se llevaron a cabo técnicas de preenriquecimiento y resiembras en medios de cultivo específicos, que contenían hidrocarburo (aceite residual automotriz) como única fuente de carbono, posteriormente se identificaron observando sus características. La evaluación de la capacidad de degradación de los hongos aislados se realizaron cinéticas de crecimiento cada 7 días, hasta el día 84, y la cuantificación de la degradación de hidrocarburo se realizó por el método Soxhlet (NMX-AA-005-SCFI-2013). Los hongos que se aislaron se relacionaron con los géneros *Penicillium* y *Aspergillus* debido a sus características macro y microscópicas y presentaron un potencial de degradación de hidrocarburos de 65.90% y 78.89%, respectivamente a los 56 días. Estos hongos pueden utilizarse para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos aplicando la técnica de bioaumentación.

Palabras clave: *biorremediación, hongos degradadores de hidrocarburos, suelos contaminados*.

Introducción

En México existen extensas áreas contaminadas con hidrocarburos y se identifican diferentes fuentes generadoras de este tipo de contaminación, entre ellas se encuentran: empresas de petróleo, producción de energía y transporte ferroviario (Acevedo, 2012). La Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (US EPA, por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud clasifican a los hidrocarburos de petróleo como contaminantes ambientales prioritarios debido a sus características tóxicas, mutagénicas y/o carcinógenas. También son considerados en la legislación mexicana como residuos peligrosos (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2018). La contaminación del suelo por hidrocarburos deriva principalmente en alteraciones en la fertilidad, reduce o inhibe el desarrollo de la cobertura vegetal, perjudica la flora, fauna y microorganismos, y los cuerpos de agua subterránea se pueden contaminar por infiltración (Botello *et al*., 2005; Quiñones, 2020). Además de los impactos negativos, los hidrocarburos inciden directamente en el desarrollo económico y social, ya que repercuten en la producción de ali-

mentos, transporte y construcción (Botello *et al*.,2005; Quiñones, 2020). Entre las técnicas que se han utilizado para minimizar o eliminar estos impactos se encuentra la biorremediación, la cual utiliza la capacidad de diversos microorganismos para degradar contaminantes. La biorremediación ofrece ventajas sobre los tratamientos físicos y químicos como menores costos, ocasiona mínima perturbación en el sitio, no produce desechos significativos y puede utilizarse como complemento de otras técnicas (Daccò *et al*., 2020). La bioaumentación es una técnica de biorremediación que introduce microorganismos, nativos o exógenos, capaces de degradar contaminantes promoviendo su degradación o transformación. Los microorganismos nativos son preferibles debido a la adaptación que presentan al sitio contaminado, se logra una mayor remoción de contaminante y no se perturba significativamente al suelo (Potin *et al*., 2004). La importancia de esta investigación radica en la identificación de hongos que puedan ser utilizados para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, a partir de técnicas de biorremediación.

Materiales y métodos

La selección del sitio muestreado se hizo bajo las recomendaciones mencionadas por Morales-Guzmán *et al*. (2017), quienes sugieren que el muestreo se realice en suelos que tengan aproximadamente entre 50 y 100 años contaminados con hidrocarburos, para tener mayor probabilidad de aislar microorganismos con la capacidad de utilizar el contaminante. Por eso se seleccionó una Estación de Ferrocarril de Zacatecas, México, donde se realizó un muestreo dirigido en una zona de 0.39 Ha aproximadamente, utilizando como referencia la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 (Secretaría de Gobernación, 2012).

Se aislaron dos hongos mediante la técnica de extensión con varilla de la muestra compuesta de suelo contaminado con hidrocarburos. Los aislados se caracterizaron morfológicamente, macroscópicamente observando y describiendo la pigmentación, textura y margen de las colonias y microscópicamente por la técnica de microcultivo de Riddell (Al-Dhabaan, 2018), identificándose los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, los cuales han sido reportados como hidrocarbonoclastas por otros autores (Vázquez

Martínez *et al*., 2017). Las pruebas de degradación consistieron en la preparación de matraz semilla que contenían 100 mL del medio glucosa sales y dos colonias de hongos (individualmente) por matraz, manteniéndose en incubación durante 3 días.

Después se agregó 1% de aceite lubricante residual, y se dejó en incubación 2 días más. Se realizaron cinéticas de degradación o crecimiento, en donde se prepararon matraces con 100 mL de medio mineral líquido y con 2% de hidrocarburo residual de fracción pesada (Barnes *et al*., 2017). Las pruebas se realizaron cada 7 días hasta un total de 84 días (por triplicado), y se inocularon con 0.2 g de la biomasa que fue obtenida al filtrar los matraces semilla. También se preparó un control durante el bioensayo, que contenía todo excepto el inóculo. La cuantificación de la degradación del hidrocarburo se hizo a partir de la medición del aumento de la biomasa, y la del hidrocarburo residual, gravimétricamente utilizando como referencia la norma NMX-AA-005-SCFI-2013 (Secretaría de Economía, 2013).

Resultados y discusión

En la Figura 1a se muestran el aumento de biomasa en peso seco de ambos hongos. Se observa que el hongo que tuvo mayor crecimiento fue *Aspergillus*, seguido de *Penicillium*. Asimismo, se observa que el crecimiento es lento y relativamente constante entre el día 0 y 14, por lo que se puede suponer que en esos días los hongos se encontraban en una fase de adaptación debido a que el medio ahora contenía hidrocarburo, mientras que a partir del día 14 se da de manera exponencial, manifestándose en la disminución del aceite residual (Figura 1b).

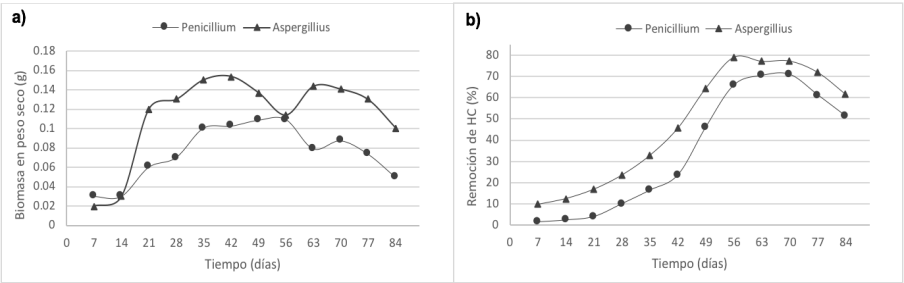


Figura 1. a) Incremento de biomasa (peso seco), b) Remoción de hidrocarburo (HC), durante la cinética de degradación monitoreada cada 7 días y hasta el día 84.

En la Figura 1b se observa que la degradación del hidrocarburo se da de manera exponencial a partir del día 14, en el caso de *Penicillium*, para *Aspergillus* la degradación se presenta de manera exponencial desde el comienzo (Quiñones, 2020). Esto se puede deber a que el género *Aspergillus* se encuentra con mayor frecuencia en sitios contaminados con hidrocarburos y porque la literatura sugiere que presenta de las mayores tasas de biorremediación (Vázquez Martínez *et al*. 2017). En ambos casos, a partir del día 70 comienza a haber una disminución en la degradación, esto se asocia con la fase de decaimiento o muerte del hongo.

En la Figura 2 se muestran los porcentajes de remoción obtenidos durante la cinética de degradación donde se aprecia que para el día 56 *Aspergillus* removió el 78.89% y *Penicillium* con 65.90%, estos porcentajes pueden cambiar en función del compuesto a degradar y a la variación de la capacidad degradativa entre diferentes cepas, aunque los hongos pertenezcan al mismo género (Araujo *et al*., 2015).

Este comportamiento y los porcentajes de remoción obtenidos son similares a los reportados por Petit *et al*., 2013. Debido a que la contaminación del suelo con hidrocarburos se da con frecuencia, a los resultados obtenidos y a la información reportada en la literatura sobre la utilización de hongos para la biorremediación, los hongos de este estudio se pueden emplear para la recuperación de sitios contaminados tomando en cuenta los factores que afectan la biorremediación, entre los factores más importantes se encuentran las características del contaminante como la concentración, la biodisponibilidad y la toxicidad; las características fisicoquímicas del suelo; factores microbiológicos como la diversidad metabólica, la genética microbiana, la tolerancia a la toxicidad, entre otros; y la metodología en cuestión de concentración y heterogeneidad del inóculo (Ossai *et al*., 2020). Las ventajas de la bioaumentación como estrategia de remediación la hacen factible para la recuperación de suelos contaminados, reduciendo las concentraciones del contaminante hasta valores admisibles por la normatividad o incluso menores (Perdomo, 2020).

Conclusiones

Se aislaron e identificaron hongos autóctonos de un sitio contaminado con hidrocarburos los cuales se afiliaron a los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, mismos que han sido clasificados como microorganismos hidrocarbonoclastas. Los porcentajes de remoción obtenidos en la cinética de degradación de aceite residual por aislados fúngicos a los 56 días fueron de 78.89% para *Aspergillus* y 65.90% para *Penicillium*. Esto indica que tienen potencial para utilizar los hidrocarburos de fracción pesada como fuente de carbono, al incrementarse su biomasa y disminuir la concentración del aceite residual en el medio, por lo que su presencia en suelo favorecerá la aplicación de una tecnología de biorremediación en el sitio para la recuperación de este recurso no renovable.

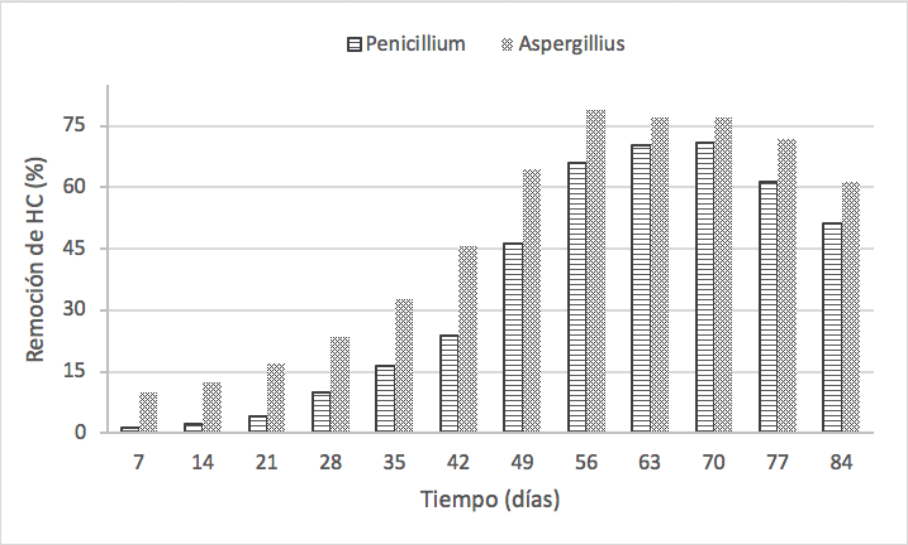


Figura 2. Porcentaje de remoción de hidrocarburo en la cinética de degradación.

Literatura citada

Acevedo, D. (2012). Uso de métodos directo e indirecto en la caracterización de un sitio contaminado por hidrocarburos. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México.

Al-Dhabaan, F. A. (2018). Morphological, biochemical and molecular identification of petroleum hydrocarbons biodegradation bacteria isolated from oil polluted soil in Dhahran, Saud Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*.

Araujo, J., Yegres, F., Barreto, G., Antequera, A., Depool, B., y Rojas, Y. (2015). Biocatalizadores fúngicos hidrocarbonoclásticos del género *Aspergillus*

para la descontaminación de agua con Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPAs) *Revista Cubana de Química*. 28(2), 703-735.

Barnes, N. M., Khodse, V. B., Lotlikar, N. P., Meena, R. M., y Damare, S. R. (2017). Bioremediation potential of hydrocarbon-utilizing fungi from select marine niches of India. *Biotech*, 3(2018), 8-21.

Botello, A. V., Réndon, J. v., Gold-Bouchot, G., y Agraz-Hernández, C. (2005). Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias.

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2018). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Publicada en el Diario Oficial de la Federación.

Daccò, C., Girometta, C., Asemoloye, M. D., Carpani, G., Picco, A. M., & Tosi, S. (2020). Key fungal degradation patterns, enzymes and their applications for the removal of aliphatic hydrocarbons in polluted soils: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 147, 104866. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830519309552

Martínez, J. G., Hernández, M. A., Ojeda, M. E., y García, M. J. (2011). Condiciones ambientales y de nutrientes óptimos para el desarrollo del microorganismo hidrocarbonoclasta *Penicillium* sp. in vitro. *Akadémeia*, 9, 97-112.

Morales-Guzmán, G., Ferrera-Cerrato, R., Rivera-Cruz, M. d., Torres-Bustillos, L. G., Arteaga-Garibay, R. I., Mendoza-López, M. R., Alarcón, A. (2017). Diesel degradation by emulsifying bacteria isolated from soils polluted with weathered petroleum hydrocarbons. *Applied Soil Ecology*, 121(2017), 127–134.

Ossai, I. C., Ahmed, A., Hassan, A., & Hamid, F. S. (2020). Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 17, 100526. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235218641830364X

Perdomo Rengifo, M. C. (2020). Evaluación del efecto de la bioaumentación con hongos durante la degradación de borras aceitosas de la industria petrolera (Tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana.

Petit, K. A., Colina, J. L., Yegres, F. E., Moran, H. G., y Richard-Yegres, N. (2013). Biodegradación de hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA) por hongos aislados de aguas contaminadas con petróleo, podredumbre blanca, y acíbar de Aloe vera. *QuímicaViva* (3), 288-304.

Potin, O., Rafin, C., & Veignie, E. (2004). Bioremediation of an aged polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)-contaminated soil by filamentous fungi isolated from the soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 54(1), 45-52. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2004.01.003

Quiñones Robles, V. (2020). Aislamiento y caracterización de microorganismos con potencial para biodegradar hidrocarburos. (Tesis de grado), Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas, Instituto Politécnico Nacional.

Secretaría de Economía. (2013). Norma Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013, Análisis de Agua- Medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba.

Secretaría de Gobernación. (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 Límites Máximos Permisibles de Hidrocarburos en Suelos y Lineamientos para el Muestreo en la Caracterización y Especificaciones para la Remediación.

Vázquez Martínez, A., Rodríguez Casasola, M. T., Cruz Mondragón, C., Ríos Leal, E., Esparza García, F. J. (2017). *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 4(1), 58-64. https://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/docs/RMAE%20-vol%204_1_2017/7%20RMAE_C2016-50-Hongos-(Nota%20Tecnica).pdf

Relaciones entre relieve y suelo en el volcán Tláloc, ciudad de México

Ma. de Lourdes Rodríguez Gamiño[1]
Jorge López Blanco[2]
Gilberto Vela Correa[3]
Marina Ferreira Ocaña[1]

Resumen

Se analizaron las propiedades morfo-genético-dinámicas del relieve, con respecto a algunas propiedades morfo-físico-químicas del suelo, en siete sitios con perfil (S1 a S7), en la ladera norte del Volcán Tláloc, CdMx. Se caracterizó la morfometría del relieve local en cada sitio, asimismo, su origen, tipo, unidad morfogenética, crono-litología y la morfodinámica dominante. Para cada sitio de perfil de suelo, se realizó una calicata, su descripción morfológica, se tomó muestra de cada horizonte y en laboratorio se obtuvieron sus propiedades (Da, textura, pH, materia orgánica, CIC). Se encontró que en la porción superior de la ladera,

[1]Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. Email: lulugamino@hotmail.com.

[2]Global Change Consulting.

[3]Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Laboratorio de Edafología.

la MO es alta, Da baja, pH moderadamente ácido y una CIC alta. En la porción media, la MO es baja, la densidad aparente igual a la unidad, el pH ligeramente ácido y CIC media. La porción inferior, con pendientes poco inclinadas que permiten la acumulación de materiales aluviales, más profundidad del horizonte A, MO muy pobre y Da <1, con textura arenosa. La CIC es baja e influye en un pH neutro. Estos valores se relacionan con la actividad antrópica que modifica el relieve y las características del suelo.

Palabras clave: *morfogénesis, morfodinámica, pedogénesis, propiedades físico-químicas*.

Introducción

Desde finales del siglo 19 se ha aceptado que la topografía, el relieve, es uno de los factores que forman el suelo (Glinka, 1927). Este factor, influye en las características microclimáticas y meteorológicas, que afectan los regímenes hidrológicos y de temperatura del suelo, esto es, el relieve controla directa o indirectamente la distribución espacial de las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo (Gessler *et al*., 2000; Florinsky, 2016).La in-

fluencia del relieve en la pedogénesis se ha conocido durante mucho tiempo, y la relación relieve-suelo ha sido utilizada para el desarrollo del conocimiento de la génesis del suelo (Jenny, 1941; Birkeland, 1999).Los procesos morfo-genético-dinámicos del relieve generan inestabilidad en el suelo, mientras que los biológicos favorecen la estabilización y la formación de suelos bien desarrollados (Jungerius y Van der Meulen, 1998).Algunas características del suelo (morfológico-físico-químicas), varían en función de las propiedades morfo-genético-dinámicas del relieve, a partir de los procesos pedogenéticos que operan durante diferentes períodos de tiempo (Hall, 1983; Krasilnikov *et al*., 2005; Vasu *et al*., 2016).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es analizar las propiedades morfo-genético-dinámicas del relieve, con respecto a algunas propiedades morfológico-físico-químicas del suelo, en siete sitios con perfil de suelo (de 3,642 a 2,372 msnm), en la ladera norte del Volcán Tláloc, en el sur de la Ciudad de México.

Materiales y métodos

Área de estudio. La ladera norte del complejo volcánico Tláloc, se localiza al sureste de Milpa Alta, con una superficie de 3,963 ha (Figura 1). Geológicamente se formó, principalmente en el Holoceno, del periodo Cuaternario (Martin del P., 1980).El clima es templado subhúmedo con lluvias de verano (García, 1998). Las unidades de suelo son: andosol, leptosol, phaeozem y regosol (INEGI, 1999). Los tipos de vegetación son: bosque de pino, pino-encino, pastizal y matorral. Los principales usos del suelo son el forestal, agrícola, pecuario y urbano (Rodríguez-Gamiño, 2008). La actividad económica es la agricultura de temporal, con cultivos de nopal verdura y avena forrajera.

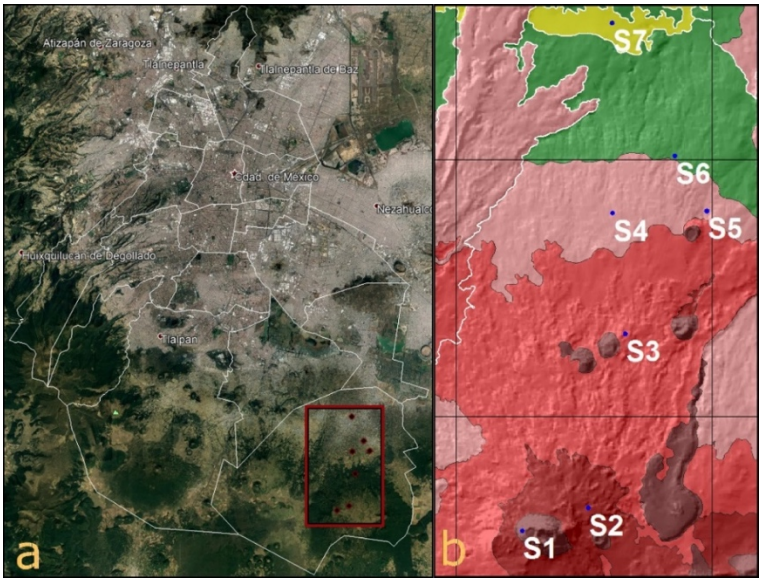


Figura 1. Localización general del área de estudio (a), y en (b) localización específica de los sitios de perfiles de suelo (S1 a S7). Fuente: Google Earth (2021) y elaboración propia.

Se obtuvieron las propiedades morfo-genético-dinámicas del relieve a partir del levantamiento geomorfológico del ITC (Verstappen y van Zuidam, 1991). Se caracterizaron las principales variables de la geometría del relieve local en cada sitio de perfil (altitud, pendiente y orientación). También se determinó el origen del relieve, tipo, unidad morfogenética, crono-litología y

los procesos geomorfológicos dominantes. En campo se ubicaron los perfiles de suelo (S1 a S7). Para cada sitio de perfil se realizó la apertura de una calicata, en donde se identificaron los horizontes y se realizó la descripción morfológica (Schoeneberger *et al*., 2002). Se tomaron las muestras de suelo y en laboratorio se obtuvieron las propiedades físico-químicas: densidad aparente (Da; SEMARNAT, 2002), la textura por el método de Bouyucos, pH en agua relación 1:2.5 por el método del potenciómetro con electrodo de vidrio; materia orgánica (MO) (SEMARNAT, 2002), asimismo, la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Por último, se realizó el análisis de la información para obtener los resultados y las conclusiones.

Resultados y discusión

Características del relieve. Las características morfogenéticas y de procesos dominantes de los sitios de los perfiles de suelo, se muestran en el Cuadro 1. En ella, se observa que la porción superior, está conformada por dos unidades: 1. Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña (interiores y exteriores) de cono de escoria basáltica del Holoceno (3,642 msnm), con proce-

sos dominantes erosivo/acumulativo gravitacional, y erosivo hídrico de flujo concentrado, y 2. Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña superiores de flujos lávicos de basalto, andesita y depósitos piroclásticos, del Holoceno, con procesos dominantes del tipo erosivo hídrico de flujo concentrado y laminar.

Cuadro 1. Características del relieve (morfogenético-dinámicas) en los sitios de perfil de suelo del volcán Tlaloc, CdMx.

Sitio (Perfil)	Clave Unidad Morfogenética	Altitud (m)	Orientación (Cuadrante °)	Pendiente (°)	Morfogénesis y tipo/clase de relieve	Proceso geomorfológico dominante
S1	*LSintExtcct*	3,642	S50°W	28°	Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña (interiores y exteriores) de cono de escoria basáltica del Holoceno	Erosivo/acumulativo gravitacional, y erosivo hídrico de flujo concentrado
S2	*LSmflav*	3,520	S09°E	2°	Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña **superiores** de flujos lávicos de basalto, andesita y depósitos piroclásticos, del Holoceno	Erosivo hídrico de flujo concentrado y laminar
S3	*LMmflav*	3,160	S07°E	4°	Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña **medias** de flujos lávicos de basalto, andesita y depósitos piroclásticos, del Holoceno	Erosivo hídrico de flujo concentrado y laminar
S4	*LMmflav*	2,834	N28°W	10°	Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña **inferiores** de flujos lávicos de basalto, andesita y depósitos piroclásticos, del Holoceno	Erosivo hídrico de flujo concentrado y laminar
S5	*LInfmflav*	2,762	N05°E	11°	Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña **inferiores** de flujos lávicos de basalto, andesita y depósitos piroclásticos, del Holoceno	Erosivo hídrico de flujo laminar y concentrado, erosivo/acumulativo eólico estacional, y modelado antrópico (surcos y terrazas)
S6	*Pdacum*	2,645	N45°W	6°	Exógeno acumulativo aluvial complejo (con Endógeno volcánico acumulativo) de piedemonte local intermontano con depósitos aluviales y piroclásticos, sobre flujos lávicos, del Holoceno	Erosivo hídrico de flujo laminar y concentrado, erosivo/acumulativo eólico estacional, y modelado antrópico (terrazas agrícolas)
S7	*Plaluinter*	2,372	S75°E	1°	Exógeno acumulativo aluvial de planicie intermontana de depósitos aluviales y piroclásticos, del Holoceno	Acumulativo hídrico de flujo laminar y erosivo/acumulativo eólico estacional

En la porción media de la ladera, se encuentran tres unidades morfogenético-dinámicas que son: 1. Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña medias de flujos lávicos de

basalto, andesita y depósitos piroclásticos, del Holoceno y la unidad 2. Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña inferiores de flujos lávicos de basalto, andesita y depósitos piroclásticos, del Holoceno, ambas unidades presentan procesos dominantes erosivo hídrico de flujo concentrado y laminar, y la unidad 3. Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña inferiores de flujos lávicos de basalto, andesita y depósitos piroclásticos, del Holoceno, con procesos Erosivo hídrico de flujo laminar y concentrado, erosivo/acumulativo eólico estacional, y modelado antrópico (con surcos y terrazas).

La porción inferior de la ladera está representada por dos unidades: 1. Exógeno acumulativo aluvial complejo (con Endógeno volcánico acumulativo) de piedemonte local intermontano con depósitos aluviales y piroclásticos, sobre flujos lávicos, del Holoceno, con procesos dominantes del tipo Erosivo hídrico de flujo laminar y concentrado, erosivo/acumulativo eólico estacional, y modelado antrópico (con terrazas agrícolas),y 2. Exógeno acumulativo aluvial de planicie intermontana de depósitos aluviales y piroclásticos, del Holoceno, con procesos dominantes del

tipo acumulativo hídrico de flujo laminar y erosivo/acumulativo eólico estacional.

Características físico-químicas del suelo. En el Cuadro 2, se muestran las propiedades físicas y químicas de los sitios del perfil de suelo. En la porción superior de la ladera, se tiene que: el suelo del perfil en el S1 presenta una profundidad total de 160 cm, donde el horizonte superficial presentó una profundidad de 60 cm, con una Da de 0.8 g/cm^3 y una clase textural de franco arenosa, el pH es moderadamente acido, influido por un alto porcentaje de MO (8.6%), la cual influye en la CIC (29.0 meq/100g). El S2 presenta una profundidad total de 125 cm, el horizonte A tiene 40 cm, una Da de 0.46 g/cm^{3}influenciada por un alto porcentaje de MO que es de 24%. La MO influye en el pH que es moderadamente ácido y por lo tanto con una buena CIC, que es del 57.2 meq/100g.

En la porción media de la ladera, el perfil del S3 presenta una profundidad total de 110 cm y el horizonte superficial 10 cm, una Da de 0.63 g/cm^{3}influenciada por la textura migajón arenosa y la MO que es alta (9.5%), y que influye en un valor alto de CIC

(37.9 meq/100g). El S4 presenta una profundidad total de 95 cm y el horizonte A un espesor de 27 cm, con una Da de 0.99 g/cm^3 que está relacionada con la baja MO de apenas 1.3% y la textura de arena migajosa que influye en esta propiedad. La MO influye en la CIC que es media de 19.55 meq/100g y en el pH que ligeramente ácido. Por otra parte en el S5, el perfil presentó una profundidad >160 cm con un espesor en el horizonte A de 40 cm. Por la actividad antrópica la Da presentó 1.1g/cm^3 significa que el suelo está compactado, además la MO es baja en porcentaje, lo que da por resultado una baja CIC (13 meq/100g).

En la porción inferior de la ladera, el perfil del S6 presenta una profundidad total >190 cm, el horizonte superficial tiene un espesor de 55 cm, con una Da de 0.87g/cm^3, influenciada por el bajo porcentaje de MO (1.2%) y por la textura de arena migajosa. Por otra parte, hay una baja CIC (13.12 meq/100g) y presenta un pH que tiende a la neutralidad. Por último, el S7 tiene una profundidad total >120 cm, con un espesor en el horizonte superficial de 70 cm. La Da aparente de 0.66 g/cm^3 está relacionada con

la textura que se caracteriza por ser arena migajosa. La MO es baja con 5.4%, con pH neutro y una CIC baja, con 12 meq/100g.

Relaciones entre las propiedades morfo-genético-dinámicas del relieve, con respecto a las propiedades morfológico-físico-químicas del suelo. En la porción superior, en los S1 y S2,el origen del relieve tiene una influencia en la profundidad del horizonte superficial, dado que por ser endógeno volcánico acumulativo de laderas de cono de escoria y de laderas superiores de flujos lávicos y depósitos piroclásticos (material fragmentario)y por los procesos hídricos de flujo laminar que influyen en la MO que en promedio es de 16.3%, en la densidad que es menor a la unidad, con un pH moderadamente ácido y una CIC alta debido a que los cationes intercambiables no tiene movilidad que se atribuye además a la vegetación natural. Los materiales de origen como los materiales piroclásticos están relacionados con la textura que presenta un mayor porcentaje de arenas. Los sitios están influenciados por una estabilidad del ecosistema, lo que permite un mayor desarrollo del suelo.

Cuadro 2. Características físico-químicas de los sitios de perfil del suelo en la ladera norte del volcán Tláloc, CdMx.

Sitio (Perfil)	Clave Unidad Morfogenética	Altitud (m)	Orientación (Cuadrante °)	Pendiente (°)	Morfogénesis y tipo/clase de relieve	Proceso geomorfológico dominante
S1	*LSinfExtcd*	3,642	S50°W	28°	Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña (interiores y exteriores) de cono de escoria basáltica del Holoceno	Erosivo/acumulativo gravitacional, y erosivo hídrico de flujo concentrado
S2	*LSmflav*	3,520	S09°E	2°	Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña **superiores** de flujos lávicos de basalto, andesita y depósitos piroclásticos, del Holoceno	Erosivo hídrico de flujo concentrado y laminar
S3	*LMmflav*	3,160	S07°E	4°	Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña **medias** de flujos lávicos de basalto, andesita y depósitos piroclásticos, del Holoceno	Erosivo hídrico de flujo concentrado y laminar
S4	*LMmflav*	2,834	N28°W	10°	Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña **inferiores** de flujos lávicos de basalto, andesita y depósitos piroclásticos, del Holoceno	Erosivo hídrico de flujo concentrado y laminar
S5	*LMmflav*	2,702	N05°E	11°	Endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña **inferiores** de flujos lávicos de basalto, andesita y depósitos piroclásticos, del Holoceno	Erosivo hídrico de flujo laminar y concentrado, erosivo/acumulativo eólico estacional, y modelado antrópico (surcos y terrazas)
S6	*Pdecum*	2,645	N45°W	6°	Exógeno acumulativo aluvial complejo (con Endógeno volcánico acumulativo) de piedemonte local intermontano con depósitos aluviales y piroclásticos, sobre flujos lávicos, del Holoceno	Erosivo hídrico de flujo laminar y concentrado, erosivo/acumulativo eólico estacional, y modelado antrópico (terrazas agrícolas)
S7	*Palunter*	2,372	S75°E	1°	Exógeno acumulativo aluvial de planicie intermontana de depósitos aluviales y piroclásticos, del Holoceno	Acumulativo hídrico de flujo laminar y erosivo/acumulativo eólico estacional

En la porción media, los perfiles en S3, S4 y S5, el relieve es endógeno volcánico acumulativo de laderas medias e inferiores de flujos lávicos y depósitos piroclásticos, procesos dominantes erosivo hídrico, erosivo/acumulativo eólico, y modelado antrópico, lo anterior influye en la profundad del horizonte superficial y por lo tanto en la MO que presenta en promedio un bajo porcentaje que influye en la Da que es igual a la unidad, lo que indica un suelo compactado, con un pH ligeramente ácido por la acumulación de

los cationes intercambiables que influyen en la CIC que tiene valores medios, influenciados por la actividad agrícola.

En la porción inferior, en S6 y S7, que corresponde a relieve exógeno acumulativo aluvial de piedemonte local intermontano y de planicie intermontana, con depósitos aluviales y piroclásticos, con procesos hídricos, eólicos, y modelado antrópico, condicionan las pendientes poco inclinadas (1°-6°) que permiten la acumulación de materiales aluviales, e influyen en la profundidad del horizonte superficial (70cm, prof. total>120cm) y en la baja CIC debido a la acumulación de cationes intercambiables producto del transporte por procesos hídricos, que influye también en el pH neutro. La MO es muy pobre, esto se debe a las actividades agrícolas, y la Da es menor a la unidad.

Conclusiones

Los horizontes superficiales de los sitios de la parte superior y media de la ladera son profundos, ricos en MO, con una Da menor a la unidad, un pH ácido y una CIC alta, esto se atribuye al relieve endógeno volcánico acumulativo de laderas de cono de escoria y de laderas de flujos lávicos y depósitos piroclásticos.

Los sitios de la porción inferior presentan un relieve poco inclinado, son áreas de acumulación de materiales aluviales, que influyen en un horizonte superficial profundo y compacto, debido a que la MO es pobre. La CIC es baja, por la presencia de cationes intercambiables acumulados por procesos de transporte de los materiales de origen. Además, se atribuye a estas propiedades la actividad antrópica que modifica el relieve y las propiedades del suelo.

Literatura citada

García, E. (1998), *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, 5ª ed. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México.

Gessler PE, OA Chadwick, F Chamran, L Althouse & K Holmes (2000). Modeling Soil-Landscape and Ecosystem Properties Using Terrain Attributes, *Soil Sci. Soc. Am. J*. 64:2046-2056.

Glinka, KD (1927). Dokuchaiev's ideas in the development of pedology and cognate sciences, USSR Acad. Sci. Russian Pedological Investigations, I.

Hall, G. F., (1983), Pedology and geomorphology, In: Wilding, L.P., Smeck, N.E., Hall, G.F. (Eds.), *Pedogenesis and Soil Taxonomy: I. Concepts and Interactions*. Elsevier, Amsterdam, pp.117-140.

Jenny, H., (1941), *Factors of Soil Formation*, Ed. Mac Graw-Hill Book Company.

INEGI, (1999), Carta Edafológica de Milpa Alta (E14-A49) a escala 1:50,000, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.

Jungerius, P. D. y F. Van der Meulen (1998), Erosion processes in a dune landscape along the Dutch coast, *Catena* 15, pp. 217-228.

Krasilnikov , P. V., N. E. García-Calderón, S.N. Sedov, E. Vallejo-Gómez y R. Ramos-Bello, (2005), The relationship between pedogenic and geomorphic processes in mountainous tropical forested area in Sierra Madre del Sur, Mexico, *Catena* 62: 14-44.

Martin del P. A., (1980), Vulcanología de la Sierra Chichinautzin, tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 131 p.

Schoeneberger, P. J., D. A. Wysocky, E. C. Benham, and W. D. Broderson (eds.), (2002), Field Book for Describing and Sampling Soils, Version 2.0 NRCS, Lincoln, NE.

SEMARNAT, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. 31 diciembre 2002. 73 p.

Vasu D, S Kumar Singh, P Tiwary, P Chandran, S Kumar Ray, and VP Duraisami (2016). Pedogenic processes and soil-landform relationships for identification of yield-limiting soil properties, *Soil Research*, CSIRO Pub., http://dx.doi.org/10.1071/SR16111.

Verstappen, H. Th. and R. A. van Zuidam (1991), The ITC system of geomorphologic survey: a basis for the evaluation of natural resources and hazards, ITC Publication, 10, 89 p.

Rompimiento del dique *El Camalote*, en Tamaulipas, y su efecto en el uso del suelo

Josué Francisco Pérez Sánchez[1]
Ruth del Carmen Galindo López[2]

Resumen

En mayo de 2021 uno de los diques que separan el agua dulce del agua salada en el estero El Camalote, que forma parte de la cuenca del Río Guayalejo Tamesí, se rompió. Esto provocó que el sistema de agua potable en la zona conurbada del sur de Tamaulipas se viera afectada por la alta salinidad. En este trabajo se realizó un estudio cualitativo del efecto en el suelo de la zona empleado para cultivo y para construcción con tierra. Se determinó que no hay efecto negativo cuando se emplea en elementos constructivos y se confirma el efecto negativo cuando se usa en sistemas de riego. Los valores máximos registrados fueron 1310 ppm de sólidos disueltos totales 250 ppm de dureza total y 120 ppm de alcalinidad total en el periodo del 11 al 31 de mayo de 2021.

---

[1] Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Autónoma de Tamaulipas. josue.perez@uat.edu.mx.

[2] Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller, Universidad Autónoma de Tamaulipas. rgalindo@docentes.uat.edu.mx.

Palabras clave: *Mezcla agua dulce-salada, construcción con tierra, uso agrícola*.

Introducción

La Cuenca Hidrológica del Río Guayalejo Tamesí (también conocida como Región Hidrológica del Río Pánuco) se compone de 12 subcuencas que distribuyen agua dulce en municipios de Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz; beneficiando a aproximadamente 640.000 habitantes. El río Tamesí proviene del río Guayalejo, cuando este entra al sistema lacunario del río Tamesí donde desarrolla 16 cuerpos de agua antes de desembocar en el río Pánuco (CONANP, 2020a, 2020b; INEGI, 2020), siendo únicamente salobre la Laguna de la Costa. Esta laguna se conecta directamente con el río Pánuco y está bordeada por las lagunas Chairel, Tancol, la Escondida, de la Puerta, de Champayán y El Camalote (Figura 1). Para evitar la mezcla del agua salobre que proviene del río Pánuco con el agua dulce que proviene del río Tamesí, existe una estructura hídrica conformada por bordos, barrotes, vertederos y esclusas (Arcos-Espinosa et.al., 2017). Desde febrero y marzo de 2020, se presentaban propuestas para

obras de mantenimiento del dique El Camalote para solucionar el problema de desabasto de agua en la zona sur de Tamaulipas (Gobierno de Tamaulipas – Prensa, 2020). Sin embargo, entre enero y mayo de 2021, la ruptura del dique produjo problemas en la calidad del agua para riego y para potabilización. En junio de 2021, el Gobierno de Tamaulipas emitió la convocatoria LPE-N036-2021 "Rehabilitación de las escotaduras en el barrote del estero el Camalote, primera etapa, en la Zona Sur del Estado de Tamaulipas", con la cual se han estipulado propuestas entre los 15 y 17 millones de pesos para las obras de reparación (Gobierno de Tamaulipas, 2021) buscando el restablecimiento del dique para asegurar que las aguas no se mezclen en el futuro, dado que las reparaciones impulsadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA-Prensa, 2021) que han logrado reestablecer la salinidad del agua para consumo son meramente temporales en el corto y mediano plazo.

Analizando los suelos en la cuenca del río Guayalejo Tamesí, se encontró que geológicamente la Zona Sur de Tamaulipas cuenta con un sistema compuesto por estratos del tipo lacustre y

lutita-arenisca (Arcos-Espinosa et.al., 2017). Este tipo de suelos, debido a sus propiedades mecánicas y físicas, son los mayormente empleados en la región en las diferentes técnicas de construcción con tierra (Roux Gutiérrez y Espuna Mujica, 2020). En la región predomina suelo tipo Regosoles, formado de cenizas volcánicas y de depósitos fluviomarinos con generalmente 1 m de profundidad específicamente en topoformas de llanuras aluviales inundables, lomeríos y en la llanura costera salina en áreas de bosques de encino-pino, hasta agrícolas, pastizales y matorrales (Arcos-Espinosa et.al., 2017; SEMARNAT, 2018).

El presente trabajo se basa en el análisis de las características del agua potable en el periodo del 11 al 31 de mayo de 2021 y el efecto de su empleo en dos sistemas de uso de suelo: suelo para construcción con tierra comprimida y suelo agrícola. El objetivo es cualificar el efecto real de la salinidad registrada durante el rompimiento del barrote del estero.

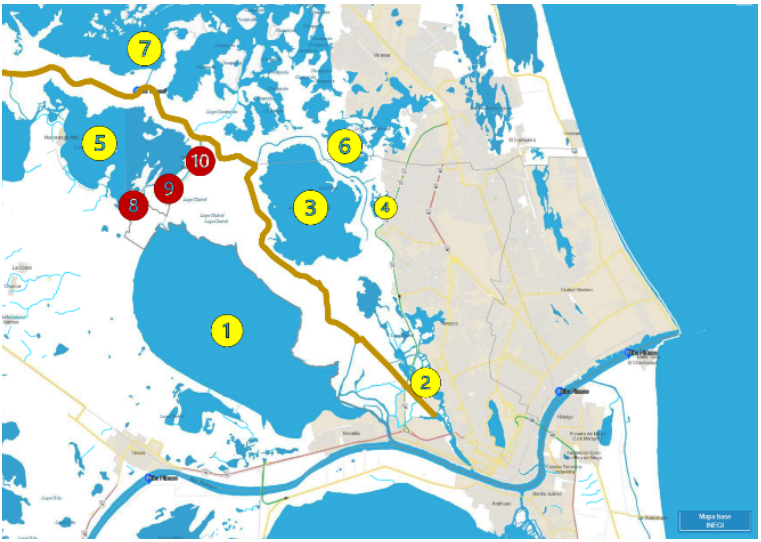


Figura 1. Último tramo de la Cuenca Hidrológica del Río Tamesí donde se encuentran las lagunas de la Costa (1), Chairel (2), la Escondida (3), Tancol (4), el Camalote (5), de la Puerta (6) y el Champayán (7). También se presentan el dique Mata la Monteada (8), dique el Montículo (9) y el Barrote Estero el Camalote (10) (adaptado de INEGI, 2020 y Arcos-Espinosa et.al., 2017).

Materiales y métodos

El agua se recolectó en Ciudad Madero y Tampico directamente de tomas de agua que forman parte de la red de distribución de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (COMAPA). Se seleccionó 1 vivienda en cada ciudad y el agua se re-

colectó diariamente en 3 muestras representativas (300 mL c/u) en los horarios 06:00, 14:00 y 22:00 h que representan los cambios de turno en las plantas de distribución de la zona. Adicionalmente se contó con dos referencias: 1000 mL de agua potable previo al rompimiento del barrote y 1000 mL de agua desionizada empleada en laboratorio. El análisis fue realizado en sitio con el uso de tiras reactivas marca Hach para determinar cloro libre, cloro total, dureza total, alcalinidad total y pH. Se empleó un analizador Hyqeleo para determinar la temperatura y los sólidos disueltos totales.

Los suelos empleados como materiales constructivos fueron del tipo limoso y arcilloso, obtenidos del banco Medrano en Altamira y fueron tratados para su uso en bloques de tierra comprimida por tamizaje en malla #40 (425 μm). Para caracterizarlos se adicionaron 100 mL de agua desionizada por cada 100 g de suelo bajo agitación constante por 10 min, posteriormente se filtró y secó a 110°C (x 3). Para el análisis del tipo agrícola, se tomó tierra de cultivo de la región agrícola de Altamira y tierra de cultivo de jardín en Tampico y Ciudad Madero, las que se mezclaron

para obtener una sola muestra y a esta mezcla se le realizó el mismo proceso de caracterización de los suelos limoso y arcilloso. Las pruebas mecánicas se realizaron con mezclas 70:30 limo:arcilla impregnadas con las aguas salobres en relación 50:50 para formar pastillas de 15 g (2.54 x 1 cm) prensadas a 10.000 psi. Para la prueba de cultivo se realizó la misma impregnación y se colocaron semillas de frijol ejotero para verificar la productividad de los suelos impregnados, sin impregnar y con sulfato de sodio añadido como fertilizante.

Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestran los resultados del análisis de sólidos disueltos totales y dureza total del agua recolectada en las dos ciudades. Se puede observar la correlación esperada entre el nivel de los sólidos disueltos y la dureza como CaCO3. Estos valores alcanzan para Ciudad Madero 1280 y 120 ppm y para Tampico 1310 y 250 ppm, respectivamente. Para realizar las pruebas mecánicas y de cultivo, se tomaron las muestras con los valores más altos. La Tabla 1 muestra los resultados para todos los parámetros analizados, además de los límites permisibles especifica-

dos en las normas NOM-127-SSA1-1994 y NOM-250-SSA1-2014, tomados como referencia. Se puede observar que tanto los valores de SDT y cloro total exceden los límites permisibles y esto directamente se relaciona con el aumento de la salinidad en el sistema de agua potable.

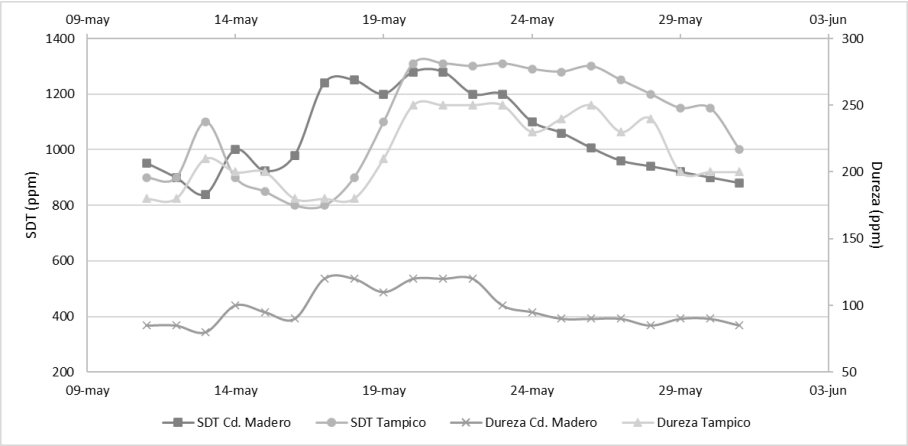


Figura 2. Perfil de sólidos disueltos totales y dureza entre el 11 y el 31 de mayo de 2021.

Tabla 1. Resultados del análisis de aguas y suelos.

Muestra	T (°C)	pH	SDT (ppm)	Dureza (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Cloro total (ppm)	Cloro libre (ppm)
Madero	23,5	7,2	1280	100	80	3	0
Tampico	23,5	7,2	1310	250	120	3	0
Previo	23,5	7,8	626	80	40	3	0
Destilada	24,0	6,8	1	0	0	0	0
Límite permisible	N.A.	6,5-8,5	1000	500	N.A.	0,5-1,5	0,5-1,5

En el caso del efecto en la mecánica de suelos, los resultados indican (Tabla 2) que en realidad no existe un efecto significativo de la cantidad de sales añadidas en el suelo empleado como material para construcción. Los esfuerzos a la compresión se mantuvieron estables y no se observa una tendencia en la variación de los parámetros mecánicos cuando se emplea el agua salobre.

Tabla 2. Resultados del análisis de aguas y suelos.

Muestra	Volumen (m3)	Masa (kg)	Peso volumétrico (kg/m3)	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)
Blanco	4.56037E-06	0.011983	2627.64	31.3	61.77
Tampico	4.56037E-06	0.012035	2639.04	33.4	65.92
Madero	4.56037E-06	0.011939	2617.99	30.7	60.59
Previo	4.56037E-06	0.0122	2675.22	32.9	64.93

Para el caso de la capacidad de cultivo, no fue posible observar la germinación de la semilla de frijol ejotero lo cual se corresponde con diversos estudios realizados con respecto al efecto de la salinidad de los suelos (López-Sánchez *et al*., 2018; Paz Pellat *et al*., 2018; Rueda, 2019). Sin embargo, tampoco se observó en el suelo que no fue impregnado ni regado con agua salobre. La diferencia entre ambos casos fue la aparición de sales cristalizadas (Figura 3) en las muestras de suelo tratadas con el agua salobre y esto solo hace referencia a la sobresaturación a la que se exponen los cultivos y la evidente limitante para su crecimiento.

Conclusiones

Para el caso del rompimiento del dique El Camalote en la Cuenca del Río Guayalejo Tamesí (Tamaulipas) y el problema de la mezcla de agua dulce con agua salobre, se encontró evidencia del aumento de la alcalinidad y la concentración de sólidos disueltos totales en las tomas de agua potable que surten a la zona sur del estado. Al analizar el efecto de estas condiciones anormales, se encontró que el suelo impregnado con la solución acuosa no afecta las propiedades mecánicas de los elementos para la construcción con tierra y se confirma el efecto negativo en la tierra para cultivo. Por lo tanto, el agua en estas condiciones además de no ser apta para el consumo humano se restringe su uso como agua para riego, mientras que no afecta los materiales y elementos constructivos vernáculos en la zona.

a)  b) 

Figura 3. Aparición de sales cristalizadas en las muestras de suelo saturadas (a) y (b) suelo sin saturar.

Literatura citada

Arcos-Espinosa, G., González-Turrubiates, D., Gutiérrez-López, M., Jiménez-Hernández, S. (2017). Marco Conceptual: La Cuenca del Río Guayalejo Tamesí, en *El recurso hídrico en Tamaulipas: La Cuenca del Río Guayalejo Tamesí*, editores Arcos-Espinosa, Gabriel; González-Turrubiates, Dora; Martínez-Cano, Esperanza. Ed. Palibrio, pp. 1-66.

CONAGUA-Prensa (2021). Conagua apoyará rehabilitación del dique El Camalote, en Tamaulipas, publicado el 04 de marzo de 2021, consultado el 20 de julio de 2021. Disponible en: https://www.gob.mx/conagua/prensa/conagua-apoyara-rehabilitacion-del-dique-el-camalote-en-tamaulipas?idiom=es

CONANP (2020a), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Convención de Ramsar, publicado el 11 de noviembre de 2020, consultado el 23 de julio de 2021. Disponible en https://ramsar.conanp.gob.mx/index.php/la-convencion/

CONANP (2020b), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Los Humedales y la Convención de Ramsar en México, Sitios Ramsar, publicado el 11 de noviembre de 2020, consultado el 23 de julio de 2021. Disponible en https://ramsar.conanp.gob.mx/index.php/sitios-ramsar/

Gobierno de Tamaulipas – Prensa (2020). Reparar el dique el camalote, prioridad para solucionar problema del agua en zona conurbada sur, publicado el 13 de marzo de 2020, consultado el 24 de julio d 2021. Disponible en: https://www.tamaulipas.gob.mx/seduma/2020/03/reparar-el-dique-el-camalote-prioridad-para-solucionar-problema-del-agua-en-zona-conurbada-sur/

Gobierno de Tamaulipas (2021). Licitación LPE-N036-2021, consultado el 28 de julio de 2021. Disponible en: https://www.tamaulipas.gob.mx/obras-publicas/licitaciones/licitacion-lpe-n036-2021/

INEGI (2020), Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Mapas – Hidrografía, consultado el 23 de julio de 2021. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/#Mapa

López-Sánchez, R. C., Gómez-Padilla, E., Campos-Posada, R., Eichler-Löbermann, B., Rodríguez-Larramendi, L. A., Guevara-Hernández, F., Gongora-Mora, G. (2018). Afectaciones en el rendimiento de líneas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) provocado por salinidad. *Cultivos Tropicales*, 39(1), 74-80.

Paz Pellat, F., L. A. Palacios Sánchez y C. Ramírez Ayala. 2018. Efecto de las sales solubles del suelo sobre las reflectancias de los cultivos y sus implicaciones en el diseño experimental. *Terra Latinoamericana* 36: 355-368. DOI: https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.400

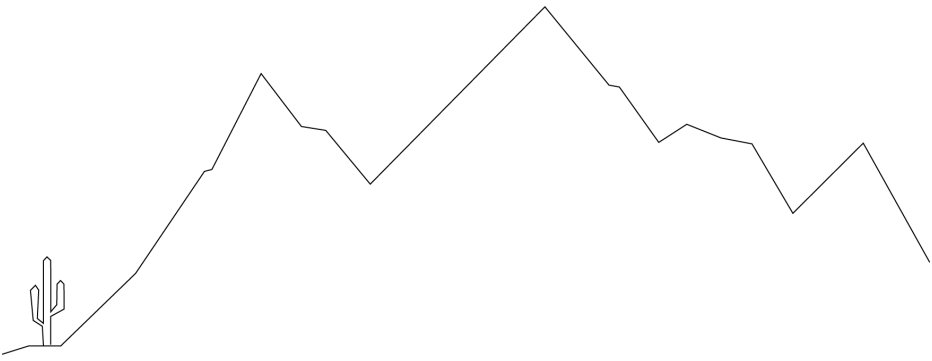
Roux Gutiérrez, R. S., Espuna Mujica, J. A. (2020). La Arquitectura de tierra en México. Construcción Con Tierra, 1(1), 14-23. Recuperado de https://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/construccioncontierra/article/view/948

Rueda, J. M. T. (2019). Aprovechamiento del suelo salino: agricultura salina y recuperación de suelos. *Apthapi*, 5(1), 1539-1563.

SEMARNAT (2018), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, Capítulo 3. Suelos. Disponible en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html

MESA 2

RELACIÓN SUELO-CLIMA-BIOTA



Aplicación foliar de quelatos de hierro y zinc, en el crecimiento de cuatro variedades de sorgo

Erik Daniel Martínez Amaya[1]
Rafael Delgado Martinez[1]
Laura Rosa Margarita Sánchez Castillo[1]

Resumen

La aplicación foliar de zinc (Zn) y hierro (Fe) a los cultivos es una forma eficaz de aumentar la concentración de estos elementos en los granos. Sin embargo, el desarrollo de fertilizantes foliares de Zn más eficientes está limitado por la falta de conocimiento sobre la distribución, movilidad y especiación del Zn y Fe en las hojas una vez que es absorbido por la planta. El objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento de cuatro variedades de sorgo, con diferentes aplicaciones de quelatos de hierro y zinc y su interacción. La presente investigación se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas ubicada en el Centro Universitario Adolfo López Mateos, Victoria, Tamaulipas. Se utilizó un diseño de bloques al azar, con ocho tratamientos y dos repeticiones, cada uni-

[1]Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Investigación y Posgrado. Cuerpo Académico en Sistemas de Producción de Frutales y Hortalizas. rdelgado@docentes.uat.edu.mx .

dad experimental consistió en cuatro surcos de 4 m de longitud y 80 cm de ancho. Los resultados nos indican que existió variabilidad en los elementos del clima, su comportamiento no fue estable, lo que pudo ocasionar una afectación al crecimiento de los cultivos. La altura de la planta fue diferente entre los tratamientos siendo superior en el hibrido Tehua y con una marcada diferencia entre tratamientos, así mismo, para las variables de longitud de espiga, diámetro de tallo y longitud de raíz en donde se observa una clara diferencia.

Palabras clave: *Biofortificación, fertilización foliar, nutrición vegetal*.

Introducción

Las estimaciones más recientes de la FAO (2019) indican que el número de habitantes incapaces de satisfacer sus necesidades de energía alimentaria en todo el mundo se redujo hasta 805 millones. La deficiencia de Zn en humanos es particularmente problemática para mujeres y niños en países en desarrollo (Kumssa *et al*., 2015) donde la mayor parte de la ingesta de alimentos consiste en granos de cereales (Zou *et al.*, 2012). En cultivos de alimentos básicos como los cereales, las bajas concentra-

ciones de Zn se deben no solo a las bajas concentraciones en el suelo, sino también a la baja biodisponibilidad del Zn en el suelo (Alloway, 2008). Recientemente se propuso que el sector agrícola proporciona la única "solución sostenible a la deficiencia de Zn en humanos a nivel mundial" (Cakmak *et al.*, 2017). Los suelos con bajas concentraciones de Zn disponible pueden mejorarse agregando fertilizantes de Zn, pero esta estrategia puede ser ineficaz y costosa en suelos con alta fijación de Zn (Graham y Rengel, 1993). Por lo tanto, para evitar estos problemas, pero aun así aumentar las concentraciones de Zn en los granos, también se puede utilizar la aplicación foliar de Zn (Prasad *et al.*, 2014). Este método puede complementar el suministro de nutrientes, superando el problema de la baja disponibilidad de nutrientes del suelo. En este sentido, se propuso evaluar el crecimiento de cuatro variedades de sorgo, con diferentes aplicaciones de quelatos de hierro y zinc y su interacción. Por lo cual planteamos la hipótesis de que el crecimiento de las cuatro variedades de sorgo estudiadas se incrementará bajo la aplicación de quelatos de hierro y zinc.

Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas ubicada en el Centro Universitario Adolfo López Mateos, Municipio de Victoria, Tamaulipas (23° 42' 53'' L N 99° 09' 13'' L O, con una altitud de 393 m). El material genético utilizado fueron 4 variedades de sorgo (Paloma, RB-Norteño, RB-Huasteco, Tehua) con un ciclo promedio de 130 días, todos proporcionados por el INIFAP- Rio Bravo. La preparación del sitio experimental se realizó una semana antes de la siembra y consistió en arar mediante barbecho al suelo a una profundidad aproximada de 0.20 m, 2 rastreos y se surco a 0.80 m. La siembra se llevó a cabo el día 4 de septiembre de 2020. Esta se realizó de manera manual a doble hilera colocando tres semillas por sitio a un distanciamiento de 0.20 m entre matas y 0.80 m entre surcos y a una profundidad de 1 cm. Las labores culturales, se realizaron conforme fue avanzando el desarrollo del cultivo, como deshierbes, fertilización, dos cultivadas y riego rodado con una frecuencia de cada 15 días. Los tratamientos consistieron en 4 variedades de sorgo y la aplicación de quelatos de ZN, FE, ZN+FE y un testigo dando un total

de 16 tratamientos y se utilizó un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones, cada unidad experimental consistió en cuatro surcos de 4 m de longitud y 80 cm de ancho. Para conocer las condiciones climáticas en que se desarrolló el cultivo se obtuvieron los valores de los elementos del clima como, radiación solar, precipitación y temperatura. Las variables respuesta se midieron a la cosecha, las cuales fueron: altura de planta, longitud de espiga, diámetro del tallo, longitud de raíz, y distribución de la materia seca en porcentaje (%). Los datos obtenidos en la cosecha fueron utilizados para realizar gráficas y visualizar diferencias entre tratamientos, se utilizó EXCEL, como herramienta de explicación de dicho comportamiento.

Resultados y discusión

En la figura 1, se observa el comportamiento de los elementos del clima como la radiación y la acumulación de la precipitación durante el clico de cultivo de los cuatro híbridos de sorgo, se observa que conforme avanza el ciclo del cultivo la radiación va disminuyendo, presentándose días nublados que ocasionaron cambios en la radiación incidente, así mismo, la presencia

de lluvias fue esporádica presentándose a los 53 DDS la mayor acumulación de esta (316 mm).

En la figura 2A se presenta la altura de planta, para las diferentes variedades de sorgo y las diferentes aplicaciones de quelatos, observándose cambios significativos entre variedades siendo Paloma la variedad que mayor altura expreso (+200 cm) y la variedad huasteco y norteño la de menor altura (-100 cm) mostrándose así las diferencias entre variedades, de igual forma en relación a la aplicación de quelatos siendo la ZN+Fe la que mejor expreso un comportamiento positivo. Para la Longitud de espiga la variedad Tehua fue la que mejor se comportó tendiendo valores superiores a los 15 cm, seguida de Paloma y por abajo de los 15 cm los otros dos materiales (Huasteco y Norteño), así mismo, el mismo comportamiento lo mantuvieron estas variedades para la variable grosor de tallo. Para la variable longitud de raíz se mantuvo la misma respuesta, siendo un indicativo de la estabilidad y adaptabilidad que tiene este material.

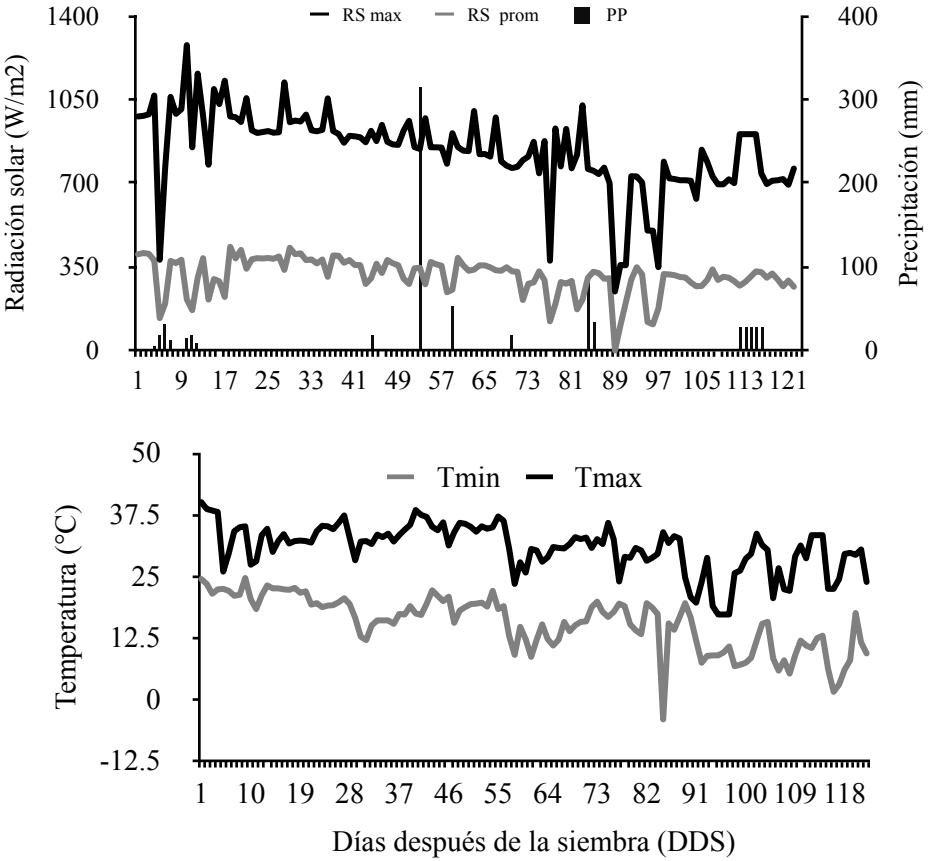


Figura 1. Dinámica de radiación solar y acumulación de la precipitación y temperatura máxima y mínima durante el ciclo de cultivo del sorgo en Victoria, Tamaulipas.

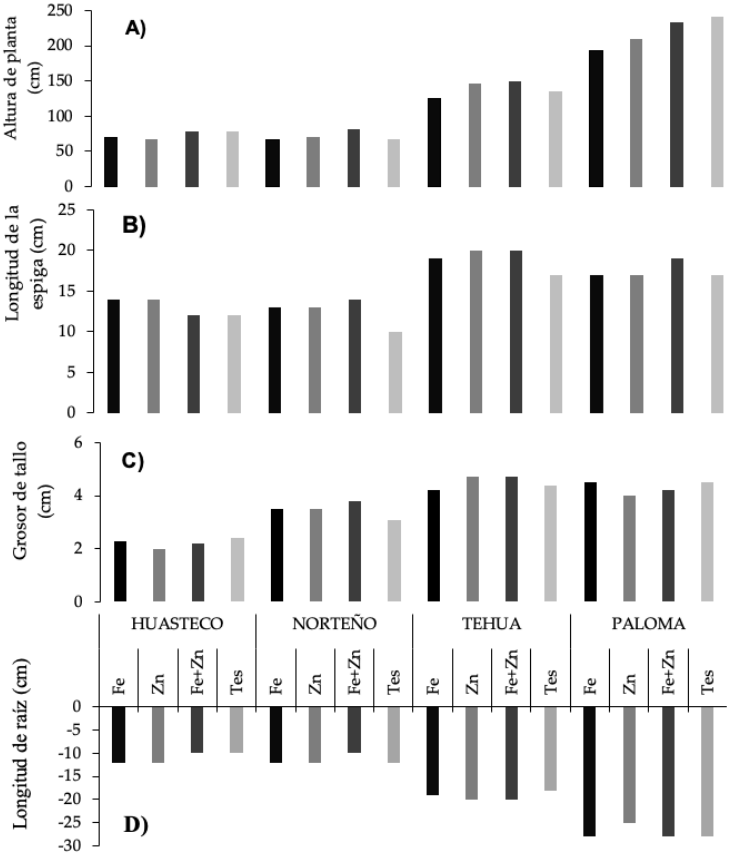


Figura 2. A) Altura de planta, B) Longitud de espiga, C) Grosor de tallo, D) Longitud de raíz en cuatro híbridos de sorgo bajo diferentes aplicaciones de quelatos en Victoria, Tamaulipas.

En la figura 3, se nos muestra la acumulación de materia seca que tuvieron los material genéticos en función de los tratamientos de aplicación de quelatos tanto de Zn como de Fe y su interacción y la comparación con el testigo y podemos observar los cambios que presentaron cada uno de los materiales y de qué forma se destinaron los recursos (Materia seca) en la variedad Paloma se obtuvo una mayor uniformidad y distribución de los recursos en cada uno de los órganos que se midieron a diferencias de las variedades Huasteco y Norteño que la mayor distribución de los recursos se destinó para hoja, en este sentido, Mohsin *et al*. (2014), indican que, el aumento de la concentración de Zn está directamente relacionado con el aumento de la biomasa, el rendimiento de grano, el diámetro y la longitud de la mazorca, que en gran parte explica el comportamiento que se obtuvo en este estudio, por otra parte, Piri (2012) menciona que la aplicación foliar es un enfoque más eficiente y efectivo para mejorar la absorción de micronutrientes por las plantas y así afectar positivamente el crecimiento de las mismas, Haslett *et al*. (2001) informaron que el Zn es altamente móvil dentro del sistema de la planta y

que el Zn aplicado foliar se transloca a las hojas tanto por encima como por debajo de la hoja tratada, así como por las raíces. Hajiboland *et al.* (2005) encontraron que la tolerancia a la deficiencia de Zn de un genotipo de arroz eficiente en Zn está relacionada con su capacidad para translocar Zn de las hojas más viejas a las emergentes. Se ha demostrado que la capacidad de distintos genotipos para la translocación de Zn de la raíz al tallo y su utilización con una cantidad reducida de Zn contribuye a su eficiencia (Cakmak *et al.,* 1996).

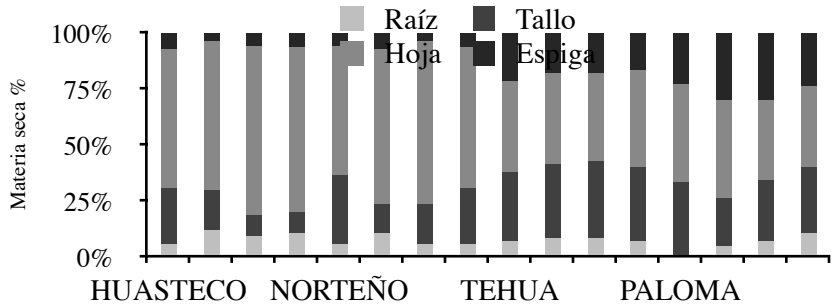


Figura 3. Porcentaje de materia seca destinada a diferentes órganos de la planta en cuatro híbridos de sorgo bajo diferentes aplicaciones quelatos en Victoria, Tamaulipas

Conclusiones

La variedad Paloma fue la que mejor expresó un crecimiento uniforme y positivo adaptándose a las condiciones, a diferencia de las variedades Huasteco y Norteño que mostraron comportamientos negativos respecto al crecimiento.

Literatura citada

Alloway, B. J. (Ed.). 2008. Micronutrient deficiencies in global crop production. Springer Science & Business Media.

Cakmak, I.; Yilmaz, A.; Ekiz, H.; Torun, B.; Erenoglu, B.; Braun, H.J. 1996 Zinc deficiency as a critical nutritional problem in wheat production in Central Anatolia. *Plant Soil* 180:165–172

Cakmak, I., McLaughlin, M. J., & White, P. 2017. Zinc for better crop production and human health, 411(1): 1-4

Graham, R. D., Hannam, R. J., & Uren, N. C. (Eds.). 2012. Manganese in Soils and Plants: Proceedings of the International Symposium on 'Manganese in Soils and Plants' Held at the Waite Agricultural Research Institute, The University of Adelaide, Glen Osmond, South Australia, August 22–26, 1988 as an Australian Bicentennial Event (Vol. 33). Springer Science & Business Media.

Hajiboland, R., Yang, X.E., Romheld, V., Neumann, G. 2005. Effect of bicarbonate on elongation and distribution of organic acids in root and root zone of Zn-efficient and Zn-inefficient rice (Oryza sativa L.) genotypes. *Environmental and Experimental Botany*. 54, 163-173.

Haslett, B. S.; Reid, R. J.; Rengel, Z. 2001. Zinc Mobility in Wheat: Uptake and Distribution of Zinc Applied to Leaves or Roots. *Annals of Botany*, 87(3): 379–386

Kumssa, D. B., Joy, E. J., Ander, E. L., Watts, M. J., Young, S. D., Walker, S., & Broadley, M. R. 2015. Dietary calcium and zinc deficiency risks are decreasing but remain prevalent. *Scientific. Report*, 5 (10974): 1-11

Mohsin, A.U.; Ahmad, A.U.H.; Farooq, M.; Ullah, S. 2014. Influence of zinc application through seed treatment and foliar spray on growth, productivity and grain quality of hybrid maize. *Journal Animal and Plant Science*, 24: 1494-1503

Piri I. 2012. Effect of phosphorus fertilizer and micronutrients foliar application on sorghum yield. *Annals of Biological Research*, 3, 3998–4001.

Prasad, R., Shivay, Y. S., & Kumar, D. 2014. Agronomic biofortification of cereal grains with iron and zinc. *Advances in Agronomy*, 125: 55-91.

Zou, C. Q., Zhang, Y. Q., Rashid, A., Ram, H., Savasli, E., Arisoy, R. Z., & Cakmak, I. 2012. Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries. *Plant and soil*, 361(1): 119-130.

Azospirillum brasilense y *Glomus intraradices* en la producción de plántulas de chile (*Capsicum annunm* L.) en almácigo

Alejandra Guadalupe Sánchez-Soria[1]
Alfredo Lara-Herrera[2]
Martha Patricia España-Luna[3]
Rodolfo de la Rosa Rodríguez[4]
José Manuel Pinedo Espinosa[3]

Resumen

En el estado de Zacatecas se produce la mayor cantidad de chiles secos en México. La calidad de la plántula es determinante en el proceso de producción de chiles. La principal forma en que aún se producen las plántulas es en almácigos rústicos en suelo. Mediante el uso de biofertlizantes se pueden tener ventajas importantes en la producción de plántulas de calidad, sin embargo, éstos han sido poco usados y existe poca información sobre su comportamiento en el desarrollo de las plántulas de chile, por lo cual, el

[1]Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía. Estudiante de licenciatura. potranquitaaileen@gmail.com.

[2] Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía. Cuerpo Académico Gestión del Desarrollo. alara204@hotmail.com.

[3] Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía. Cuerpo Académico Agrobiotecnología.

[4] Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería.

objetivo del presente trabajo fue evaluar la aplicación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en diferentes etapas de desarrollo de las plántulas en el almácigo. Se evaluó (a) un tratamiento testigo absoluto (TT) (sólo siembra en el suelo), (b) un tratamiento testigo sin aplicación de biofertilizantes, sólo vermicomposta (T), (c) aplicación de los biofertilizantes en el suelo antes de la siembra (S), (d) inoculación en el agua de riego cuando se inició la emergencia de las plántulas (R), y (e) aplicaciones en S y R (SR); en los tratamientos del (b) al (e) se aplicó lombricomposta. Se sembró semilla de chile "Mirasol" criolla. La emergencia, crecimiento y calidad de las plántulas fue mayor en los tratamientos (c) y (e). Con la aplicación del biofertilizante en el momento de la siembra (c) y en la siembra + en el riego (e) se tuvo el mayor crecimiento y calidad de las plántulas de chile.

Palabras clave: *Biofertilizante, microorganismos, vermicomposta, calidad de plántula.*

Introducción

El estado de Zacatecas es el principal productor de chiles deshidratados (secos) en México, ocupa el cuarto lugar en producción de chiles verdes (en fresco) (Bravo *et al*., 2010). El proceso de producción se inicia con la producción de la plántula. La generación de las plántulas aún se lleva a cabo en gran parte en almácigos rústicos en suelo, lo cual se debe a lo fácil, práctico y económico que es esta tecnología; la cual ha sido continuamente mejorada atendiendo las propiedades del suelo y las condiciones físicas para aislar el almácigo y protegerlo de las condiciones del clima. Otro aspecto tecnológico con el cual se puede mejorar la producción de las plántulas es el uso de biofertilizantes.

Los biofertilizantes son preparados de microorganismos aplicados al suelo y/o planta con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética, así como disminuir la contaminación generada por los agroquímicos (Armenta-Bojorquez *et al*., 2010); son insumos formulados con uno o varios microorganismos, los cuales, de una forma u otra, proveen o mejoran la disponibilidad de nutrientes cuando se aplican a los cultivos (Acu-

ña, s/f). El uso de biofertilizantes es una opción poco fomentada y utilizada en Mexico (Lara-González *et al*., 2010). La recomendación del uso de biofertilizantes puede hacerse inicialmente como un complemento a la fertilización sintética, con visión de sustituirla a mediano o largo plazo de acuerdo a las condiciones de suelo, manejo y respuesta del cultivo (Armenta-Bojorquez *et al*., 2010).

Existen diversas alternativas para aplicar los biofertilizantes: en el abono orgánico que se mezcla en el suelo previo a la siembra, mediante una solución con la que se humedece el suelo previo a la siembra, adherido a la semilla, después de la siembra sobre el suelo en el riego después de la emergencia, al momento del trasplante y después de éste (Acuña, s/f).

Entre los microorganismos más usados como biofertilizantes son las bacterias de los géneros *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter, Bacillus* y *Pseudomonas*; los hongos micorrizicos del género *Glomus*, además, *Trichoderma* principalmente como agente de biocontrol. *Azospirillum* se considera como parte de las bacterias que promueven el crecimiento vegetal o rizobaterias, las cuales

además fijan nitrógeno atmosférico de manera asimbiótica (Bashan *et al*., 2004). *Glomus sp.* es un hongo que se asocia con las raíces de las plantas favoreciendo la absorción de agua y nutrientes, principalmente de fósforo (Camargo-Ricalde *et al*., 2012). Sin embargo, los biofertilizantes son poco usados en la producción agrícola en México (Grageda-Cabrera *et al*., 2012), en parte debido a las pocas evidencias que demuestren su efectividad. El presente trabajo tiene por objetivo determinar el efecto de diferentes momentos de aplicación de un biofertilizante a base de la bacteria *Azospirillum brasilense* y el hongo micorrizico *Glomus intraradices* en el crecimiento y calidad de plántulas de chile en almácigo rústico en suelo.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en el rancho "Granja Sánchez", de la comunidad "Presa de Linares", Fresnillo, Zacatecas, con coordenadas 23°11' Latitud Norte, 102°57' Longitud Oeste y a 2127 msnm. El clima es seco estepario, BS1kw, temperatura media anual entre 12 y 18 °C.

Los microorganismos utilizados como biofertilizantes fueron de la marca Biogea®, con 1000 esporas de *Glomus intraradises* por mililitro y 10 millones de UFC de *Azospirillum brasilense* por mililitro. Las aplicaciones se realizaron en tres ocasiones durante el experimento, 7 mL disuelto en 0.5 L de agua en cada inoculación, aplicado a cada metro cuadrado de almácigo.

Fueron evaluados cinco tratamientos resultantes de la aplicación de los biofertilizantes en diferentes etapas de desarrollo de las plántulas. El suelo donde se instalaron los almácigos tenía 10 años sin cultivar. Cada tratamiento se instaló en 1 x 1 m^2; luego de preparar el terreno se aplicaron 40 L de vermicomposta y se mezcló en los 10 cm superficiales del suelo. Los tratamientos consistieron en: Testigo absoluto (TT), Testigo (sólo con composta) (T), Inoculación en la siembra (S), Inoculación en el riego de emergencia (R), e Inoculaciones en la siembra y en la emergencia (SR). Todas las inoculaciones se realizaron por la noche para evitar la incidencia de los rayos solares. El sistema de riego fue por goteo, con cinco cintas a lo largo de los almácigos, separadas a 20 cm, calibre 5000, 10 cm entre goteros, con flujo por gotero de 600

mL h^{-1}. La inoculación en el riego de emergencia se llevó a cabo con una regadera manual, para dosificar la cantidad exacta de microorganismos en los tratamientos que les correspondió esta aplicación.

La siembra se llevó a cabo el día 12 de enero de 2019, se sembró manualmente al voleo 110 g de semilla de chile guajillo, distribuida de manera homogénea. Sobre el suelo con la semilla se colocó una capa de aproximadamente 3 cm de arena, sobre la arena se aplicó una capa de paja molida de frijol y sobre la paja se colocó una película plástica con pequeñas perforaciones y detenida con piedras pequeñas alrededor. Bajo estas condiciones permaneció durante 18 días después de la siembra, momento en el cual se inició la emergencia y fueron retirados los materiales de acolchado (plástico, orgánico y mineral). Inmediatamente se colocó una estructura con arcos de alambrón, los cuales sostuvieron a lo largo de los almácigos una capa de tela de agrovelo con la cual se aisló completamente el almácigo. Durante el desarrollo de las plantas se aplicaron riegos cuando los sensores de humedad Watermark® entre los 7.5 y 15 cm de profundidad del suelo mar-

caron una tensión de -30 cBar, para mantener una condición de humedad entre -15 y -30 cBar.

Las variables evaluadas fueron: porcentaje de emergencia (PE) a los 46 días después de la siembra (DDS), las demás variables fueron determinadas a los 78 DDS, cuando las plántulas de la mayoría de los tratamientos presentaron las condiciones para el trasplante, diámetro de tallo (DT) determinado entre la base del tallo y las hojas derivadas del cotiledón, número de hojas (NH) se consideraron las hojas expandidas, excluyendo las derivadas del cotiledón, área foliar (AF) mediante un integrador de área foliar digital, los pesos secos de: hojas (PSH), tallos (PST) y raíz (PSR), el índice de clorofila (IC) mediante el medidor marca Minolta modelo SPAD-502. Para determinar los PST, PSH y PSR, de cada tratamiento y repetición se tomó una muestra representativa de 90 plántulas.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con cinco tratamientos y nueve repeticiones. A los resultados de las variables se les aplicó un análisis de varianza conforme al diseño experimental usado y se realizaron pruebas de medias me-

diante DMS, con el programa de computo Diseños Experimentales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, versión 1.1.

Resultados y discusión

La emergencia se presentó de manera diferenciada en cada tratamiento, los tratamientos que fueron inoculados en la siembra (S) presentaron la emergencia más anticipada, la cual ocurrió a los 12 días después de la siembra (DDS), mientras que en los tratamientos que no fueron inoculados en la siembra la emergencia se presentó a los 16 DDS. A los 18 DDS ya se había presentado la emergencia en todos los tratamientos, pero en diferente porcentaje, los tratamientos donde se llevó a cabo la aplicación de biofertilizantes en la siembra presentaron mayor porcentaje de emergencia (PE), los tratamientos con la inoculación en el riego (R) y sólo con la aplicación de composta (T) presentaron 42 y 40 PE, en el tratamiento que no recibieron ni composta ni biofertilizantes (TT) el PE fue sólo de 14 (Cuadro 1).

A los 78 DDS, el índice de clorofila (IC) no presentó diferencias entre los tratamientos ensayados. La longitud del tallo

(LT), diámetro de tallo (DT) y número de hojas (NH) fueron mayores en los tratamientos con la inoculación en la siembra (S), en el riego (R) y en ambas (SR), las plántulas desarrolladas donde sólo se aplicó composta (T) presentaron menor crecimiento, pero en el testigo absoluto (TT) el crecimiento fue aún menor. (Cuadro 1). La razón por la cual las plántulas presentaron mayor crecimiento en los tratamientos donde se aplicaron los biofertilizantes, se puede atribuir a los beneficios que aportan los microorganismos a las plántulas; estos resultados son similares a los reportados por Lara-González *et al*. (2010) con la inoculación de los mismos microorganismos (*Azospirillum brasilense* y *Glomus intrarradise*), pero provistos por otra empresa. Desde la germinación de la semilla los microorganismos inoculados tuvieron influencia en el PE, particularmente se atribuye al efecto del ácido indolacético liberado por *Azospirillum sp.* (Lara-González *et al*., 2010; Licea-Herrera *et al*., 2020).

Cuadro 1. Porcentaje de emergencia (PE), índice de clorofila (IC), longitud del tallo (LT), diámetro del tallo (DT) y número de hojas (NH) de plántulas de chile (*Capsicum annuum* L.) guajillo desarrolladas por el efecto de la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en diferentes momentos del proceso de producción en almácigo.

Tratamiento	PE (%)	IC (UNIDADES SPAD)	LT (cm)	DT (mm)	NH
T	40.0 d †	25.6 a	12.0 c	1.24 b	5.9 c
S	62.0 a	22.4 a	16.7 a	1.65 a	7.4 a
R	42.0 c	24.8 a	15.6 a	1.59 a	6.5 bc
SR	59.0 b	22.2 a	13.4 b	1.69 a	7.0 ab
TT	14.0 e	27.0 a	3.1 d	0.45 c	2.3 d
DMS (0.05)	2.666	5.800	1.257	0.160	0.505

† Cifras con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (DMS 0.05).

T=Tratamiento sólo con composta; S=Inoculación en la siembra con biofertilizantes; R=Inoculación con biofertilizantes en el primer riego a las plántulas; SR=Inoculación con biofertilizantes en la siembra y en el riego; TT=Testigo absoluto.

El área foliar (AF) fue mayor en todos los tratamientos que recibieron biofertilizantes, en la siembra (S), en la emergencia (R) y en SR, luego le siguió el tratamiento que sólo llevó composta (T), el tratamiento testigo absoluto (TT) presentó la menor AF. El hecho de que en la aplicación de los biofertilizantes en el riego

(R) presentara menor NH que la inoculación en la siembra (S), pero el AF sea igual, indica que el tamaño de las hojas fue diferente, es decir, el NH fue menor, pero de mayor tamaño, lo cual implica que el AF no sea diferente (Cuadro 2).

La longitud de la raíz (LR) fue mayor en el tratamiento donde se inoculó en la siembra (S), seguido de las aplicaciones en el riego (R) y en ambos momentos (SR), le siguió el tratamiento donde el suelo sólo tuvo composta (T) y la menor LR se presentó en el tratamiento testigo absoluto (TT). El peso seco de las raíces (PSR) no tuvo efecto significativo entre los tratamientos (Cuadro 2).

El peso seco del tallo (PST) no fue diferente entre los momentos de inoculación con el biofertilizante, es decir, se presentó el mismo resultado con la aplicación en la siembra, en el riego al momento de la emergencia y en ambos momentos (siembra y emergencia), sin embargo, en los tratamientos donde se inoculó fue mayor el PST que en los tratamientos donde no se inoculó, tanto donde se aplicó sólo composta como en el tratamiento donde no se aplicó nada. El peso seco de las hojas (PSH) tuvo un

comportamiento similar al PST, es decir, los tratamientos donde se inoculó tuvieron mayor peso que los no inoculados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Área foliar (AF), longitud de raíz (LR), pesos secos de: raíz (PSR), tallo (PST) y hoja (PSH) de plántulas de chile Guajillo desarrolladas con la inoculación de biofertilizantes *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en diferentes momentos del proceso de producción de plántulas en almácigo en suelo.

Tratamiento	AF (cm^2)	LR (cm)	PSR (mg/90 plántulas)	PST (mg/90 plántulas)	PSH (mg/90 plántulas)
T	47.6 b†	8.3 c	90 a	1.24 b	5.9 c
S	111.1 a	13.1a	177 a	1.65 a	7.4 a
R	129.6 a	9.9 b	133 a	1.59 a	6.5 bc
SR	129.9 a	9.6 b	163 a	1.69 a	7.0 ab
TT	37.4 b	2.1 d	70 a	0.45 c	2.3 d
DMS (0.05)	63.383	0.701	127.1	0.116	0.505

† Cifrados con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

T=Tratamiento con composta; S=Inoculación en la siembra con biofertilizantes; R=Inoculación con biofertilizantes en el primer riego; SR=inoculación con biofertilizantes en la siembra y el riego; TT=Tratamiento testigo absoluto.

En general, de acuerdo con los resultados obtenidos, se observaron resultados que indican mayor calidad de las plántu-

las en los tratamientos donde se llevó a cabo la inoculación, principalmente en los tratamientos donde la aplicación se llevó a cabo al momento de la siembra con las variables PE, LT, DT, NH (Cuadro 1), AF, LR, PST y PSH (Cuadro 2). Aunque otro parámetro que determina la calidad de las plántulas es el PSR, éste no fue diferente posiblemente debido a la dificultad de la medición.

Conclusiones

Con la inoculación de biofertilizantes se obtuvo mayor crecimiento que cuando no se aplicaron éstos, proporcionándole a la plántula mayor LT, DT, NH, LR, AF a lo largo de su desarrollo en el almácigo. La aplicación de biofertilizantes adelantó la emergencia de las plántulas hasta en siete días.

Literatura citada

Acuña N., O. s/f. El uso de biofertilizantes en la agricultura. Laboratorio de Bioquímica de Procesos Orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas.

Armenta-Bojórquez, A.D., C. García-Gutiérrez, J.R. Camacho-Báez, M.A. Apodaca-Sánchez, L. Gerardo-Montoya y E. Nava-Pérez. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Revista Ra Ximhai* 6(1): 51-56.

Bashan, Y., G. Olguin y L.E. Bashan. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). *Can. J. Microbiol*. 50: 521-577.

Bravo-Lozano, A.G., A. Lara-Herrera, J. Lozano-Gutiérrez y M.P. España-Luna. 2010. Importancia del cultivo de chile. 1° del Primer Foro para Productores de Chile. Zacatecas, Zac. pp: 10-22.

Camargo-Ricalde, S.L., N. Montaño, C.J. Rosa-Mera y S.A. Montaño-Arias. 2012. Micorriza: Una gran unión debajo del suelo. *Revista Universitaria* UNAM. 13(7): 3-19.

Grageda-Cabrera, O.A., A. Díaz-Franco, J.J. Peña-Cabriales y J.A. Vera-Núñez. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Rev. Mex. de Ciencias Agrícolas*. 3(6)1261-1274.

Lara-González, C.A., D.O. Lechuga-Navarro, A. Lara-Herrera, M. Luna-Flores, A.G. Bravo-Lozano, J.J. Avelar-Mejía y J.J. Llamas-Llamas. 2010. Evaluación de biofertilizantes en el cultivo de chile en el estado de Zacatecas. Memorias del 1° Foro para Productores de Chile. Zacatecas, Zac. pp: 204-217.

Licea-Herrera, J., J.D.C. Quiroz-Velázquez, J.L. Hernández-Mendoza. 2020. Impacto de *Azospirillum brasilense*, una rizobacteria que estimula la producción del ácido indol-3-acético como el mecanismo de mejora del crecimiento de las plantas en los cultivos agrícolas. *Revista Boliviana de Química*. 37(1): 34-39.

Balances macro-nutrimentales ortonormales en *Malus domestica* Borkh

Fidel Blanco-Macías[11*]
Ricardo David Valdez-Cepeda[1,2]
Miguel Márquez-Madrid[1]
Alfredo Lara-Herrera[3]

Resumen

Los balances nutrimentales se han convertido en la piedra angular del análisis de datos composicionales. Sin embargo, su uso en nutrición vegetal es limitado a pocos casos. En este trabajo se usaron balances ortonormales para demostrar que especimenes de manzano con rendimientos menores y mayores a 23.36 kg Árbol^{-1} (n=98 y n=45, respectivamente) tienen composiciones (N, P, K) de follaje diferentes al considerar concentraciones cerradas, así como transformaciones log cociente centrado (clr) y log cociente isométrico (ilr). El análisis de datos composicionales del follaje de árboles de *Malus domestica* Borkh. variedad 'Starkrim-

[1] Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro-Norte, El Orito, Zacatecas, Zac., México.

[2]Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Matemáticas, Zacatecas, Zac., México.

[3]Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía, Zacatecas, Zac., México. *fiblama63@gmail.com.

son' sugiere que los rendimientos menores que 23.36 kg Árbol^{-1} fueron caracterizados por una deficiencia de N.

Palabras clave: *Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Dendrograma de balances*.

Introducción

El uso de métodos estadísticos estándares con cocientes o proporciones –e.g. nutrimentales– conllevan a resultados espurios y disparatados (Pawlowsky-Glahn *et al*., 2015). Los datos composicionales requieren una transformación apropiada para evitar sesgos cuando se analizan estadísticamente. Entonces, lo deseable puede ser el uso de técnicas que permitan la visualización y el análisis de balances nutrimentales en sub-espacios del ionoma de plantas. Esas herramientas están disponibles en el marco de trabajo del análisis de datos composicionales (Aitchison, 1982, Pawlowsky-Glahn y Egozcue, 2011). Entre esas herramientas se identifica a las transformaciones log cocientes centrados y log cocientes isométricos, así como el análisis de componentes principales considerando dichas variables y los dendrogramas de balances ortonormales (Pawlowsky-Glahn *et al*., 2016). Por lo tanto,

este trabajo tuvo como objetivo demostrar que especímenes de manzano con rendimientos menores y mayores a 23.36 kg Árbol^{-1} tienen composiciones (N, P, K) de follaje (n=143) diferentes al considerar concentraciones cerradas, y transformaciones log cociente centrado (clr) y log cociente isométrico (ilr).

Materiales y métodos

Las composiciones corresponden a las concentraciones de N, P y K de muestras de follaje de manzano variedad 'Starkrimson' colectadas durante 9 años en una huerta en Rancho Nuevo, Zacatecas, México. Esas 143 composiciones nutrimentales (N, P y K) fueron cerradas al usar la constante 1000 g kg^{-1} (Aitchison, 1982, Pawlowsky-Glahn y Egozcue, 2011) al considerar que el espacio muestral está definido por S^D, como sistema complejo.

$$S^D=C(c_1, c_2, c_3, \ldots, C_D)=[c_1K/\sum c_i, c_2K/\sum c_i, \ldots, c_DK/\sum c_i], \qquad (1)$$

donde K es la unidad de escala de medición (e.g. 1000 g kg^{-1}) y c_i es el nutrimento de la composición que involucra D nutrimentos. Con las composiciones cerradas y centradas se hizo un análisis de componentes principales (ACP's) para elaborar un diagrama ternario.

Las transformaciones log cocientes centrados (clr) fueron realizadas de acuerdo a Pawlowsky-Glahn y Egozcue (2011).

$$clr_i = \ln(X_i / g(X)), \quad (2)$$

donde X_i es la concentración del i_{th} nutrimento y g(X) es la media geométrica de los nutrimentos involucrados.

Con las variables clr se hizo otro ACP's para construir un bi-gráfico. Éste bi-gráfico soporta el diseño de balances ortogonales en terminos de log cocientes isométricos (ilr's) (Pawlowsky-Glahn y Egozcue, 2011).

$$ilr_i = \sqrt{rs/r+s} \bullet \ln(G_N / G_D), \quad (3)$$

donde r y s son los números de nutrimentos en el numerador y el denominador, respectivamente; y G_N y G_D son las medias geométricas de los nutrimentos en el numerador y el denominador, respectivamente. Con las variables ilr o balances ortonormales se construyó un dendrograma (Pawlowsky-Glahn y Egozcue, 2011; Pawlowsky-Glahn *et al*., 2015).

Resultados y discusión

El diagrama ternario (Figura 1) sugiere que muchos de los árboles con rendimientos menores (n=98) tienden a acumular menos N que P, y más K que N + P en sus hojas en comparación con los árboles de rendimientos mayores (n=45) cuando el rendimiento de referencia es 23.36 kg Árbol^{-1}. Los bi-gráficos de covarianza de concentraciones centradas, es decir la descomposición de una matriz clr y una matriz ilr, permitieron que dos componentes principales explicaran el 100% de la varianza total de los datos (CP1, 82.45% y CP2, 17.55%). Estos bi-gráficos sugieren que los ilr's [N, P | K] y [N | P] pueden ser balances nutrimentales ortonormales importantes en el sub-espacio del ionoma de *Malus domestica* variedad 'Starkrimson'. Estos balances fueron representados en un dendrograma de balances jerárquicos diseñados de manera ortogonal.

El dendrograma (Figura 2) indica que la mayoría de los árboles de rendimientos menores que 23.36 kg Árbol^{-1} son caracterizados por una deficiencia de N y un popsible consumo excesivo de K. Además, dicho dendrograma de balances ortonormales confir-

ma de manera intuitiva los resultados evidenciados por el diagrama ternario. En el dendrograma, los diagramas de caja permiten evaluar la simetría de los balances tanto para el grupo de árboles con rendimientos mayores como menores que el rendimiento de referencia. La longitud de las líneas verticales con colores es proporcional a la descomposición de la varianza por balance.

Al irl [N, P | K] de los árboles con rendimiento mayor que 23.36 kg Árbol^{-1} se asocia la variación mayor (línea vertical azul) como variable discriminante (distancia horizontal mayor entre las líneas verticales roja y azul); esto coincide en su papel como variable importante en la estructura del CP1 en el diagrama ternario. Este resultado refuerza la idea de incrementar la concentración de N en el follaje de muchos de los árboles con rendimiento menor que el de referencia.

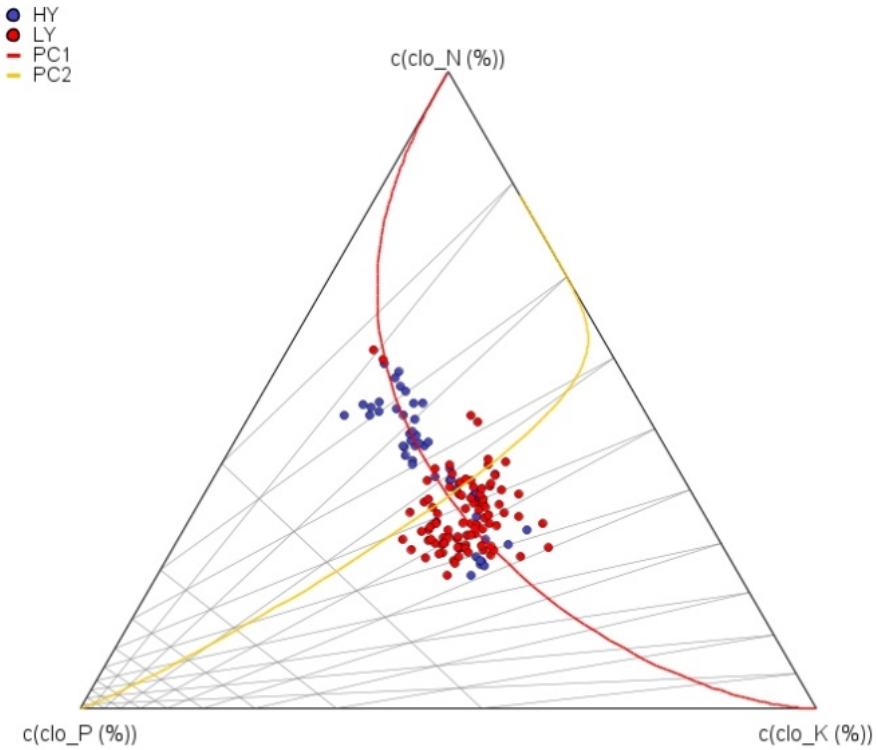
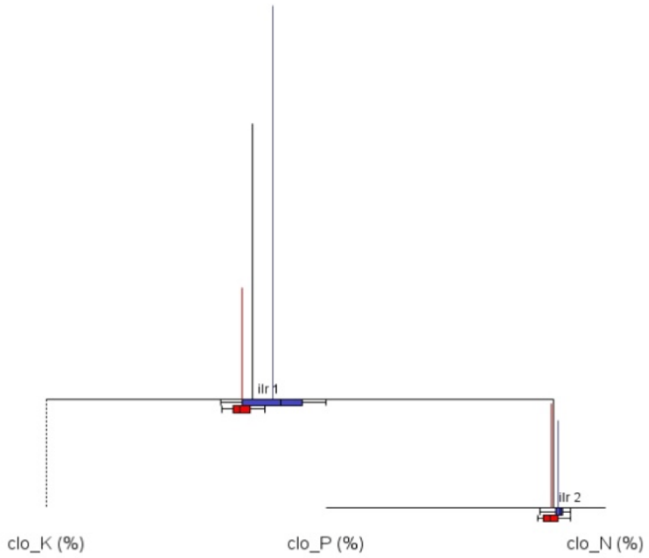


Figura 1. Diagrama ternario que representa a las composiciones cerradas (N, P, K) y centradas de 143 muestras de follaje de Malus domestica Borkh. variedad 'Starkrimson' cuya variación es explicada por dos componentes principales. Azul (●) y rojo (●) representan a rendimientos mayores y menores que 23.36 kg Árbol-1, respectivamente. –PC1 y –PC2) identifican a los componentes principales 1 y 2, respectivamente.

El incremento de la concentración de N, como cambio necesario, para mejorar la situación nutrimental de los especimenes con rendimientos menores que 23.36 kg Árbol^{-1} requiere saber que sucedió en los árboles con rendimiento mayor al de referencia. Ello implica que los agrónomos especializados y los productores de manzana consideren resultados experimentales, así como conocimiento sobre interacciones nutrimentales en planta y suelo, entre otros aspectos para propiciar dicho cambio. En este caso, lo que sucedió es que el ilr [N, P | K] fue detectado como el más discriminante (resultados no mostrados) y, probablemente, ello se debe a una deficiencia de N (lo cual se corrobora al comparar las concentraciones de N de ambos grupos en la Figura 2). Entonces, el cambio necesario debe mejorar este balance en árboles con rendimientos menores al de referencia, pero sin alterar el otro, i.e. ilr [N | P] para no afectar al rendimiento. La mejora puede hacerse mediante fertilización nitrogenada como recomendación generada via pruebas en campo o mediante la promoción de liberación de compuestos químicos en la raíz que reaccionen en

el suelo para aumentar la disponibilidad de N y se mejore tanto la absorción de N como el desempeño de los árboles.



Rendimiento (kg Árbol^{-1})		Concentración (%)	
>23.36	1.1714	0.18058	2.979
<23.36	1.5584	0.18676	2.422

Figura 2. Dendrograma de los balances nutrimentales ortonormales ilr1 [N, P | K] e ilr2 [N | P] al involucrar 143 muestras de follaje de Malus domestica Borkh. variedad 'Starkrimson'. Derecha). Azul (●) y rojo (●) representan a los balances correspondientes a rendimientos mayores y menores que 23.36 kg Árbol-1, respectivamente. En el cuadro se aprecian las concentraciones medias asociadas a los dos grupos de rendimiento.

Conclusiones

La representación, mediante técnicas de análisis de datos composicionales, del estado nutrimental de los árboles de *Malus domestica* Borkh. variedad 'Starkrimson' sugiere que los de rendimientos menores que 23.36 kg Árbol^{-1} fueron caracterizados por una deficiencia de N. Técnicas nuevas deben desarrollarse para realizar recomendaciones adecuadas de manera objetiva al cambio necesario con el fin de mejorar el estado nutrimental de los árboles diagnosticados con deficiencia de N.

Literatura citada

Aitchison, J. (1994). Principles of Compositional Data Analysis. Lecture Notes-Monograph Series, 24, 73-81. Retrieved July 15, 2021, from http://www.jstor.org/stable/4355794

Pawlowsky-Glahn, V., & Egozcue, J.J. (2011). Exploring compositional data with the CoDa-dendrogram. *Austrian Journal of Statistics*, 40(1&2), 103-113. https://doi.org/10.17713/ajs.v40i1&2.202

Pawlowsky-Glahn, V., Monreal-Pawlowsky, T., & Egozcue, J.J. (2016). Representation of Species Composition. In: Martín-Fernández, J., & Thió-Henestrosa, S. (Eds.). Compositional Data Analysis. CoDaWork 2015. *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*, Vol. 187. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44811-4_11

Biofortificación con selenio en tomate

Juan Manuel Nava Santos[1]
Jazmín Monserrat Gaucin-Delgado[2]
Pablo Preciado Rangel[2]

Resumen

El Selenio (Se), es un micronutriente esencial en la nutrición humana, y en las plantas no se ha demostrado su esencialidad. El presente trabajo analiza la capacidad del selenito de sodio (Na_2SeO_3) para aumentar el rendimiento, biosíntesis de compuestos bioactivos y su acumulación en frutos de tomate. Para ello cinco tratamientos fueron aplicados vía solución nutritiva: 0, 2, 4, 6 y 8 mg L^{-1}. En la cosecha, se cuantificó la calidad nutracéutica y la acumulación de Se en frutos. La biofortificación con Se modificó positivamente la biosíntesis de compuestos fitoquímicos y su concentración en fruto. La incorporación de Se en la solución nutritiva es una alternativa para incrementar la biosíntesis de compuestos fitoquímicos e incrementar la concentración de este elemento en los frutos del tomate con la posibilidad de mejorar la salud pública con su consumo.

---

[1] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

[2] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Torreón.

Palabras clave: *Solanum lycopersicon; calidad nutraceútica*.

Introducción

El selenio (Se) es un oligoelemento esencial para los seres humanos, sin embargo, con frecuencia hay una ingesta insuficiente causando serios problemas de salud debido a que el Se es esencial para formar proteínas (Sec) y enzimas vitales como glutatión peroxidasa, la tiroxina 5-desyodasa y las selenoproteínas

Una de las estrategias para aumentar el contenido de Se en los alimentos es a través de la biofortificación, que consiste en potencializar la bioactividad y contenido de Se en las partes comestibles de las plantas (Gaucin-Delgado *et al*., 2020).

Por otro lado, el tomate (*Solanum lycopersicum* L) es el cultivo hortícola más producido y consumido a nivel mundial, es una fuente importante de bioactivos, incluidos los carotenos, compuestos fenólicos, vitaminas y minerales. Dichos, compuestos son importantes para la salud humana ya que forman parte de nuestra dieta, ayudando en la interacción de fitoquímicos con

vías metabólicas que están relacionadas con la respuesta inflamatoria y el estrés oxidativo, por lo tanto, estudios relacionados con el incremento de la productividad y compuestos fitoquímicos a través de la biofortificación es de interés mundial.

Materiales y métodos

Material vegetal y condiciones de crecimiento

El estudio se realizó en un invernadero circular ubicado en el Instituto Tecnológico de Torreón, México a 24º30' latitud norte, 102º00' longitud oeste y una altitud de 1120 msnm.

Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, aplicando cinco dosis: (0, 2, 4, 6 y 8 mg L^{-1}) de Na_2SeO_3 (Sigma Aldrich). Los tratamientos con Se fueron aplicados cada 15 días con un total de siete aplicaciones a través de la solución nutritiva (Steiner, 1984). Se determinó la calidad nutracéutica en el fruto del fruto (fenoles totales, flavonoides, capacidad antioxidante total (Brand-Williams *et al.*, 1995) y la acumulación de selenio (AOAC, 1990). Se utilizaron 10 plantas por tratamiento.

Análisis estadístico

Se verificó la normalidad y homogeneidad de las varianzas de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett. Posteriormente, se realizó el análisis de varianza de clasificación simple y comparación múltiple de medias a través de la prueba Tukey a una probabilidad del 5% ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Calidad nutracéutica del fruto

La adición de Se en la solución nutritiva, modifica positivamente la biosíntesis de compuestos fitoquímicos (fenólicos, flavonoides, actividad antioxidante y contenido de licopeno (Figura 1a-1d), obteniendo los mayores valores de estos metabolitos con 8 mg L^{-1}, superando el tratamiento control en 26, 5, 28 y 36%, respectivamente. Dima *et al*. (2020), mencionan que el Se en concentraciones adecuadas mejora la biosíntesis y acumulación de compuestos bioactivos. Además, el Se es un componente esencial de las selenoenzimas, algunas de las cuales tienen funciones antioxidantes,

mejorando así la calidad nutracéutica de la parte comestible del cultivo y reduciendo la producción de ROS, como O_2 y H_2O_2.

Contenido de selenio en frutos

El contenido de selenio en los frutos de tomate aumento en proporción directa de su disponibilidad en solución nutritiva (Figura 2). La acumulación de Se en las partes comestibles de la planta depende de la especie vegetal, la forma y fuente química del elemento que se está aplicando. Castillo-Godina *et al*. (2013), reporta una acumulación de Se en frutos de tomate muy similares al del presente trabajo. La absorción, distribución y translocación del Se dentro de las plantas está determinada por la translocación de la planta, la actividad de los transportadores de membrana, la forma y concentración de Se en la planta.

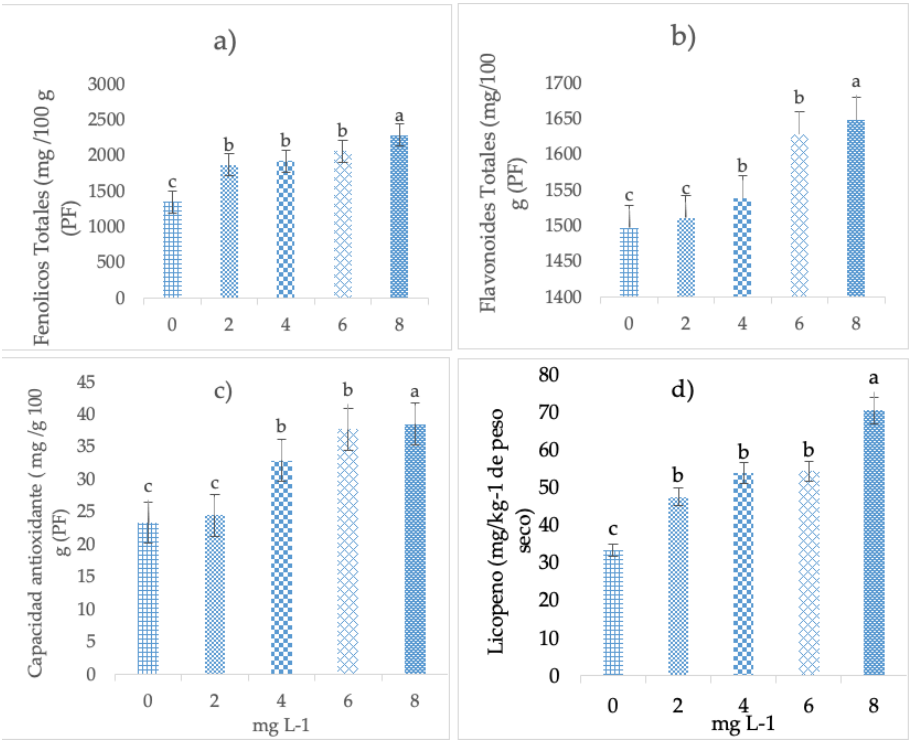


Figura 1. Efecto de dosis de selenito de sodio sobre el contenido de fenólico (A), flavonoides totales (B), capacidad antioxidante (C) y concentración de licopeno (D) en frutos de tomate. Los datos se muestran como media ± desviación estándar (DE) (n = 50) Las columnas con letras diferentes fueron significativamente diferentes según la prueba HSD de Tukey ($p < 0,05$).

La mayor absorción de este elemento pudo haber sido debido a que el selenito se capta mejor por difusión pasiva sin la participación de transportes de membrana al ser químicamente similar al fosfato, sintetizado comúnmente como SeMet, metil-SeCys o ɣ-glutamil-Se-SeCys (ɣ-Glu-MeSeCys) (Jha y Warkentin, 2020), ya que son incorporadas a rutas metabólicas como selenoproteínas vegetales para formar l parte más importante del centro activo de sus actividades enzimáticas (Kieliszek, 2019) y un mayor beneficio de la actividad antioxidante mejorada.

Conclusiones

El selenito añadido a la solución nutritiva aumentó la biosíntesis de compuestos fitoquímicos en frutos de tomate. La biofortificación agronómica con selenito es una alternativa para obtener alimentos funcionales e incrementar la acumulación de Se en frutos de tomate, con la posibilidad de mejorar la salud pública con su consumo.

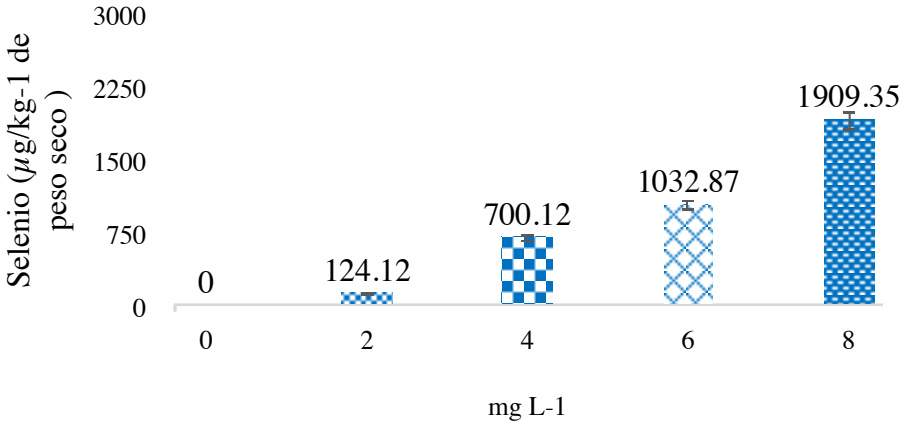


Figura 2. Efecto de dosis de selenito de sodio sobre la concentración de Se en frutos de tomate. Los datos se muestran como media ± desviación estándar (DE) (n = 50) Las columnas con letras diferentes fueron significativamente diferentes según la prueba HSD de Tukey ($p < 0,05$).

Literatura citada

AOAC. 1990. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists. doi:https://doi.org/10.1007/BF02670789.

Beckles, D. M. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (Solanum lycopersicum L.) fruit. *Postharvest Biology Technology*. 63: 129-140. doi:https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.05.016.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science Technology*, 28(1), 25-30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Castillo-Godina, R., Foroughbakhch-Pournavab, R., & Benavides-Mendoza, A. (2013). Efecto del selenio sobre la cuantif icación de ácido ascórbico en tomate (Lycopersicon esculentum Mill). *Planta*, 8(17), 21-23. http://hdl.handle.net/2445/104248

Dima, S. O., Neamțu, C., Desliu-Avram, M., Ghiurea, M., Capra, L., Radu, E., Oancea, F. (2020). Plant biostimulant effects of Baker's yeast vinasse and selenium on tomatoes through foliar fertilization. *Agronomy*, 10(1), 133. https://doi. org/10.3390/agronomy10010133

Gaucin-Delgado, J. M., Hernández-Montiel, L. G., Sánchez-Chávez, E., Ortega-Ortiz, H., Fortis-Hernández, M., Reyes-Pérez, J. J., & Preciado-Rangel, P. (2020). Agronomicbiofortification with selenium improves the yield and nutraceutical quality in tomato under soilless conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48 (3), 1221-1232. https://doi.org/10.15835/nbha48312000

Jha, A. B., & Warkentin, T. D. (2020). Biofortification of pulse crops: Status and future perspectives. *Plants*, 9(1), 73.

https://doi.org/10.3390/plants9010073

Kieliszek, M. (2019). Selenium–fascinating microelement, properties and sources in food. *Molecules*, 24(7), 1298. https://doi.org/10.3390/molecules24071298

Carbono orgánico, infiltración de agua y calidad de vegetación riparia. Estudio de ecología del suelo

Gerardo; Cruz-Flores[1]
Eloisa Adriana Guerra-Hernández[1]
Juan Manuel Valderrábano-Gómez[1]
Alma Bella López-López[1]

Resumen

Los suelos ensamblan y armonizan distintos factores abióticos y bióticos constituyéndose como *ecosistemas edáficos*, su multifuncionalidad ambiental sustenta los ecosistemas terrestres integrando estructural y funcionalmente, toda interacción *suelo-biota* generando las condiciones indispensables para mantener la vida en el planeta. Así, el conocimiento para manejar, recuperar o restaurar los suelos es fundamental para alcanzar algunas metas planteadas por la ONU en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El ODS 2, por ejemplo, pretende: "Poner fin al hambre, lograr seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover

[1]Línea de investigación: RELACIONES SUELO-AGUA-VEGETACIÓN EN EL MANEJO DE CUENCAS (https://www.zaragoza.unam.mx/relaciones-suelo-agua-vegetacion-en-el-manejo-de-cuencas/). Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal, L-8 Primer piso. UMIEZ, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Autor responsable: edaynuve@unam.mx, Batalla 5 de mayo S/N esquina Fuerte de Loreto, Col. Ejército de Oriente, CP 09230, Alcaldía Iztapalapa, CD MX, México. Tel 5623 0700 Ext.39183.

la agricultura sostenible", lo cual requiere suelos sanos. Por otro lado, solo si se mantiene o recupera la *calidad del suelo* pueden lograrse las metas de los ODS 13 y 15 que, respectivamente incitan a "tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos" y el que dicta que se debe "proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, combatir la desertificación, detener y revertir la degradación de la tierra y detener la pérdida de biodiversidad". Los ejemplos mostrados indican que la multifuncionalidad de los ecosistemas edáficos y la de los terrestres que sustentan, debe tener sostenibilidad en tres dimensiones: A) S*ostenibilidad ecológica* (mantiene, a largo plazo, características esenciales para sobrevivencia de la biota; B) *Sostenibilidad económica* (gestión de recursos naturales dando continuidad al sistema económico vigente) y, C) *Sostenibilidad social* (con proceso donde costos-beneficios deben distribuirse adecuadamente en la población actual (equidad intrageneracional) y con la población futura (equidad intergeneracional).

Palabras claves: *Áreas naturales protegidas, ecosistemas riparios.*

Introducción

Uno de los requisitos indispensables para alcanzar, o al menos aspirar a realizar un manejo sustentable del suelo se alcanza, mínimamente, con un profundo conocimiento de los procesos edafo-genéticos que lo forman, así como de diversas disciplinas de las ciencias del suelo tales como la morfología, física, química, biología y bioquímica de los suelos entre otras. Los factores y propiedades físicas, químicas, etc. de los suelos interactúan entre sí, en un conjunto de diversos procesos geomorfológicos, climáticos, físicos, químicos, biológico-evolutivos y bioquímicos que, en escalas de tiempo geológico, operan sobre el material mineral y la materia orgánica los cuales concurren, pero no concluyen, en los suelos formados y en sus características y en sus propiedades (Cruz, 2006). La óptica requerida para el estudio del suelo, para relacionarse con los planteamientos de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) debe ser multidisciplinar vertical y horizontalmente y en este marco, la Ecología del suelo contempla en forma holística e incluyente, absolutamente a todas las ciencias del suelo. Tanto la composición del suelo (mineral y or-

gánica) como la parte estructural de sus proporciones y arreglos junto con sus funciones ambientales y ecosistémicas, como su diversidad de hábitats y microhábitats, soporte o sustrato físico de la vegetación, almacén, flujo y suministro de nutrimentos para la vida autótrofa, su capacidad de permeabilidad, infiltración, retención y purificación de agua, su capacidad de captura de carbono, sus atributos como fuente y soporte de la biodiversidad y su contribución a los ciclos biogeoquímicos, etc.

El suelo es un ecosistema al cumplir con requisitos de unidad funcional natural con componentes bióticos y abióticos interactuando en un sistema donde los límites se determinan por sus flujos de energía y organismos y por los los ciclos de los elementos biogenésicos. Entre los elementos fundamentales, esenciales para la vida que reside en la litósfera y la hidrósfera como carbonatos y bicarbonatos, en la atmósfera como gases de carbono oxidados (CO_x) y en el suelo como carbono orgánico en decenas de miles de compuestos de carbono.

El ciclo del carbono tiene su fase inorgánica donde está presente en rocas y minerales y desde donde el intemperismo lo

libera. Otros procesos naturales como las erupciones volcánicas o fumarolas y diversos procesos geotérmicos liberan CO_2 a la atmósfera, de manera independiente de procesos biológicos (Horwath, 2015). Ya, ante los procesos biológicos que inician con la fotosíntesis de los autótrofos quienes transmiten, carbono y otros elementos esenciales para la vida, a otros organismos en las complejas redes tróficas de los ecosistemas (Fase biológica), el ciclo del carbono se constituye en la columna funcional, estructural y energética más importante de los ecosistemas. En su publicación, *Carbono Orgánico del Suelo. El potencial oculto*, la FAO (2017) establece que "el carbono orgánico del suelo (COS) es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS) y también señala que como indicador de la salud del suelo, el COS es importante por sus contribuciones a la producción de alimentos, la mitigación y adaptación al cambio climático, y el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)".

Todas las repercusiones positivas y efectos sinérgicos que el COS tiene sobre diversas propiedades físicas o químicas y procesos biológicos o bioquímicos de los suelos y sus relaciones con

la biota edáfica y las relaciones suelo-planta, señalan al contenido de carbono como un indicador de calidad del suelo (Cruz *et al*., 2020) y por ende relacionable, en alto grado, con la sustentabilidad en la gestión, manejo y recuperación de los suelos en agroecosistemas y ecosistemas. El objetivo de esta contribución es ejemplificar e ilustrar algunas relaciones entre contenidos de carbono orgánico de suelos forestales de ecosistemas riparios de alta montaña con su capacidad de infiltración de agua y con los índices de calidad de vegetación riparia.

Materiales y Métodos

La información proviene de investigaciones realizadas en toposecuencias dirigidas desde poblaciones como Amecameca, Méx en la cuenca de México (CM) y Xalitzintla, Puebla, cuenca de alto Balsas (CB) que oscilan entre 2400 m de altitud hasta la zona del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatépetl en los límites de la vegetación forestal en ecotono con los pastizales montanos ≈ 4000 m. La investigación se ha desarrollado desde 2015 al 2020 estudiando y descrito diversos sitios de los que se han considerado en este trabajo solo 12 unidades ambientales (UA) distribui-

das en el gradiente altitudinal señalado sobre ambientes riparios de arroyos de régimen permanente en segmentos de 25 a 50 m de longitud y considerando tres amplitudes para muestreo. Además de la caracterización edafoecológica, se evaluó "*in situ*" el índice de calidad de vegetación de ribera (I QBR) y la velocidad de infiltración de agua en el suelo. En cada UA se seleccionaron sitios representativos para muestreo, y en cada sitio colectando tres submuestras de suelo superficial. Junto con otras características físicas y químicas, en las muestras de suelo colectadas, se determinó contenido de COS.

Resultados y discusión

La siguiente descripción edafoecológica de una UA de las que se estudiaron, ejemplifica lo que se ha realizado en cada una de ellas:

Fechas de visita: 10 de noviembre de 2018 mayo de 2019 y noviembre de 2019.

Lugar: Sitio Vallecito, Altos de Apatlaco

Pendiente del terreno: 6.8° la norte, 21% al este - 12.5° al sur y 11.9% al oeste.

Altitud: 3842 m

Coordenadas: 19° 7´ 40´´ y 98° 38´ 27´´

Descripción ecológica y edáfica: zona de zacatonal, denominado también páramo de altura donde dominan especies como *Calamagrostis tolucencis, Festuca tolucencis* y *Juncus aemulan*s Liebm., *Muhlenbergia nigra* Hitchc, se observa en las zonas de mayor retenciòn de agua la presencia de *Gentiana ovatiloba* Kusn, así como otras plantas de talle mediano que se alzan por los 50 a 70 cm sobre el suelo como *Cirsium jorullense* (Kunth) Spreng. *Eryngium proteaeflorum* F. Delaroche.

Este sitio está rodeado de laderas hacia todos los puntos cardinales y su escurrimiento o drenaje superficial natural y la dirección del flujo de su arroyo principal está orientado hacia el SE. Las laderas de exposición sur son riscos rocosos muy escarpados semidesnudos. Por sí mismo, el sitio es una zona de humedales de montaña. El bosque en laderas de umbría muestra *Pi-*

nos hartwegii en buen estado con evidencias de regeneración natural por la abundancia de brinzales de pino de esta especie. Las laderas circundantes, tienen relieve dominantemente cóncavo y solo algunas son convexas con arbolado de porte y cobertura mediana, superior al 50 % pero menor a 60 % aproximadamente.

Suelo: Notoriamente profundo, de color negro (Andosol húmico), régimen de humedad del suelo ústico y régimen térmico isofrígido.

El suelo del borde de la ribera es altamente friable (desmenuzable) a más de 60 cm de profundidad al terminar el efecto aglutinante de las raíces de los zacatonales y de la vegetación semi-acuática. En época inviernal el fondo del talud en el lado de sombra presenta congelamiento de agua lo que evidencia su importancia como fuente de agua. El estudio de la calidad de la vegetación riparia, muestra unos valores muy aceptables, índices QBR mayores a 90 puntos de 100 posibles

En el estudio de velocidad de infiltración en suelo saturado en un sitio 30-35 cm distante del arroyo y sobre el borde del suelo del banco ribereño los datos registrados se muestran en el cuadro 1.

Diversas investigaciones muestran la estrecha relaciòn entre contenidos de COS del suelo con las propiedades hídricas del agua en el suelo como la capacidad a de campo, agua higroscópica. Particularmente Bejar *et al*. (2020), mostraron que la *DA*, *MO* y el análisis granulométrico son las variables que ofrecen una mayor precisión para la estimación en este tipo suelos.

Cuadro 1. Contenido de Carbono orgánico del suelo, velocidad de infiltración e indices de calidad de vegetación ribereña, observados en tres momentos a lo largo del año.

Sitio	COS	Velocidad de infiltración de H_2O		I QBR
	g kg^{-1}	mm^3 seg^{-1}	mm^3 h^{-1}	cm^3 h^{-1}	
Vallecito	18.5	354.39	1275814.89	1275.814888	90
Vallecito	16.7	386.48	1391344.58	1391.344576	90
Vallecito	20.3	279.43	1005943.48	1005.943477	90

Los valores de COS, velocidad de infiltración e índices de vegetación riparia de 12 UA observadas, además de los valores de pH activo del suelo y de CE, entre otras de las propiedades del suelo evaluadas en el laboratorio, se muestran en el Cuadro 2.

Los resultados de contenidos de COS, muestran incrementos altitudinales que se asocian al estado de conservación que muestran las zonas altas que muestran incluso evidencias de regeneración natural poco limitada por alguna actividad antrópica como Turismo ecológico y algunas evidencias de pastoreo (Monfil Hernández, 2020). En zonas altas a diferencia de las que se ubican por abajo de los 2500 m de altitud, los sitios conservan la composición y estructura original de la vegetación los que se refleja también el los valores de indices de calidad de vegetación de ribera (QBR) que tienen los valores óptimos o cercanos a ellos (valores de 90 o 100/100), lo cual debe atribuirse a la estabilidad que aporta al suelo los altos contenidos de COS y la estabilidad en los agregados del suelo que proporcionan los sistemas radicales estabilizantes a pesar de la media a alta friailidad de los sue-

los derivados de ejectas volcánicas recientes (ceniza, vidrio volcánico, etc.) (Mena Bailon, 2018)

Cuadro 2. Ejemplo de variaciones altitudinales de contenidos de carbono orgánico del suelo, velocidad de infiltración e índices de calidad de vegetación ribereña en 12 UA a ambos lados del parteaguas de la sierra Nevada.

Sitio	Altitud	pH	CE.	COS	Vel infiltración	I QBR
	m snm	1:2 H_2O	dS m^{-1}	g kg^{-1}	cm^3 h^{-1}	
Nealtican (CB)	2260	6.3	0.13	8.9	536.1	20
SN Ranchos (CB)	2419	7.05	0.21	17.1	480.5	25
Xalitzintla (CB)	2679	6.5	0.18	18.4	628.6	65
Xalitzintla 2 (CB)	2680	6.5	0.07	14.2	1826.6	25
Buenavista 2 (CB)	3300	6.1	0.06	41.9	676.1	80
Buenavista (CB)	3309	5.9	0.11	43.8	1755.0	90
Apatlaco (CB)	3630	5.4	0.08	22.4		90
Vallecito (CB)	3840	5.5	0.10	18.5	1224.4	90
Cascada Ranita (CB)	3962	5.5	0.09	31.3	164.2	100
Cascada VW (CB)	4010	5.4	0.12	23.1	311.7	100
Tomacoco (CM)	2530	6.5	0.26	18.5	1469.1	20
Alcalica Vivero (CM)	2810	5.9	0.17	33.3	3653.0	70
Alcalica 2 (CM)	3000	6.9	0.08	26.0	1317.0	80
Alcalica (CM)	3150	5.7	0.11	39.2	6821.0	80
Alcalica alta (CM)	3800	5	0.09	20.4	158.7	100
Joya alta (CM)	3900	4.6	0.04	22.8	4482.0	100

(CM) = Cuenca de México; (CB) = Cuenca del Balsas. Mena Bailon, 2018; Monfil Hernández, 2020.

Conclusiones

El cambio de uso de suelo, afectaciones por incendios forestales inducidos para el pastoreo, la tala hormiga, la desviación de cauces de arroyos, la sobre extracción de flora, fauna y colecta no regulada de hongos que se presentan con mayor frecuencia e incidencia en sitios ubicados por las franjas de 2200 a 2600 m de altitud dañan las funciones ambientales de los suelos afectando, por ejemplo los índices de calidad de la vegetación y disminuyendo los contenidos de COS y consecuente aumento de la emisión de CO_2 a la atmósfera y, aunque desde luego las actividades citadas son parte del desarrollo económico de las poblaciones circundantes a las zonas forestales, se entiende que si son reguladas y se efectúan con prácticas amigables con el ambiente, los daños pueden ser mitigables.

Literatura citada

Bejar Pulido, Silvia Janeth, Cantú Silva, Israel, Yáñez Díaz, María Inés, & Luna Robles, Erik Orlando. (2020). Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(59), 31-50. Epub 15 de julio de 2020.https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.666

Cruz-Flores G., Guerra-Hernández E. A. y Santiago-Aguilar I. 2020. Carbono orgánico en ecosistemas ribereños y manejo sustentable en la Reserva de la Biósfera Los Volcanes. *Elementos para Políticas Públicas*. Vol. 4. Núm. 1: 43-60. ISSN 2448-5578.

FAO. 2017. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma, Italia.

Horwath, W. (2015). *Ciclo del Carbono: La dinámica y formación de materia orgánica*, Universidad de California. Davis. CA. USA.

Mena Bailon, B.C. 2018. Infiltración de agua en suelos ribereños con distintos tipos de vegetación sobre un sistema fluvial en el Parque Nacional Izta-Popo y zonas de influencia. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza UNAM. CD MX.

Monfil Hernández, L. F. 2020. Calidad ecológica de dos sistemas ribreños de montaña y su relación con el uso del suelo. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza UNAM. CDMX.

Comportamiento de tres fulvatos como bioestimulantes en la producción y calidad del tomate "Heirloom"

Rubén López-Salazar[1]
Francisca Sánchez Bernal[2]
Rubén López Cervantes[3]

Resumen

El tomate "Heirloom" presenta baja calidad por la presencia alta de azúcares; tres fulvatos fueron usados como bioestimulantes para aumentar la calidad y producción de éste. A la variedad "Yelow Brandywine" se le aplicaron ácidos fúlvicos de Leonardita mezclados con Potasio (K), Magnesio (Mg) y Calcio (Ca), denominados Fulvatos (FK, FMg y FCa) y a las cantidades de 600, 800 y 1000 mg-kg^{-1} por litro de agua y solución nutritiva (SN) como control. Las variables medidas al fruto: peso fresco (PFP), diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), firmeza (FI), sólidos solubles totales (SST) y vitamina C (VC), al tejido vegetal de follaje K, Mg y Ca y el peso fresco (PFR) y seco (PSR) de

[1] Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. rlsmorris@hotmail.com y rlsmorris12@gmail.com.

[2] Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna.

[3] Profesor-Investigador Jubilado del Departamento de Ciencias del Suelo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Saltillo.

raíz. Con la dosis alta del FK, fueron los valores mayores en el PFF y DP; con la dosis menor del mismo, en DE y 247 % mayor que SN en VC. Con la dosis media del FMg se aventajó en 12 % al Control en el PFR, el mismo compuesto en la dosis alta en 2 % a la SN en los SST y con el FCa adelantó en 15 % al control en FI. Con la cantidad alta del FK se aventajó en 209 % al Control en el K del follaje; con la dosis alta del FMg se superó a la SN en 205 % en el Mg y con la mayor dosis del FCa en 490 % en el Ca. Se concluye que la adición del Fulvato de potasio aumentó la calidad y la producción del tomate "Heirloom".

Palabras clave: *Substancias húmicas; Solanum licopersicum*.

Introducción

El tomate *"Heirloom"* (reliquia en el lenguaje inglés), tiene más de 200 tipos distintos de formas, colores, texturas y sabores; sin embargo, la mayoría es desconocida por los consumidores y el mercado es restringido, porque su precio es alto, es considerado como un producto *Gourmet* y la mayor cantidad que está a la venta, es en supermercados de Estados Unidos de América y Europa.

La producción de este tipo de tomate presenta varios problemas como son: bajos porcentajes de germinación de la semilla, alta variabilidad genética, el fruto contiene alta cantidad de sólidos solubles totales (azúcares) y por lo tanto, la firmeza es baja, lo cual redunda en reducida vida de anaquel y con mucha frecuencia, al fruto se le presenta el "cracking", que afecta la calidad aún sin madurar.

Es conocido que con el uso de fertilizantes químicos, se nutre adecuadamente a los cultivos y se conserva la cantidad y la calidad; sin embargo, estos compuestos en la actualidad son costosos y si no se hace una adición adecuada, en cuanto a la cantidad, se puede salinizar los suelos y/o sustratos donde se adicionan, por lo que en México, con el auge de la agricultura orgánica y la sostenible y/o sustentable, el uso de productos orgánicos ha tomado gran importancia como lo es el uso de substancias húmicas (SH), las que al mezclarlas con los fertilizantes químicos, se ha demostrado que aumentan la eficiencia de estos últimos y por consecuencia la cantidad y calidad de los frutos.

Las SH, son los ácidos húmicos (AH), fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR) (Stevenson, 1995) y los dos primeros compuestos, son considerados como bioestimulantes, pero estos compuestos no son nutrimentos y el Consejo Europeo de la Industria de los bioestimulantes (Ricci *et al*, 2019) los define: como cualquier material que contiene sustancias y/o microorganismos, cuya función, cuando se aplican a la planta o a la rizosfera estimulan los procesos naturales para beneficiar la disponibilidad y eficiencia de los nutrientes, tolerancia al estrés abiótico, en la calidad de los cultivos y en el caso de las SH cuando a un AH se le agrega un elemento químico se le denomina Humato y con un AF es un Fulvato.

Por lo comentado, el objetivo fue: determinar el comportamiento de tres fulvatos como bioestimulantes en la producción y calidad del tomate "Heirloom".

Materiales y métodos

Localización del Experimento

Este trabajo se realizó en un invernadero de mediana tecnología del área experimental del Departamento de Ciencias del

Suelo, del *Campus* principal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Saltillo, Coahuila, México, ubicada geográficamente a los 25° 21' de Latitud Norte y 101° 02' de Longitud Oeste, con la altitud de 1742 m.s.n.m.

Obtención de los Fulvatos

Leonardita (mineral fósil del carbón), se molió y tamizó a una malla de un milímetro de diámetro, se secó a la estufa (Lab Oven, Quincy Laboratory Inc. Modelo 30GC, Serie G3-5572) a 70 °C durante 24 horas y se dejó enfriar durante una hora, en un secador de vidrio. Posterior a esto, a 5 g del mineral fósil, se le adicionaron 100 ml de hidróxido de potasio 1 N (KOH, 1N) (CTR Scientific, Monterrey, Nuevo León, México) y se colocó a "Baño María" (Water Bath, Marca YAMATO, Modelo BM 100, Japan) a 6^{o}C durante 120 minutos, con el objetivo de extraer los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF). La solución se dejó enfriar durante 60 minutos a temperatura ambiente del Laboratorio (25 °C), se decantó y con ácido cítrico anhidro, 1 N grado reactivo al 99.7 por ciento de pureza (Control Técnico y Representaciones-CTR Scientific, Monterrey, Nuevo León, México), se llevó la solución a

pH 4 con el fin de separar los AH de los AF. Los primeros fueron desechados y a estos últimos compuestos orgánicos, se les midió la acidez total (Schnitzer y Gupta, 1965) y el grado de humificación, mediante la Relación E_4/E_6 (Kononova, 1982) (Espectrofotómetro Thermo Spectronic, GENESYS 20, Modelo 4001/4, Serie LR45227, U.S.A.) (Cuadro 1). Los AF fueron divididos en tres partes, a unos se les adicionaron potasio (K); a los segundos, magnesio (Mg) y a la tercera parte calcio (Ca), a la concentración de dos por ciento del elemento químico y fueron denominados Fulvatos de potasio (FK), Fulvatos de magnesio (FMg) y Fulvatos de calcio (FCa); la fuente de los elementos antes mencionados, para los tres elementos, fue el sulfato de cada elemento.

Manejo del Cultivo

Semillas de tomate "Heirloom", variedad "Yellow Brandywine", fueron sembradas en charolas de poliestireno de 128 cavidades, con el sustrato "peat moss" (Premier Horticulture Inc. Quakertown, P.A. USA) con "perlita" (HORTIPERL, Termolita S.A.P.I. de C.V. Santa Catarina, N.L. México) (relación 1:1 v/v); cuando la plántula contenía tres pares de hojas verdaderas (15 cm

de longitud), fueron trasplantadas en macetas de plástico que contenían 10 kg del mismo sustrato empleado en la producción de la plántula. A los tres días después del trasplante, fueron fertilizadas de acuerdo con los Índices de Steiner y una Conductividad Eléctrica de la solución nutritiva de 2.2 y al inicio de la floración y hasta los primeros tres racimos racimos florales fue de 2.4 $dS.m^{-1}$.

Los tratamientos fueron adicionados a las cantidades de 600, 800 y 1000 $mg.kg^{-1}$ por Litro de agua y fueron agregados cinco días después del trasplante; posteriormente, cada 15 días hasta los 60 días después del trasplante; es decir, fueron realizadas cuatro aplicaciones. El control fue una solución nutritiva (SN), con base en los Índices de Steiner. Las variables medidas al fruto: peso fresco (PF), diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE) (Vernier, Stainless-Steel, marca Truper), firmeza (FI) (Penetrómetro, Fruit Hardness Tester, Modelo FHT 200. EXTECH, Instruments) y sólidos solubles totales (SST- °Brix) (Refractómetro, Master Refractómetro, Marca ATAGO). El primer corte fue realizado a los 70 días después del trasplante y a partir de ahí, cada siete días se colectó, hasta los 150 días que se terminó el experimento.

El trabajo se distribuyó de acuerdo con el Diseño Experimental Completamente al Azar y generó 10 tratamientos, con cinco repeticiones. A los datos obtenidos se les efectuó un análisis estadístico, el que consistió en el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias, mediante el método de Tukey ($p \leq 0.05$); para esto, se empleó el paquete estadístico MINITAB, versión 7.1

Al tejido vegetal de follaje, se le midió el potasio (K), el magnesio (Mg) y el calcio (Ca), mediante vía húmeda, con el uso de un digestor a base de microondas (Marca CEM- Matthews, N.S., Modelo MARS 6 230/60) y la medición, con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Marca Varian, Modelo A5).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, de manera general, se puede decir que los tratamientos realizaron efecto significativo en todas las variables medidas, menos en Diámetro polar (DP) y en la cantidad de Sólidos solubles totales (SST); de forma particular, se puede establecer que al adicionar el Fulvato de potasio (FK10) a la dosis de 1000 $mg.k^{-1}$, se superó en 83 por ciento al Control (FQ) y con este

mismo compuesto orgánico-mineral, se adelantó en seis por ciento en el DP. En el DE, el mismo compuesto ejerció el mayor efecto, solo que a la dosis de 600 mg.kg^{-1} (FK6) y fue en cinco por ciento. En la FI al agregar el Fulvato de calcio a la mayor dosis (FCa10), se superó a la FQ en 15 por ciento y con la misma dosis, solo que con el Fulvato de magnesio (FMg10), se adelantó en dos por ciento a la FQ en los SST. En el PFR a la adición de 800 mg.kg-1 del Fulvato de magnesio (FMg8), se presentó el valor mayor porque se aventajó en 12 por ciento al Control y en el peso seco de ese mismo órgano (PSR), con la aplicación del FK a razón de 600 mg.kg-1, se aventajó a la FQ en 30 por ciento y en la Vitamina C del fruto, con el mismo compuesto orgánico-mineral y a la misma dosis, se superó a la FQ en 247 por ciento. Con base en el Cuadro 2, se tiene que los tratamientos realizaron efecto altamente significativo en los tres elementos medidos al tejido vegetal del follaje, de tal forma que: al adicionar el Fulvato de potasio a la cantidad de 1000 mg.kg^{-1}, se aventajó al Control en 209 por ciento. Al aplicar la dosis alta del Fulvato de magnesio (FMg), se superó a la FQ en 205 por ciento en el contenido de Magnesio y

con la agregación de 1000 mg.kg^{-1} del FCa, se adelantó al Control en 490 por ciento.

Cuadro 1. Características medidas al tomate tipo "Heirloom", con la adición de tres Fulvatos.

Tratamientos	Peso (g. planta)	DP (cm)	DE (cm)	FI (Nw)	SST (ºBrix)	PFR (g)	PSR (g)	VC (mg.100g muestra)
FK6	2438.30^{ab}	5.77^{a}	5.81^{a}	1.97^{ab}	6.41^{a}	77.28^{a}	41.90^{a}	2.92^{a}
FK8	2433.92^{ab}	5.87^{a}	5.76^{ab}	1.92^{b}	6.21^{a}	60.12^{abc}	29.50^{abc}	2.09^{bc}
FK10	3210.46^{a}	5.89^{a}	5.59^{abc}	1.93^{ab}	6.19^{a}	48.33^{bc}	26.32^{c}	2.76^{ab}
FMg6	2309.58^{ab}	5.52^{a}	5.29^{abc}	2.06^{ab}	6.44^{a}	55.11^{abc}	27.78^{bc}	2.00^{c}
FMg8	2555.62^{ab}	5.79^{a}	5.69^{abc}	1.88^{b}	6.49^{a}	77.95^{a}	40.11^{ab}	1.00^{d}
FMg10	1961.20^{ab}	5.47^{a}	5.05^{c}	1.87^{b}	6.71^{a}	39.88^{c}	20.58^{c}	0.91^{d}
FCa6	2109.52^{ab}	5.29^{a}	5.13^{bc}	1.89^{b}	6.51^{a}	50.12^{bc}	23.08^{c}	0.96^{d}
FCa8	2601.62^{ab}	5.54^{a}	5.40^{abc}	2.00^{ab}	6.32^{a}	51.01^{bc}	24.03^{c}	1.01^{d}
FCa10	2337.46^{ab}	5.63^{a}	5.73^{ab}	2.23^{a}	6.41^{a}	77.92^{a}	40.74^{ab}	0.97^{d}
FQ	1745.02^{b}	5.56^{a}	5.51^{abc}	1.94^{ab}	6.61^{a}	69.39^{ab}	32.27^{abc}	0.84^{d}

Cuadro 2. Contenido de potasio (K), magnesio (Mg) y calcio (Ca) del tejido vegetal de follaje de tomate "Heirloom", con la adición de tres Fulvatos.

Elemento	Tratamiento									
	FK6	FK8	FK10	FMg6	FMg8	FMg10	FCa6	FCa8	FCa10	FQ
K	2.17^{c}	2.36^{c}	4.43^{a}	1.90^{cd}	2.40^{c}	2.10^{c}	3.10^{b}	3.30^{b}	3.57^{b}	1.4^{d}
Mg	0.34^{bcd}	0.22^{e}	0.24^{e}	0.26d^{e}	0.38^{b}	0.58^{a}	0.41^{b}	0.27^{cde}	0.35^{bc}	0.19^{e}
Ca	1.85^{bcd}	2.08^{b}	1.43^{d}	1.87^{bcd}	1.61^{cd}	1.46^{d}	1.60^{cd}	2.02^{bc}	3.66^{a}	0.62^{e}

A forma de discusión, se tiene que los tratamientos realizaron efecto positivo en las variables medidas a la planta, al tejido vegetal de follaje y al fruto, donde sobresale el Fulvato de potasio y de acuerdo con Zanin *et al.* (2019), se establece que los ácidos fúlvicos, sin mezclar o mezclados con elementos minerales, pueden realizar dos funciones ya sea de forma consecutiva y/o de manera simultánea, la primera es de acidificar la rizosfera lo que facilita la absorción de nutrimentos y la segunda de quelatar a los elementos minerales, llevarlos a la rizosfera y según Marastoni *et al.* (2020) como ésta tiene pH de ligeramente ácido a ácido por la alta generación de iones H+, los elementos químicos son absor-

bidos con mayor facilidad por la raíz de la planta y no tienen que gastar energía en la generación de exudados para acidificar la rizosfera, porque Covarrubias y Rombolá (2015), establecen que para que la planta pueda absorber nutrientes, y sobre todo en sustratos o suelos con pH con valor arriba de 7.0, la planta necesita generar exudados que son ácidos orgánicos de bajo peso molecular como el ácido acético, ácido cítrico y ácido láctico, entre otros.

Conclusiones

La adición del Fulvato de potasio aumentó la calidad y la producción del tomate "Heirloom", lo que muestra que estos compuestos pueden ser empleados como Bioestimulantes.

Literatura citada

Covarrubias, J. I. and Rombolà, A. D. 2015. Organic acids metabolism in roots of grapevine rootstocks under severe iron defciency. *Plant Soil* 394, 165–175.

Marastoni, L., L. Lucini, B. Miras-Moreno, M. Trevisan, D. Sega, A. Zamboni and Z. Varanini. 2020. Changes in physiological activities and root exudates profile of two grapevine rootstocks reveal common and specific strategies for Fe acquisition. *Scientific Reports. Nature Research*. http://doi.org/10.1038/s41598.020.75317.w

Zanin, L., N. Tomasi, S. Cesco, Z. Varanini and R. Pinton. 2019. Humic Substances Contribute to Plant Iron Nutrition Acting as Chelators and Biostimulants. Mini Review. Frontiers in Plant Science.

Crecimiento y uso de agua en espinaca cultivada hidropónicamente en caurto con lámparas LED

Marco Antonio Bustamante-García[1]
Michiko Takagaki[2]
Lu Na[2]
Alejandro José Bustamante-Dávila[3]

Resumen

La espinaca es una hortaliza de hoja que se utiliza mucho en las ensaladas, siendo su producción normalmente en suelo y a campo abierto, aunque más recientemente se está produciendo también en invernaderos y utilizando sistemas hidropónicos como son el NFT y el DWC, donde se obtienen productos de mayor calidad y se logran grandes ahorros en agua y fertilizantes. En ciertos lugares del mundo también se está empezando a producir en fábricas de plantas donde es necesario utilizar lámparas LED para producir bajo condiciones más controladas, obteniéndose productos más inocuos y también se puede tener una alta eficiencia en el uso del agua y del área de cultivo. Por lo anterior,

[1] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.

[2] Chiba University, Japan.

[3] INIFAP, Mexico y Wageningen University and Research, The Netherlands. Email:mbusgar@hotmail.com.

el objetivo de esta investigación fue cultivar espinaca en un cuarto cerrado provisto de los sistemas hidropónicos NFT y DWC, ambos con dos tipos de lámparas LED, Megaluz T8 de luz blanca y Phlizon 600 de luz roja/azul, para determinar bajo que condición se obtenía el mejor crecimiento y la mayor eficiencia en el uso del agua. Después de los 28 días de cultivo bajo estas condiciones, encontramos que la espinaca presento un mejor crecimiento y una mayor eficiencia en el uso del agua, en el sistema NFT, con ambos tipos de lámparas (23 l/kg de producto cosechado), en comparación a lo que observamos en el sistema DWC, aunque en este sistema se logró un mayor rendimiento por unidad de superficie cultivada (2kg de producto/m^2).

Palabras clave: *Spinacia oleracea, NFT, DWC, eficiencia hídrica*.

Introducción

La espinaca (*Spinacia oleracea* L.) pertenece a la familia del betabel (*Chenopodiaceae*) y es una hortaliza de hoja que tiene muchas vitaminas y minerales, tiene un gran sabor y es fácil de cultivar. Además de ser nutritiva, es muy versátil en la cocina ya que es deliciosa en ensaladas frescas y es un ingrediente esencial en

muchos platillos calientes, incluyendo la lasaña. La espinaca es tolerante al frio y crece mejor al principio y al final de la estación de crecimiento. Se puede sembrar directamente en el suelo o germinar primeramente en charolas dentro de un invernadero y después trasplantar al campo. Sin embrago, más recientemente su producción también está realizando en invernaderos que cuentan con sistemas hidropónicos modernos, como el sistema NFT (Técnica de Película Nutritiva) o el sistema DWC (Cultivo de Agua Profundo), donde los rendimientos que se obtienen son mayores.

Los productos cosechados en estos sistemas son de alta calidad y el consumo de agua y fertilizantes se reducen considerablemente (Raviv and Lieth, 2008). También en tiempos más recientes y en diferentes partes del mundo, la producción de esta y de otras hortalizas de hoja, se está realizando en instalaciones completamente cerradas, llamadas fábricas de plantas, donde es necesario utilizar luz artificial, como puede ser el uso de lámparas LED, y así producir estas hortalizas independientemente de las condiciones ambientales externas, teniéndose además produc-

tos libres de pesticidas y reduciéndose aún más el uso de agua y fertilizantes (Ijichi, 2018). Por todo lo anterior, el objetivo de esta investigación fue cultivar a la espinaca en un cuarto oscuro, para evaluar su crecimiento y uso de agua en los sistemas hidropónicos NFT y DWC, utilizando dos tipos de lámparas LED.

Materiales y métodos

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en el Departamento de Horticultura de la UAAAN, en Saltillo, Coahuila, en el periodo de enero a marzo del 2021. Semillas de espinaca var. Han F-1 fueron germinadas en cubos de lana de roca, utilizando charolas plásticas colocadas en un estante dentro de un cuarto oscuro, después de lo cual las plántulas en desarrollo fueron colocadas bajo lámparas LED de luz blanca, operando por 12 horas al día y con una intensidad de radiación fotosintética de150 $\mu mol/m^2/s$; periodo en el cual plántulas fueron asperjadas con una solución nutritiva diluida al 30%. Después de este tiempo, las plántulas fueron trasplantadas a los sistemas hidropónicos NFT y DWC, teniéndose 16 y 12 plantas (repeticiones) por sistema y cuyas dimensiones eran de 0.35 m^2 y 0.13 m^2, respectiva-

mente; y estando cada uno de estos bajo dos tipos de lámparas LED, siendo estas Megaluz T8 y Phlizon 600, cuyas características de radiación en cuanto al color de la luz que emiten, a la intensidad de radiación o densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) y a la emisión de radiación ultravioleta (UV-A y UV-B), se presentan en el cuadro 1, las cuales fueron determinadas utilizando un Apogee Quantum Flux y un medidor de luz UV modelo UV340B; operando estas por 16 horas al día y con lo cual se calculó el DLI (Integral de Luz Diaria) de cada una de estas. En los dos sistemas hidropónicos se utilizó una solución nutritiva recomendada para el cultivo de hortalizas de hoja (Bustamante, *et al*., 2021); teniéndose el riego operando en el sistema NFT, por 15 minutos y apagándose por 45 minutos, durante el periodo de 16 horas al día; mientras que en el sistema DWC, la solución nutritiva se oxigenaba con la ayuda de una bomba de oxigeno de acuario, prendiéndose por 15 minutos y apagándose por 45 minutos, durante el mismo periodo de 16 horas al día. La cantidad de solución nutritiva utilizada en cada sistema de cultivo se determinó midiendo la cantidad de solución inicial, la cantidad que

se les fue agregando para reponer el uso de esta y la cantidad que sobro al final del cultivo. El cuarto contaba con tres abanicos pequeños marca Atvio, con los cuales se buscó tener una buena circulación de aire alrededor de las plantas, midiéndose también la temperatura y la humedad relativa dentro del cuarto, con la ayuda de un higro-termómetro Extech, variando estas entre los 16 y 23°C y 40 y 70%. Las plantas se desarrollaron por 28 días bajo estas condiciones de cultivo, después de lo cual fueron cosechadas para determinar el peso fresco total de las plantas (a partir del cual se calculó el peso seco, considerándose como un 10% del peso fresco), utilizándose una báscula digital Oneida LAB-500.

Se midieron previamente las unidades SPAD en las hojas de 6 plantas por tratamiento con la ayuda de un medidor de clorofila SPAD-502 Konica Minolta. Este último dato se sometió a un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de Tukey (P=0.05), utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System), versión 9.0.

Resultados y discusión

El cuadro 1 nos muestra que las lámparas Phlizon 600 emiten una intensidad de radiación fotosintética (PPFD) de 310 μmol/m²/s, lo cual resulta en una Integral de Luz Diaria (DLI) de 17.8 moles/día, al estar operando durante 16 horas al día, además de que no emiten radiación UV. Por otra parte, las lámparas Megaluz T8 emitían un menor PPFD de 230 μmol/m²/s, que resulta en un DLI de 13.2 moles/día, emitiendo una cantidad de radiación UV muy baja (9.9 μW/cm²) o casi insignificante en comparación con lo que emiten otras lámparas o el sol (630 μW/cm² al emitir un PPFD de 290 μmol/m²/s).

Cuadro 1. Características de radiación de las dos lámparas LED utilizadas en el cultivo de la espinaca en los sistemas hidropónicos NFT y DWC.

Lámpara LED	PPFD μmol/m²/s	UV-A y UV-B μW/cm²	DLI Moles/Día
Megaluz T8 48w luz blanca	230	9.9	13.2
Phlizon 600 55w luz roja/azul	310	0.2	17.8

El cuadro 2 nos presenta el peso fresco y el peso seco total del follaje, en las 16 plantas cultivadas en el sistema NFT, así como en las 12 plantas cultivadas en el sistema DWC, bajo los dos tipos de lámparas LED; observándose también el volumen de agua utilizada en cada uno de los tratamientos. Estos datos nos muestran claramente que el peso fresco total del follaje fue superior en el sistema NFT, que fue de alrededor de los 550 gr, comparado al que se obtuvo en el sistema DWC, donde se registró un valor de alrededor de los 260 gr; datos que se consideran muy diferentes, aun tomando en cuenta que el sistema NFT tenía 16 plantas y el sistema DWC contaba con solo 12 plantas. Se puede observar también que en ambos sistemas hidropónicos el peso total del follaje fue ligeramente superior al cultivarse bajo las lámparas Phlizon 600, comparado con lo obtenido con las lámparas Megaluz T8, lo cual pudiera estar relacionado con la mayor radiación PPFD y DLI que se tenía con la primera lámpara.

Los datos de agua utilizada en cada uno de los tratamientos presentaron un comportamiento similar al parámetro anterior, ya que en el sistema NFT se utilizaron 12.7 litros, con ambos

tipos de lámparas; mientras que en el sistema DWC se utilizó 8.0 litros, también con las dos lámparas. Con estos datos calculamos la eficiencia del uso de agua en base al peso fresco y peso seco del follaje, observando que el primero fue de alrededor de 43 gr/l y 33 gr/l en los sistemas NFT y DWC, respectivamente; mientras que el segundo fue de alrededor de 4.3 gr/l y 3.3 gr/l, en los mismos sistemas hidropónicos. Este último dato de gramos de peso seco producido por cada litro de agua utilizada es empleado para determinar la eficiencia de un sistema hidropónico ya que representa la conversión del CO_2 en materia seca por cada litro de agua usada.

En los sistemas de producción agrícola convencional en el suelo y a campo abierto es también común reportar esta eficiencia en base a los litros de agua que se requieren para producir un kilogramo de producto cosechado. Encontramos que el sistema hidropónico NFT es más eficiente, ya que en este se requieren alrededor de 23 litros, mientras que en el sistema hidropónico DWC, se necesitan alrededor de 30 litros. Por otra parte, una forma común de reportar la productividad de un sistema de pro-

ducción agrícola tanto a campo abierto, como en invernadero o en una fábrica de plantas, es en base a los kilogramos de producto cosechado por hectárea o por m^2 de superficie cultivada, conocido más comúnmente como rendimiento; encontrando en este estudio que contrario a lo que reportamos de que el sistema NFT fue más eficiente en el uso de H_2O que el sistema DWC, este último resulto más eficiente en el uso del área de cultivo ya que puede producir alrededor de 2 kg de producto por m^2 de superficie utilizada, mientras que con el sistema NFT se producen alrededor de 1.5 kg/m^2.

Cuadro 2. Peso fresco y peso seco total del follaje, agua utilizada, eficiencia en el uso del agua y rendimiento de la espinaca, cultivada en los sistemas hidropónicos NFT y DWC, bajo dos tipos de lámparas LED.

Tratamiento	Peso fresco total follaje gr	Peso seco total follaje gr	H_2O utilizada l	Eficiencia uso H_2O peso fresco gr/l	Eficiencia uso H_2O peso seco gr/l	Eficiencia uso H_2O l/kg	Rendimiento kg/m²
NFT Megaluz T8 48w luz blanca	552	55.2	12.7	43	4.3	23.3	1.577
NFT Phlizon 600 55w luz roja/azul	556	55.6	12.7	44	4.4	22.7	1.589
DWC Megaluz T8 48w luz blanca	258	25.8	8.0	32	3.2	31.3	1.985
DWC Phlizon 600 55w luz roja/azul	268	26.8	8.0	34	3.4	29.4	2.062

En el cuadro 3 se presentan los datos de Unidades SPAD en las hojas de la espinaca, observándose que los valores más altos se encontraron en el sistema NFT que tenía lámparas Phlizon 600 de luz roja/azul, comparados con los encontrados en los

otros tratamientos, lo cual pudiera estar relacionado con las longitudes de onda o color de luz que emiten estas lámparas, lo cual concuerda con lo que encontramos en la lechuga (Bustamante, *et al*., 2021) y lo que reporto Ohashi-Kaneko, *et al*. (2007) en lechuga, espinaca y komatsuna, de que longitudes de radiación roja y azul inducen mayores niveles de clorofila y otros pigmentos en las hojas, comparado con lo que se induce con luz blanca.

Cuadro 3. Unidades SPAD en las hojas de la espinaca, cultivada en los sistemas hidropónicos NFT y DWC, bajo dos tipos de lámparas LED.

Tratamiento	Unidades SPAD
NFT/Megaluz T8/48w luz blanca	48.0 b
NFT/Phlizon 600/55w luz roja/azul	53.9 a
DWC/Megaluz T8/48w luz blanca	49.2 b
DWC/Phlizon 600/55w luz roja/azul	49.1 b
DMS (0.05)	4.0

Medias con la misma letra en columna entre tratamientos, son estadísticamente iguales (α=0.05); DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Conclusiones

La espinaca presentó un mejor crecimiento y una mayor eficiencia en el uso del agua en el sistema hidropónico NFT, con las dos lámparas utilizadas (23 l/kg de producto cosechado), comparado a lo observado en el sistema hidropónico DWC, aunque en este último se obtuvo un mayor rendimiento por unidad de superficie cultivada (2 kg de producto/m^2).

Literatura citada

Bustamante-Garcia, M.A., M. Takagaki, L. Na, y A.J. Bustamante-Dávila. 2021. Crecimiento y unidades SPAD en lechuga hidropónica cultivada en cuarto con dos diferentes lámparas LED. En: Simposio Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura. 155-158.

Ijichi, H. (2018) Plant factory business in Japan. Agric. *Biotechnology* 2(6):19-23

Ohashi-Kaneko, K., M. Takase, K. Naoya, K. Fujiwara and K. Kurata (2007) Effect of light quantity on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. *Environ. Control Biol*. 45:189-198

Raviv M. and J. H. Lieth (2008) Significance of soiless culture in agriculture. In: *Soilless Culture. Theory and Practice*. M. Raviv and J. H. Lieth (eds.). Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. pp:1-11.

Cuantificación de microhongos de suelo en asentamientos irregulares en la alcaldía de Tlalpan, CDMX

Judith Castellanos-Moguel[1]
Berenice Barrientos Ojeda[2]
Gilberto Vela Correa[2]
Alberto González Pozos[3]

Resumen

La Ciudad de México cuenta con zonas de suelo de conservación que ha sido cubierto con asentamientos irregulares, derivados de las demandas de vivienda y una falta de gestión de esta. Actualmente no se cuenta con información de la afectación de dichos asentamientos sobre la comunidad fúngica del suelo, por lo que el objetivo de este trabajo fue cuantificar las unidades formadoras de colonias de hongos filamentosos en predios con asentamientos irregulares en la alcaldía de Tlalpan, CDMX. Se tomaron muestras en 12 sitios, correspondientes a seis predios

[1] Laboratorio de Micología, Departamento El Hombre y su Ambiente Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

[2] Laboratorio de Edafología, Departamento El Hombre y su Ambiente Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

[3] Departamento de Teoría y Análisis, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

mjmoguel@correo.xoc.uam.mx.

con uso de suelo habitacional y/o comercial principalmente, también se tomaron sitios testigo en predios agrícolas y forestales. Se aislaron y cuantificaron las unidades formadoras de colonias fúngicas (UFC) y se montó un mesocosmos con el suelo del sitio donde se encontró la mayor cantidad de UFC. Se encontraron hongos en todos los puntos de muestreo. El predio La Magueyera fue el que contó con una mayor cantidad (8.0×10^5) y el menor San Miguel Toxiac (1.2×10^5). Todos los sitios, incluyendo los testigos, presentaron el mismo orden de magnitud (105) para las UFC. En el caso del mesocosmos, se encontraron hongos filamentosos, bacterias Gram negativas, diatomeas y nematodos, por lo que, a pesar de perder superficie de suelo de conservación, aún existen algunos organismos que permiten el ciclado de nutrimentos, sin embargo, es fundamental evitar el crecimiento de la mancha urbana para evitar la pérdida de servicios ambientales proporcionados por la comunidad microbiana presente.

Palabras clave: *Unidades formadoras de colonias, captura de carbono, servicios ambientales*.

Introducción

La Ciudad de México cuenta con zonas de suelo de conservación, que tienen capacidad de secuestrar carbono y mitigar así los efectos del cambio climático, además de prestar servicios ambientales diversos y albergar una gran biodiversidad de plantas y animales asociados a la vegetación y al suelo, como un amplio grupo de invertebrados, insectos y otros artrópodos, además de una extensa comunidad microbiana, entre los componentes de dicha comunidad se encuentran los hongos filamentosos asociados a las raíces de los árboles y los que se encuentran de vida libre en el suelo. Todos estos organismos tienen papeles importantes relacionados con la fertilidad del suelo y el ciclado de nutrientes, además, la presencia de los microorganismos en estas zonas ha mostrado reducir las alergias en personas expuestas a los mismos (Delgado-Baquerizo *et al*., 2021). Dentro de las alcaldías de la CDMX que tienen mayor extensión de suelo de conservación, se encuentra Tlalpan (SRA, 2012), sin embargo, también es de las primeras cinco que cuenta con una gran cantidad de asentamientos urbanos irregulares, que invaden las áreas de conser-

vación, esto agravado por una falta de política integral para las demandas de vivienda de una ciudad que crece continuamente (Roa Marquez, 2016). Actualmente, existen estudios de la cantidad de hongos en suelos agrícolas (Samaniego Gaxiola, 2007); y para la alcaldía se han hecho estudios en sitios forestales y agrícolas (Castellanos-Moguel *et al*., 2018), sin embargo no se cuenta con información de cómo esos asentamientos irregulares afectan a la comunidad microbiana del suelo, es por esto que el objetivo de este trabajo fue cuantificar las unidades formadoras de colonias de hongos filamentosos en predios con asentamientos irregulares en la alcaldía de Tlalpan, CDMX.

Materiales y métodos

Se tomaron muestras de suelo de seis predios, donde se localizaron sitios con uso de suelo habitacional y/o comercial principalmente, también se tomaron sitios testigo en predios agrícolas y forestales ubicados dentro de la misma zona de estudio. En total, se obtuvieron 12 muestras de suelos con asentamientos y cuatro testigos de agrícola o forestal. Las muestras que se tomaron fueron compuestas a una profundidad de 0 a 40 cm

en todos los casos, las cuales se manejaron como especímenes biológicos y se mantuvieron en refrigeración durante el traslado y hasta su procesamiento en laboratorio.

Aislamiento de hongos

Se realizó utilizando el método de Placas de Warcup modificado (Mier *et al*., 2013). Para tal fin, se pesaron 25 g de suelo tamizado previamente y se adicionaron a 225 mL de Tween 80 al 0.5% estéril. Se hicieron diluciones decimales, de las cuales se tomaron 100 ml y se depositaron en el fondo de cajas de Petri a las cuales se les agregó medio Rosa de Bengala estéril, fundido y frio, adicionado con 500 mg/L de cloramfenicol, para obtener colonias puras. Las cajas se incubaron a 28ºC de 7 a 11 días para permitir el desarrollo de las colonias. Pasado el tiempo de incubación, se cuantificó el número de UFC y se calculó la cantidad de estas por gramo de suelo. Cada prueba se realizó por triplicado, a partir de siembras distintas en días diferentes y se trabajaron en lotes de tres repeticiones cada uno. Debido a que el sitio 6 fue en donde se registraron más unidades formadoras de colonias, a pesar de ser un sitio con asentamientos irregulares, se

montaron mesocosmos con 100 gr de suelo, mantenido a la humedad registrada en el sitio de muestreo, y se colocaron en ellos portaobjetos para proporcionar superficies de adherencia y determinar los principales grupos de organismos presentes en el suelo además de los hongos. Al igual que las UFC, los mesocosmos se realizaron por triplicado.

Resultados y discusión

Se realizó la caracterización de los sitios con asentamientos humanos irregulares en cuanto al uso de suelo y la vegetación dominante cuando fue el caso (Cuadro 1). En todos los casos, hubo algunos predios pequeños o circundantes con campos de cultivo, y algunos árboles.

En todos los sitios de muestreo se pudieron aislar UFC fúngicas (Cuadro 2), la mayor cantidad de hongos se encontró en el sitio 6 (8.0×10^5), correspondiente a La Magueyera, la menor en el 1 (1.2×10^5), en San Miguel Toxiac, mientras que el 5, 8 y 9, presentan la misma cantidad (2.7×10^5), a pesar de estar en ubicaciones diferentes. Todos los sitios tienen el mismo orden de magnitud (10^5). Los sitios 12, 14, 15 y 16 son zonas testigo. El sitio 12

corresponde a un campo agrícola con avena y los restantes tienen vegetación nativa, el sitio 16 es el que tiene una mayor cantidad de UFC (9.4×10^5). La cantidad de UFC encontrada en los sitios testigo, es similar a la encontrada en otros sitios en la misma alcaldía; con muestreos previos (Castellanos-Moguel *et al*., 2018), se detectó que en Parcelas de Papa de Parres-El Guarda, la cantidad de hongos filamentosos es similar (4.0×10^5). Estas cantidades de UFC podrían tomarse como un indicador de perturbación, ya sea por el uso de agroquímicos o el cambio de uso de suelo, mientras que, en la zona forestal de La Cima, hay una mayor cantidad (1.1×10^6). Esto podría sugerir que hay una menor perturbación en la zona forestal y una mayor cantidad de servicios ambientales por parte de los hongos de suelo, mientras que, en la zona de papa y los predios muestreados, las comunidades fúngicas están sujetas a mayor estrés y por lo tanto presentan una perturbación evidente.

Los principales organismos encontrados en el mesocosmos, fueron hongos filamentosos, bacterias Gram negativas, diatomeas, nemátodos, (Figura 1) lo que indica que existe aún una

cantidad adecuada de organismos capaces de establecer el ciclado de los nutrimentos, sin embargo, es necesario realizar el montaje de mesocosmos en cada uno de los sitios para corroborar que los asentamientos humanos irregulares están causando perturbaciones en la comunidad del suelo.

Cuadro 1. Características y superficie de cada uno de los predios muestreados.

No	Predio	Sup. (ha)	Características
1	Tres de Mayo	8.15	Uso de suelo habitacional, parcelas agrícolas para el cultivo de avena forrajera (*Avena sativa*). Se pueden observar diversas gramíneas como paja brava (*Stipa ichu)*, avena loca (*Avena fatua*), pasto navaja o navajita (*Bouteloa* sp.) y *Agrostis* sp. En estrato arbóreo se encuentran encinos (*Quercus* sp).
2	Alta Tensión	3.89	Predio completamente ocupado por asentamientos humanos, aunque aledaños hay algunas parcelas agrícolas que se dedican al cultivo de avena forrajera y maíz (*Zea mais*). También pueden observarse diversas gramíneas particularmente paja brava, avena loca y *Agrostis* sp. entre otras. En el estrato arbóreo se encuentran algunos encinos, ciprés (*Cupressus sempervirens*). También se encontró maguey manso (*Agave salmiana*).
3	La Magueyera	4.37	Predio completamente ocupado por asentamientos humanos. Conserva algunas parcelas agrícolas para el cultivo de avena forrajera. También gramíneas como paja brava, avena loca, navajita y *Agrostis* sp. principalmente. El estrato arbóreo es muy escaso, aunque pueden observarse ejemplares de encinos y aile (*Alnus jurulensis*).
4	San Miguel Toxiac	16.63	Uso de suelo con asentamientos humanos irregulares. En este predio se encuentran algunas parcelas agrícolas con maíz y avena forrajera. También gramíneas como paja brava y avena loca. En el estrato arbóreo se encuentran encinos y ailes, mientras que en las áreas pedregosas y limite de parcelas son frecuentes los pirules (*Schinus molle*)

No	Predio	Sup. (ha)	Características
5	Pedregal de Aminco	8.43	Aunque son asentamientos humanos irregulares, existen a su alrededor algunas parcelas agrícolas que se dedican al cultivo de avena forrajera y maíz. También hay avena loca, paja brava, camalote (*Braccchiaria* sp.,) y paja blanca (*Camalamagrostis* sp.). En el estrato arbóreo aun existen algunos ejemplares de encinos, pirú, aile, y cedros (*Cupressus lusitanica*).
6	Las Margaritas	0	Uso de suelo habitacional, parcelas agrícolas para el cultivo de avena forrajera. Se pueden observar también paja brava, avena loca, pasto navaja y *Agrostis* sp. En estrato arbóreo se encuentran encinos.

Cuadro 2. Cantidad de unidades formadoras de colonias encontradas en zonas de asentamientos irregulares en Tlalpan.

Sitio	UFC/ g de suelo	Ubicación	Coordenadas
1	1.2×10^5	San Miguel Toxiac	19°12'25.4'' N, 99°09'07.6'' W
2	4.0×10^5	San Miguel Toxiac	19°12'25.4'' N, 99°09'07.6'' W
3	4.6×10^5	Las Margaritas	19°12'07.4'' N, 99°09'06.1'' W
4	3.8×10^5	Las Margaritas	19°12'06.3'' N, 99°09'06.4'' W
5	2.6×10^5	Las Margaritas	14 Q 0485643 E, 2127552 N
6	8.0×10^5	Magueyera	14 Q 0484490 E, 2127844 N
7	3.7×10^5	Alta tensión	14 Q 0485330 E, 2127700 N

Sitio	UFC/ g de suelo	Ubicación	Coordenadas
8	2.7×10^5	Alta tensión (paraje la caseta)	14 Q 0484580 E, 2127650 N
9	2.7×10^5	Alta tensión	14 Q 0484944 E, 2126116 N
10	4.6×10^5	Tres de Mayo	14 Q 0484457 E, 2127249 N
11	5.8×10^5	Alta tension	14 Q 0484615 E, 2127351 N
12	4.9×10^5	Topilejo (Sitio testigo)	14 Q 0482571 E, 2117767 N
13	4.4×10^5	Pedregal de Aminco	14 Q 0486106 E, 2123365 N
14	2.5×10^5	Camino Real al Cerezo (Sitio testigo)	14 Q 0485542 E, 2127204 N
15	6.4×10^5	La cima (Sitio testigo)	14 Q 0484036 E 2124495 N
16	9.4×10^5	Topilejo (Sitio testigo)	14 Q 0480250 E, 2115443 N

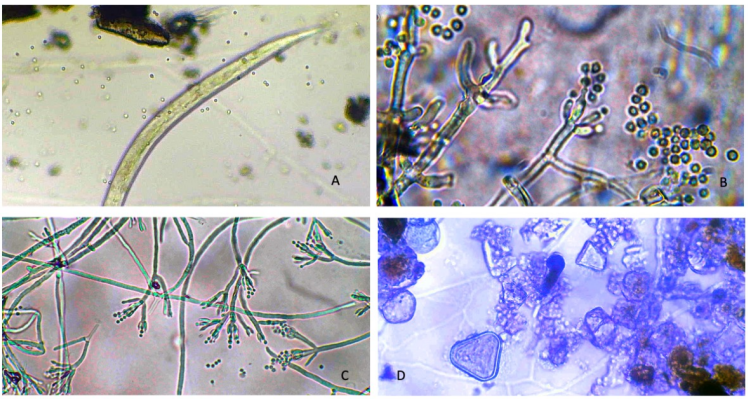


Figura 1. Algunos de los organismos presentes en el sitio 6 de muestreo, correspondiente al predio La Magueyera. A) Nemátodo no identificado, 10X. B) *Penicillium* spp. 100x. Se aprecian conidióforos con fiálides y métulas así como los conidios catenulados y ornamentados. C) *Penicillium* spp. 40 x. Se aprecian conidióforos con fiálides y métulas así como los conidios. D) Diatomea no identificada. 10 x. Nótense las hifas de hongos en segundo plano y las clamidosporas en la parte superior izquierda de la imagen.

Conclusiones

Se encontraron UFC de hongos en todos los sitios muestreados, la mayor cantidad de hongos se encontró La Magueyera y la menor San Miguel Toxiac. Todos los sitios, incluyendo los

testigos, tienen el mismo orden de magnitud (10^5), lo que indicaría que la comunidad de hongos filamentosos se ha conservado en las zonas donde aún hay suelo con vegetación y se recuperado en los asentamientos irregulares cuando se compara con la cantidad de los sitios testigo, esto a pesar de que la presencia de construcciones constituye un factor de estrés para los microorganismos, y los encontrados podrían estar asociados a la poca vegetación remanente.

Los resultados del mesocosmos indican que existen organismos capaces de ciclar de nutrimentos y brindar diversos servicios ambientales a la zona.

Literatura citada

Castellanos-Moguel, J. Cano-Flores, O., Vela-Correa, G. 2018. Unidades formadoras de colonias fúngicas en sitios con diferente manejo de suelo en Tlalpan, CDMX. XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Saltillo Coahuila, octubre 1 a 5.

Delgado-Baquerizo *et al*. 2021. Global homogenization of the structure and function in the soil microbiome of urban green spaces. *Sci. Adv*. 7: eabg5809.

Mier, T., F Rivera-Becerril, M.A. Ayala-Zermeño, C. Toriello, S. Aguilar Ogarrio y M. Ulloa. 2013. *Métodos experimentales para el estudio de hongos microscópicos*, Instituto de Biología, UNAM, Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Samaniego-Gaxiola, J.A y Chew-Madinaveitia, Y. 2007. Diversidad de géneros de hongos del suelo en tres campos con diferente condicion agrícola en La Laguna, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 78: 383-390-

Roa Márquez, E. 2016. Asentamientos humanos irregulares en suelo de conservacion. Problemática y planteamientos. PAOT. 15 p.

SRA. 2012. Cuaderno de alternativas de desarrollo y retos del núcleo agrario-Ejido "El Guarda o Parres" Tlalpan, D.F. Gobierno Federal, Secretaría de la Reforma Agraria, Registro Agrario Nacional, Procuraduría Agraria, Fideicomiso Fondo Nacional de Fomento Ejidal, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, México, D.F. 54p.

Cultivo hidropónico de la albaca con lámparas LED y su efecto en crecimiento y consumo hídrico

Marco Antonio Bustamante-García[1]
Michiko Takagaki[2]
Lu Na[2]
Alejandro José Bustamante-Dávila[3]

Resumen

La albaca es una hierba aromática utilizada comúnmente como condimento en diferentes platillos, así como para consumirse en forma de té, siendo su uso principal como ingredientes del pesto o salsa con que se preparan las pizzas. Su cultivo puede hacerse en suelo y a campo abierto, aunque más recientemente se está realizando en invernaderos utilizando macetas o sistemas hidropónicos. Así mismo, se ha empezado a cultivar en fábricas de plantas, donde los sistemas hidropónicos cuentan con lámparas LED y donde es posible producir productos más inocuos libres de pesticidas, además de obtenerse grandes ahorros en agua y fertilizantes. Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue eva-

[1] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.

[2] Chiba University, Japan.

[3] INIFAP, Mexico y Wageningen University and Research, The Netherlands. mbusgar@hotmail.com.

luar el crecimiento y consumo hídrico de la albaca, cultivada en un cuarto con dos sistemas hidropónicos (NFT y DWC), y dos tipos de lámparas LED (Megaluz T8 de luz blanca y Phlizon 600 de luz roja/azul). Pasados los 28 días bajo estas condiciones de cultivo, encontramos que el crecimiento de la albaca fue mejor en el sistema NFT que en el sistema DWC, por lo que al final encontramos que la mayor eficiencia en el uso del agua (45.5 l/kg de producto cosechado) y el mayor rendimiento (1.715 kg de producto/m^2 de superficie cultivada) se obtuvo en el sistema hidropónico DWC provisto de lámparas LED Philzon 600 de luz roja/azul.

Palabras clave: *Ocimum basilicum, NFT, DWC, eficiencia hídrica*.

Introducción

La albaca (*Ocimum basilicum L.*) pertenece a la familia de la menta (*Labiatae*) y es considerada como una hierba aromática que se asocia perfectamente con el tomate, no solo en el campo, donde puede confundir a las plagas de insectos que atacan al tomate; sino también en la cocina, donde se pueden preparar deliciosos

platillos de rebanadas de tomate cubiertas con pedazos de hojas de albaca; es por esto que este cultivo se puede considerar más como una hortaliza de hoja, que como una hierba aromática. La albaca prefiere crecer a altas temperaturas y es muy sensible al frio, pudiéndose sembrar directamente al suelo o se puede sembrar primeramente en charolas y después trasplantar, para obtener cosechas tempranas.

Últimamente también se está produciendo en invernaderos y en fábricas de plantas, utilizando sistemas hidropónicos y lámparas LED en estas últimas, obteniéndose en ambos casos altos rendimientos, productos de alta calidad y una mayor eficiencia en el uso del agua y fertilizantes (Raviv and Lieth, 2008; Ijichi, 2018). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el crecimiento y consumo hídrico de la albaca, cultivada en un cuarto provisto de los sistemas hidropónicos NFT (Técnica de Película Nutritiva) y DWC (Cultivo en Agua Profunda), bajo dos tipos de lámparas LED.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en el Departamento de Horticultura de la UAAAN, en Saltillo, Coahuila, en los meses de marzo a mayo del 2021. Semillas de albaca var. Grande Verde fueron sembradas en cubos de hule espuma (peat foam) colocados en charolas plásticas y estas puestas en un cuarto oscuro hasta que observamos su germinación y emergencia de plántulas. Después de esto, las charolas se colocaron bajo lámparas LED que emitían luz blanca y una intensidad de radiación fotosintética (PAR) de 150µmol/m^2/s, con un fotoperiodo de 16 horas. Durante este tiempo las plántulas fueron asperjadas con una solución nutritiva diluida al 30%, después de lo cual las plántulas fueron trasplantadas a los sistemas NFT y DWC, en los cuales se establecieron16 y 12 plantas (repeticiones), respectivamente. Ambos sistemas hidropónicos estuvieron bajo dos tipos de lámparas LED, una que emitía luz blanca (Megaluz T8) y otra que emitía luz roja/azul (Phlizon 600), presentándose en el cuadro 1 su emisión de radiación o intensidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) y su emisión de radiación ultravioleta (UV-A y UV-B), así como la integral de luz diaria (DLI) que resultaba al tenerlas ope-

rando con un fotoperiodo de 16 horas. El PPFD y la radiación UV se determinó utilizando un Apogee Quantum Flux y un medidor de luz UV modelo UV340B. La solución nutritiva utilizada fue una formula comercial recomendada para el cultivo hidropónico de hortalizas de hoja, la cual empleamos recientemente con la lechuga (Bustamante, *et al*., 2021). En el sistema NFT, el riego estuvo operando por 16 horas al día, prendiéndose por 15 minutos y apagándose por 45 minutos, mientras que en el sistema DWC la oxigenación se prendía por 15 minutos y se apagaba por 45 minutos, también en el periodo de 16 horas al día. Para poder determinar el gasto o uso de agua en cada uno de los sistemas hidropónicos, se midió el volumen de solución inicial, el volumen que se les fue agregando durante el periodo de cultivo y el volumen que quedo al final de este periodo. Para mantener una buena circulación de aire alrededor de las plantas se colocaron 3 abanicos marca Atvio en el cuarto, contándose también con un higro-termómetro Extech para medir la temperatura y la humedad relativa, las cuales variaron entre los 22 y 28°C y 36 y 64%. Pasados los 28 días bajo estas condiciones de cultivo, las plantas

fueron cosechadas para determinar el peso fresco del follaje total de las plantas en cada uno de los tratamientos, utilizando una báscula digital Oneida LAB-500, a partir de la cual se calculó el peso seco del follaje, el cual se consideró como un 10% del peso fresco. Antes de realizar la cosecha de las plantas, determinamos las unidades SPAD en las hojas de 6 plantas por tratamiento, utilizando un medidor de clorofila SPAD-502 Konica Minolta, sometiendo estos datos a un análisis de varianza y a una comparación de medias por medio de la prueba de Tukey (P=0.05), utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System), versión 9.0.

Resultados y Discusión

En el cuadro 1 podemos notar que la lámpara Phlizon 600 de luz roja/azul emite una radiación PPFD de 310 μmol/m²/s, no emite radiación UV y presentaba un DLI de 17.8 moles/día; mientras que la lámpara Megaluz T8 de luz blanca, emite una radiación PPFD de 230 μmol/m²/s, emite un nivel muy bajo de radiación UV 9.9 μW/cm², si lo comparamos con los 630 μW/cm²

que emite el sol (al estar emitiendo un PPFD de 290 μmol/m²/s) y presentando un DLI de 13.2 moles/día.

Cuadro 1. Características de radiación de las dos lámparas LED utilizadas en el cultivo de la albaca en los sistemas hidropónicos NFT y DWC.

Lámpara LED	PPFD μmol/m²/s	UV-A y UV-B μW/cm²	DLI Moles/Día
Megaluz T8 48w luz blanca	230	9.9	13.2
Phlizon 600 55w luz roja/ azul	310	0.2	17.8

En el cuadro 2 podemos observar que el peso fresco total del follaje fue mayor en el sistema NFT, con ambos tipos de lámparas LED, que en el sistema DWC, teniéndose también un mayor uso de agua en el primer sistema; notándose claramente que, a mayor peso fresco total del follaje, mayor fue el volumen de agua utilizada. Sin embargo, al observar los datos de eficiencia de uso de agua en base al peso fresco total de follaje, podemos notar

claramente que las mayores eficiencias se presentan con las lámparas Phlizon 600 de luz roja/ azul, con ambos sistemas hidropónicos (21 y 22gr/l). Estos resultados pudieran estar relacionados con la mayor intensidad de radiación PPFD y el mayor DLI que se tiene con las lámparas Phlizon 600, que con las lámparas Megaluz T8; ya que, a mayor radiación, mayor fijación CO_2 en la fotosíntesis de las hojas, lo cual se refleja en un mayor peso seco del follaje por cada litro de agua transpirada, y lo cual coincide con nuestros datos de eficiencia del uso del agua en base al peso seco del follaje. Al expresar la eficiencia en el uso del agua, es base a los litros de agua utilizada por cada kilogramo de peso fresco de la parte cosechada, observamos que se requieren alrededor de 46 l/kg con las lámparas Phlizon 600, en ambos sistemas hidropónicos, mientras que con las lámparas Megaluz T8 se requieren alrededor de 60 l/kg, en los dos sistemas hidropónicos. Por otra parte, un parámetro de eficiencia utilizado comúnmente en la producción de cultivos a nivel campo, a nivel invernadero y también en fábricas de plantas, es el rendimiento del producto cosechado, expresado en kilogramos por hectárea o metros cua-

drados de superficie cultivada; encontrando nosotros en este estudio que el mayor rendimiento se obtuvo con el sistema hidropónico DWC bajo las lámparas Phlizon 600 de luz roja/azul, siendo de 1.715 kg/m^2; mientras que en los otros tratamientos el rendimiento fue de alrededor de los 0.763 kg/m^2, notándose así que la producción de la albacar es más eficiente si se cultiva en un sistema hidropónico DWC y bajo lámparas LED Phlizon 600 de luz roja/azul.En el cuadro 3 se presentan los datos de Unidades SPAD en las hojas de la albaca, notándose claramente que los mayores valores se presentaron en el sistema NFT con lámparas Phlizon 600 de luz roja/azul, seguido por el sistema DWC también con este tipo de lámparas, lo cual concuerda con lo que estamos encontrando en otros cultivos de hoja como es la lechuga (Bustamante, *et al*., 2021), así como con lo reportado por otros autores (Ohashi-Kaneko, *et al*. 2007), quienes trabajando con lechuga, espinaca y komatsuna, encontraron que las lámparas que emiten radiación roja y azul inducen mayores niveles de clorofila en las hojas, que las lámparas de luz blanca.

Cuadro 2. Peso fresco y peso seco total del follaje, agua utilizada, eficiencia en el uso del agua y rendimiento de la albaca, cultivada en los sistemas hidropónicos NFT y DWC, bajo dos tipos de lámparas LED.

Tratamiento	Peso fresco total follaje gr	Peso seco total follaje gr	H_2O utilizada l	Eficiencia uso H_2O peso fresco gr/l	Eficiencia uso H_2O peso seco gr/l	Eficiencia uso H_2O l/kg	Rendimiento kg/m^2
NFT Megaluz T8 48w luz blanca	270	27.0	15.5	17	1.7	58.8	0.771
NFT Phlizon 600 55w luz roja/azul	246	24.6	11.5	21	2.1	47.6	0.703
DWC Megaluz T8 48w luz blanca	106	10.6	6.8	16	1.6	62.5	0.815
DWC Phlizon 600 55w luz roja/azul	223	22.3	10.0	22	2.2	45.5	1.715

Conclusiones

La albaca presentó un mayor crecimiento en el sistema hidropónico NFT que con el sistema DWC, sin embargo, el agua utilizada fue mayor en el NFT que con el DWC, obteniéndose al

final una mayor eficiencia en el uso del agua (45.5 l/kg de producto cosechado) y un mayor rendimiento (1.715 kg de producto/m^2) en el sistema DWC con lámparas LED Phlizon 600 de luz roja/azul.

Cuadro 3. Unidades SPAD en las hojas de la albaca, cultivada en los sistemas hidropónicos NFT y DWC, bajo dos tipos de lámparas LED.

Tratamiento	Unidades SPAD
NFT Megaluz T8 48w luz blanca	30.1 bc
NFT Phlizon 600 55w luz roja/azul	39.3 a
DWC Megaluz T8 48w luz blanca	32.6 b
DWC Phlizon 600 55w luz roja/azul	35.5 ab
DMS (0.05)	4.0

Medias con la misma letra en columna entre tratamientos, son estadísticamente iguales (α=0.05); DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Literatura citada

Bustamante-Garcia, M.A., M. Takagaki, L. Na, y A.J. Bustamante-Dávila. 2021. Crecimiento y unidades SPAD en lechuga hidropónica cultivada en cuarto con dos diferentes lámparas LED. En: Simposio Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura. 155-158.

Ijichi, H. (2018) Plant factory business in Japan. *Agric. Biotechnology* 2(6):19-23

Ohashi-Kaneko, K., M. Takase, K. Naoya, K. Fujiwara and K. Kurata (2007) Effect of light quantity on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. *Environ. Control Biol*. 45:189-198

Raviv M. and J. H. Lieth (2008) Significance of soiless culture in agriculture. In: *Soiless Culture. Theory and Practice*. M. Raviv and J. H. Lieth (eds.). Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. pp:1-11.

Determinación de producción de fitomasa en un área de pastizal mediante un índice de vegetación

Alejandro Moreno-Reséndez[1]
Amaury Esquivel-Romo[1*]
Ulises Noel Gutiérrez-Guzmán[2]

Resumen

Este estudio consistió en determinar la producción de la fitomasa aérea, en un sitio de pastizal, mediante valores del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), obtenidos de imágenes de satélite, durante el periodo húmedo o temporada de crecimiento de pastizales del año 2020. El área de estudio se ubicó en un potrero de 130 ha, del predio ganadero "La Cieneguilla" del Municipio de Hidalgo, ubicado en la parte Centro-Norte del estado de Durango (25° 39′ N, 104° 39′ O). Para la obtención de las muestras, dentro del potrero, se diseñó un sistema de monitoreo permanente con 16 estaciones de muestreo con cuatro puntos al azar para determinación de fitomasa en pie; para un total de 64 muestras. Se empleó el procedimiento análisis de regresión ajus-

[1] Universidad Autónoma Agraria Antonino Narro Unidad Laguna. Email: alejamorsa@hotmail.com.

[2] Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia.

tándose al modelo: $Y=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X^2$. Al realizar pruebas de normalidad a los datos de fitomasa, éstos no presentaron ajuste por lo cual de procedió a hacer diferentes transformaciones, determinándose que la función de Johnson resultó la más adecuada. Los resultados obtenidos de las variables evaluadas en promedio fueron: fitomasa en pie obtenida 34.97 $g \bullet m^{-2}$, y 0.293 de NDVI. La ecuación de regresión determinada fue: peso transformado (Johnson) = - 3.011 + 14.37 NDVI - 12.54 $NDVI^2$, con un coeficiente de determinación ajustado de 58.56 % y validado a un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. Se concluye que es posible estimar la producción de fitomasa en el predio ganadero mediante datos de NDVI obtenidos de imágenes de satélite Sentinel-2.

Palabras clave: *NDVI, Sentinel-2, modelos de regresión*.

Introducción

El estado de Durango presenta una alta diversidad ecosistémica, las áreas de pastizal son un ecosistema importante ya que éstas ocupan prácticamente la mitad de su territorio (Elizondo *et al.*, 2007). En estos ecosistemas, las actividades ganaderas, en la mayoría de los casos, han provocado el deterioro de la cubierta

vegetal, la dominancia de especies no forrajeras y la pérdida de suelo (Hanson *et al*., 1999; Serna, 2009). Por su parte Chediack (2009) menciona que, como principal problema de deterioro de estas áreas al sobre pastoreo; ocasionado a su vez por la falta de información sobre la producción forraje.

Debido a esta problemática, las nuevas tecnologías pueden tener un rol decisivo en el desarrollo de soluciones de monitoreo que faciliten la toma de decisiones en el manejo del hato, como el ajuste de carga y la suplementación (Hernández *et al*., 2019).

El uso de tecnologías como es la sensoria remota, basada en los satélites, proveen imágenes multitemporales con rapidez y de calidad adecuada para llevar a cabo un monitoreo de la vegetación en los agostaderos y con menor esfuerzo que los métodos tradicionales de campo (Muñoz, 2013; Cabada *et al*., 2019). En las últimas tres o cuatro décadas, diferentes índices de vegetación (VI) se han calculado a partir de datos espectrales de imágenes de satélite, éstos se han desarrollado con el fin de obtener información sobre el estado de la vegetación y sus características. Una cubierta vegetal en buen estado de salud tiene una firma espec-

tral que se caracteriza por el contraste entre la banda del rojo (entre 600 y 700 nm), que es absorbido en gran parte por las hojas, y el infrarrojo (entre 700 y 1100 nm), que es reflejada por las plantas (Carvacho y Sánchez, 2010). Estos índices no miden directamente la productividad de la vegetación o la disponibilidad de forraje, pero tienen una estrecha relación con estas variables, lo cual permite su uso para el análisis de determinación de la producción de la vegetación (González *et al*., 2009). Por lo anterior el objetivo fue, establecer un sistema de monitoreo permanente para determinar la productividad mensual de vegetación y decretar su relación, a través de modelos de regresión correlacionados con valores del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) de imágenes de satélite del sensor Sentinel-2.

Materiales y métodos

El área de estudio se ubicó en un potrero de 130 ha perteneciente al predio ganadero "La Cieneguilla" del Municipio de Hidalgo, ubicado en la parte Centro-Norte del Estado de Durango (25° 39′ N, 104° 39′ O). El clima predominante en el sitio es estepario, semiárido templado (BS1 kw) y árido semi-cálido

(BWhw), la temperatura promedio anual es de 20 °C (Espinoza *et al*., 2000). El suelo es migajón arenoso y migajón arcilloso-arenoso, con pendientes del 1 al 8 %. Hidrológicamente el sitio de estudio está englobado en la Región Hidrológica No. 36 Nazas-Aguanaval (Gutiérrez *et al*., 2015).

Para la obtención de las muestras, dentro del potrero, se diseñó un sistema de monitoreo permanente, con 16 estaciones de muestreo, con cuatro puntos al azar, para determinación de fitomasa en pie cada una; generando un total de 64 muestras. Los muestreos se realizan mensualmente, el trabajo de campo se inició en enero del año 2020 y terminará en diciembre del año 2021.

Para obtener el valor del NDVI las actividades realizadas fueron: de la base de datos del Copernicus, de la agencia espacial de la Unión Europea, se obtuvo la información radiométrica que genera el satélite Sentinel-2, usando las bandas 4 y 8, que corresponden a rojo e infrarrojo cercano respectivamente, en el programa ArcMap 10.2, se empleó la calculadora Ráster y usando la ecuación de Rousse *et al.* (1974) NDVI= ((IRC-R))/(IRC+R), se

generó una imagen con los valores de NDVI para el área de estudio, al final se sobrepusieron los puntos de fitomasa, previamente georreferenciados, y se ejecutó una extracción de valores de puntos empleando la herramienta *Spatial Analysis Tools*, con la cual se generó un archivo con extensión ".dbf".

En las áreas de pastizal del estado de Durango se cuenta, con dos temporadas muy marcadas, en cuanto al régimen de precipitación, para este análisis preliminar se consideraron solo los datos registrados durante la estación húmeda julio-diciembre. Con los cuales se construyó la base de datos general con valores pareados de producción de fitomasa expresado en gramos por metro cuadrado y valores de NDVI con el programa Minitab 18. Se empleó el procedimiento análisis de regresión lineal, ajustándose al modelo: $Y=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X^2$. Al realizar pruebas de normalidad a los datos de fitomasa no presentaron el ajuste correspondiente, por lo cual se realizaron diferentes transformaciones. La función de Johnson 1.95338 + 1.07202 × Ln((X - 1.78595)/ (191.330 - X)) Lagos y Vargas (2003), resultó la más adecuada. Tsutsumi *et al*. (2007) menciona que, aunque muchos estudios

pueden suponer implícitamente que las muestras se pueden aproximar a la distribución normal, generalmente esto no sucede con la biomasa de áreas de pastizal ya que la distribución de frecuencia muestra una "cola larga", como fue el caso en datos del presente estudio. La variable independiente fue NDVI y la dependiente la producción de fitomasa. Se realizaron pruebas estadísticas, tanto del modelo como para los coeficientes a un nivel de significancia de $P \leq 0.05$.

Resultados y discusión

Los resultados de las variables evaluadas se muestran en el Cuadro1, en cuanto a la fitomasa en pie obtenida fue de 34.97 $g \bullet m^{-2}$, y el valor promedio de NDVI fue de 0.293.

Para determinar la relación entre las variables de estudio se realizaron pruebas para determinar el mejor ajuste, el cuál correspondió a un análisis de regresión polinomial, la ecuación de regresión encontrada fue: peso transformado (Johnson) = - 3.011 + 14.37 NDVI - 12.54 $NDVI^2$, con un coeficiente de determinación ajustado de 58.56 %, validado a un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

El modelo de regresión establecido en este estudio fue similar al reportado por Psomas *et al*., (2011), que se generó con datos de biomasa obtenidos en cuatro fechas de muestreo durante la temporada de crecimiento y los datos radiométricos de campo en pastos secos en Europa central, los mejores modelos fueron obtenidos, a partir de la regresión lineal múltiple del NDVI y el logaritmo de la producción de biomasa, con el más alto Valor de R^2 de 0.65.

Cuadro 1. Estadística descriptiva de las variables evaluadas en el predio La Cieneguilla, Durango.

Variable	N	Media	EE	DE	Mediana	Mínimo	Máximo
Peso ($g \bullet m^{-2}$)	384	34.97	1.22	23.88	31.00	4.00	141.00
NDVI	384	0.293	0.005	0.103	0.292	0.143	0.592

N= Número de observaciones; EE=Error estándar de la media; DE = Desviación estándar.

Por otro lado, Deb *et al*., (2014) encontró que tanto el rendimiento de forraje seco como el rendimiento de grano de sorgo se puede estimar utilizando la función no lineal a través de valo-

res de reflectancia basados en el NDVI y biomasa aérea, con el coeficiente de correlación positivo máximo $R^2 = 0.61$. Estas variaciones en los modelos establecidos, en los estudios mencionados, podrían deberse a las condiciones de variabilidad en diferentes sitios de pastos, por lo tanto, sugiere la generación de modelos de predicción de biomasa a un nivel determinado.

Aunque el valor de R^2 determinado no resultó muy alto, se considera un valor aceptable ya que los datos fueron obtenidos de poblaciones naturales (Serrato *et al*., 1999). Por otro lado, al hacer el análisis de regresión polinomial se observaron datos atípicos fuera de los intervalos de confianza, en la primera corrida se eliminaron 12 valores, en la segunda nueve valores y en la tercera 11; sumando un total de 32. Esto se efectúo con la finalidad de mejorar la precisión del modelo. En la Figura 1, se muestran la dispersión de los datos ajustados al modelo de regresión obtenido.

Como se mencionó en la metodología, el modelo obtenido corresponde a la estación húmeda del año 2020, el estudio aún está en ejecución, con los datos obtenidos de la estación húmeda

del año 2021 se utilizará para hacer la validación del modelo encontrado.

Conclusiones

Las variables fitomasa transformada y el NDVI están estrechamente relacionadas y, por lo tanto, es posible estimar la producción de fitomasa en el predio ganadero mediante datos de NDVI obtenidos de imágenes de satélite Sentinel-2.

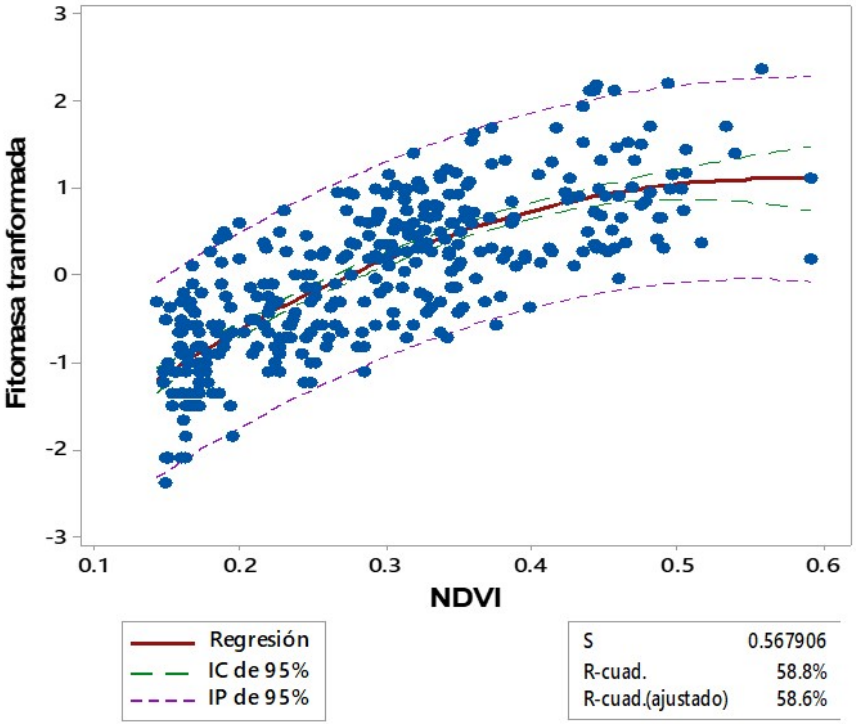


Figura 1. Regresión polinomial obtenida con el modelo de peso transformado (Johnson) = - 3.011 + 14.37 NDVI - 12.54 NDVI2 en el predio La Cieneguilla, Dgo.

Literatura citada

Cabada, T. C. A., Hernández, M. L. A. y Medina, C. N. J. 2019. Implementación de vehículos aéreos no tripulados y sensores remotos para el monitoreo de la biomasa forrajera en zonas áridas. Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuarias. La Paz, Baja California Sur, México. pp 1-2.

Carvacho, B. L. and M. M. Sánchez. 2010. Comparison of vegetation indices from MODIS in the region of Libertador Bernardo O'Higgins, Chile, in the period 2001-2005.

Chediack, S. E. 2009. Monitoreo de biodiversidad y recursos naturales: ¿para qué? Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 87p.

Deb, D., J. P.Singh and S. K. Rai. 2014. Usefulness of insitu hyperspectral data to develop prediction model of dual-purpose sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) grown under semi-arid condition of India. *Range Management and Agroforestry* 35: 43-50.

Elizondo, M. S. G., Elizondo, M. G., y Linares, M. A. M. 2007. *Vegetación y ecorregiones de Durango*. Plaza y Valdés.

Espinoza, C., L. Aguilar A., E. Martínez, L. Gómez y E. Loa. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). México, DF.

González, L., P. Paredes and P. Rial. 2009. Severity of drought in Santa Cruz. Evaluation through vegetation indices of MODIS images. In: B. G. Díaz and Y P. Calviño (eds).

Gutiérrez G. U. N., Castellanos P. E., Quiñones V. J.J., Serrato C. J.S., Martínez R. J.J., Orona C. I., Chairez H. I. 2015. Cobertura vegetal estimada por fotografías digitales relacionada con la biomasa en un sitio de pastizal del norte de México. *Revista internacional de botánica Experimental FYTON* 84: 312-318

Hanson C. L., Wight, J. R., Slaughter, Ch. W., Pierson, F. B. and Spaeth, K. 1999. Simulation models and management of rangeland ecosystems: Past, Present, and Future. Rangelands. 21(4): 32-38.

Hernández M. L. A., Medina, C. N., Cabada, T. C. A., Avalos, C. R. 2019. Avances en la aplicación del NDVI para el monitoreo de la biomasa forrajera en un matorral arbocrasicaulescente asociado con pasto buffel. Campo Experimental Todos Santos, CIRNO, INIFAP.

Lagos, I. J., y Vargas, J. A. 2003. Sistema de familias de distribuciones de Johnson, una alternativa para el manejo de datos no normales en cartas de control. *Revista Colombiana de Estadística*, 26(1), 25-40.

Muñoz A., P. 2013. Apuntes de teledetección: Índices de vegetación. Centro de Información de Recursos Naturales, Información para el Desarrollo y la Innovación. Pag. 1-15.

Psomas, A., M. Kneubühler, S. Huber, K. Itten and N. E. Zimmermann. 2011. Hyperspectral remote sensing for estimating aboveground biomass and for exploring species richness patterns of grassland habitats. *International Journal of Remote Sensing* 32: 9007-9031.

Rousse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) Third Earth Resources Technology Satellite–1 Syposium. Volume I: Technical Presentations, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C. pp. 309-317.

Serrato S., R, Valencia C., C, M, Del Río O., F. 1999. Interrelaciones entre variables del suelo y de las gramíneas en el pastizal semiárido del norte de Durango. *Terra Latinoamericana*, 17(1): 27-34.

Serna, A. 2009. Impacto del manejo del ecosistema del pastizal en la fertilidad natural y sostenibilidad de suelo ISSN 0188789-0 pág. 3-15.

Tsutsumi, M., S. Itano and M. Shiyomi. 2007. Number of Samples Required for Estimating Herbaceous Biomass. *Rangeland Ecology and Management* 60: 447-452.

Efectividad en el uso nitrógeno, biomasa y producción en respuesta a la aplicación foliar de nanofertilizante de molibdeno en frijol ejotero

Ezequiel Muñoz-Márquez[1]
Esteban Sánchez-Chávez[1*]
Juan Manuel Soto-Parra[2]
Ramona Pérez-Leal[2]
Rosa María Yañez-Muñoz[2]
Linda Citlalli Noperi-Mosqueda[2]

Resumen

La poca efectividad de los fertilizantes tradicionales nos obliga a buscar en la nanotecnología una alternativa con potencial de aplicación para desarrollar productos que solucionen los problemas nutricionales con mayor eficiencia y precisión, mejorando la eficiencia de los fertilizantes para incrementar productividad, pasando de una agricultura convencional a una agricultura de precisión. Por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar la eficiencia asociada al uso de nanofertilizantes de mo-

[1] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Delicias, Chihuahua.

[2] Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua.

esteban@ciad.mx.

libdeno aplicado vía foliar combinado con la fertilización edáfica de NH_4NO_3, así como evaluar su producción, biomasa total y asimilación de nitrógeno en frijol ejotero. Plantas de frijol ejotero cv. Strike fueron germinadas y cultivadas bajo condiciones controladas en un invernadero experimental, y se regaron con solución nutritiva. Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar de Nano Molibdeno de cuatro dosis del nanofertilizante BROADACRE (0, 5, 10 y 20 ppm de Mo), complementado con la aplicación edáfica de cuatro dosis de nitrógeno en forma de NH_4NO_3 (0, 3, 6 y 12 mM de N). Los resultados obtenidos indican que las dosis de 10 y 5 ppm de NanoMo con 3 y 6 mM de N respectivamente, favorecieron la acumulación de biomasa; de igual forma, la dosis de 6 mM de N con 10 y 5 ppm de Mo obtuvieron el mejor rendimiento por planta. Finalmente, se concluye que la aplicación de NanoMo incrementa la eficiencia de uso del nitrógeno, pudiendo reducir las aplicaciones excesivas de fertilizantes nitrogenados, sin afectar el rendimiento del cultivo del frijol ejotero.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris L.; fertilización; nanofertilizantes; micronutrientes*.

Introducción

La obtención de altos rendimientos depende de factores climáticos y edáficos favorables para las plantas, en este contexto, el manejo correcto de la fertilización es fundamental, especialmente del nitrógeno, ya que es el nutriente requerido en mayor cantidad. Su función en las plantas se relaciona con la formación de clorofila, aminoácidos y, en consecuencia, las proteínas; además influye directamente en el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Buchanan *et al*., 2015).

Para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), la leguminosa de mayor consumo directo en el mundo, el adecuado suministro de nitrógeno es determinante para un establecimiento efectivo del área foliar, que será vital para la captación de la radiación solar y como consecuencia la productividad del cultivo (Hasaan *et al*., 2020).

También se necesita el molibdeno para la fijación del nitrógeno, aún y cuando existan altas cantidades de nitrógeno en el suelo su absorción se ve comprometida por la disponibilidad del molibdeno (Santos *et al*., 2019).

Con lo anterior descrito y atendiendo a la poca efectividad de los fertilizantes tradicionales; los estudios recientes se centran en encontrar alternativas que impacten directamente en la calidad y producción de los cultivos (Raliya *et al*., 2017). Es por esto que la nanotecnología surge como una alternativa en la agricultura, con potencial de aplicación para desarrollar productos (como los nanofertilizantes) que ayuden y den solución a problemas ambientales y las demandas biológicas con mayor eficiencia y precisión, mejorando la fertilidad de suelo y la eficiencia de los fertilizantes para incrementar la calidad y productividad de los cultivos, pasando de una agricultura convencional a una agricultura de precisión (Chhipa, 2017, Naderi y Danesh-Shahraki, 2013).

El uso de nanofertilizantes provoca un aumento en su eficiencia, reduce la toxicidad en el suelo, minimiza la aplicación excesiva y sus potenciales efectos tóxicos. Por lo que se tiene una oportunidad para que la nanotecnología tenga una influencia significativa en la agricultura, la economía del productor y el medio ambiente (Naderi y Danesh-Shahraki, 2013).

Una de las características más destacadas de los nanofertilizantes es que tienen una alta superficie de contacto del ion nutriente y una liberación más lenta y precisa a comparación de los fertilizantes tradicionales (Subramanian *et al.,* 2015).

A pesar del prometedor panorama que presenta el uso de nanofertilizantes, los estudios que se han presentado hasta el momento aún no son suficientes para determinar que el uso de esta nueva tecnología es superior al uso de los fertilizantes tradicionales, además de que los estudios deben también enfocarse en establecer los efectos que generan estos materiales sobre el desarrollo de las plantas (Subramanian *et al.,* 2015, Kah *et al.,* 2018).

Por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar la eficiencia asociada al uso de nanofertilizantes de molibdeno aplicado vía foliar combinado con la fertilización edáfica de NH_4NO_3, así como evaluar su producción, biomasa total y asimilación de nitrógeno en frijol ejotero.

Materiales y Métodos

Localización y manejo del cultivo

El cultivo se desarrolló en un invernadero cubierto con malla antiáfidos ubicado en Lázaro Cárdenas, Meoqui, Chihuahua, México (Latitud: N 28°23′ 9.80232″, Longitud: W 105°36′ 58.09392″). Las semillas de frijol cv. Strike se germinaron en charolas de poliestireno de 200 cavidades; 12 días después de la germinación se trasplantaron a bolsas de polietileno de 10 kg de capacidad y calibre 400, las cuales contenían vermiculita y perlita como sustrato en una proporción 2:1. Se aplicó una solución nutritiva completa durante 20 días según Hoagland y Arnon (1950) de acuerdo con lo propuesto por Sánchez *et al*., 2006, a partir de la germinación de las plantas, la cual llevó la siguiente composición: 6.0 mM NH_4NO_3, 1.6 mM K_2HPO_4, 0.3 mM K_2SO_4, 4.0 mM $CaCl_2 \bullet 2H_2O$, 1.4 mM $MgSO_4$, 5.0 μM Fe-EDDHA, 2.0 μM $MnSO_4 \bullet H_2O$, 1.0 μM de $ZnSO_4 \bullet 7H_2O$, 0.25 μM $CuSO_4 \bullet 5H_2O$, 0.3 μM Na_2MoO_4 y 0.5 μM H_3BO_3 (todos los reactivos J.T. Baker, Estado de México, México); esto con el objetivo de que las plantas estuvieran bien nutridas en sus primeras etapas de desarrollo.

Pasados los 20 días, se aplicaron los tratamientos diferenciados de nitrógeno cada tercer día y hasta término del cultivo. Los tratamientos de molibdeno se aplicaron cada semana a partir de la aparición de las hojas verdaderas.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo de tratamiento tipo factorial combinatorio con 4 repeticiones, siendo el factor A la concentración de molibdeno (0, 5, 10 y 20 ppm) vía de aplicación foliar, y el factor B las dosis de nitrógeno (0, 3, 6 y 12 mM) vía de aplicación edáfica; las unidades experimentales constaron de 2 plantas cada una.

Muestreo y recolección de plantas

Una vez alcanzada la madurez fisiológica de las plantas (60 días después de la germinación), se tomaron las muestras. Las platas fueron separadas en sus diferentes órganos raíz, hoja, tallo y fruto. Con el material en fresco, conservado a 4° C (Refrigerador Forma Scientific, Marietta, Ohaio, USA), se determinó la biomasa total y rendimiento; mientras que el material seco se uti-

lizó para determinar la biomasa en peso seco. Todo el material se lavó con agua corriente para eliminar la contaminación ambiental superficial, después se realizaron dos enjuagues más con destilada y agua tridestilada (J.T. Baker, Estado de México, México). Se utilizaron cuatro repeticiones por tratamiento para cada variable analizada.

Análisis vegetal

Rendimiento

El rendimiento se obtuvo en base al peso fresco de los frutos por planta. Los ejotes verdes se recolectaron de cada una de las plantas cultivadas y se pesaron al momento del muestreo (Balanza analítica, Precision Electronic Balance AND Comapany Limited, Milpitas, CA, USA). El rendimiento total se expresó en gramos por planta (g/planta) [Ponce-García *et al*., 2019].

Biomasa

Después de la descontaminación ambiental, las muestras se colocaron en un horno de aire forzado a 70° C (Horno Felisa® St. Livonia, Michigan, USA) durante 24 horas y hasta su total

desecación. La producción de biomasa total se calculó en base al peso seco del material vegetal expresado en gramos (g) [Ponce-García *et al*., 2019].

Análisis estadístico

Todos los datos fueron sujetos a análisis, se utilizó la prueba de Tukey (95%) para determinar la diferencia entre las medias de los tratamientos [SAS, 2007]. Los niveles de significancia de las pruebas se expresaron como: * p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001 y *NS* (no significativo).

Resultados y Discusión

Efecto de la aplicación de nitrógeno y molibdeno en el rendimiento

El nitrógeno es el nutriente principal que las plantas necesitan en cantidades suficientes para mejorar su crecimiento, desarrollo y productividad (Perchlik y Tegeder, 2017). En el presente estudio, se observa el efecto de la aplicación edáfica de nitrógeno, el cual muestra que la dosis de 6 mM tuvo el mayor rendimiento (Figura 1). Sin embargo, enfocándonos en el uso eficiente del nitrógeno, tenemos que la dosis más eficiente son las

de 3 mM; donde tiene una eficiencia de 4.47 contra 2.84 de la de 6 mM.

El molibdeno es un micronutriente esencial e indispensable para la fijación del nitrógeno, y en consecuencia para el desarrollo y rendimiento de las plantas (Rana *et al*., 2020). En este estudio, el efecto de la aplicación foliar de molibdeno muestra que con la dosis de 10 ppm se obtuvo la mayor producción. Sin embargo, tenemos que la dosis más eficiente es la de 5 ppm. Donde la dosis de 5 ppm tiene una eficiencia de 2.77 contra 2.07 de la de 10 ppm.

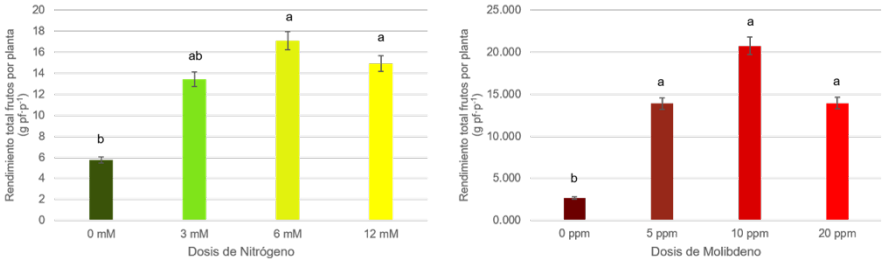


Figura 1. Efecto de la aplicación edáfica de Nitrógeno y aplicación foliar de Molibdeno en el rendimiento en frijol ejotero.

La Figura 2 muestra el efecto de ambas aplicaciones, donde se refleja que la eficiencia relacionada a la cantidad de frutos producidos por la cantidad de nitrógeno y molibdeno aplicados recae en las dosis de 3 mM de N y 5 ppm Mo.

Efecto de la aplicación de nitrógeno y molibdeno en la biomasa total

El N es el nutrimento más crítico en un programa de fertilización en virtud de que es esencial para un desarrollo óptimo del cultivo, el desarrollo vegetativo de la planta depende en gran medida de la cantidad de N aplicado (Orozco-Vidal *et al*., 2008). En el caso del efecto del nitrógeno sobre la biomasa total, se puede apreciar el mismo comportamiento que en rendimiento, ya que estas dos variables presentan una gran relación; siendo las dosis de mayor biomasa la de 6 mM (Figura 3). En términos de eficiencia, la dosis de 3 mM fue más eficiente con 3.53 contra 1.82 de la de 6 mM.

En el efecto del molibdeno sobre la biomasa total, se aprecia que la mayor biomasa se obtuvo con 10 ppm de Mo. En términos de eficiencia, la dosis de 5 ppm fue la más eficiente con 1.91 contra 1.16 de la de 10 ppm de Mo.

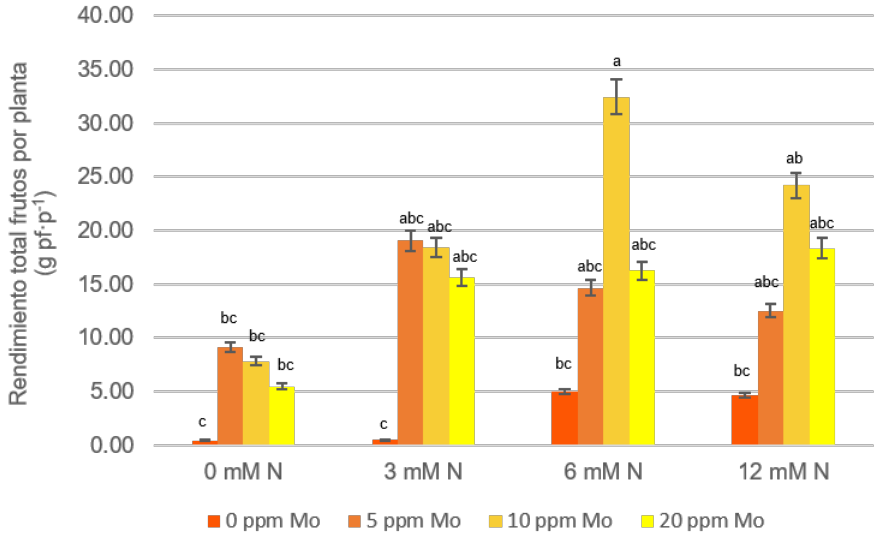


Figura 2. Efecto de la aplicación edáfica de Nitrógeno complementada con fertilización foliar de Molibdeno sobre el rendimiento en frijol ejotero.

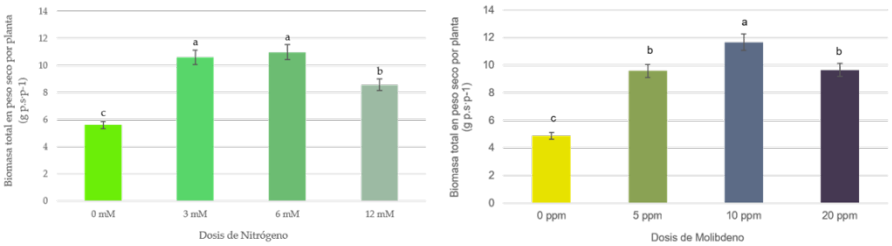


Figura 3. Efecto de la aplicación edáfica de Nitrógeno y aplicación foliar de Molibdeno sobre biomasa total en frijol ejotero.

La Figura 4 muestra el efecto de ambas aplicaciones, donde se refleja que la eficiencia relacionada a la cantidad de biomasa producida por la cantidad de nitrógeno y molibdeno aplicados recae en las dosis de 3 mM de N y 10 ppm Mo. Sin embargo, al no haber diferencia estadística significativa entre las dosis de 5 y 10 ppm, se puede decidir por la aplicación con la menor dosis de Mo.

Conclusiones

La aplicación foliar de nanofertilizate de Mo a dosis de 10 y 5 ppm complementada con la aplicación edáfica de 3 y 6 mM de N respectivamente, favorecieron la acumulación de biomasa; de igual forma, la dosis de 6 mM de N con 10 y 5 ppm de Mo obtuvieron el mejor rendimiento por planta. Finalmente, se concluye que la aplicación del nanofertilizante de Mo incrementa la eficiencia de uso del nitrógeno, pudiendo reducir las aplicaciones excesivas de fertilizantes nitrogenados, sin afectar el rendimiento del cultivo del frijol ejotero.

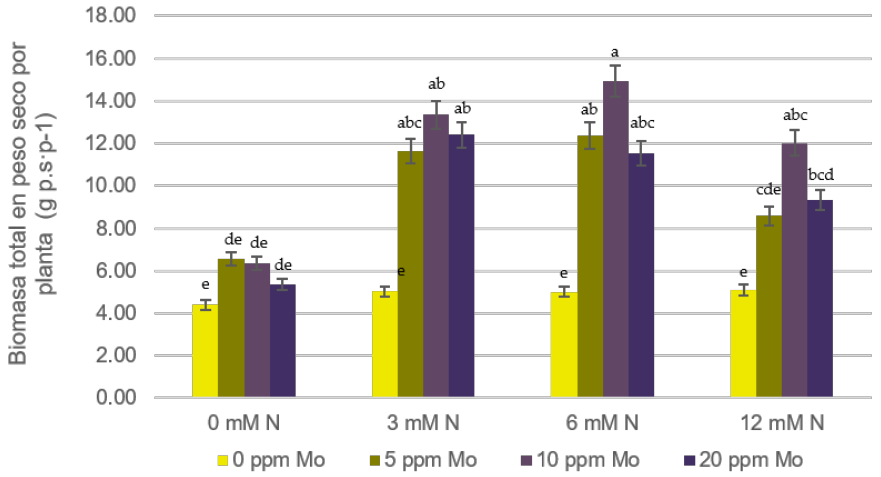


Figura 4. Efecto de la aplicación edáfica de Nitrógeno complementada con fertilización foliar de Molibdeno sobre la biomasa total en frijol ejotero.

Literatura citada

Buchanan, B.B., W., Gruissem, and R.L. Jones. *Biochemistry and molecular biology of plants*. John Wiley and Sons. Hoboken, 2015, NJ, USA. ISBN: 978-0-470-71421-8.

Chhipa, H. Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture. *Environmental chemistry letters*, 2017, 15(1), 15-22.

Hasaan, A.E.; Said M.G.; Alaa H.R.; Radi S.K. Effects of Different Nitrogen Fertilization Rates and Foliar Application of Humic Acid, Fulvic Acid and Tryptophan on Growth, Productivity and Chemical Composition of Common Bean Plants (Phaseolus vulgaris L.) *Alexandria science exchange journal*, 2020, 41(2):191-204. DOI: 10.21608/ASEJAIQJSAE.2020.93900

Kah, M.; Kookana, R.S.; Gogos, A.; Bucheli, T.D. A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. *Nature nanotechnology*, 2018, 13(8), 677.

Molly Perchlik and Mechthild Tegeder. 2017. Improving Plant Nitrogen Use Efficiency through Alteration of Amino Acid Transport Processes. *Plant Physiology*, Vol. 175, pp. 235–247.

Naderi, M.R.; Danesh-Shahraki, A. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 2013, 5(19), 22-29.

Raliya, R.; Saharan, V.; Dimkpa, C.; Biswas, P. Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: current state and future perspectives. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2017, 66(26), 6487-6503.

Rana MS, Bhantana P, Imran M, Saleem MH, Chengxiao Hu, *et al*. (2020) Molybdenum potential vital role in plants metabolism for optimizing the growth and development. *Ann Environ Sci Toxicol* 4(1): 032-044. DOI: https://dx.doi.org/10.17352/aest.000024

Rosales, R.; Acosta-Gallegos, J.A.; Campos, A. Alternativas de producción para el cultivo de frijol en el Estado de México, 1999. CEVAMEX. INIFAP. Publicación especial. Núm. 56. p. 9.

Subramanian, K.S.; Manikandan, A.; Thirunavukkarasu, M.; Rahale, C.S. *Nano-fertilizers for balanced crop nutrition. In Nanotechnologies in food and agriculture* Springer, Cham., 2015 pp. 69-80.

Efecto de la bioinoculación y fertilización química y orgánica en el rendimiento del maíz

Ricardo Rodríguez Lira[1]
Rafael Delgado Martínez[1]
Ernesto Díaz López[2]
Eduardo Osorio Henández[1]

Resumen

Las tendencias actuales hacia una agricultura sustentable involucran cambios en las prácticas de manejo, como niveles inferiores de fertilización química a los acostumbrados, abonos orgánicos, así como la utilización de microorganismos promotores del crecimiento vegetal. El objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento y rendimiento de maíz respecto a la inoculación de micorrizas arbusculares sobre la fertilización química y orgánica. El estudio se estableció en el ciclo primavera-verano en el Campo Experimental Río Bravo, INIFAP, Río Bravo, Tamaulipas. Los tratamientos consistieron en: dosis de fertilización química: al 100 % (Q100) y al 50% (Q50), fertilización orgánica: yeso + 50% de fertilización química (Y50) y gallinaza + 50 % de fertili-

[1] Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Investigación y Posgrado. Cuerpo Académico en Sistemas de Producción de Frutales y Hortalizas. rdelgado@docentes.uat.edu.mx .

[2] Ingeniería en Agricultura Sustentable y Protegida, Universidad Tecnológica de Tehuacán.

zación química (G50), más dos bioinoculantes comerciales micorriza INIFAP y Biogea y un testigo. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar, en arreglo de parcelas divididas, con 4 repeticiones. En cuanto al efecto de la aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos (PG: parcela grande), se observa que hubo diferencias significativas en PM, DM, NGH, P100G y RG, en cuanto a NH y LM no existió diferencia significativa debido a que estas variables dependen meramente del genotipo, también podemos observar el efecto de las micorrizas (PC: parcela chica) en donde hubo diferencia significativa solo en las variables PM y RG, no habiendo diferencia significativa en las demás variables.

Palabras clave: *Micorrizas, yeso agrícola, gallinaza, rendimiento*.

Introducción

La explotación intensiva del suelo en la zona semiárida del Noreste de Tamaulipas, producida por la agricultura convencional de las últimas décadas, con permanente extracción de nutrientes, ha acelerado su degradación y afectado la fertilidad na-

tural del suelo, lo que ha puesto en peligro su productividad. Sin embargo, las políticas agrícolas a nivel mundial están tendiendo hacia sistemas agrícolas más sostenibles, destinados a la producción de cultivos con un mantenimiento del óptimo equilibrio físico, químico y biológico en el suelo (FAO, 2019). En este sentido, la utilización de microorganismos del suelo con potencialidad para mejorar la nutrición mineral (*Rizobium*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, hongos formadores de micorrizas, entre otros) se está generalizando y permite disminuir el empleo de fertilizantes, ya que facilitan que las plantas hospedantes crezcan vigorosamente en condiciones estresantes al mediar una serie de eventos de comunicación complejos entre la planta y el hongo que conducen a una tasa fotosintética mejorada y otros rasgos relacionados con el intercambio de gases (Birhane *et al*., 2012). De este modo, se reducen los costos de instalación de los cultivos y se mantiene la sostenibilidad de los agroecosistemas. Las tendencias actuales hacia una agricultura sustentable involucran cambios en las prácticas de manejo, como frecuencia de riego, densidades de siembra, niveles inferiores de fertilización química a los acostumbrados,

abonos orgánicos, así como la utilización de microorganismos promotores del crecimiento vegetal, por que se cree ampliamente que estos organismos podrían considerarse como un reemplazo de fertilizantes inorgánicos en un futuro cercano, porque la aplicación de micorrizas puede reducir efectivamente el uso cuantitativo de fertilizantes químicos, especialmente fósforo (Ortas, 2012). Por lo que la hipótesis que se planteo es que el crecimiento y productividad del cultivo de maíz se ven afectados positivamente por la inoculación de bioinoculantes y fertilización química y orgánica, así mismo el objetivo que se planteo fue evaluar el crecimiento y rendimiento de maíz respecto a la inoculación de micorrizas orbiculares sobre la fertilización química y orgánica.

Materiales y métodos

El estudio se estableció en el ciclo primavera-verano de 2016 en el Campo Experimental Río Bravo, INIFAP, Río Bravo, Tamaulipas, localizado a 25º 57' latitud norte, 98º 01' longitud oeste y altitud de 30 m. Se tomaron muestras de suelo en presiembra de los primeros 30 cm de profundidad para analizar sus propiedades físicas y químicas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo

% de Materia Orgánica	K extraíble (ppm)	ph	C. E. (dS/m)	Clase Textural	N-NO3 (ppm)	P (ppm)	Fierro (ppm)	Cobre (ppm)	Zinc (ppm)	Manganeso (ppm)
1.70	1864	7.89	1.14	ARCILLA	20.6	29.6	0.622	0.691	0.852	0.599

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar, en arreglo de parcelas divididas, con 4 repeticiones. La parcela grande fueron las dosis de fertilización química y orgánica: al 100 % (Q100), 50% (Q50), yeso +50% de fertilización química (Y50) y gallinaza +50% de fertilización química (G50) y un testigo (sin fertilizar), en cuanto a la parcela chica se aplicaron dos bioinoculantes comerciales micorriza INIFAP (hongo micorrízico arbuscular Rhizophagus intraradices, no menos de 40 esporas/g, a razón de 500 g/ha), y biogea® (Glomus®, combinación de micorrizas del género Glomus sp. (G. intraradices, G. mosseae, G. aggregatum y G. clarum) 1000 esporas mL-1 con una dosis de 100ml 1L-1 de agua ha-1) y un testigo (sin bioinoculante). En la fertilización química se utilizó la fórmula

140-40-00, como fuente de fosforo se utilizó DAP (18-46-00) y de nitrógeno Urea (46-00-00), el DAP y Urea se aplicaron media dosis a la siembra y el resto antes de inicio de floración, en cuanto a la gallinaza y el sulfato de calcio se aplicaron en la siembra. El tamaño de la unidad experimental fue de 6 surcos de 0.80 m y 5 m de largo (24.3 m2) en parcelas grandes y 2 surcos de 5 m (8.1 m2) parcelas chicas. La semilla utilizada fue el híbrido H444-A INIFAP con un ciclo intermedio de aproximadamente 120 días. Con una densidad de siembra de 5 plantas m2. El riego fue rodado conducido por los surcos aproximadamente de una hora, procurando que se mantuviera en condiciones estables de humedad (a capacidad de campo). Con la finalidad de prevenir daños causados por la proliferación de maleza, se efectuó un deshierbe manual cuando fue requerido. A la cosecha se midieron los componentes del rendimiento, como: PM: Peso de mazorca, DM: Diámetro de mazorca, LM: longitud de mazorca, NH: número de hileras, NGH: número de granos por hilera, P1G: peso de un grano, P100: peso de cien granos, RGM: Rendimiento de grano maíz. A

las variables evaluadas se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

Resultados y discusión

En cuanto al efecto de la aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos (PG: parcela grande), se observa que hubo diferencias significativas en PM, DM, NGH, P100G y RG, en cuanto a NH y LM no existió diferencia significativa debido a que estas variables dependen del genotipo, también podemos observar el efecto de las micorrizas (PC: parcela chica) en donde hubo diferencia significativa solo en las variables PM y RG, no habiendo diferencia significativa en las demás variables. En cuanto a la interacción de fertilización química y orgánica con micorrizas (PG*PC) presentó una diferencia altamente significativa en las variables DM, NGH, P1G, P100G y RG que es una consecuencia que se afecta al modificar los componentes (Cuadro 1), en este sentido, Mitra *et al.* (2019) indican que es evidente que la inoculación de micorrizas mejora la concentración de varios macronutrientes y micronutrientes de manera significativa, lo que condu-

ce a una mayor producción de fotosintatos y, por lo tanto, a una mayor acumulación de biomasa.

Cuadro 2. Análisis de varianza del rendimiento y componentes del rendimiento en maíz, en función de la bioinoculación y fertilización química y orgánica, Rio Bravo, Tamaulipas.

Tratamiento	PM	DM	LM	NH	NGH	P1G	P100G	RG
	g m^{-2}	cm	cm			mg	g	g m^{-2}
PG	**	**	ns	ns	**	*	**	**
PC	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
PC*PG	**	**	ns	ns	**	**	**	**
C.V. %	2.4	8.2	14.3	10.7	11.4	8.3	8.6	13.4

*,**, ns, significativa y no significativa al 0.05 0.01 respectivamente. C.V =Coeficiente de Variación.

En el cuadro 3, se puede observar una diferencia significativa entre tratamientos en las variables de PM y P100G, en donde en ambos casos se obtuvieron los valores más altos de rendimiento con los tratamientos Q100 y Q50. En cuanto al tratamiento Y50, obtuvo los valores más bajos superándolo incluso el testigo. Esto pudo deberse a que el yeso agrícola ($CaSO_4$) entre sus beneficios está el no permitir que las plantas a través de sus raíces formen

hongos micorrizicos arbusculares (HMA), entonces esto pudo tener una reacción negativa al aplicar los bioinoculantes. En cuanto a las variables restantes no existió diferencia significativa ya que estas son afectadas por el genotipo, el rendimiento depende mayor mente del peso de mazorca y por ende, el peso de grano.

Cuadro 3. Comparación de medias del rendimiento y componentes del rendimiento en maíz, en función de la fertilización química y orgánica, Rio Bravo, Tamaulipas.

Tratamiento	PM	DM	LM	NH	NGH	P1G	P100G	PO
	g	cm	cm			mg	g	g
Q100	185 a	4.29 b	15.6 a	13.83 a	29.5 a	356 a	39.1 a	29.2 a
Q50	173 b	4.37 b	15 a	14.3 a	29 a	346 a	38.2 ab	27.3 a
G50	153 c	4.4 b	14.3 a	14 a	29 a	329 ab	33.1 bc	26.4 a
Y50	140 e	4.12 b	14 a	13.6 a	28.2 a	305 b	31.3 c	26.1 a
TESTIGO	148 d	5.16 a	13.9 a	13.8 a	31.8 a	347 a	34.8 abc	25.5 a
DMS	4.42	0.47	2.57	2.02	5.18	037	5.18	7.89

[1]Medias dentro de columnas con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

DMS = Diferencia Mínima Significativa

En cuanto al rendimiento en función de la bioinoculación cuadro 4, solo existió diferencia significativa directamente en la variable PM, en donde la mejor respuesta la obtuvo la micorriza

comercial INIFAP® al aumentar un 17% con respecto al testigo, Biogea con un 9.5% con respecto al testigo. La diferencia entre HMA comerciales se puede deber a que las especies de hongos en este caso *Rhizophagus intraradices* de INIFAP obtuvo mejor adaptación en el suelo agrícola. En cuanto a las otras variables no existió diferencia significativa debido a que estas dependen del material genético.

Cuadro 4. Comparación de medias del rendimiento y componentes del rendimiento en maíz, en función de la bioinoculación, Rio Bravo, Tamaulipas.

Tratamiento	PM	DM	LM	NH	NGH	P1G	P100G	PO
	g	cm	cm			mg	g	g
INIFAP	172 a	4.52 a	15.1 a	14.2 a	30.2 a	342 a	36.2 a	28.6 a
BIOGEA	161 b	4.49 a	14.3 a	13.9 a	29.3 a	335 a	35.3 a	26.1 a
TESTIGO	147 c	4.4 a	14.3 a	13.7 a	29.0 a	333 a	34.4 a	26 a
DMS	3.08	0.28	1.62	1.16	2.62	222	2.37	3.97

[1]Medias dentro de columnas con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). DMS = Diferencia Mínima Significativa

En la figura 1, se puede observar una línea de tendencia favorable que indica que a mayor peso de 100 granos mayor rendimiento, siendo así el tratamiento Q100 con Biogea® el de mejo-

res resultados, siguiendo el tratamiento Q50 con INIFAP®. La diferencia entre bioinoculantes se puede deber a que la combinación de HMA tienen un mejor comportamiento a la aplicación de dosis altas de fertilizante químico. En cuanto a los tratamientos con Y50 obtuvieron los más bajos resultados junto con G50.

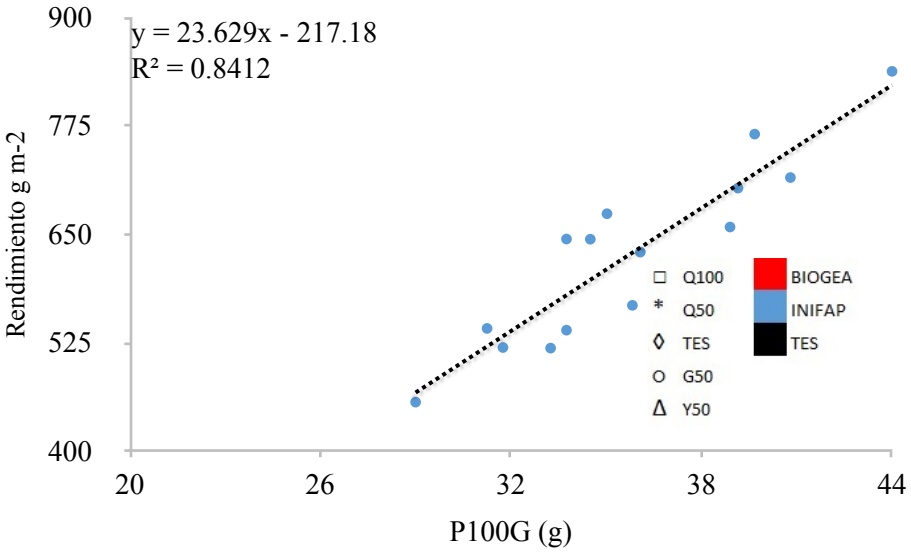


Figura 1. Relación entre el rendimiento y el peso de cien granos en función de la bioinoculación y fertilización química y orgánica, en el cultivo de maíz en Rio Bravo, Tamaulipas.

En la relación entre número de granos m^2 y el rendimiento se obtuvieron datos constantes en los que indicaron que a mayor número de granos m^2 mayor rendimiento, en la figura 2 se puede observar que el tratamiento Q100 con Biogea® obtuvo resultados significativos resaltando en número de granos m^2 y en rendimiento. También, Q50 con INIFAP® destaco entre los tratamientos al ser el segundo alto con más de 750 kg m^2. En cuanto a los tratamientos con bajos rendimientos se encuentra Y50 que no se observó algún aumento significativo con respecto al testigo.

Conclusiones

La fertilización química es necesaria para un buen rendimiento, sin embargo, se demostró gracias al análisis de los componentes del rendimiento que existe una interacción positiva entre la fertilización y la bioinoculación en el peso de mazorca y por ende en el rendimiento. A pesar de que los resultados más favorables fueron con dosis química completa y bioinoculación, el tratamiento con media dosis y bioinoculación da resultados similares y aporta un ahorro económico al productor y un bien al am-

biente. Por lo tanto, se recomienda utilizar fertilización química en conjunto de bioinoculantes para obtener resultados favorables.

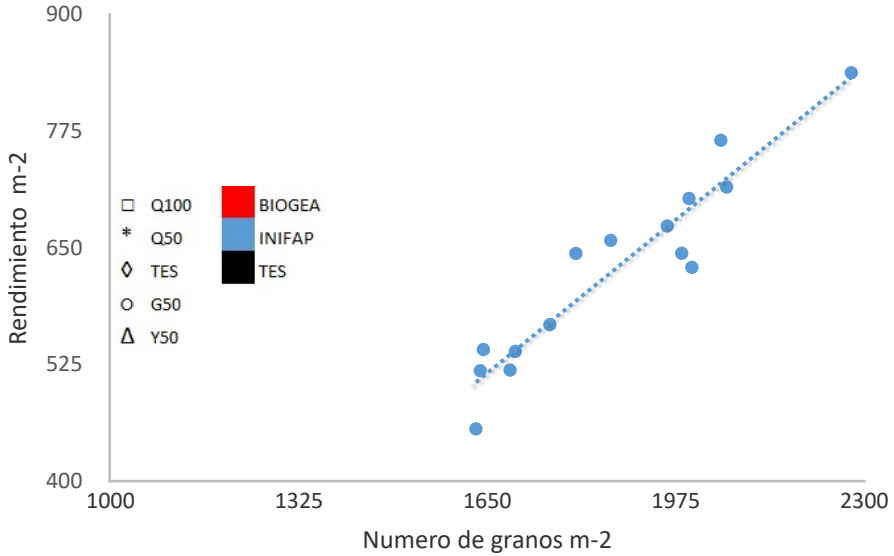


Figura 2. Relación entre el número de granos m-2 y el rendimiento de maíz en función de la bioinoculación y fertilización química y orgánica, Rio Bravo, Tamaulipas.

Literatura citada

Birhane, E., Sterck, F., Fetene, M., Bongers, F., Kuyper, T. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance photosynthesis, water use efficiency, and growth of frankincense seedlings under pulsed water availability conditions. *Oecologia* 169: 895–904.

FAO. 2019. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. Roma.

Mitra, D., Navendra, U., Panneerselvam, U., Ansuman, S., Ganeshamurthy, A. N., Divya, J. 2019. Role of mycorrhiza and its associated bacteria on plant growth promotion and nutrient management in sustainable agriculture. *International Journal of Life Sciences and Applied Sciences*. 1(1): 1–10.

Ortas, I. 2012. The effect of mycorrhizal fungal inoculation on plant yield, nutrient uptake and inoculation effectiveness under long-term field conditions. *Field Crops Research*, 125, 35–48.

Efecto del manejo agrícola convencional y sustentable de cultivos contrastantes sobre la respiración del suelo

Gabriela Guillén Cruz
Dulce Yaahid Flores Rentería

Resumen

La agricultura juega un papel muy importante en el ciclo del carbono (C) del suelo pues según el tipo de manejo y las prácticas que se tengan, se puede facilitar su pérdida por medio de la respiración del suelo (R_S) o actuar como almacenes de C. Con el objetivo de determinar el efecto de dos tipos de manejo agrícola (convencional y sustentable) con dos cultivos (nopal y trigo) sobre la dinámica de carbono en un clima semiárido, se establecieron cuatro parcelas con manejo convencional y cuatro con manejo sustentable para cada cultivo y se midió la R_S con una cámara dinámica portátil antes y después del riego de las parcelas. Los resultados demuestran que la R_S fue mayor en los cultivos de trigo en ambos manejos con 0.24 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} en el manejo sustentable y 0.3 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} en el manejo convencional, en comparación a los cultivos de nopal. En el cultivo de trigo se obtuvo un incremento en la R_S de 0.07 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} después del riego y para el cultivo de nopal se obtuvo un incremento en la R_S de

0.02 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. La R_S refleja la actividad de los microorganismos producto del riego y prácticas como la labranza que ocasionan el fácil acceso a la materia orgánica del suelo. En conclusión, las diferentes prácticas agrícolas como la labranza y el riego están controlando la R_S en las parcelas de nopal y trigo en la zona semiárida de General Cepeda.

Palabras clave: *Cambio climático; actividad microbiana; trigo; nopal y prácticas agrícolas.*

Introducción

El suelo está considerado como el principal reservorio de C del planeta con 1460 GT. Sin embargo, también representa uno de los mayores flujos de CO_2 a la atmósfera con 98 Pg de C al año, a través de la respiración del suelo (R_S) (M. XuyShang, 2016). Las zonas áridas y semiáridas del mundo sustentan a unos 2 mil millones de personas y se estima que el 44% de sus suelos están destinados a la agricultura. La agricultura juega un papel muy importante en el ciclo del C, ya que aproximadamente el 20% de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera proviene de suelos agrícolas (Nyambo, Cornelius, y Araya, 2020). Aunado a lo ante-

rior, se espera un incremento en la demanda de alimentos, para satisfacer las necesidades de una población en constante crecimiento. En contraste, las actividades agrícolas pueden ayudar a secuestrar C en el suelo y por lo tanto mitigar el cambio climático (Dyer, Richards, Short, y Dodson, 2013). En los sistemas agrícolas la cantidad de C que se almacene o se libere dependerá en gran medida de las prácticas empleadas.

Por una parte, las prácticas agrícolas convencionales como la labranza, quema de residuos, uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas son responsables de perder más del 50% del carbono orgánico almacenado en el suelo y por lo tanto contribuir con el 25% de las emisiones de CO_2 a la atmósfera (Jabro, Sainju, Stevens, y Evans, 2008; Oorts, Merckx, Gréhan, Labreuche, y Nicolardot, 2007). Diferentes autores han documentado que el suelo labrado tiene una mayor pérdida de C en comparación a los que no labrados (Holland, 2004; Oorts *et al.*, 2007). Por lo tanto se recomienda reducir o evitar la labranza del suelo, como una buena práctica agrícola para disminuir las tasas de R_S (Nyambo *et al.*, 2020). La agricultura sustentable está considerada como una es-

trategia inteligente para mitigar el cambio climático. La agricultura sustentable enmarca una lista de buenas prácticas agrícolas, pero también busca mantener la viabilidad económica de las actividades, y mejorar la calidad de vida de los agricultores y la sociedad en su conjunto (Reganold, Papendick, y Parr, 1990). La implementación de una agricultura sustentable en las zonas áridas es importante por no solo por su alta vulnerabilidad, especialmente ante los escenarios de cambio climático, sino también por su alto potencial para la mitigación de este.

La dinámica de C en el suelo es muy específica variando de acuerdo con las condiciones climáticas, topografía, tipo de suelo, entre otras. Además, en parcelas agrícolas de las prácticas y tipo de cultivo. Por consiguiente, el objetivo de esta investigación es identificar el efecto que tiene el uso de diferentes prácticas agrícolas sobre el cultivo de nopal y trigo en la R_S de un ecosistema semiárido. Esta información es importante para identificar una estrategia agrícola que minimice las emisiones de CO_2 del suelo y por lo tanto se almacene más C en cultivos agrícolas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El sitio de estudio está ubicado en el rancho "San Isidro" del municipio de General Cepeda, al Sureste del estado de Coahuila, México, el cual se caracteriza por un clima semiárido con una temperatura media anual de 17.5 °C; el mes más cálido tiene una temperatura máxima de 31.4 °C y en el mes más frío tiene una temperatura mínima de 3.3 °C. La precipitación media anual es de 493 mm con las precipitaciones más altas durante julio, agosto y septiembre (WorldClim, 2017). Los principales cultivos establecidos en el municipio son el maíz, frijol y trigo con una agricultura en su mayoría del tipo temporal monocultivo. El área que se utilizó para el establecimiento de las parcelas ha experimentado cambios de uso de suelo a través del tiempo, estando en un principio como sitio conservado pasando por sitio agrícola y prácticas que fueron abandonadas desde hace 20 años aproximadamente.

Parcelas

En el sitio se delimitaron cuatro parcelas cada una con cuatro sub-parcelas (réplicas) de 5 x 5 metros (16 parcelas en total). En dos de las parcelas se sembró nopal y en las otras dos parcelas con trigo. A cada cultivo se les dio un manejo convencional y un manejo sustentable. Para las parcelas con manejo convencional, se realizó un barbecho, con arado de discos, se pasó la rastra con discos y se hicieron surcos de aproximadamente 20 cm para formar bordos. En el caso de las parcelas con manejo sustentable para el trigo solo se realizó únicamente se pasó la rastra en los primeros 10 cm de suelo (labranza mínima). Se utilizó una sembradora para el trigo en ambos tipos de manejo. En el caso de los nopales, las pencas se sembraron de manera manual enterrando la mitad de la penca (cladodio). Finalmente, la fertilización del suelo se realizó con la aplicación de urea líquida para el caso del trigo con manejo convencional en dos ocasiones. Para el manejo sustentable se manejó la aplicación de 2 cm de composta en el suelo de las parcelas. Para las parcelas de nopal con manejo convencional se colocó un riego por goteo y para el resto de las par-

celas se colocó un riego por microaspersión. La cantidad de riego fue complementaria a las precipitaciones registradas. El agua utilizada para el manejo convencional fue de 38.198 m^3 y para el manejo sustentable de 28.675 m^3 durante los meses después de la siembra.

El trigo utilizado fue una variedad local adaptada a la región llamada de manera común "pelón colorado" (*Triticum aestivum* L.) y la especie de nopal que se utilizó fue *Opuntia ficus-indica* (*Cactaceae*). El trigo se sembró el mes de septiembre del 2020 y se cosechó de las parcelas con manejo convencional el mes de abril del 2021 y el trigo con manejo sustentable el mes de mayo del 2021. La siembra del nopal se realizó en septiembre del 2020 dejando pasar la primera cosecha para aprovechar la estabilización de la planta dejando que crezca como mínimo dos niveles. La ventaja de este cultivo es que únicamente se hace remoción de la producción sin necesidad de una segunda siembra.

Medición de la respiración del suelo

Se midió la respiración del suelo (R_S) durante el periodo de crecimiento de los cultivos, antes y después del riego. La R_S se midió con una cámara cerrada portátil (cámara de respiración del suelo SRC- 2) conectada a un analizador de gas infrarrojo EGM-5 (PP Systems).

Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía ($P<0.05$) para determinar la diferencia entre la R_S para cada cultivo con diferente manejo agrícola. La prueba de honestidad de Tukey se utilizó para detectar diferencias significativas entre las medias. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software STATISTICA V10.0.

Resultados y discusión

Como se observa en la Fig. 1a, el flujo de CO_2 fue mayor en los cultivos de trigo, independientemente si el manejo fue convencional o sustentable, en comparación al cultivo de nopal, con una R_S promedio de 0.24 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} en el manejo sus-

tentable y 0.3 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} en el manejo convencional. En cambio, el cultivo de nopal presentó valores promedios de 0.1 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} en el manejo sustentable y 0.13 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} en el manejo convencional. Tal como se ha observado en otros estudios, los cultivos de trigo con diferente manejo agrícola (con y sin labranza), las emisiones de CO_2 fueron menores como resultado de las parcelas sin labranza. (Bilandžija, Zgorelec, y Kisić, 2016; Nyambo *et al.*, 2020).

Las mediciones de la R_S antes y días después del riego reflejaron que el flujo de CO_2 fue más alto días después del riego, con diferencias significativas entre mediciones. Tal como era de esperarse la R_S fue mayor en las mediciones después del riego en comparación con antes del riego. En el cultivo de trigo se presentó un incremento en la R_S de 0.07 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} después del riego y para el cultivo de nopal de 0.02 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Fig. 1b). La R_S después del riego refleja la activación de la comunidad microbiana debido al fácil acceso a la materia orgánica (L. Xu, Baldocchi, y Tang, 2004). Asimismo, el cultivo al tener disponible el agua para su crecimiento, estimula la respiración radicular pro-

ducto del crecimiento y mantenimiento de las raíces, y de la respiración de los microorganismos de la rizosfera (M. XuyShang, 2016). Por otra parte, antes del riego la disponibilidad de carbono está limitada debido a que el contenido de agua en el suelo afecta su difusión, lo que reduce la actividad microbiana y detiene el crecimiento de los microorganismos (L. Xu *et al.*, 2004).

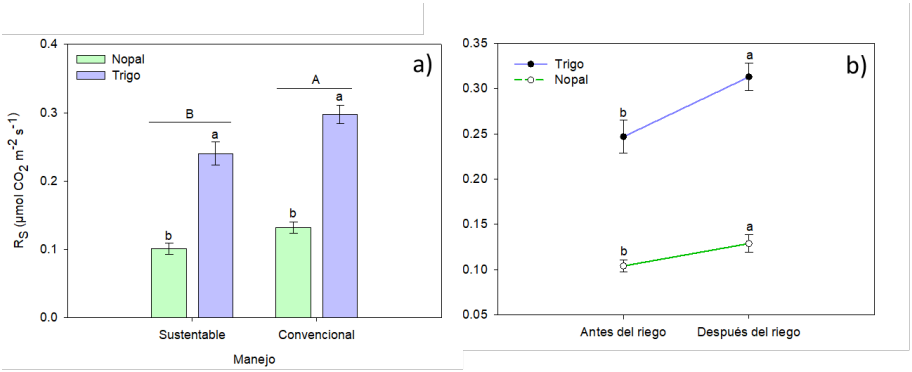


Figura 1. Efecto del manejo agrícola y del riego sobre la respiración del suelo (RS). a) RS en parcelas de cultivo de trigo (barras azules) y nopal (barras verdes) con manejo sustentable y convencional, en donde las letras minúsculas indican diferencias significativas entre cultivos y las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre manejo agrícola. b) RS antes y después del riego de los cultivos de trigo (linea azul) y nopal (línea verde), letras minúsculas indican diferencias significativas entre mediciones para el mismo cultivo. En ambas figuras los valores son la media ± error estándar.

Conclusiones

El tipo de manejo agrícola (labranza y riego) está controlando la R_S en el cultivo de nopal y trigo. Las prácticas de la agricultura convencional están liberando más CO_2 del suelo a la atmósfera y las prácticas de la agricultura sustentable están liberando un 23.5% menos CO_2 del suelo a la atmósfera.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por el proyecto COAH-2020-C14-C091 del FONCYT, Gobierno del estado de Coahuila. Agradecemos a Andres Torres por su ayuda y disposición del rancho "San Isidro", también agradecemos a Emanuel Campuzano, Araceli Gutiérrez, Cesar Sarabia, Agustín Torres y Roberto Torres por su ayuda en la preparación de las parcelas. Asimismo, agradecemos al CONACyT por la beca otorgada a Gabriela Guillén Cruz dentro del Programa de Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía.

Literatura citada

Bilandžija, Darija, Zgorelec, Željka, & Kisić, Ivica. (2016). Influence of Tillage Practices and Crop Type on Soil CO2 Emissions. *Sustainability*, 8(1), 90.

Dyer, Lee A, Richards, Lora A, Short, Stephanie A, & Dodson, Craig D. (2013). Effects of CO2 and temperature on tritrophic interactions. *PloS one*, 8(4), e62528.

Holland, John M. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, ecosystems & environment*, 103(1), 1-25.

Jabro, JD, Sainju, U, Stevens, WB, & Evans, RG. (2008). Carbon dioxide flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops. *Journal of environmental management*, 88(4), 1478-1484.

Nyambo, Patrick, Cornelius, Chiduza, & Araya, Tesfay. (2020). Carbon dioxide fluxes and carbon stocks under conservation agricultural practices in South Africa. *Agriculture*, 10(9), 374.

Oorts, Katrien, Merckx, Roel, Gréhan, Eric, Labreuche, Jérôme, & Nicolardot, Bernard. (2007). Determinants of annual fluxes of CO2 and N2O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France. *Soil and Tillage Research*, 95(1-2), 133-148.

Reganold, John P, Papendick, Robert I, & Parr, James F. (1990). Sustainable agriculture. *Scientific American*, 262(6), 112-121.

WorldClim. (2017). Global Climate Data v2.0. Retrieved 25/02/2020 http://www.worldclim.org

Xu, Liukang, Baldocchi, Dennis D, & Tang, Jianwu. (2004). How soil moisture, rain pulses, and growth alter the response of ecosystem respiration to temperature. *Global Biogeochemical Cycle*s, 18(4).

Xu, Ming, & Shang, Hua. (2016). Contribution of soil respiration to the global carbon equation. *Journal of Plant Physiology*, 203, 16-28. doi: https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.08.007

Evaluación de dos tipos de fertilización en limón mexicano [*Citrus Aurantifolia* (Christm.) Swingle] y su efecto en crecimiento

Dariana Berenice Farías-Guizar[1],
José C. García-Preciado[2],
Miguel Jiménez-Santa Ana[1],
María Guzmán-Martínez[3].

Resumen

En el estado de Colima los suelos cultivados con limón mexicano presentan baja fertilidad y problemas con disponibilidad de algunos nutrimentos. Aunado a ello, el establecimiento del huanglongbing (HLB), trajo consigo reducción de la productividad. Para proponer alternativas de manejo nutricional se evaluaron dos tipos de fertilización. El primero fue la fórmula regional que considera la edad del árbol, la densidad de plantación, más la proporción 2-1-1 de N:P:K. Para ello, se aplicó $(NH_4)_2SO_4$, $Ca(H_2PO_4)_2$ y K_2SO_4 en dosis de 238, 52 y 47 g/árbol/mes, respectivamente. El otro tipo de fertilización se basó en la extracción de nutrimentos

[1] Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. dfarias2@ucol.mx.

[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Tecomán.

[3]Unidersidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Matemáticas Chilpancingo, Guerrero, México.

por tonelada de fruta cosechada para limón mexicano, la oferta del suelo y la eficiencia de recuperación de los fertilizantes. Se registraron variables de crecimiento durante un año. Encontrado que el primer tipo de fertilización generó menor crecimiento en plantas de limón mexicano y fue más costoso.

Palabras clave: *HLB, diámetro de tallo, volumen de copa, costo/beneficio*.

Introducción

Los cultivos cítricos son considerados como altamente sensibles a la carencia de nutrimentos (Fageria *et al*., 2008). Suelos cultivados con limón mexicano en el estado de Colima, México, presentan altos y moderados niveles de carbonatos de calcio ($CaCO_3$), por consecuencia pH elevado, así como bajos contenidos de materia orgánica (Pérez-Zamora, 2002). Repercutiendo a una baja fertilidad y algunas limitantes en la disponibilidad de nutrimentos. Se cuenta con importante información sobre el manejo de la nutrición de limón mexicano (Maldonado *et al*., 2001; Pérez-Zamora, 2002; Pérez y Orozco, 2004), la cual fue generada

antes de la epidemia del huanglongbing (HLB), detectada en Colima a partir del año 2010 (Robles *et al*., 2018). Reciente información sobre nutrición de limón mexicano en Colima plantea un enfoque basado en la edad del cultivo, la densidad de plantación y la utilización de la proporción 2-1-1 o 20-10-10 de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) respectivamente (Manzanilla *et al*., 2014). Aunque el manejo de la nutrición en Colima es muy diverso, prevalece el planteamiento de utilizar la combinación física de la proporción: 20-10-10 de N-P-K respectivamente. Por ello, la importancia de evaluar propuestas y alternativas para la nutrición de dicho cultivo en un ambiente endémico de HLB y baja fertilidad de suelo. El presente trabajo contempló evaluar el crecimiento en limón mexicano, utilizando dos formulaciones de fertilización al suelo.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en rancho El Triunfo, ubicado en la comunidad de Tecolapa, Tecomán, Colima, México; coordenadas: 18° 58' 42.182'' N -103° 51' 27.17'' O (Google Earth, 2020). La temperatura media anual es 26.3 °C, precipitación media anual acu-

mulada de 810.6 milímetros (mm), el régimen de lluvias prevalece en verano (INEGI, 2020). El cultivo fue limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) var.'Colimex' injertado en *Citrus macrophylla* Wester, a una distancia de plantación de 7x4 metros en marco real (357 plantas·ha^{-1}); la fecha de establecimiento fue el 15 de mayo del 2019. El sistema de riego fue microaspersión con gasto de 70 litros/hora y la frecuencia de tres días por semana, en promedio 2.5 horas por riego. El manejo sanitario y de malezas fue basado a lo sugerido por INIFAP (Orozco *et al*., 2014). La evaluación se llevó a cabo a partir de los 12 meses del establecimiento (mayo 2020), hasta mayo del 2021. Para determinar características de suelo, se tomaron ocho submuestras de 0 a 30 cm de profundidad a una distancia del tallo de 30 cm. Posteriormente, las submuestras se mezclaron para conformar una muestra compuesta la cual fue enviada para análisis de fertilidad. Respecto a la fertilización, se evaluaron dos tipos: la regional que considera la edad del árbol, la densidad de plantación, más la proporción 2-1-1 de N:P:K (Manzanilla-Ramírez, Medina-Urrutia y Robles-González, 2014). Para ello, se aplicó $(NH_4)_2\ SO_4$, $Ca(H_2PO_4)_2$ y K_2SO_4 en dosis de

238, 52 y 47 g/árbol/mes, respectivamente. El otro tipo de fertilización se basó en la extracción de nutrimentos por tonelada de fruta cosechada para limón mexicano (Maldonado *et al*., 2001), la oferta del suelo y la eficiencia de recuperación de los fertilizantes (Mortvedt, 1994; Baligar, Fageria y He, 2001), que surge a partir de la fórmula propuesta por Etchevers (1987). Para el T2 se utilizó: 0.24, 0.05, 0.29, 0.085, 0.012 y 0.008 de N, P, K, Ca, Mg y S respectivamente, más 0.0002 kg/planta/año de microelementos. Los productos del T2 fueron: urea, fosfato monopotásico, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, nitrato de calcio y un mix de microelementos. Así mismo se incorporaron productos orgánicos al T2: 1.1 gr/planta/mes de ácidos fúlvicos (Fulvifer®), 2.2 ml/planta/mes de húmicos (Humitron®) y a partir del noveno mes se incorporaron ácidos policarboxílicos (Sal®) dosis: de 7.0 ml/planta/mes.

El fertilizante del T1 se aplicó mensualmente distribuyéndolo sobre el suelo en el área de goteo, y el T2 se aplicó vía fertirriego quincenalmente. El área experimental fue una parcela de 16.5 hectáreas seleccionando 15 plantas por tratamiento bajo un diseño factorial totalmente aleatorio. Para independizar el T1 se

colocó una llave de paso la cual se cerraba solo cuando se realizaba el fertirriego. Se tomaron seis registros de variables de crecimiento para conocer el efecto de los tratamientos: diámetro del tallo del portainjerto (DTP).

Y se calculó el volumen de la copa (VDC), con la siguiente fórmula: $VDC = (4/6) \cdot \pi \cdot \text{altura de copa} \cdot (\text{diámetro de copa}/2)^2$ (Pérez-Zamora, 2002). Se realizó ANOVA y comparación de medias de los tratamientos (Tukey, α=0.05) utilizando el software estadístico R-Studio (R Core Team, 2018). Además, se estudiaron los efectos de los tratamientos T1 y T2 a través del tiempo con un análisis de modelos lineales mixtos.

Resultados y discusión

Utilizando la información registrada durante el periodo de evaluación, el DTP y VDC del T1 fue menor respecto al T2, aunque no se obtuvieron diferencias estadísticas (Cuadro 1). Ambas variables obtuvieron una relación lineal positiva en los tratamientos. Se ha establecido que el DTP, tiene mayor relación con el crecimiento de limón mexicano (García-Preciado *et al*., 2019[b]). Al analizar la información por fecha de muestreo, se obtuvieron di-

ferencias estadísticas en los registros, esto fue para la variable DTP y VDC (Cuadro 1). Considerando tratamientos y fechas de muestreo las diferencias fueron significativas en el VDC.

Cuadro 1. Variables de crecimiento de limón mexicano durante el periodo de evaluación.

Tratamiento	Tiempo	DTP (mm)		VDC (m^3)	
	may-20	41.91	h	0.97	f
	ago-20	50.33	g	2.83	e
	oct-20	59.48	f	3.66	d
T1	ene-21	65.47	de	4.71	c
	mar-21	69.20	bcd	4.49	c
	may-21	72.74	ab	6.75	a
	Promedios	**59.86**	**a**	**3.90**	**a**
	may-20	43.32	h	0.81	f
	ago-20	52.14	g	3.16	de
	oct-20	62.21	ef	3.58	de
T2	ene-21	67.91	cd	5.61	b
	mar-21	70.40	abc	6.84	a
	may-21	74.27	a	6.45	a
	Promedios	**61.71**	**a**	**4.41**	**a**

T1: proporción: 2-1-1 de N, P y K respectivamente. T2: fue determinado en base a la demanda del cultivo, menos el suministro del suelo. DTP= diámetro de tallo del portainjerto. VDC=volumen de la copa. n=15. Tukey, α=0.05.

La variable DTP obtuvo un crecimiento lineal ascendente en ambos tratamientos, e inicialmente las medias de ambos fueron similares. Respecto al análisis de varianza, la dispersión de

los datos fue mayor en el T1. En el T2 se generaron valores medios superiores y menor dispersión de datos a través del tiempo (Figura 1a). Respecto a la variable VDC, se generó un aumento aproximado de 600% durante la evaluación (un año). Con el manejo de poda el VDC se alteró en tamaño, pero el crecimiento de dicha variable fue ascendente para ambos tratamientos y generó mayor dispersión de resultados en los muestreos (Figura 1b). Aun así, el modelo de regresión (distribución polinómica: X=tiempo, Y=VDC), generó coeficientes de determinación para el T1 y T2 de: 0.92 y 0.96 respectivamente, por lo que se confirmó el efecto lineal ascendente a través del tiempo. Se ha demostrado que el manejo nutricional modifica la actividad y concentración de los nutrimentos en limón mexicano con HLB (Manzanilla-Ramírez, *et al*., 2019). Por lo que los tratamientos de fertilización alteraron el crecimiento del cultivo en área de estudio. Ejemplo, por iniciativa del productor cooperante se realizaron podas de los tratamientos, la primera fue en septiembre del 2020 y una segunda en febrero del 2021. En la segunda poda el T1 manifestó mayor elongación de brotes laterales, por lo cual se eliminó mayor

cantidad de ramas y brotes respecto al T2, en donde solo se realizaron despuntes. Por otro lado, se ha reportado que aplicaciones elevadas de nitrógeno generan mayor elongación y producción de brotes vegetativos (Hernández y Rubilar, 2012), aunque establecida la etapa productiva del cultivo, la elongación de brotes no es una característica deseable. En lo que respecta al análisis económico de los tratamientos, y haciendo referencia solo al costo de la fertilización realizada por hectárea durante un año. Se determinó el precio de fertilizantes con datos de empresas locales, el precio de kilogramo de limón que fue de $10.5 (promedio anual), y el rendimiento de 1.1 t/ha^{-1} tomado del total del área experimental. La relación costo/beneficio del T1 fue de 0.69, mientras que el T2 de 1.11. Lo cual indica que con la fertilización del T1 se incrementaron costos de nutrición hasta un 35%. Así mismo se ha reportado que manejar de manera adecuada los fertilizantes en los cultivos permite obtener mayor rendimiento, reduciendo los costos de producción y la contaminación de los agroecosistemas (Stamp, 2003).

Conclusión

El T2 generó mayor diámetro de tallo y volumen de copa. El VDC generó mayor variabilidad en las mediciones debido a la actividad de podas. T1 empleó 41% más unidades de nutrimentos y fue 35% más elevado en costos respecto al T2.

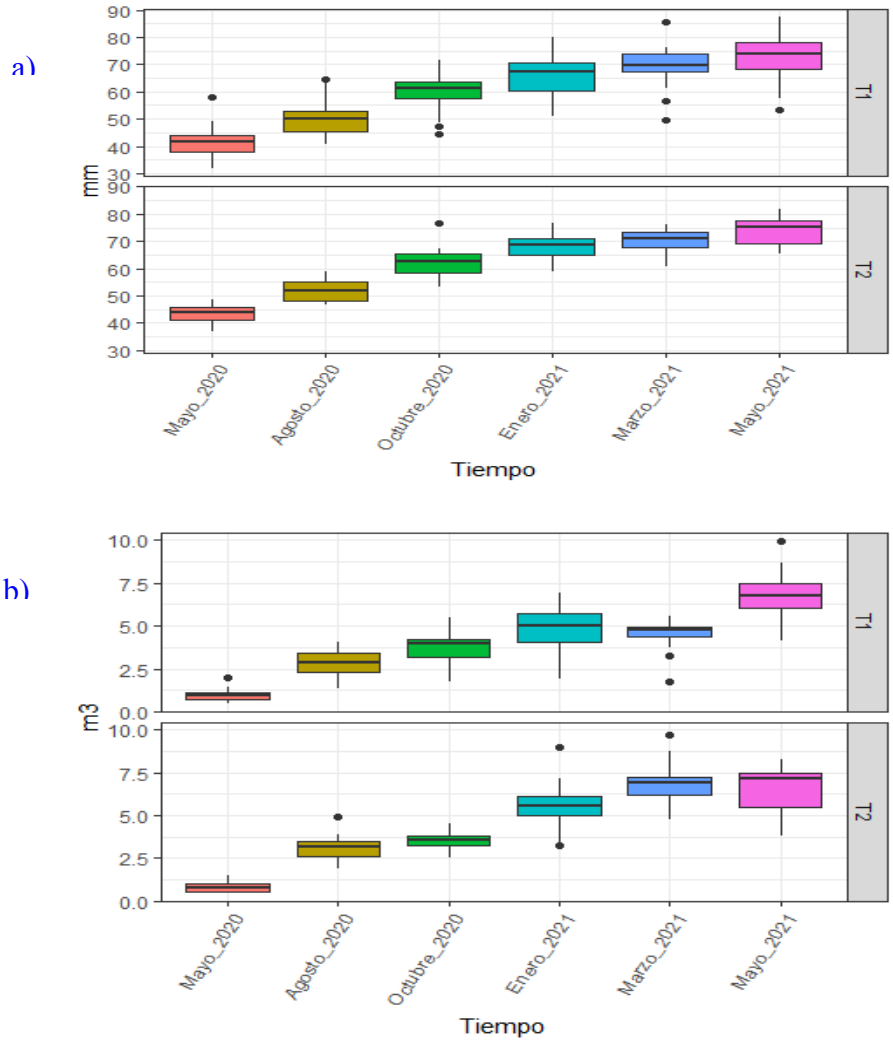


Figura 1. Comportamiento del crecimiento de limón mexicano durante un año, utilizando dos tipos de fertilización.

Literatura citada

Baligar, V., Fageria, N., & He, Z. 2001. Nutrient use efficiency in plants. Communications in *Soil Science and Plant Analysis* 32(7): 921-950.

Etchevers-Barra, J.D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana* 17(3): 209-219.

Fageria, N.K, Baligar, V.C. & Li, Y.C. 2008. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. *Journal of Plant Nutrition* 31(6): 1121-1157.

García-Preciado, J. C., Carrillo-Medrano, S. H., Robles-González, M. M., Guzmán-Martínez, M., y Chávez-Cernas, O. A. 2019. Respuesta de limón mexicano (Citrus aurantifolia (Christm) Swingle) a dos tipos de fertilización en un sistema de producción en contenedores. *Agro productividad* 12 (12): 47-53. doi.org/10.32854/agrop.vi0.1511.

García-Preciado J. C., Orozco-Santos M., Guzmán-Martínez, M., Carrillo-Medrano, S. H. 2019. Avances en agricultura protegida en limón mexicano bajo un escenario de Huanglongbing. (Presidencia), Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Memoria No. 1. ISBN: en trámite. Chiapas, México.

Google Earth. 2020. Recuperado de: https://www.google.com/intl/es/earth/

Hernández, A., y Rubilar, R. 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosforada en el desarrollo y fenología de brotes de setos de Pinus radiata. *Bosque* 33(1): 53-61.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2020. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/

Maldonado, T.R, Etchevers, B.J.D, Alcántar, G.G., Rodríguez, A.J., y Colinas, L.M.T. 2001. Estado nutrimental del limón mexicano en suelos calcimórficos. *Terra Latinoamericana* 19(2): 163-174.

Medina, U.V.M., Robles, G.M.M., Becerra, R.S., Orozco, R.J., Orozco, S.M., Garza, L.J.G., Ovando, C.M.E., Chávez, C.X., y Félix, C.F.A. 2001. El cultivo del limón mexicano. Libro Técnico Núm. 1. 79 p. INIFAP. Tecomán, Colima, México.

Manzanilla-Ramírez, M.A., Medina-Urrutia, V.M., y Robles-González, M.M. 2014. Manejo del riego y nutrición. En: M. Orozco-Santos, Robles-González M.M., Velázquez-Monreal J.J., Manzanilla-Ramírez M.M. (Eds), *El Limón Mexicano (Citrus aurantifolia)* (pp. 182-183). Ciudad de México, México: Prometeo Editores.

Manzanilla-Ramírez, M.A., Villegas-Monter, Á., Velázquez-Monreal, J.J., Zavaleta-Mancera, H.A., Sandoval-Villa, M., y Muñoz-Orozco, A. 2019. Cambios fisiológicos en árboles de limón mexicano en producción infectados con HLB. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(7): 1603-1614.

Mortvedt, J. 1994. Needs for controlled-availability micronutrient fertilizers. Fertility Research 38: 213-221.

Orozco-Santos, M., Robles-González, M.M., Velázquez-Monreal, J.J., Manzanilla-Ramírez, M.A., Bermúdez-Guzmán, M.J., Carrillo-Medrano, S.H., Medina-Urrutia, V.M., Hernández-Fuentes, L.M., Gómez-Jaimes, R., Manzo-Sánchez, G., Farías-Larios, J., Nieto-Ángel, D., Mijangos-Hernández, E., Sánchez-de la Torre, J.A., y Varela-Fuentes, S. 2014. *El limón mexicano (Citrus aurantifolia)*. Colima, México: Prometeo.

Pérez-Zamora, O. 2002. Evaluación de mejoradores del suelo en limón mexicano. *Terra Latinoamericana* 20(3): 337-346.

Pérez-Zamora, O., y Orozco-Romero, J. 2004. Rendimiento y concentración nutrimental foliar de árboles de limón mexicano fertilizados con nitrógeno, fósforo y potasio. Terra Latinoamericana 22(1): 99-108.

R Core Team, 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. https://www.R-project.org

Robles-González M. M., Orozco-Santos M., Manzanilla-Ramírez M. A., Velázquez-Monreal J.J., Medina-Urrutia V.M., Sanches-Stuchi E. 2018. Expe-

riencias con huanglonbing en limón mexicano en el Estado de Colima, México. *Citrus Research & Technology*. 39(e1039): 1-12.

Stamp, N. 2003. Out of the quagmire of plant defense hypotheses. *The Quarterly Review of Biology* 78(1): 23-55.

Efectos de obras de trasvases en la condición superficial del suelo y funcionalidad de ecosistemas

Elda Barbosa-Briones[1]
Francisco Javier Peña de Paz[1]
Carlos Alfonso Muñoz-Robles[2]

Resumen

Los trasvases son obras hidráulicas que movilizan agua de una cuenca a otra generando afectaciones en diversos sectores. Este estudio se realizó para evaluar los efectos de las obras de trasvase en la estructura y función del ecosistema de la cuenca de la presa La Muñeca ubicada en el municipio de Tierra Nueva, San Luis Potosí. Cuatro rangos de distancias a las obras fueron considerados (0-3, 3-6, 6-9 y 9-12 km). Se utilizó el método Landscape Function Analysis (LFA) con transectos de 50 m de longitud para medir las características estructurales del paisaje en parches con vegetación densa, intermedia y baja (interparches). Además, se evaluaron y caracterizaron 11 indicadores de la funcionalidad de la superficie del suelo. Hubo diferencias significativas en el rango más cercano y el más lejano a las obras en el número de parches

[1] El Colegio de San Luis, A. C. elda.bb@gmail.com.

[2] Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

por cada 10 m, área total de parches, índice de organización del paisaje, ancho promedio de parches, porcentaje de parches y porcentaje de interparches ($P < 0.05$). Los índices de estabilidad, infiltración y ciclo de nutrientes mostraron diferencias entre los diferentes tipos de parches en las diferentes distancias a las obras del trasvase ($P < 0.05$). Por lo tanto, lo anterior demuestra la eficiencia y rapidez del método LFA para evaluar los daños provocados por la construcción de obras relacionadas a los trasvases.

Palabras clave: *Parches, interparches, LFA*.

Introducción

Hoy en día se recurre con frecuencia al trasvase argumentando la necesidad de abastecer a las ciudades. Peña y Granados (2021) definen un trasvase como un dispositivo socio-técnico que moviliza, transporta, desplaza, relocaliza el agua de una cuenca a otra y para esto se tienen que vencer los parteaguas de las cuencas, lo que se traduce en cambios importantes en términos políticos, socioculturales, hidrológicos y bióticos, lo que implica transformaciones territoriales profundas. Aunado a esto, se crean obras secundarias como caminos y planta de tratamiento que

también provocan alteraciones en los ecosistemas. En las zonas áridas y semiáridas, la recuperación de la cobertura vegetal es muy lenta debido a la fragilidad de este tipo de ecosistemas. Por esta razón, es necesario evaluar sus cambios en la estructura y función (Tongway y Hindley, 2004).

A pesar de que el estudio de la funcionalidad no evalúa simplemente la estructura del ecosistema, es posible examinarlo utilizando métodos existentes como el ciclo de nutrientes, el flujo energía y la salud del suelo y su infiltración (Tongway y Hindley, 2000). El método LFA (Landscape Function Analysis, por sus siglas en inglés) es una metodología para examinar de manera rápida el impacto de la degradación del suelo en diversos ecosistemas. El uso de varios indicadores para evaluar la funcionalidad del ecosistema y así evaluar los procesos de degradación han impulsado el uso de estos métodos.

El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de las obras secundarias de trasvase en las características de la superficie del suelo para conocer su estructura y función usando el mé-

todo LFA alrededor de dichas obras de la cuenca de la presa de La Muñeca, en el municipio de Tierra Nueva, San Luis Potosí.

Materiales y métodos

Área de estudio

La cuenca de la presa La Muñeca está localizada entre los 21° 24′ 22.9″ y 21° 39′ 27.5″ de latitud norte y los -100°21′ 59.9″, -100° 34′ 5.5″ de longitud oeste y tiene un área de 299.4 km^2. Fisiográficamente, está localizada en la provincia Mesa del Centro y en la subprovincia de Sierras y llanuras del norte de Guanajuato, formadas por sierras altas escarpadas, principalmente. La pendiente varía desde 1.72° a 90°. El rango de elevación es de 1836 a 2538 msnm. La mayor parte del área de estudio (87.5%) está formada por rocas de la era del Cenozoico del sistema Neógeno, unidades estratigráficas de clase ígnea extrusiva de tipo ígnea extrusiva ácida. Esta área tiene un clima semiseco templado (BS1kw) en la parte este y oeste y en la parte central, seco templado (BS0kw) de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1973), con un promedio anual de temperatura de 18 °C y 28 °C y una precipitación media anual de 400

mm. El tipo de suelo predominante es el feozem con un 49.15% de la cobertura total, seguido del luvisol (33.35%) y el litosol (16.55%); todos los anteriores con una textura media. Los tipos de vegetación son presentes son bosque (de táscate y encino), matorral crassicaule, pastizal (inducido y natural), agricultura de temporal y vegetación secundaria de bosque de encino y pastizal natural. El uso de suelo es pastoreo y extracción de material.

Identificación de parches e interparches y análisis de datos

Ocho sitios de muestreo fueron seleccionados y distribuidos en los diferentes tipos de vegetación y localizados en cuatro rangos de distancia a las obras secundarias dentro de la cuenca de la presa La Muñeca pero que corresponden al trasvase de la presa El Realito. Para determinar los rangos de distancia, se creó un buffer de 2 km de distancia de la planta de tratamiento de agua procedente de la presa El Realito, de tal manera que abarcara las obras secundarias de la construcción de dicha presa y a partir de ahí se consideraron los rangos: 0 - 3, 3 - 6, 6 - 9 y 9 – 12 km. Por cada sitio, se evaluaron tres condiciones de cobertura del suelo: (1) interparche con una cobertura menor a 30%, (2) intermedio, entre

30% y 60% y (3) parche denso mayor a 60%. Los parches e interparches fueron identificados usando transectos LFA de 50 m (Tongway y Hindley, 2004), durante el mes de abril del 2021.

El método LFA arroja descriptores de número de parches por cada 10 m, área total de parches, índice de organización del paisaje, ancho promedio de parches, porcentaje de parches y porcentaje de interparches. En cada sitio se realizaron dos transectos y en cada uno de estos se consideraron dos evaluaciones por cada tipo de parche, donde se evaluaron 11 parámetros de suelo: protección contra salpicaduras de lluvia, cubierta vegetal perenne, hojarasca, costra biológica, rotura de la corteza, tipos y severidad de erosión del suelo, materiales depositados, rugosidad de la superficie del suelo, naturaleza de la superficie (resistencia a la perturbación), prueba de disolución y textura; relacionados con las características funcionales de la estabilidad, la infiltración y el ciclo de nutrientes. Para detectar diferencias significas entre las medias de las características funcionales se utilizó un ANOVA en R Studio.

Resultados y discusión

Estructura de la vegetación a diferentes distancias de las obras de trasvase

Las obras secundarias a los trasvases tienen un impacto en la estructura de la vegetación. Se encontraron diferencias significativas principalmente en el rango más cercano y el más lejano en el número de parches por cada 10 m, área total de parches, índice de organización del paisaje, ancho promedio de parches, porcentaje de parches y porcentaje de interparches ($P < 0.05$). A medida que aumenta la distancia de las obras secundarias del trasvase, el factor de la estructura de la vegetación y el área total de parches aumenta significativamente (Cuadro 1). De acuerdo con Kavianpour, *et al*. (2015), la cobertura de suelo lejos de las obras de afectación fue relativamente mayor debido a la cobertura vegetal de plantas perennes. Por ende, se incrementa la hojarasca y ambas contribuyen en la retención de recursos y menor erosión del suelo (Fakhimi y Motamedi, 2020).

Propiedades funcionales de los parches en cuatro rangos de distancia

Los parches se compararon entre sí en las diferentes distancias a las obras de trasvase en términos de su función. Los resultados de las pruebas estadísticas mostraron diferencias significativas entre los distintos tipos de parches en las diferentes distancias a las obras secundarias del trasvase ($P < 0.05$). Los parches densos y los interparches fueron diferentes en términos de infiltración y ciclo de nutrientes en las diferentes distancias a las obras secundarias de trasvase, mientras que en la estabilidad no hubo diferencias significativas entre los diferentes tipos de parches en la distancia más cercana y la más alejada de las obras secundarias del trasvase; por otro lado, los parches densos y los interparches si mostraron diferencias entre las distancias intermedias (Cuadro 1). Los parches densos tuvieron un valor más alto en los indicadores funcionales (estabilidad, infiltración y ciclo de nutrientes) mientras que los interparches tuvieron valores más bajos. Además, los resultados mostraron que los parches en las distancias más lejanas tuvieron condiciones más deseables que los que se encuentras más cerca de las obras secundarias del tras-

vase ($P < 0.05$). Con estos resultados se confirma que los interparches son fuente de sedimentos, escorrentía y nutrientes y que los parches son los que captan estos recursos y por lo tanto tienen mayor capacidad de infiltración y producción de estos recursos (Barbosa-Briones, *et al*., 2019; Mayor., *et al*., 2009; Muñoz-Robles, *et al*., 2011).

Cuadro 1. Promedios de las propiedades estructurales de los parches ecológicos en las diferentes distancias de las obras de trasvase. Medias con diferente letra dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($P<0.05$).

Distancia de las obras de transvase	Parches ecológicos						
	No. de parches por cada 10 m	Área total de parches (m2)	Índice de organización del paisaje	Longitud promedio de interparches (m)	Ancho promedio de parches (cm)	Parches (%)	Interparches (%)
0 - 3 km	1.00 ± 0.22^{a}	66.23 ± 9.41^{a}	0.24 ± 0.05^{a}	2.53 ± 0.13^{a}	345.58 ± 82.40^{a}	23.55 ± 4.95^{a}	48.45 ± 4.10^{a}
3 - 6 km	2.35 ± 0.42^{b}	60.43 ± 14.69^{b}	0.43 ± 0.06^{a}	1.58 ± 0.24^{b}	229.43 ± 30.64^{a}	42.63 ± 6.29^{b}	50.85 ± 8.31^{a}
6 - 9 km	1.35 ± 0.31^{ac}	123.78 ± 66.54^{b}	0.39 ± 0.10^{a}	2.99 ± 0.40^{a}	396.08 ± 141.64^{a}	38.53 ± 9.52^{b}	45.18 ± 8.00^{a}
9 - 12 km	1.50 ± 0.19^{c}	295.48 ± 30.86^{b}	0.50 ± 0.04^{ab}	2.85 ± 0.43^{a}	677.88 ± 42.90^{b}	39.13 ± 7.09^{b}	21.35 ± 5.58^{b}

Las actividades antropogénicas son uno de los factores principales que pueden provocar cambios en la estructura, función y eficiencia de los ecosistemas. La disminución de la funcionalidad en las cercanías de las obras de trasvase se puede atribuir

a la remoción de la vegetación, la compactación e impermeabilización del suelo y a la interrupción de los flujos naturales derivado de la construcción de caminos y plantas de tratamiento. En este sentido, las principales afectaciones se dan en las cercanías a estas obras. En consecuencia, el efecto de las actividades humanas sobre la función y estructura del ecosistema se puede investigar utilizando el método LFA.

Conclusiones

Los parches densos con áreas más grandes se localizan a mayores distancias de las obras secundarias del trasvase, lo que supone que entre mayor es la distancia a estas obras, la cobertura vegetal tiene menor afectación y por lo tanto el porcentaje de interparches es menor que en las áreas más cercanas a estas obras. Además, los parches densos y los intermedios tuvieron índices de estabilidad, infiltración y ciclo de nutrientes más altos que los interparches, lo que indica que son ecosistemas más resistentes a perturbaciones.

Cuadro 2. Comparación de propiedades funcionales de los diferentes tipos de parches a diferentes distancias de las obras de trasvase. Medias con diferente letra dentro de cada rango de distancia y dentro de cada columna indican diferencias significativas (P<0.05).

Distancia de las obras de trasvase	Parche	Estabilidad	Infiltración	Ciclo de nutrientes
0 - 3 km	Parche denso	57.44 ± 4.02^{a}	60.64 ± 4.45^{a}	64.43 ± 5.06^{a}
	Intermedio	47.40 ± 4.09^{a}	49.83 ± 5.21^{a}	37.80 ± 7.21^{b}
	Interparche	43.03 ± 2.85^{a}	23.52 ± 4.65^{b}	13.43 ± 4.67^{c}
3 - 6 km	Parche denso	54.07 ± 2.16^{a}	47.24 ± 7.01^{ab}	64.10 ± 6.13^{a}
	Intermedio	43.02 ± 1.25^{b}	52.17 ± 4.23^{b}	55.05 ± 4.41^{a}
	Interparche	34.41 ± 3.47^{b}	28.44 ± 5.53^{a}	22.45 ± 4.85^{b}
6 - 9 km	Parche denso	54.43 ± 2.46^{b}	69.67 ± 8.35^{b}	73.60 ± 3.92^{a}
	Intermedio	49.24 ± 1.20^{b}	48.49 ± 5.74^{ab}	59.30 ± 6.28^{a}
	Interparche	38.10 ± 2.91^{a}	27.54 ± 0.84^{a}	30.78 ± 6.19^{b}
9 - 12 km	Parche denso	69.22 ± 5.02^{a}	54.43 ± 3.78^{a}	68.25 ± 8.67^{a}
	Intermedio	60.85 ± 4.21^{a}	36.11 ± 2.78^{b}	42.93 ± 7.71^{ab}
	Interparche	54.73 ± 5.62^{a}	19.99 ± 1.33^{c}	16.60 ± 0.17^{b}

Literatura citada

Barbosa-Briones, E., Cardona-Benavides, A., Reyes-Hernández, H., Muñoz-Robles, C. (2019). Ecohydrological function of vegetation patches in semi-arid shrubland of central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 168, 36 - 35.

Fakhimi, E., Motamedi, J. (2020). Effects of Mining Activities on Structure and Function of Rangeland Ecosystem Using the Landscape Function Analysis

(LFA) (Case study:Copper Mine in Dareh Zereshk, Yazd province, Iran). *Journal of Rangeland Science*, 10(3), 291 -

García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México, D. F.: UNAM.

Kavianpour, A. H., Heshmati, G. A., Hosseini, S. H. (2015). Investigation of changes in soil characteristics and rangeland yield due to different grazing intensities of livestock (Case study: Nashar Mazandaran rangelands). *Journal of Water and Soil Knowledge (Agricultural Knowledge)*, 25(4), 157 - 168.

Mayor., A. G., Bautista, S., Bellot, J. (2009). Factors and interaction controlling infiltration, runoff, and soil loss at the microscale in a patchy Mediterranean semiarid landscape. *Earth Surf Process. Landforms*, 34, 1702 - 1711.

Muñoz-Robles, C., Reid, N., Tighe, M., Briggs, S. V., Wilson, B. (2011). Soil hydrological and erosional responses in areas of woody encroachment, pasture and woodland in semi-arid Australia. *Journal of Arid Environments*, 75(10), 936-945. doi:10.1016/j.jaridenv.2011.05.008

Peña, F., Granados, L. E. (2021). Archipiélagos urbanos. El trasvase como dispositivo de la desigualdad hídrica persistente en México. región y sociedad, 33. doi:10.22198/rys2021/33/1439

Tongway, D. J., Hindley, N. (2004). Landscape Function Analysis: Procedures for monitoring and assessing landscape. CSIRO Sustainable Ecosystems, Canberra.

Tongway, D. J., Hindley, N. L. (2000). Ecosystem function analysis of rangeland monitoring data: Rangelands Audit Project 1.1. National Land and Water Resources Audit, Canberra, 35p.

Etapas de la aplicación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en la producción de chile (*Capsicum annuum* L.) en campo

Reyes Antonio Perea-Rivera[1]
Alfredo Lara-Herrera[2]
Martha Patricia España-Luna[3]
Rodolfo de la Rosa-Rodríguez[4]
Julio Lozano-Gutiérrez[3]

Resumen

La producción de chile seco es uno de los principales cultivos hortícolas en el estado de Zacatecas. Mediante el presente trabajo se pretende generar información sobre el efecto de diferentes momentos de inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en el rendimiento y calidad de frutos de chile. Fueron ensayados 14 tratamientos que consistieron en la inoculación en diferentes etapas de desarrollo del cultivo, las cuales se llevaron a cabo en: (a) la siembra, (b) la emergencia de las plántu-

[1]Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía, Estudiante de licenciatura en Agronomía. reyesperea23@gmail.com.

[2]Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía, Cuerpo Académico Gestión de Desarrollo, alara204@hotmail.com.

[3] Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía, Cuerpo Académico Agrobiotecnología.

[4] Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería.

las, (c) el trasplanta y (d) un mes después del trasplante; con diversas combinaciones entre los momentos mencionados. La mayor altura de planta, floración, número de frutos, peso de frutos, así como la menor incidencia de enfermedades se encontró en el tratamiento en el que se realizó el mayor número (cuatro) de inoculaciones, le siguieron en esa misma tendencia los tratamientos en los que se realizaron tres y luego dos inoculaciones, principalmente cuando estuvo involucrada la aplicación después del trasplante, los tratamientos que tuvieron una inoculación fueron más efectivos en este orden: después del trasplante, en la siembra, en el riego y en el trasplante. Todos los tratamientos con inoculación tuvieron respuesta positiva en las variables evaluadas respecto a la no inoculación. Las veces que se incrementó el rendimiento de frutos con una sola inoculación fue entre 1.60 y 2.49; con dos inoculaciones entre 1.74 y 2.67; con tres 2.61 y 2.99; y con las cuatro inoculaciones el incremento del rendimiento fue de 3.67 veces, en todos los casos respecto a la no-inoculación.

Palabras clave: *Rendimiento y calidad de frutos, bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), hongos micorrizicos arbusculares (HMA).*

Introducción

La producción de chile en México y en particular en el estado de Zacatecas es de gran importancia. El aporte de nutrientes es principalmente mediante fertilizantes de síntesis química y mal empleados, lo cual pierde productividad y degrada las propiedades de los suelos. Los biofertilizantes son una alternativa técnicamente efectiva, ambientalmente segura, socioeconómica y culturalmente aceptable, los cuales se producen a base de microorganismos del suelo que aportan o favorecen la disponibilidad de nutrientes y/o estimulan el crecimiento de las plantas (Planes-Leyva *et al*., 2004). Sin embargo, los biofertilizantes son poco empleados en la producción agrícola en México (Armenta Bojórquez *et al*., 2010).

Entre las bacterias o rizobacterias que promueven el crecimiento de las plantas *Azospirillum brasilense* ha mostrado beneficios en el desarrollo de las plantas cultivadas, incrementando las raíces activas que absorben nutrientes y agua, además, proporcionan mejor adaptación en el suelo ante condiciones físicas o biológicas adversas. Una razón por la cual incrementan el creci-

miento del sistema radical es que tienen la cualidad de sintetizar y liberar compuestos que promueven el crecimiento, como el ácido indol-3-acético (Licea-Herrera *et al*., 2020).

Los hongos micorrizicos arbusculares (HMA), entre ellos *Glomus intraradices*, han mostrado propiedades muy importantes al ser inoculadas a las plantas, entre ellas, las hortalizas y particularmente en el cultivo de chile, al llevarse a cabo la interacción entre las raíces y estos hongos, las plantas tienen mayor capacidad para absorber agua y nutrientes, entre ellos principalmente fósforo (Alarcón *et al*., 2012).

A pesar de las evidencias científicas de las bondades que tiene el uso de biofertilizantes en la producción agrícola, en México esta biotecnología ha sido subutilizada (Armenta-Bojóruez *et al*., 2010; Alarcón *et al*., 2012). Aunque existe información sobre los beneficios que tiene el uso de micorriza (*Glomus intraradices*) y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (*Azospirillum brasilense*), no existe información sobre el momento más apropiado para la inoculación en el cultivo de chile guajillo en campo en el estado de Zacatecas. Por lo cual, el objetivo del presente trabajo fue determi-

nar el momento o momentos más apropiados para la aplicación de los biofertilizantes con el fin de obtener el mayor rendimiento y calidad de frutos de chile y la mejor sanidad de las plantas.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en el rancho "Granja Sánchez", de la comunidad "Presa de Linares", Fresnillo, Zacatecas, con coordenadas 23°11' Latitud Norte, 102°57' Longitud Oeste y a 2127 msnm. El clima es seco estepario, BS1kw, temperatura media anual entre 12 y 18 °C.

El material genético vegetal fue chile (*Capsicum annuum* L.) criollo, del cultivar Guajillo, proveniente de una selección de semilla durante 12 años. La siembra se llevó a cabo el 12 de enero en almácigo en suelo, el trasplante el 12 de abril de 2019. Los microorganismos empleados como biofertilizante fueron el HMA *Glomus intraradices*, con una concentración de 1,000 esporas mL^{-1}, y la BPCV *Azospirillum brasilense* con una concentración de 10 millones de UFC mL^{-1}; tomadas del biofertilizante que comercializa la empresa Biogea Plantek®. Fueron ensayados 14 tratamientos, en los que se probaron diferentes momentos de inoculación de

los biofertilizantes, con inoculaciones simples (una ocasión) o múltiples (de 2 a 4 aplicaciones en el mismo tratamiento). En todos los casos la inoculación fue simultánea de BPCV y HMA.

Se empleó un diseño experimental en bloques completos al azar, con 14 tratamientos y tres repeticiones, teniendo un total de 42 unidades experimentales (UE). Cada UE constó de 20 m lineales de una cama con plantas a doble hilera. Los tratamientos consistieron en diferentes momentos de inoculaciones simples: (1) en la siembra (S), (2) el riego de emergencia en el almácigo (R), (3) el trasplante (P), (4) un mes después del trasplante en drench (D); y múltiples: (5) SR, (6) SP, (7) SD, (8) SRP, (9) SRPD, (10) SPD, (11) SRD, (12) RD; y testigos en el que sólo se aplicó composta a las plántulas en el almácigo (T) y testigo absoluto sin inoculación ni se aplicó composta en el almácigo (TT).

A los resultados se les realizó un análisis de varianza. En las variables donde se presentó efecto significativo ($P \leq 0.05$) se llevó a cabo una prueba de comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) con el paquete estadístico FAUANL 2014.

Resultados y discusión

La inoculación de los microorganismos tuvo efecto positivo en la altura de las plantas (AP). En la medida que se incrementó el número de inoculaciones, se incrementó la AP; también cuando se aplicaron sólo en la siembra (S) y en drench (D) presentaron un efecto sobresaliente. Sin embargo, cuando se inoculó sólo en la etapa de la emergencia de las plántulas (R) y en el trasplante (P), la AP sólo fue mayor que en los tratamientos testigo, es decir, incluso con una sola inoculación se incrementó la AP respecto a los tratamientos testigo. El incremento de la AP con la inoculación de BPCV y HMA también es reportado en el cultivo de chile por Aguirre-Medina y Espinosa-Morelos (2016), González-Mancilla (2016) y Pérez-Velazco *et al. (*2019).

Con diferentes momentos de inoculación también se tuvo efecto en el desarrollo de las plantas, debido a que el estado en que se encontraban éstas fue diferente con diversos tratamientos, en general, hubo alta correspondencia entre la AP y el estatus de la floración, los tratamientos que tuvieron mayor número de inoculaciones tuvieron mayor adelanto de la floración, destaca en

este comportamiento los tratamientos cuya inoculación múltiple correspondió con la inoculación en drench, incluso la inoculación exclusiva en drench presentó mayor precocidad; le sigue en importancia los tratamientos donde la inoculación se llevó a cabo en la siembra, sola o combinada con otros momentos de inoculación. El momento de la inoculación influyó en el adelanto de la producción, es decir, con las cuatro inoculaciones, y donde se involucra la inoculación en drench y en la siembra, se obtuvo la mayor precocidad.

Los resultados del peso total de los frutos se conformaron en tres grupos, (a) en el primero se presentó el mayor rendimiento, correspondió al tratamiento en el que se le aplicaron las cuatro inoculaciones (SRPD); (b) en el segundo grupo se ubican todos los tratamientos que tuvieron por lo menos una inoculación; y (c) el menor rendimiento en los tratamientos que no fueron inoculados (Cuadro 1).

El peso de frutos por cada categoría de calidad (tamaño) presentó mayor diversidad de diferencias. En las tres categorías de calidad de frutos el tratamiento en el que se llevaron a cabo las

cuatro inoculaciones (SRPD) se presentó el mayor peso de frutos, por lo cual, el peso total de frutos fue mayor en este respecto a los demás tratamientos; también tuvieron comportamiento sobresaliente en el peso de los frutos de primera los tratamientos que se inocularon en drench (combinado con otros momentos de inoculación). Otro comportamiento notorio es que en las categorías de primera y segunda calidad los tratamientos testigo (T y TT) fueron los que reportaron menor peso de frutos (Cuadro 1). Lara-González *et al.* (2010) reportan que la inoculación con HMA + BPCV tuvo efecto positivo en el rendimiento de frutos de chile guajillo, el incremento fue del 51.8%.

El número total de frutos y el número de frutos por tamaño (calidad) presentaron alta correlación con el peso de los frutos. El tratamiento que superó en estas variables a todos los demás fue el tratamiento con las cuatro inoculaciones (SRPD), en orden decreciente le siguieron todos los demás tratamientos que tuvieron por lo menos una inoculación, los cuales superaron a los tratamientos testigo.

Con la inoculación HMA y RPCV en el cultivo de chile guajillo se redujo el grado de incidencia de la enfermedad "Marchitez del chile" con sólo una inoculación, la aplicación en cualquier momento del desarrollo del cultivo presentó una reducción en la manifestación del daño, sin embargo, al aumentar el número de inoculaciones se presentó una mayor reducción en la incidencia de la enfermedad, por lo cual, el tratamiento donde se presentó el menor daño de esta enfermedad fue con las cuatro inoculaciones SRPD; también se encontró un buen comportamiento ante la enfermedad con los tratamientos donde estuvo involucrada la inoculación en drench (D).

En todos los tratamientos donde se llevó a cabo por lo menos una inoculación, se presentaron resultados más favorables que con los tratamientos testigo (no inoculación). Se observó que con los tratamientos donde se combinó la inoculación en drench (D) y en la siembra, se presentó mayor: precocidad, número de frutos y peso y calidad de frutos. Con la inoculación en una sola ocasión se incrementó el rendimiento entre 1.60 y 2.49 veces, con dos inoculaciones entre 1.7 y 2.67 veces, con tres inoculaciones

entre 2.51 y 2.99 veces y con las cuatro inoculaciones el incremento fue de 3.67 veces, en todos los casos respecto al testigo (T). En el tratamiento con las cuatro inoculaciones (SRPD), el número de frutos se incrementó en 3.99 veces, la calidad de los frutos (frutos de primera) se incrementó en 5.21 veces, en todos los casos respecto al tratamiento sin inocular (T), y el porcentaje de plantas sanas pasó de 63 en el tratamiento testigo a 95 en el tratamiento SRPD.

Conclusiones

Entre mayor número de inoculaciones con *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* se llevaron a cabo en el cultivo de chile se incrementó el crecimiento, la precocidad, el rendimiento y la calidad de los frutos y se presentó menor incidencia de la enfermedad "Marchitez del chile". No hubo efecto entre momentos de inoculación en el rendimiento total de frutos, pero el mayor crecimiento, desarrollo y sanidad de las plantas y la mejor calidad de los frutos se presentó cuando se realizaron aplicaciones múltiples, en éstas destacan las involucradas en la siembra (S) y en drench (D): SRPD, SPD, SRD y SD. En todas las variables me-

didas los tratamientos testigo presentaron las condiciones más desfavorables respecto a la inoculación en cualquiera de los momentos ensayados.

Cuadro 1. Peso de frutos de chile guajillo seco de primera (PFP), segunda (PFS) y tercera (PFS), y el total en cada tratamiento, por efecto de la inoculación en el suelo de *Azospirillum brasilese* y *Glomus intraradices* en diferentes momentos del ciclo del cultivo de chile 2019.

Tratamiento	PFP (kg)	PFS (kg)	PFT (kg)	Peso total (kg)
S	7.633 bcdef	10.429 a	2.643 abc	20.710 ab
R	5.522 def	8.883 ab	1.313 bc	15.716 ab
P	6.034 cdef	6.848 abc	1.343 bc	14.220 ab
D	10.169 bcde	10.966 a	0.906 c	22.040 ab
SR	12.074 abc	7.792 abc	2.076 abc	21.943 ab
SP	10.604 bcde	10.414 a	1.223 bc	15.463 ab
SD	12.681 ab	9.250 ab	1.710 bc	23.643 ab
SRP	9.730 bcdef	4.570 bc	1.550 bc	22.240 ab
SRPD	17.092 a	11.456 a	3.976 a	32.523 a
SPD	11.885 abcd	8.601 ab	1.980 abc	26.466 ab
SRD	10.659 abcde	7.717 abc	3.240 ab	23.516 ab
RD	11.085 abcd	8.023 bc	1.996 abc	21.103 ab
TO	4.288 ef	2.630 c	1.276 bc	8.866 b
TT	3.087 f	2.628 c	1.096 bc	7.070 b

*Cifras seguidas con la misma letra son iguales en cada propiedad (Tukey $p \leq 0.05$).

Literatura citada

Aguirre-Medina, F. y Espinosa-Morelos, J.A. 2016. Crecimiento y rendimiento de Capsicum annuum L. inoculado con endomicorriza y rizobacterias. *Rev Mex. C. Agr*. 7(7): 1539-1550.

Alarcón, A., L.V. Hernández-Cuevas, R. Ferrera-Cerrato, and A. Franco-Ramírez. 2012. Diversity and agricultural applications of arbuscular mycorrhizal fungi in Mexico. *J Biofertil Bopestici*. 3(1): 1-10.

Armenta-Bojórquez, A.D., C. García-Gutiérrez, J.R. Camacho-Báez, M.A. Apodaca-Sánchez, L. Gerardo-Montoya y E. Nava-Pérez. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Revista Ra Ximhai* 6(1): 51-56.

González-Mancilla, A. 2016. Interacción entre bacterias promotoras de crecimiento y hongos micorrizicos en el crecimiento de chile poblano. Tesis Maestría en Ciencias; Colegio de Posgraduados. Motecillo, Texcoco Edo. De México 67 p.

Lara-González, C. A., A. Larra–Herrera, D. Lechuga-Navarro, M. Luna-Flores,A. G. Bravo-Lozano, J.J. Avelar-Mejía y J.J. Llamas-Llamas. 2010. Evaluación de biofertilizantes en cultivos de chile (Capsicum annuum L.) en el estado de Zacatecas: En: Memorias del 1er Foro de Productores de Chile de Zacatecas. pp: 204-217.

Licea-Herrera, J., J.D.C. Quiroz-Velázquez, J.L. Hernández-Mendoza. 2020. Impacto de Azospirillum brasilense, una rizobacteria que estimula la producción del ácido indol-3-acético como el mecanismo de mejora del crecimiento de las plantas en los cultivos agrícolas. *Rev Boliviana de Quí*. 37(1): 34-39.

Planes-Leyva, M., E. Butria-Borges, J.O. Caldferón-Agüero, A.O. Terry-Lamothe, I. Figueroa-Santana y A. Lores. 2004. La biofertilización como herramienta biotecnológica de la agricultura sostenible. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 10(1): 5-10.

Pérez-Velasco, E.A., R. Mendoza-Villarreal, A. Sandoval-Rangel, M. Cabrera-de la Fuente, V. Robledo-Torres y L.A. Valdez-Aguilar. 2019. Evaluación del uso de endomicorrizas y Azospirillum sp. en la productividad y calidad nutracéutica de chile morrón (Capsicum annuum) en invernadero. ITEA-Inf. Tec. Econ. Agrar. 115(1): 18-30.

Huella hídrica por la producción en hidroponía de arándano en Michoacán México

Lenin E. Medina Orozco[1]
Salvador Alí Villanueva Nava[1]
Alexander Sánchez Duque[1]
Rebeca González Villegas[1]
Ariel Barrales Martínez[2]
Iván N. Medina Orozco[2]
Martha A. Perales Rivas[3]

Resumen

La huella hídrica (HH) es un indicador de la apropiación por el hombre de los recursos hídricos y puede ser medida como el volumen de agua utilizada en la producción de un bien o servicio. Los componentes de la HH para su estudio pueden dividirse en agua verde, azul y gris; precipitación, irrigación y volumen de agua requerido para diluir un contaminante. Para el año 2100 se estima que la exportación mundial de aguas subterráneas para producir alimentos cultivados se concentrará en las regiones de Estados Unidos, México, Oeste de Sudamérica y África del Norte. En nuestro país se estima que el 73 % de la huella hídrica

[1] Tecnológico Nacional de México/I.T del Valle de Morelia.

[2]Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[3]Universidad Autónoma Chapingo-CRUCO Morelia.

leninmed@gmail.com.

total es producto de las actividades agrícolas. El objetivo del presente estudio fue estimar la huella hídrica en la producción del arándano en condiciones de hidroponía. Se realizaron muestreos en sitios representativos productores de arándano del estado. Se midió el volumen de agua de riego y del escurrimiento y la concentración de nitratos. Para este estudio no se consideró la huella verde debido a que la producción se realiza bajo túneles que lo aíslan de la lluvia. Los resultados indican que en promedio se realizan cinco fertirriegos y dos riegos complementarios al día durante cinco minutos cada uno. Con la información anterior, se estimó una huella azul de 39.5 L/kg. El agua de escurrimiento presentó concentraciones promedio de nitratos de 34.78 mg/L generando una huella gris de 21.1 L/kg. Por lo anterior, la huella hídrica es equivalente a 60.6 L/kg de arándano.

Palabras clave: *agua virtual, agua exógena, huella ecológica*.

Introducción

México es una de las regiones del mundo donde la escasez de agua resulta apremiante. Por lo anterior, es necesario explorar nuevos métodos para el aprovechamiento del agua en sus diversos

usos y la huella hídrica que generan. La agricultura representa el 73 % de la huella hídrica de nuestro país y, además, esta actividad productiva consume aproximadamente un 80% del agua dulce disponible actualmente, y se proyecta que para el año de 2050 incremente un 70 % con respecto al nivel actual (Vázquez del Mercado, 2017; Velasco-Muñoz *et al*., 2018). La Huella Hídrica (HH) es uno de los métodos novedoso de investigación que ayuda a medir la cantidad de agua consumida en el proceso productivo de la agricultura y permite contar con bases para desarrollar estrategias y priorizar las acciones que permitan disminuir el uso consuntivo del agua en las actividades productivas (Ridoutt *et al*., 2009). Un factor que determina la huella hídrica de los países, tanto interna como externa, es la producción de alimentos de origen agrícola. Se estima que para el año de 2100 la exportación mundial de aguas subterráneas no renovables para producción de alimentos cultivados se concentrará en las regiones de Estados Unidos, México, Oeste de Sudamérica y África del Norte. Lo anterior principalmente por el agotamiento que tendrán países ex-

portadores de agua subterránea y que se proyecta se reduzca drásticamente a mediados de siglo (Graham *et al*., 2020).

México es un importador neto de agua virtual, principalmente de los Estados Unidos de Norteamérica, el volumen de AV de sus importaciones, es superior al de sus exportaciones; durante el periodo 1996 a 2005, fue el segundo importador neto en el mundo, solo después de Japón, y el mayor en América, tanto por comercio agrícola, como pecuario e industrial (Mekonnen & Hoekstra, 2011). Sin embargo, la Huella Hídrica en México en la producción de alimentos agrícolas, es muy poco conocida o poco explorada y ha sido un tema de mucho interés para realizar nuevas investigaciones como menciona Vázquez del Mercado & Lambarri (2017) es necesario estudiar con detalle la sostenibilidad de la Huella Hídrica de México, así como la relación entre sus recursos hídricos y soberanía alimentaria, para orientar y articular de mejor manera las políticas públicas, especialmente de las hídricas, ambientales, agrícolas, comerciales y energéticas.

El cultivo del arándano en México ha tenido un crecimiento importante por su gran demanda en el comercio internacional

y por su buena rentabilidad para los medianos y grandes productores del país; un dato contundente es que ocupa el cuarto lugar a nivel mundial y exporta el producto principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica y se debe principalmente porque las empresas productoras son de aquel país y la frutilla es enviada a plataformas comerciales. Lo anterior ha generado una tecnificación muy importante en el centro del país consistente principalmente por macrotúneles de plástico y en hidroponía (Pérez Cruz, 2018). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue estimar la huella hídrica en la producción del arándano en condiciones de hidroponía.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en el estado de Michoacán en el municipio de Acuitzio del canje, en las coordenadas 19º30'' N y en los 101º20'' O y a 2,080 msnm. El clima es templado con lluvias en verano (Cb), donde su régimen de lluvias se caracteriza por presentar diez veces más lluvia en el mes más húmedo (julio), de la mitad caliente del año que en el mes más seco (febrero), la rela-

ción precipitación / temperatura (P/T) > 55.0 (Carlón-Allende y Mendoza, 2007).

Se seleccionó un macrotúnel representativo del cultivo del arándano de exportación y se muestreo durante tres meses del año 2020. La superficie del sitio de estudio comprende 2 ha y una densidad de 9000 plantas. El sistema de producción es hidropónico donde se utilizan bolsas de plástico con antioxidante y resistente a rayos ultravioleta. El sustrato utilizado es de fibra de coco especial para el cultivo de berries con composición, 85% fibras gruesas, 15% polvillo y tamaño de partículas que va de los 20 a 60 milímetros, presenta buen drenaje y aireación. Las bolsas con berries descansan sobre una malla de polipropileno *Ground cover* para evitar el desarrollo de arvenses al interior del invernadero y en bloques de concreto para evitar el contacto de la bolsa contenedora con la malla que cubre el suelo y favorecer el escurrimiento (Figura 1).

El macrotúnel seleccionado se dividió en tres segmentos en función de la línea de riego: 1) entrada, 2) medio y 3) final de

la línea. Lo anterior con el propósito de tener una representatividad del volumen de riego que es aplicado por bolsa al día.

El modelo general para estimar los componentes de la huella hídrica en el arándano; se basó en el manual propuesto para este propósito por Hoekstra *et al*. (2011) y utilizado ampliamente a nivel mundial. Para el caso de arándano se realizaron ajustes al esquema general de Huella Hídrica propuesto por Chapagain & Orr (2009), en cultivos de jitomate en invernadero de España. La evaluación solamente consideró dos componentes de la huella hídrica, el primero, el agua azul que consiste en el agua que ingresa al sistema por irrigación; el agua verde, no se consideró en esta investigación, porque el cultivo evaluado se encuentra en un sistema controlado (macrotúnel) y en hidroponía, por lo que el agua pluvial no entra en el sistema de manera directa, sino como agua azul (Chapagain & Orr, 2009). El segundo componente, la huella gris, fue adaptada para un modelo en hidroponía y en donde el escurrimiento se midió directamente recogiendo el agua en charolas de plástico instaladas debajo de las bolsas de plástico. Para la estimación total de la huella hídrica se

multiplicaron los valores colectados en el campo por 365 días que comprenden un año.



Figura 1. Sistema de cultivo de arándano en hidroponía bajo un macrotúnel en el estado de Michoacán.

Resultados y discusión

El agua azul se midió a partir del volumen de agua utilizada en el riego y medido de manera directa en el sistema de goteo con una probeta graduada. La Huella gris se midió como el agua de escurrimiento del cultivo y su concentración de nitratos fue determinado en campo con un ionómetro Horiba modelo LAQUAtwin. Los valores se contrastaron con el valor límite permisible por la Normatividad mexicana (NOM-127-SSA-1994)

para nitratos para aguas corrientes (10 mg/L), restando la concentración del agua natural y con ello, se estimó el volumen de agua necesaria para diluirlo hasta el límite indicado en la norma.

El rendimiento del cultivo de arándanos fue de 950 g/planta resultando un estimado de 4.27 t/ha. El volumen de agua utilizada para obtener estos rendimientos fue de 39.5 L/kg de la frutilla, volúmenes considerados como la huella azul de este sistema de producción. Los resultados indicaron que la concentración promedio de nitratos disueltos en el agua del escurrimiento colectadas en el desagüe de las bolsas donde se produce el arándano, fue de 34.78 mg/L, restando los valores naturales del agua de riego; es decir antes de integrar los fertilizantes, se calculó un valor de la huella gris de 21.1 L/kg con lo cual se alcanzó el valor del límite permisible por la normatividad (10 mg/L). Es importante señalar que la huella gris puede variar en función del contaminante escogido (Vázquez del Mercado, 2017); o bien, en función del país que lo norma, por ejemplo, para los Estados Unidos de Norteamérica, es frecuente utilizar un valor de 50 mg/L utilizado para aguas abiertas o bien, el valor de la EPA que sugiere un

valor de 45 mg/L (Chapagain & Orr, 2009), como puede apreciarse, con dichos valores, no sería necesario un volumen adicional de agua para diluir los nitratos obtenidos en nuestro estudio. Y el valor de la huella gris sería equivalente a 0 L/kg.

La suma de los dos componentes de la huella estimados en este estudio, sugieren que la huella hídrica en la producción del arándano bajo condiciones de hidroponía y macrotúnel, es de 60.6 L/kg de arándano. De acuerdo con Chapagain & Orr (2009), los resultados obtenidos en el presente estudio serían superiores a la huella hídrica del jitomate producido en España de 19 regiones que estudiaron. Sin embargo, es significativamente inferior a la huella hídrica de varios cultivos a cielo abierto (Ridoutt *et al*., 2009) y que puede explicarse por el sistema hidropónico y del sistema por goteo o microaspersión (Velasco-Muñoz *et al*., 2018).

Finalmente, quedan algunas tareas pendientes para ajustar o mejorar la estimación de la huella hídrica; por ejemplo, medir la cantidad de agua utilizada en el manejo de plagas y enfermedades, agua gastada en el lavado de envases vacíos de pesticidas, agua utilizada en lavado de materiales y herramientas de campo

y el agua incluida en la fabricación de los productos como materiales, herramientas, maquinaría y un largo etcétera que se utiliza para la producción del arándano.

Conclusiones

Se concluye que la huella azul del cultivo de arándano en agricultura protegida fue alta comparada con la literatura para otros cultivos bajo protección como el jitomate. El agua de escurrimiento supera los valores permisibles (10 mg/L) para nitratos, siendo un área de oportunidad para reducir la huella hídrica del cultivo. La huella gris fue alta con base en los límites permisibles que marca la Norma Oficial Mexicana y puede ser variable en función del contaminante que se decida utilizar. La huella hídrica del cultivo estudiado equivale a 60.6 L/kg superior a otros cultivos en invernadero; pero significativamente baja, en contraste con cultivos a cielo abierto. Es necesario ampliar el estudio de la huella hídrica incorporando otras actividades menores durante la producción del arándano.

Agradecimientos

Al financiamiento otorgado por el proyecto: Huella hídrica del cultivo de arándano bajo agricultura protegida en el estado de Michoacán. Fortalecimiento de Cuerpos Académicos. Prodep-SEP 2020. Al proyecto: Huella hídrica en cultivos de arándano en condiciones de invernadero. Convocatoria 2021: proyectos de investigación científica. Tecnológico Nacional de México.

Literatura citada

Carlón Allende, T., & Mendoza, M. E. (2007). Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la cuenca del lago de Cuitzeo. *Investigaciones geográficas*, (63), 56-76.

Chapagain, A. K., & Orr, S. (2009). An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *Journal of environmental management*, 90(2), 1219-1228

De la Peña, M. E., Ducci, J., & Zamora, V. (2013). Tratamiento de aguas residuales en México. Nota técnica IDB-TN-521, 12.

DOF Diario Oficial de la Federación. (1996). Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994, Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. México. México, D.F. 18 de enero de 1996.

Graham, N. T., Hejazi, M. I., Kim, S. H., Davies, E. G., Edmonds, J. A., & Miralles-Wilhelm, F. (2020). Future changes in the trading of virtual water. *Nature communications*, 11(1), 1-7. https://doi.org/10.1038/s41467-020-17400-4

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Mekonnen, M. M., & Aldaya, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Routledge.

Pérez Cruz, O. A. (2018). Análisis de la cadena productiva del arándano en México y Chile. *Portes: Revista Mexicana de Estudios Sobre la Cuenca del Pacifico*, 12(23).

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption. Volume 1: Main Report.

Ridoutt, B. G., Eady, S. J., Sellahewa, J., Simons, L., & Bektash, R. (2009). Water footprinting at the product brand level: case study and future challenges. *Journal of Cleaner Production*, 17(13), 1228-1235. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.03.002

Vázquez del Mercado, A. R., & Lambarri, B. J. (2017). *Huella hídrica en México: Análisis y perspectiva*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., Belmonte-Ureña, L. J., & Román-Sánchez, I. M. (2018). Sustainable water use in agriculture: A review of worldwide research. *Sustainability*, 10(4), 1084. https://doi.org/10.3390/su10041084

Influencia de nanopartículas de Fe_2O_3 sobre la colonización de hongos micorrízicos arbusculares en raíces de trigo

César Roberto Sarabia-Castillo[1]
Andrés Patricio Torres-Gómez[1]
Dulce Yaahid Flores-Rentería[2]
Fabián Fernández-Luqueño[1]

Resumen

En la actualidad, el uso de nanopartículas (NPs) para la elaboración de productos de uso común ha ido en ascenso, lo que las hace más disponibles en el mercado, por lo que se ha planteado la preocupación acerca de los posibles impactos hacia el ambiente una vez que estos productos son desechados o terminan su vida útil. Dicha preocupación, recae principalmente en las interacciones biológicas de gran importancia como la simbiosis micorrícica arbuscular (SMA), por lo que se planteó en el presente estudio el análisis de la interacción simbiótica de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con plantas de trigo y su interacción con NPs de Fe_2O_3 (NPs-Fe) a una concentración de 180 mg por

[1] Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Cinvestav Saltillo. Posgrado en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. Email: cesar.sarabia@cinvestav.edu.mx.

[2] CONACYT- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Cinvestav Saltillo. Posgrado en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía.

unidad experimental (UE^{-1}), durante 60 días. Tras ese lapso, se muestrearon raíces de trigo y se sometieron a un tratamiento de tinción para observar las estructuras desarrolladas durante la simbiosis micorrízica mediante microscopia óptica y determinar el porcentaje de colonización por parte de los HMA. La presencia de NPs-Fe no influyó negativamente en la interacción simbiótica ya que se obtuvo un porcentaje de colonización de 77.78 ± 13. 88 %, mientras que en el tratamiento control (T1) fue de 70.00 ± 8.82 %. En ambos tratamientos se observó el desarrollo de estructuras fúngicas características de la SMA, por lo que la presencia de este tipo de NPs a esta concentración no interfiere con el establecimiento y desarrollo de esta interacción simbiótica.

Palabras clave: Nanobiotecnología, nanomateriales, contaminación, simbiosis, micorriza.

Introducción

En la actualidad, se plantea la preocupación de los problemas ambientales y agronómicos que pudieran ocasionar las nanopartículas (NPs), debido a la producción y uso creciente de

productos manufacturados, los cuales, contienen diversas NPs en al menos uno de sus componentes. Cuando el ciclo de vida de esos productos concluya las NPs podrían ser liberadas, desechadas o dispuestas inadecuadamente. Lo anterior implica que estas NPs estarán en contacto directo con el suelo, viento y cuerpos de agua, para interactuar en el medio ambiente con factores bióticos y abióticos, provocando alteraciones o desequilibrios ecológicos (Kumar y Mondal, 2016; Lahiani y Khodakovskaya, 2016, Purohit *et al*., 2017 y Arora *et al*., 2012).

Ejemplo de interacciones bióticas que pudieran ser afectadas son la simbiosis micorrízica arbuscular (SMA), la cual es una asociación mutualista entre hongos especializados de la rizosfera denominados hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las raíces de entre el 72 y 80 % de las plantas terrestres. Dicha interacción permite la disponibilidad de nutrientes a la planta y a su vez la planta proporciona carbohidratos a los HMA, por lo que de verse afectada esta interacción las plantas se verán limitadas en la absorción de nutrientes lo que impediría desarrollo adecuado de

la planta lo que se traduce en bajos rendimientos (Dreyer *et al*., 2014; Finlay, 2008).

Por lo anterior, el presente trabajo pretende identificar y caracterizar los efectos de las NPs de Fe_2O_3 (NPs-Fe) sobre la colonización de raíces de trigo duro (*T. durum* Desf.) por HMA mediante la observación de estructuras formadoras de micorrizas.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en la hacienda San Isidro de Gómez, en el municipio de General Cepeda, Coah. (Latitud 25°10'05", Longitud -101°23'26"). En el cual, se realizó un muestreo de suelo a una profundidad de 20 cm y se realizó la determinación de pH y conductividad eléctrica y la caracterización biológica (conteo de esporas de HMA) mediante la técnica de tamizado en húmedo.

Para el presente estudio se diseñaron dos tratamientos con 5 repeticiones (T1= control y T2= NPs-Fe), teniendo un total de 10 unidades experimentales (UE) de 9 m^2 cada una, las cuales se distribuyeron en un arreglo completamente al azar. Por cada UE se

empleó una densidad de siembra de 140 kg ha^{-1} (126 g de semilla de *Triticum durum* Desf. Var. Samayoa C2004 por UE). Para el tratamiento T2, se prepararon suspensiones de NPs-Fe (adquiridas con ID-nano S.A. de C.V.) en baño de ultrasonido por 10 min. La dosis empleada fue de 180 mg UE^{-1}, equivalente a 200 g ha^{-1}. La suspensión con NPs-Fe se agregó mediante aspersión manual a una profundidad de 6 cm.

Durante la permanencia del cultivo, se realizaron riegos de acuerdo con las necesidades de este, empleando un sistema de riego por microaspersión, el cual se instaló empleando poliducto negro de ½" de diámetro y un micro aspersor en cada unidad experimental.

Se realizó un muestreo a los 60 días después de la siembra (DDS), empleando un visor tubular de 10 cm de diámetro, en cada UE se seleccionaron aleatoriamente cinco puntos de muestreo, de los cuales se separaron el suelo y las raíces de *T. durum* Desf; estas se lavaron y se conservaron en refrigeración en solución AFA (ácido acético-formaldehido-alcohol etílico) hasta su análisis.

Las raíces previamente conservadas en solución AFA se lavaron con agua destilada hasta retirar el exceso de solución AFA, se dejaron escurrir en una toalla de papel y fueron cortadas en segmentos de 1 cm de longitud. Posteriormente, las raíces previamente cortadas se sometieron a un proceso de clareo-tinción de acuerdo con lo reportado por Phillips y Hayman (1970), el cual consiste en someter las raíces en una solución de hidróxido de potasio (KOH) 1 M por 24 h. Pasado este tiempo las raíces se lavaron con agua destilada y se procedió a sumergirlas en una solución de ácido clorhídrico (HCl) al 10%. Posteriormente se agitaron por 10 min. y el exceso de HCl se decantó para después teñir con azul de tripano al 0.05% en lactoglicerol y se dejaron reposar por 12 h. Tras este lapso las raíces se mantuvieron en lactoglicerol por 3 h para retirar el exceso de colorante.

Para la identificación de la infección por HMA, se realizó un montaje de 10 segmentos de raíz de 1 cm sobre un portaobjetos (por triplicado) y se cubrieron con un cubreobjetos realizando una ligera presión sobre este. Cada segmento de raíz se observó en un microscopio óptico a 40X en tres puntos: arriba, en medio y

abajo obteniendo 30 campos por cada repetición y se registró la presencia o ausencia de estructuras fúngicas para luego determinar el porcentaje de colonización mediante la Ecuación 1.

Ecuación 1.

$$\%\, de\, colonización = \frac{No.\ de\, campos\, colonizados}{No.\ de\, campos\, totales} \times 100$$

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias aritméticas mediante el método de Tukey (α= 0.05), utilizando el software Minitab 18.

Resultados y discusión

El suelo de la parcela agrícola presentó un pH de 7.07 ± 0.19 al inicio del experimento lo que lo hace un suelo neutro y una conductividad eléctrica de 340.97 ± 19.02 μS cm^{-1} lo que indica que se trata de un suelo no salino. Por otro lado, en la caracterización biológica del suelo se determinó la abundancia de esporas de HMA registrándose un promedio de 240 ± 27.06 esporas por 100 g de suelo seco.

A partir del análisis morfológico de las esporas aisladas se identificaron seis géneros diferentes: *Glomus*, *Gigaspora*, *Diversispora*, *Acaulospora*, *Scutellospora* y *Sclrerocystis,* con una distribución porcentual de 50.3, 41.7, 2.7,2.8, 1.8 y 0.6 %, respectivamente y una diversidad de los géneros encontrados de 1.01 de acuerdo con el índice de Shannon-Wiener lo cual indica una baja diversidad.

Cuadro 1. Colonización de hongos micorrízicos arbusculares en raíces de trigo expuestas a nanopartículas de Fe2O3 a 60 días después de la siembra.

Tratamiento	DDS ϕ	% de colonización ± DE¥
Control	60	70.00 ± 8.82[a*]
NPs-Fe	60	77.78 ± 13. 88[a]

ϕ Días después de la siembra.

¥ Desviación estándar

* Letra minúscula en cada columna indican diferencia estadística entre tratamientos (Tukey α= 0.05); n=3.

En cuanto al porcentaje de colonización de HMA en las raíces muestreadas a los 60 DDS, no se observaron diferencias significativas entre ambos tratamientos (Cuadro 1), además de que presentaron un alto porcentaje de colonización, encontrándose estructuras como arbúsculos, hifas intrarradicales y vesículas en las raíces (Figura 1), lo que sugiere que las NPs-Fe estimulan la infección por HMA en las raíces de trigo, lo que coincide con lo reportado por Feng *et al*. (2013), quienes encontraron que a una concentración de 0.032 mg kg^{-1} de NPs de Fe_2O_3 el porcentaje de colonización por parte de *Glomus Caledoniun* en raíces de *Trifolium repens* L., aumenta significativamente de 25.3 a 35.0 %, mientras que el porcentaje de colonización con NPs de Ag aumentó a 39.7 y 47.3 % a concentraciones de 0.1 y 1 mg kg^{-1} de NPs de Ag, respectivamente, en comparación con el tratamiento control (25.3 %). De manera contraria, Priyanka *et al.* (2017) encontraron que las NPs de TiO_2 y TiO_2 dopadas con cerio al 2 y 3 %, a concentraciones de 25, 50 y 100 mg $planta^{-1}$ disminuyen significativamente el porcentaje de colonización por HMA en raíces de *Oryza sativa* L., obteniendo porcentajes de 41.41 % para NPs

de TiO_2, 50.57 y 41.22 % para NPs de TiO_2 dopadas al 2 y 3 % con cerio, respectivamente, en comparación del 59 % del tratamiento control. De igual manera, Noori *et al.*, (2017), encontraron que la colonización micorrícica por parte del HMA *Rhizophagus intraradices* en plantas de *Lycopersicon esculentum* P. Mill., redujo significativamente al estar expuestas a dosis de 12, 24 y 36 mg kg^{-1} de NPS de Ag, obteniendo resultados dependientes de la dosis, es decir, la reducción en la colonización micorrízica aumentaba conforme la dosis de NPs de Ag aumentaba.

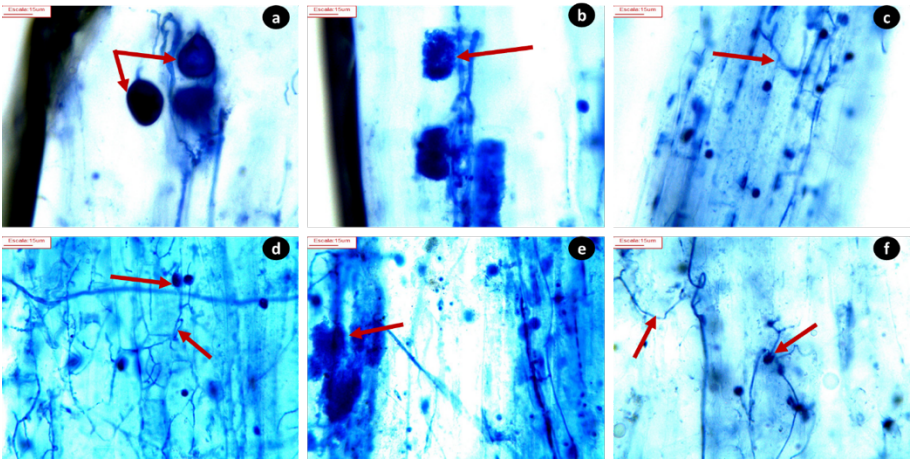


Figura 1. Colonización de hongos micorrízicos arbusculares en raíces de trigo a los 60 días después de la siembra en el tratamiento control (a, b y c) y en el tratamiento con nanopartículas de Fe2O3 (d, e y f), en donde se pueden observar estructuras características de dicha colonización, a) vesículas, b) arbúsculo, c) hifas intrarradicales, d) hifas intrarradicales y vesículas, e) arbúsculos y f) hifas intrarradicales y vesículas.

Literatura citada

Arora, S., Rajwade, J. y Paknikar, K. 2012. Nanotoxicology and in vitro studies: The need of the hour. *Toxicol. Appl. Pharmacol*. 258: 151-165

Dreyer, B., Honrubia, M. y Morte, A. 2014. En: A. Morte y A. Varma (Eds.), Root Engineering. Soil Biology, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 145-169.

Feng, Y., Cui, X., He, S., Dong, G., Chen, M., Wang, J. y Lin, X. 2013. Addition to the role of metal nanoparticles in influencing arbuscular mycorrhizal fungi effects on plant growth. *Environ. Sci. Technol*. 47: 9496-9504.

Finlay, R. D. 2008. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *J. Exp. Bot*. 59: 1115-1126.

Kumar, P. y Mondal, S. 2016. En: D. Kole, D. Kumar y M. Khodakovskaya (Eds.), *Plant nanotechnology*, Springer, Switzerland, pp. 263-303.

Lahiani, M. y Khodakovskaya, M. 2016. D. Kole, D. Kumar y M. Khodakovskaya (Eds.), Plant nanotechnology, Springer, Switzerland, pp. 349-365.

Noori, A., White, J., y Newman, L. 2017. Mycorrhizal fungi influence on silver uptake and membrane protein gene expression following silver nanoparticle exposure. *J. Nanopart. Res*. 19: 66.

Phillips, J. y Hayman, D. 1970. Improved procedures for clearing roots and vesicular-arbuscular fungi for rapid assessment of the infection. *Trans. Br. Micol. Soc*. 55: 158-161.

Purohit, R. Mittal, A., Dalela, S., Warudkar, V., Purohit, K. Purohit, S. 2017. Social, environmental and ethical impacts of nanotechnology. *Mater Today*. 4: 5461-5467.

Priyanka, K., Harikumar, V., Balakrishna, K. y Varghese, T. 2017. Inhibitory effect of TiO2 NPs on symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi in plant roots. *IET Nanobiotechnol*. 11: 66-70.

Jaltomata procumbens (Cav.) J. L. Gentry, especie con potencia para su estudio en ambientes controlados

I. Darío Flores-Sánchez[1]
Manuel Sandoval-Villa[2]
Ernesto Gabriel Alcántar-González[2]
Prometeo Sánchez-García[2]
Ramón Marcos Soto-Hernández[2]
Ebandro Uscanga-Mortera[3]

Resumen

Jaltomata procumbens (Cav.) J. L. Gentry, de uso alimenticio, se considera una especie semi-domesticada y que cumple con los criterios para su futuro uso. El objetivo fue valuar caracteres agronómicos de dos poblaciones de *J. procumbens*, en invernadero e hidroponía. La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, de julio a diciembre de 2019. Se aplicaron los siguientes tratamientos en un sistema hidropónico abierto: dos poblaciones (erguida y decumbente), tres niveles de conductividad eléctrica: 1, 2 y 3 dS m^{-1} y dos niveles de poda (con y sin poda). Las variables evalua-

[1] Colegio de Postgraduados, Postgrado en Edafología. Correo electrónico de ponente: flores.ignacio@colpos.mx.

[2] Colegio de Postgraduados, Postgrado en Botánica.

das fueron: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y de racimos, frutos por racimo, peso de fruto y rendimiento. Para ambas poblaciones, su cultivo en condiciones de invernadero e hidroponía promovieron el desarrollo en altura de planta, diámetro de tallo y peso de fruto. Se observó una variabilidad dentro y entre poblaciones para poda y conductividad eléctrica; el cultivo a 3 dS m^{-1} registró la menor altura de planta y el mayor diámetro de tallo, mientras que, con 1 dS m^{-1} se obtuvo el mayor rendimiento; para el tratamiento con poda, los valores más altos se presentaron en frutos por racimo y peso de fruto. Ambas poblaciones presentaron el potencial para ser consideradas en estudios en ambientes controlados.

Palabras clave: *recursos nativos, semi-domesticación, agricultura protegida, hidroponía*.

Introducción

De la diversidad de plantas arvenses identificadas en México se han reconocido ejemplares candidatos para estudios agronómicos, como *J. procumbens* (Williams, 1985). De hábito de creci-

miento erguido y fruto azul-negruzco, *J. procumbens*, es una especie arvense con uso alimenticio en México (Mione, 2017). Cuenta con una población distinta, de crecimiento decumbente y fruto verde en estado maduro. Ambas poblaciones son toleradas y se les considera semi-domesticadas. Los frutos se consumen en fresco o a través de algunas preparaciones (Williams, 1985).

Junto con otras arvenses, *J. procumbens*, se encuentra en riesgo de desaparecer por el uso de herbicidas; en particular, la población decumbente, ya que su presencia es más restringida y presenta una mayor vulnerabilidad a dicho agroquímico (Coe, 1997).

Estudios realizados sobre *J. procumbens*, reportaron importante contenido de nutrientes y componentes benéficos (Mendoza-Rodríguez *et al*., 2016; Williams, 1985). Por lo que, se considera viable para su futuro aprovechamiento al cumplir con los siguientes criterios para considerar nuevos recursos vegetales con propósitos alimenticios (J. Sarukhán, comunicación personal, 14 de junio de 2020): a) Plantas comestibles por el hombre; b) Plantas de alto valor nutricional; c) Plantas que no requieren de pro-

cesos intermedios entre cultivo, cosecha y utilización; d) Plantas que, de preferencia, sean nativas de México.

No obstante, hasta el momento no se cuenta con información sobre caracteres de interés agronómico, que permitan valorar su potencial. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar caracteres agronómicos de dos poblaciones de *J. procumbens*, en invernadero e hidroponía.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se realizó durante los meses de julio a diciembre de 2019, en un sistema hidropónico abierto.

Se evaluaron dos poblaciones de *J. procumbens*: erguida y decumbente, originarias de Tlaxcala, México, clima predominante templado subhúmedo C(w1) y C(w2), temperatura media anual entre 12 y 18 °C. Se utilizó semilla de frutos colectados en el año 2015.

La semilla se germinó en una cámara de germinación con condiciones diurnas (12 h a 30 °C) y nocturnas (12 h a 20 °C). Las plántulas, se transfirieron a vasos de plástico de 24 mL con turba como sustrato y se regaron con agua destilada. Con las primeras hojas verdaderas, se colocaron en invernadero, con malla sombra 40 % y se regaron con agua de la llave (pH 7.7 y CE 0.5 dS m^{-1}). Luego, se trasplantaron a vasos de unicel de 265 mL, con una mezcla de tezontle rojo como sustrato (4 a 10 mm); se regó con solución nutritiva Steiner a 1 dS m^{-1} de CE.

El trasplante final se realizó a los cuarenta días después de la siembra, cuando la planta alcanzó una altura de 15 cm. Se utilizaron bolsas de polietileno negro 40x40 (13 L), con tezontle rojo como sustrato (diámetro ≤ 12 mm, densidad de 0,8 g cm^{-3}, y 22 % de retención de humedad). Se realizó el tutoreo de las plantas con rafia tomatera, amarrando tallos principales y ramificaciones.

Se aplicaron, desde el trasplante, tres concentraciones de solución nutritiva Steiner con micronutrimentos: 1, 2 y 3 dS m^{-1}; el volumen de riego aplicado cada día fue de 0.2 a un litro por planta, dependiendo de la etapa de crecimiento.

El pH se mantuvo entre 5.5 a 6.5. El pH y la conductividad eléctrica (CE) se monitorearon con un equipo portátil (Combo Waterproof HI-98129).

Se aplicaron los tratamientos con poda (CP) y sin poda (SP). En las plantas podadas se eliminaron brotes laterales y basales, permitiendo la ramificación normal de la planta. Se presentaron plagas: escarabajo pulga de la papa (*Epitrix cucumeris*), trips (*Thysanoptera* sp.), chinche fétida verde (*Acrosternum hilare*) y marrón (*Euschistus servus*), gusano soldado (*Spodoptera exigua*) y pulgón (*Aphididae* sp.). También patógenos: cenicilla (*Oidium* sp.) y Cercospora. El gusano soldado se eliminó de manera manual; para los demás patógenos y plagas se utilizó: mancozeb (3.5 g L^{-1}), abamectina (3 mL L^{-1}) y bicarbonato de sodio (20 g L^{-1}).

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue una planta por maceta, con un total de 48 unidades experimentales.

Variables evaluadas

Se midió altura de planta (AP) y diámetro de tallo (DT) a los 156 días después del trasplante (DDT) cuando el 50 % de las plantas detuvo su crecimiento. La altura se midió en cm, desde la base del tallo principal hasta la punta. El DT se registró en mm, donde se ubican los cotiledones.

Se registró número de hojas (NH); número de racimos (NR); frutos por racimo (FR) en la población erguida, cuando el fruto alcanzó en su totalidad el color azul-negruzco y en la decumbente, con un tamaño mínimo de 0.5 cm de diámetro ecuatorial, debido a problemas de desprendimiento de fruto en estado maduro.

Se determinaron los frutos totales (FT), con el NR y los FR; así también, el peso de fruto (PF) en gramos, de veinticinco frutos con madurez fisiológica. El rendimiento por planta (REND) se estimó en gramos con los FT y el PF.

Análisis estadístico

Se aplicó análisis de homogeneidad de varianzas y normalidad. Los datos que no cumplieron con los supuestos estadísticos se transformaron con base en la raíz cuadrada. Los resultados se analizaron con el programa estadístico SAS Institute Inc. (2002); se realizó análisis de varianza, con base en un modelo factorial 2 * 3 * 2 completamente al azar y una prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Los factores población y poda afectaron todas las variables excepto DT que no fue afectado por el factor poda; por el contrario, la CE solo influyó en el DT ($p \leq 0.05$) (Cuadro 1). En la interacción población * poda se presentaron diferencias estadísticas en PF y REND, lo cual indicó que, para dichas variables, el efecto de la poda no fue el mismo dentro de cada población. La población erguida, excepto en PF, presentó los valores más altos en todas las variables.

El cultivo a 3 dS m^{-1}, presentó el mayor DT (14.5 mm), superior a 1 dS m^{-1} en 16.4 %. El DT es un indicador del vigor de la

planta, de la acumulación de compuestos de reserva que pueden ser traslocados a los sitios de demanda (Preciado *et al*., 2002). Los valores de DT obtenidos, fueron similares a los que se han encontrado en poblaciones nativas de *Solanum lycopersicon* L. (10 – 21 mm) e híbridos comerciales (14 – 18 mm) (Flores-González *et al*., 2012; Juárez- López *et al*., 2012).

Cuadro 1. Comparación de medias para caracteres agronómicos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivados en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del trasplante (DDT).

	Altura de planta	Diámetro de tallo	Número de hojas	Número de racimos
Población				
Erguida	177.6 **a**[‡]	15.5 **a**	395.5 **a**	264.3 **a**
Decumbente	121.8 **b**	11.3 **b**	159.1 **b**	137.0 **b**
CE (dS m^{-1})				
1	158.9 **a**	12.4 **b**	241.5 **a**	174.7 **a**
2	148.5 **a**	13.4 **ab**	267.7 **a**	193.5 **a**
3	141.8 **a**	14.5 **a**	258.6 **a**	219.4 **a**
Poda				
CP	185.6 **a**	13.2 **a**	207.5 **b**	93.3 **b**
SP	113.9 **b**	13.6 **a**	309.2 **a**	335.0 **a**

CE: conductividad eléctrica; CP: con poda; SP: sin poda. Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0,05$).

Se registró una altura promedio de 121.8 cm para la población decumbente y de 177.6 cm para la erguida. Considerando especies como *Solanum lycopersicon* L., las poblaciones de *J. procumbens* presentaron un buen comportamiento al registrar una altura promedio menor a la reportada para poblaciones nativas de *S. lycopersicon* L. (140 – 228 cm) (Flores-González *et al*., 2012) e híbridos comerciales como Sun-7705 (142 cm) y H-790 (163 cm) (Juárez-López *et al*., 2012). Para FR y PF, el manejo CP influyó de manera positiva, la población erguida CP (5.4 frutos) obtuvo 29.8 % más de FR que SP; en la decumbente CP (3.8 frutos) fue 11.9 % mayor que SP. El manejo CP expresó el mayor PF (erguida= 1.6 g; decumbente= 2.8 g) (Figura 1), registrando pesos promedios de 1.4 y 2.2 g fruto^{-1} para la población erguida y decumbente, respectivamente; considerando variedades de arándano (*Vaccinium* sp.) cuyo fruto presenta características similares a *J. procumbens* en tamaño, peso y forma de aprovechamiento en fresco, el PF se ubicó entre lo reportado para variedades como Emerald, Jewel, Misty, O´Neal y Snowchaser, con un PF entre 1.3 y 2.0 g fruto^{-1} (Zapata *et al*.,2013). Con el manejo SP se registraron los mayores

valores en NH (erguida SP = 439, CP = 332; decumbente SP = 202, CP = 112 hojas), no obstante, con poda, se observó un tamaño de hoja mayor (datos no registrados), lo que compensó la pérdida de área foliar; en NR, (erguida SP = 388, CP = 164; decumbente SP = 286, CP = 42 racimos), debido a la eliminación de brotes laterales y basales en el manejo CP, las ramificaciones no fueron suficientes para compensar los brotes eliminados y por consiguiente, el NR; el NR influyó en los FT (erguida SP = 1559, CP = 906; decumbente SP = 967, CP = 162 frutos totales) y REND (erguida SP = 1692, CP = 1426; decumbente SP = 1450, CP = 469 g planta^{-1}). El mayor PF expresado con el manejo CP compensó el bajo número de FT, lo que redujo la diferencia del REND registrado entre ambos tipos de manejo (Figura 1).

Conclusiones

Para ambas poblaciones de *Jaltomata procumbens* (Cav.) J. L. Gentry., su cultivo en condiciones de invernadero e hidroponía promovieron el desarrollo en caracteres agronómicos de altura de planta, diámetro de tallo y peso de fruto.

Se observó variabilidad dentro y entre poblaciones para poda y conductividad eléctrica de la solución nutritiva, resultados relacionados con variación genética al estar en etapa intermedia de domesticación.

El manejo con poda fue favorable, al obtener un tamaño y peso de fruto mayor, además, facilitó la cosecha y el manejo de la planta para su amarre.

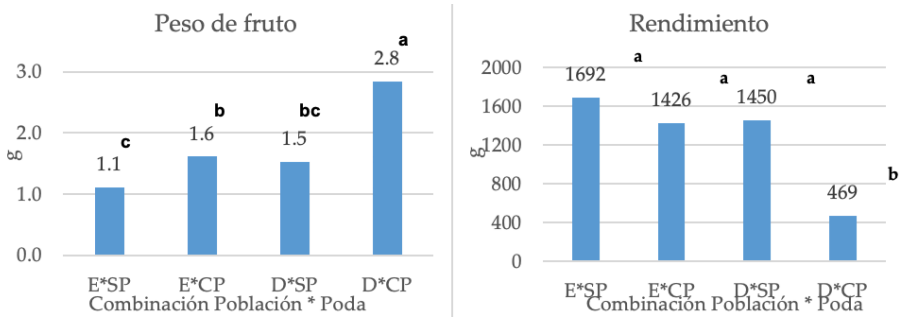


Figura 1. Efecto de la combinación Población * poda en peso de fruto y rendimiento, de dos poblaciones de J. procumbens. E * SP: erguida * sin poda; E * CP: erguida * con poda; D * SP: decumbente * sin poda; D * CP: decumbente * con poda. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del transplante (DDT). Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$).

La ramificación presentada en ambas poblaciones, con y sin poda en la erguida y sin poda en la decumbente, dificultó el amarre de tallos.

El control de plagas, patógenos y el acomodo de ramificaciones, se dificultó en plantas con manejo sin poda.

Literatura citada

Albino-García, C., Cervantes, H., López, M., Ríos-Casanova, L., & Lira, R. (2011). Patrones de diversidad y aspectos etnobotánicos de las plantas arvenses del valle de Tehuacán-Cuicatlán: el caso de San Rafael, municipio de Coxcatlán, Puebla. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(3), 1005–1019.

Coe, L. A. (1997). The taxonomy of Jaltomata tlaxcala and Jaltomata procumbens (Solanaceae): Morphological distinctions and infertility [Master thesis, Central Connecticut State University].

Flores-González, D., Sandoval-Villa, M., Ramírez-Vallejo, P., Sánchez-García, P., & Rodríguez-García, M. N. (2012). Yield of native genotypes of tomato as affected by electrical conductivity of nutrient solution. *Acta Horticulturae*, 947, 69–76.

Juárez-López, P., Castro-Brindis, R., Colinas-León, T., Sandoval-Villa, M., Ramírez-Vallejo, P., Reed, D. Wm., Cisneros- Zevallos, L., & King, S. (2012). Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (Lycopersicon esculentum Mill.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(2), 207–216.

Mendoza-Rodríguez, M. N., González-Barraza, L., Argüelles-Martínez, L., Hernández-Ramírez, I., Cervantes-Rodríguez, M., Rodríguez-Salazar, O., Aguilar-paredes, A., & Méndez-Iturbide, D. (2016). Antioxidant property of the wild fruit pipisco (Jaltomata procumbens), and its application in the preparation of a sauce. *Mexican Journal of Biotechnology*, 1(2), 83–96.

Preciado, R. P., Baca, C. G. A., Tirado, T. J. L., Kohashi-Shibata, J., Tijerina, C. L., & Martínez, G. A. (2002). Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. *Terra Latinoamericana*, 20(3), 267–276.

Williams, D. E. (1985). Tres arvenses solanáceas comestibles y su proceso de domesticación en el estado de Tlaxcala, México [Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados].

Zapata, L., Heredia, A., Malleret, A., Quinteros, F., Cives, H., & Carlazara, G. (2013). Evaluación de parámetros de calidad que ayuden a definir la frecuencia de recolección de bayas de arándanos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(2), 186–194.

Las arvenses como un campo de oportunidades en el estudio y la reducción de nanopartículas

Mariana Miranda-Arámbula[1]
Nina Torres-Valencia[1]
Ada Ma. Ríos-Cortés[1]
Fabián Fernández-Luqueño[2]
Fernando López-Valdez[1]

Resumen

Las recientes aplicaciones de nanopartículas en la agricultura han motivado a incrementar su estudio con la finalidad de explorar una gama de posibilidades, aunado con la posibilidad de generar nuevas NP a través de la síntesis verde, por lo que las plantas arvenses pueden ser una fuente de fitoquímicos (como alcaloides, flavonoides, terpenos, etc.) con potenciales aplicaciones en áreas como la medicina, industria, agricultura, entre otras, con mayores ventajas comparadas con los procesos de producción de NP convencionales. En el presente trabajo, se presenta un breve panorama sobre la importancia de las arvenses como fuente de fitoquímicos y sus ventajas en la reducción y síntesis verde de

[1] Grupo de Biotecnología Agrícola y Vegetal. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA) - Instituto Politécnico Nacional.

[2] CINVESTAV Unidad Saltillo.

Correo: mmirandaa@ipn.mx & flopezva@ipn.mx.

NP con extractos vegetales, así como también, abordamos los tres principales métodos (físicos, químicos y biológicos) para la reducción de éstas, y finalmente, se concluye que existen inminentes posibilidades de encontrar nuevas aplicaciones, no sólo en el ámbito agrícola y ambiental, sino para otras áreas de aplicación.

Palabras clave: Plantas arvenses, Reducción de NP, Nanopartículas, Síntesis verde.

Introducción

Las nanopartículas (NP), se definen como partículas con dimensiones que van de 1 a 100 nanómetros (nm) en lo general y con ciertas propiedades físicas y químicas extraordinariamente diferentes al compararlas con sus contrapartes, las moléculas de mayor dimensión (Aslam *et al*., 2021). Estas propiedades pueden deberse a aspectos como al área efectiva o superficie, solubilidad, punto de fusión, constante dieléctrica, carga eléctrica, tipo de agregación, composición, concentración, estabilidad, tamaño y forma, incluso las formulaciones (nano emulsiones) y formas de aplicación, entre otros (León-Silva *et al*., 2018; López-Valdez *et al*., 2018), por estas características, el sector industrial las utiliza am-

pliamente destacando, por ejemplo, las NP de TiO_2, ZnO, SiO_2 (Aslam *et al*., 2021). Las NP de TiO_2, han mostrado diversas aplicaciones con un importante éxito por sus propiedades favorables como antifúngicos, antibacterianos, foto catalíticos, entre otros. Por otro lado, igualmente han mostrado ventajas para el tratamiento de aguas residuales con una alta efectividad para degradar y coadyuvar a tratar contaminantes orgánicos y minerales (Aslam *et al*., 2021).

Aún falta mucho por comprender y estudiar las nanopartículas, debido a que existen efectos adversos y benéficos reportados que deben ser comprendidos para su segura aplicación y uso. Las diferentes formas, la agregación y la pequeña dimensión de los nanomateriales les confiere altas posibilidades de estudio para encontrar nuevas aplicaciones de éstas. El objetivo de este trabajo es esclarecer las bases de las nanopartículas y las bases de los métodos de producción ya que existe un grado de desinformación que se presta a confusión y para marcar las tendencias de estudio en nuestro equipo de trabajo.

Las plantas arvenses y su potencial importancia en la reducción de nanopartículas

Las plantas arvenses son aquellas que crecen en los sembradíos o parcelas, completamente ajenos al cultivo de interés, es decir, cualquier planta que sea distinta a la que se está cultivando. Y junto con esto, hay otro término que se suele emplear, el de malezas (termino que se refiere a hiervas o plantas "malas", que a su vez proviene del latín *malitia* que significa "maldad"), por lo que, las malezas son plantas que poseen algún metabolito que pueda hacerla no apta para el consumo como alimento. Comprendido esto, se puede deducir que las plantas arvenses poseen un potencial para el estudio de sus metabolitos o bien, de los extractos de estas, abriendo un amplio campo de posibilidades y oportunidades para su estudio, por ejemplo, en la síntesis verde, en la reducción de nanopartículas, con el potencial de aplicarlas a diversos campos como el agrícola o el ambiental. Cabe aclarar que ninguna planta es arvense o maleza en sí, ya que sólo es una concepción relativa con respecto a los cultivos de interés (Torres-Valencia *et al*., 2021).

Desde tiempos ancestrales, nuestros antepasados comprendían muy bien la importancia de cada planta, eran respetadas y cuidadas por el alto valor que poseen, como alimento, como medicamento, para cubrirse o vestir prendas a partir de ellas; desde considerarse un miembro de un ecosistema particular hasta por sus propiedades o beneficios que ha proporcionado al ser humano. Las plantas son por lo tanto de suma importancia para la humanidad, sólo que nuestra falta de conocimiento nos nubla la visión ante una demanda de cultivos de interés agroeconómico, dejando de lado a una vasta gama de plantas con potencial e importancia médica e incluso alimentaria, como los "*quilitl*", por ejemplo. Para hacer una distinción entre las plantas de interés económico y las que no, les seguiremos llamando arvenses a estas últimas (Torres-Valencia *et al*., 2021). Cabe aclarar que las arvenses no siempre perjudicarán a un cultivo en cuestión, debido que pueden presentar ventajas para un equilibrio en el ecosistema en el que se desarrollan, que no siempre es bien entendida o no se ha estudiado, por ejemplo, prevenir la pérdida o erosión del suelo, recirculación de nutrientes, mejorar o mantener

la materia orgánica en el suelo y sostener un microclima húmedo por periodos más prolongados, hospedar microorganismos benéficos, manteniendo un equilibrio del ecosistema en general al que pertenecen (Altieri, 1999; Torres-Valencia *et al*., 2021).

Muchas de estas plantas arvenses poseen cualidades y características que las hacen prometedoras en el campo de la investigación médica, alimentaria, agrícola, nanotecnológica, por mencionar algunos campos, y esto debido a propiedades alelopáticas, crecimiento inicial rápido y con capacidad de cubrir en ocasiones vastas extensiones de superficie, una alta tolerancia a condiciones ambientales adversas, habilidad competitiva en el máximo aprovechamiento de los recursos nutrimentales disponibles, mínimo nivel de dormancia de las semillas, principalmente. Son capaces de producir una gama de metabolitos primarios y secundarios que aún no se encuentran explorados en la mayoría de estas plantas. De acuerdo con Anaya (1999), las arvenses muestran variabilidades genéticas y fenotípicas particulares que les permiten desarrollar esas habilidades adaptativas y propiedades biológi-

cas, que representan un alto potencial para las diversas aplicaciones en Biotecnología Agrícola y Ambiental.

Síntesis y métodos obtención de nanopartículas

En la síntesis de nanopartículas, por lo general se puede citar tres métodos: *químico*, *biológico* y *físico*. Sin embargo, estrictamente el último método no debe ser considerado como *síntesis*, ya que si así fuera, sería estrictamente un proceso o transformación de la materia lo cual corresponde y compete a la Química. Por lo tanto, son operaciones unitarias las cuales apoyan a lograr la reducción de tamaño por diversos medios físicos sin transformación o cambios en la materia propiamente. Ya que la Física es la ciencia natural que estudia componentes fundamentales de la materia y la energía, así como sus propiedades fundamentales (energía, la materia, el tiempo y el espacio, y sus interacciones), como se puede ver, no hay manera de una síntesis "física". Entonces, dentro de las opciones de síntesis se encuentran la química, con la "reducción química, fotoquímica, electroquímica, y micro emulsión/micela reversa"; y para las biológicas: "Reducción biológica" (también llamada "Química Verde") y "Reducción

bioquímica" o "agentes de taponado ('capping agent')". Para los métodos físicos tenemos la "fragmentación o fractura térmica, descarga por arco eléctrico, ablación láser, ionización, microondas, explosivos, molienda mecánica, pulverizado, pulverizado catódico ('sputtering'), irradiación, descarga de alambre pulsado, ultrasonido, y evaporación/condensación" (León-Silva *et al*., 2016).

Reducción de nanopartículas

Se puede comenzar diciendo que la reducción es una vista simple de las reacciones que se suscitan para la obtención de nanopartículas por esta vía. Estas reacciones se caracterizan por la transferencia o intercambio de electrones entre diferentes sustancias o especies químicas (como átomos o moléculas), llamadas reacciones de óxido-reducción, por ejemplo: la corrosión de metales, los procesos de fotosíntesis y respiración celular donde implican ambos procesos (cambio en el número de oxidación entre los reactivos y los productos), ocurriendo simultáneamente. Entonces, esta se puede dar vía química, biológica o bioquímica, donde se implica un término más, la síntesis verde.

Síntesis verde

La síntesis verde se refiere a las reacciones de reducción, principalmente de carácter biológico – bioquímico, donde tiene por objetivo eliminar las prácticas y los procesos que son considerados tóxicos y/o con un alto impacto ambiental. Además, evitar el uso indiscriminado de materias primas renovables y no renovables, disolventes o agentes químicos potencialmente tóxicos, por lo que propone una serie de estrategias para realizar las síntesis en forma amigable con el ambiente (Torres-Valencia *et al*., 2021). De acuerdo con Ivanković *et al*. (2017) presentan una revisión de los doce principios básicos, que ahora rigen a esta disciplina, la Química Verde. Desde de un punto de vista estricto, la síntesis verde puede incluir los métodos físicos, químicos o biológicos, siempre que cumplan con las directrices de ésta.

Avances en el estudio y reducción de las nanopartículas

Actualmente, los tres métodos más utilizados para la producción de NP son los métodos *físicos* (como el daño por ablación por láser, separación de elementos por electricidad, ruptura y fragmentación térmica), *químicos* (la reducción con substancias

químicas como el citrato de sodio como un agente reductor) y los *biológicos* (síntesis biológica y fitosíntesis). Los dos primeros métodos (físicos y químicos) involucran principalmente la fragmentación de los materiales (por diversas técnicas: acción mecánica, explosivos, reacciones condensación-evaporación), hasta obtener partículas finas con las ventajas de obtener NP homogéneas, sin embargo, estas estrategias pueden generar NP con imperfecciones en las superficies de sus estructuras, afectando su actividad, además que representan costos elevados (de producción, de inversión y mantenimiento), requieren de equipos sofisticados y pueden representar un riesgo para el ambiente y la salud (Aslam *et al*., 2021). De acuerdo con Aslam y colaboradores (2021), una de las estrategias para mitigar estos efectos adversos, es por medio de la síntesis verde aprovechando el potencial y capacidad de reducción de las biomoléculas de microorganismos y extractos vegetales con algunos procesos químicos, que incluyen la formación de NP por medio del ensamble de los átomos (condensación atómica, procesos fotoquímicos, electroquímicos, pirólisis, reducción química, etc.) para dar un nuevo núcleo funcional con for-

mas y tamaños a escala nano (Aslam *et al*., 2021). Estos últimos, han incrementado el interés en la comunidad científica del área en nanotecnología, por ser estrategias, relativamente sencillas, rápidas, biodegradables y procesos de producción menos tóxicos, principalmente (Aslam *et al*., 2021). Las plantas como fuente de biomoléculas presentan también un desafío por la complejidad de la composición de los fitoquímicos que se emplean para la producción de NP, estas sustancias incluyen azucares, flavonoides, ácidos aromáticos, fenoles, terpenos, alcaloides, etc., y que por sus propiedades dificultan tanto la identificación propia de las conformaciones como los mecanismos ensamble (Aslam *et al*., 2021). Por otro lado, tanto los métodos convencionales como los métodos biológicos (desarrollados recientemente) para obtener NP aún presentan limitaciones para estabilizar tamaños, formas, composición y actividad de las NP, sólo por mencionar algunos ejemplos (Aslam *et al*., 2021).

Potenciales aplicaciones de la reducción de las nanopartículas

Las NP tienen diversas y amplias áreas de aplicación, desde aplicaciones médicas hasta en ingenierías, siendo las aplica-

ciones más relevantes como terapéuticos y vacunas contra el cáncer y ciertos virus, distribución y liberación de medicamentos, biosensores, componentes de cosméticos, protectores antibacterianos en coberturas de alimentos, entre muchos otros, así como, el potencial que se han observado para el tratamiento de aguas residuales tratando diversos tóxicos. Recientemente, destaca la importancia de obtener NP por medio de extractos vegetales, como reactivos clave en futuros procesos ya que estos pueden ser una fuente abundante de compuestos reducidos, que en combinación con NP abren un potencial de actividades biológicas (alelopáticas) para el control de diversas plagas y enfermedades en cultivos agrícolas. Otra aplicación puede ser la liberación controlada y más eficiente de compuestos como fertilizantes y plaguicidas (Al-khattaf, 2021; Aslam *et al*., 2021; Khan *et al*., 2019; Paiva-Santos *et al*., 2021). Aún quedan posibles mecanismos por estudiar, considerando que los fitoquímicos han mostrado en lo general, mayor efectividad para la producción de NP, que todavía no se han elucidado completamente (Aslam *et al*., 2021). Los fitoquímicos pueden actuar como protectores, estabilizar la forma-

ción de NP y a la vez obtener NP funcionalizadas (Aslam *et al*., 2021). Los aspectos positivos de síntesis de NP por métodos biológicos pueden ser más prometedores por sus características ambientalmente amigables y en su mayoría requieren menos pasos en los procesos de producción comparado con los métodos convencionales (Aslam *et al*., 2021).

Nuestras líneas de investigación

Las arvenses como *Baccharis* sp., *Lepidium* sp., y *Argemone* sp., entre otras, se ha utilizado en la medicina tradicional como diuréticos, antifúngicos, antiinflamatorios, cicatrizantes, etc. Como equipo de trabajo se ha estudiado el potencial de sus extractos, donde los resultados han mostrado inhibición (50-80%) del crecimiento de la bacteria patógena *Staphylococcus aureus* (Cabrera-Hilerio *et al*., 2018), inhibición radial (50-100%) de *Fusarium* sp. y de *Phytophthora* sp., e inhibición del 100% como fitotóxico (herbicida) en plantas modelos (Miranda-Arámbula *et al*., 2021). Con respecto a la evaluación de la actividad alelopática de diferentes extractos (orgánicos y acuosos) de las mismas arvenses (*Baccharis* sp., *Lepididium* sp., *Argemone* sp.), los estudios prelimi-

nares muestran resultados prometedores con posible aplicación bactericida (Cabrera-Hilerio *et al*., 2018), fungicida, oomicida, y fitotóxica (Miranda-Arámbula *et al*., 2021), con la posibilidad de evaluar otras aplicaciones. Actualmente, surge el interés de estudiar la reducción de NP partiendo de estos extractos, probando los más prometedores por su actividad alelopática. Asimismo, realizar el estudio de las NP obtenidas por estos procesos como posibles plaguicidas con la finalidad de saber si los efectos se potencian o se pierden. Si se potenciarán, el objetivo será buscar que sean más eficientes y menos tóxicos que los plaguicidas convencionales.

Como perspectivas es realizar reducciones dirigidas a partir de compuestos orgánicos puros para poder alcanzar mayor conocimiento en los mecanismos, evitar las interacciones con otras moléculas no deseables presentes en los extractos vegetales, asegurando la reproducibilidad de la reducción o síntesis de las NP.

Conclusiones

El potencial de las plantas arvenses es inminente ante la gama de posibilidades para realizar reducciones, tanto biológicas como bioquímicas, con posibilidades de encontrar nuevas aplicaciones, no sólo en el ámbito agrícola y ambiental, sino en otros campos como la electrónica para dispositivos a base de NP con moléculas orgánicas.

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional: Proyectos SIP 20211576 y SIP20211596. BEIFI (N.T-V) y SNI-CONACyT (F.F-L y F.L-V).

Literatura citada

Al-khattaf, F. S. (2021). Gold and silver nanoparticles: Green synthesis, microbes, mechanism, factors, plant disease management and environmental risks. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(6), 3624-3631. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.078

Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1), 19-31. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6

Anaya, A. L. (1999). Allelopathy as a Tool in the Management of Biotic Resources in Agroecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(6), 697-739. https://doi.org/10.1080/07352689991309450

Aslam, M., Abdullah, A. Z., & Rafatullah, M. (2021). Recent development in the green synthesis of titanium dioxide nanoparticles using plant-based biomolecules for environmental and antimicrobial applications. *Journal*

of Industrial and Engineering Chemistry, 98, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.04.010

Cabrera-Hilerio, S. L., Escalante-Hernández, E. J., & Miranda-Arámbula, M. (2018). Allelopathyc potential of baccharis salicifolia against staphylococcus aureus. *Horticulture International Journal*, 2(5). https://doi.org/10.15406/hij.2018.02.00060

Ivanković, A., Dronjić, A., Bevanda, A. M., & Talić, S. (2017). Review of 12 Principles of Green Chemistry in Practice. *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 6(3), 39. https://doi.org/10.11648/j.ijrse.20170603.12

Khan, T., Ullah, N., Khan, M. A., Mashwani, Z.-R., & Nadhman, A. (2019). Plant-based gold nanoparticles; a comprehensive review of the decade-long research on synthesis, mechanistic aspects and diverse applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 272, 102017. https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.102017

León-Silva, S., Arrieta-Cortes, R., Fernández-Luqueño, F., & López-Valdez, F. (2018). Design and Production of Nanofertilizers. En F. López-Valdez & F. Fernández-Luqueño (Eds.), *Agricultural Nanobiotechnology: Modern Agriculture for a Sustainable Future* (pp. 17-31). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96719-6_2

León-Silva, S., Fernández-Luqueño, F., & López-Valdez, F. (2016). Silver Nanoparticles (AgNP) in the Environment: A Review of Potential Risks on Human and Environmental Health. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(9), 306. https://doi.org/10.1007/s11270-016-3022-9

López-Valdez, F., Miranda-Arámbula, M., Ríos-Cortés, A. M., Fernández-Luqueño, F., & de-la-Luz, V. (2018). Nanofertilizers and Their Controlled Delivery of Nutrients. En F. López-Valdez & F. Fernández-Luqueño (Eds.), *Agricultural Nanobiotechnology: Modern Agriculture for a Sustainable Future* (pp. 35-48). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96719-6_3

Miranda-Arámbula, M., Reyes-Chilpa, R., & Anaya L., A. L. (2021). Phytotoxic activity of aqueous extracts of ruderal plants and its potential ap-

plication to tomato crop. *Botanical Sciences*, 99(3), 487-498. https://doi.org/10.17129/botsci.2727

Paiva-Santos, A. C., Herdade, A. M., Guerra, C., Peixoto, D., Pereira-Silva, M., Zeinali, M., Mascarenhas-Melo, F., Paranhos, A., & Veiga, F. (2021). Plant-mediated green synthesis of metal-based nanoparticles for dermopharmaceutical and cosmetic applications. *International Journal of Pharmaceutics*, 597, 120311. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120311

Torres-Valencia, N., Miranda-Arámbula, M., Ríos-Cortés, A. M., López-Gayou, V., & López-Valdez, F. (2021). Las malezas como un campo de oportunidades en el estudio de la síntesis verde. *Frontera Biotecnológica*, 9(18), 4-8.

Manejo de suelos volcánicos de la Ciudad de México: alternativa para mitigar el cambio climático

Elizabeth Solleiro Rebolledo[1]
Gilberto Vela Correa[2]
María Yazmín Rivera Uria[1]
Bruno Chávez Vergara[1]
Ofelia I. Beltrán Paz[1]
Jaime Díaz Ortega[1]
René Alcalá Martínez[1]

Resumen

Dentro de la zona de suelo de conservación de la Ciudad de México, se tienen sistemas agroecológicos activos, con producción de nopal verdura, amaranto, avena y maíz. En el caso de los sitios de las laderas volcánicas, los suelos han sufrido degradación con pérdida de estructura y disminución en el contenido de materia orgánica. El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios a corto plazo en la microestructura y en la estabilidad de agregados de suelos volcánicos, a nivel invernadero, a los cuales se les agregó "mejoradores" usados comúnmente por los agricultores de la región. Estos mejoradores son: compost, nopal picado,

[1] Instituto de Geología, UNAM. Cd. Universitaria.

[2] Departamento del Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

estiércol, y biodigestato, comparados con un testigo sin tratamiento. Los cambios en la microestructura se determinaron por análisis de láminas delgadas, con observaciones bajo un microscopio petrográfico. La estabilidad de agregados se determinó con un equipo Eijkelkamp Yoder. Los resultados mostraron que el testigo poseía una agregación débil, con un predominio de microporos. En contraste, los suelos con nopal y estiércol presentaron la formación de agregados, incrementándose el espacio poroso (poros de mayor tamaño). Con respecto a la estabilidad de agregados, los testigos demostraron una baja estabilidad con 71% de material inestable. En contraste, el tratamiento con nopal mostró una alta agregación, con solo 40% de material inestable. En conclusión, se identificó que la adición de mejoradores como estiércol y nopal promueve cambios significativos sobre la microestructura del suelo, formándose agregados estables.

Palabras clave: *sistemas agroecológicos; zona de conservación; mejoradores; estructura, nopal*.

Introducción

La agricultura intensiva moderna no se considera compatible con la conservación de los ecosistemas (Lichtofouse *et al*., 2009), ya que esta requiere una gran cantidad de fertilizantes y pesticidas, que conlleva a un aumento de la contaminación del aire, de los suelos y del agua. Esta situación repercute también en una mayor emisión de gases con efecto invernadero, pérdida de biodiversidad, erosión y degradación de los suelos (NAS, 2021). Es por ello que es necesario plantear estrategias para el desarrollo de una agricultura sostenible que cause un menor impacto al ambiente. En México, la producción agrícola ocupa un lugar importante en las zonas volcánicamente activas, gracias a la alta fertilidad potencial que poseen los suelos desarrollados en estos geosistemas (Shoji *et al*. 1993; Dahlgren *et al*., 2004). Sin embargo, se ha documentado su alto potencial a la degradación ante manejos inadecuados (Dahlgren *et al*., 2004).

Particularmente, la porción sur de la Ciudad de México aún presenta agroecosistemas activos dentro de la llamada zona de conservación. Estos agroecosistemas se localizan en las alcal-

días de Xochimilco, Milpa Alta, Tláhuac y Tlalpan, los cuales producen nopal-verdura, avena, amaranto y maíz, en condiciones de temporal (INEGI, 2017). Asimismo, proporcionan alimento, además de otros servicios ecosistémicos como regulación hídrica, conservación de la biodiversidad y, un aspecto muy importante, son esenciales para la regulación del clima. No obstante, las prácticas de manejo han originado fuertes modificaciones en los suelos, como son la disminución del contenido de materia orgánica y la pérdida de estructura, disminuyendo su fertilidad natural (Solleiro-Rebolledo *et al*., 2019).

Por lo anterior, en este trabajo se presentan los resultados preliminares de un experimento a nivel invernadero efectuado con suelos de la zona de conservación de la Ciudad de México, en donde se tienen suelos degradados. El experimento consistió en evaluar la eficiencia del uso de mejoradores de la estructura de los suelos, de manera que los haga menos susceptibles a la erosión. Con esta medida, suponemos, es posible recuperar los servicios ambientales que brindan los suelos, como lo es su capacidad de captura de carbono, pudiéndose mitigar el cambio climático.

Materiales y métodos

El área de estudio se localiza en la parte sur de la Ciudad de México, en la denominada zona de conservación de suelos, particularmente, de las alcaldías Xochimilco (X), Tláhuac (T) y Milpa Alta (MA). De dichas zonas, se tomaron muestras superficiales, compuestas, de la zona cerril (laderas del volcán Teuhtli y Ayaquémetl), las cuales fueron llevadas a los invernaderos del Departamento del Hombre y su Ambiente, UAM-X, y del Instituto de Geología, UNAM. Los suelos se emplearon para llenar macetas de 1 kg (con seis repeticiones), a los que se les agregó cinco tipos de tratamiento (Fig. 1): estiércol de bovino (usado por los agricultores de la zona); nopal picado (cultivo común de la zona); biodigestato de nopal (producido por una empresa local); la composta que proporcional el gobierno de la ciudad; además se preparó un testigo. La cantidad de mejorador se calculó de acuerdo con las dosis agregadas por metro cuadrado: para composta, estiércol y nopal picado se agregó una dosis de 3 kgm^{-2}; mientras que para el biodigestato se adicionó 10 Lm^{-2}.

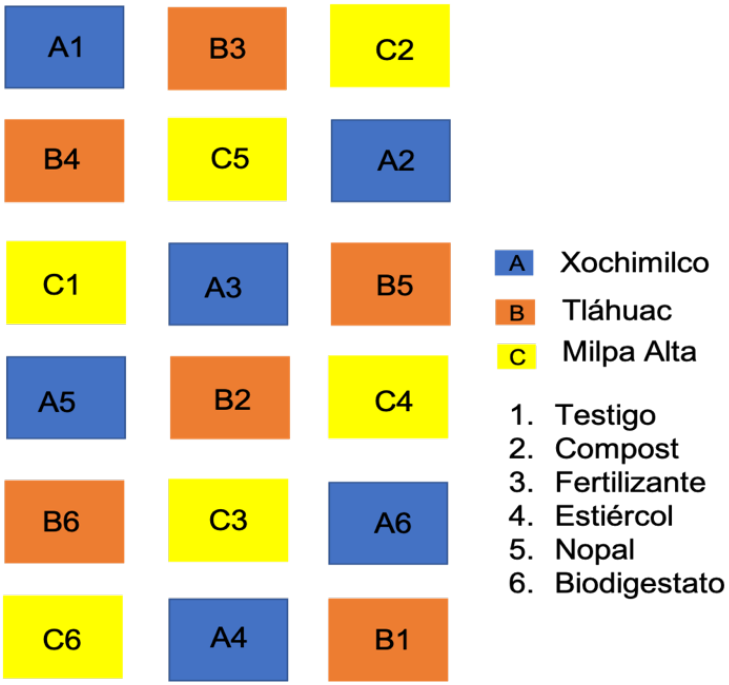


Figura 1. Diseño experimental de los tratamientos aplicados

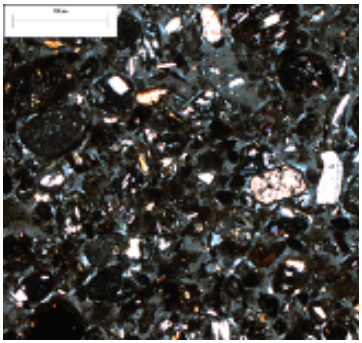
Para determinar los cambios de estructura, se tomaron muestras inalteradas de los suelos por tratamiento. Cada muestra se impregnó con una resina poliéster para elaborar láminas delgadas y observarlas bajo un microscopio petrográfico Olympus BX5, tomando fotografías con una cámara Cool Snap y haciendo un análisis de imágenes con el software Image Pro Plus ver. 7.0.

Se determinó el área real de cada foto y con base en este cálculo se evaluó el porcentaje del área que ocupan los agregados formados y los poros. Por otro lado, se evaluó la estabilidad de los agregados en un equipo Eijkelkamp Yoder.

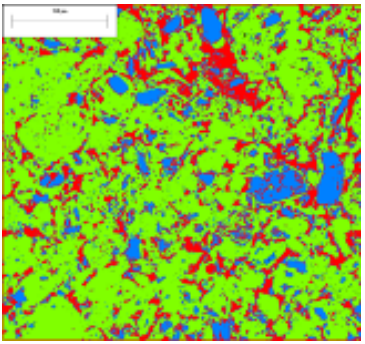
Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados preliminares de la agregación con el nopal picado y el estiércol.

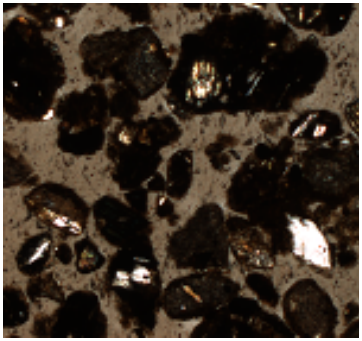
En las imágenes analizadas se pudo observar que, en el caso del testigo, las partículas que conforman el suelo estaban dispersas, sin ningún tipo de agregación (Fig. 2a) y con un área extensa del espacio poroso (color rojo, Fig. 2b). En cambio, con el tratamiento de nopal se presentó un reacomodo de las partículas, con una evidente agregación (Fig. 2c). En cuanto al espacio poroso, las áreas determinadas fueron mayores (Fig. 2d), en comparación con el testigo, por el efecto de la agregación. El tratamiento con estiércol también mostró una buena agregación, aunque aún hay tejidos vegetales frescos y en diferentes fases de descomposición (Fig. 2e). Sin embargo, los agregados están impregnados con una pigmentación oscura por la materia orgánica.



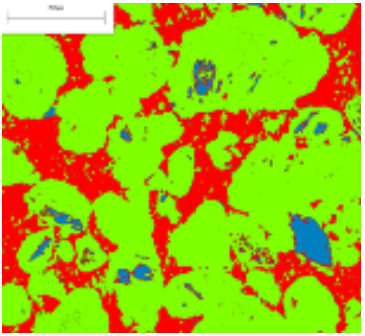
a



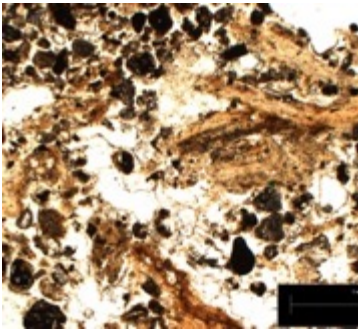
b



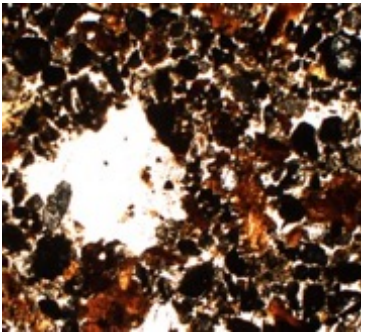
c



d



e



f

Figura 2. Microfotografías de los suelos. Las fotos a y c son imágenes tomadas con luz polarizada, las fotos b y d son imágenes analizadas con el programa Image Pro, que identifica en color rojo el área porosa, en verde los agregados recubiertos con materia orgánica y en azul, los minerales. Fotos a y b, representan el suelo testigo; c y d, tratamiento con nopal. Las fotos e y f corresponden al tratamiento con estiércol, tomadas con luz natural.

Con respecto a la estabilidad de agregados, en el testigo, el porcentaje de agregados estables es bajo, alrededor del 16%, presentando valores de 71% de material inestable. El suelo al que se le agregó nopal observó un incremento en los porcentajes de agregación de 45%.

Conclusiones

Los análisis realizados permiten concluir que los tratamientos basados en el nopal y el estiércol dieron lugar a la formación de agregados estables en el suelo, con un incremento cualitativo en la materia orgánica (Fig. 2c, 2e y 2f). De esta forma, la mejora en el grado de estructuración de los suelos volcánicos podría repercutir en una disminución de la erosión, de manera que se reestablezcan los servicios ambientales que brindan.

Agradecimientos

Este estudio fue realizado con el financiamiento otorgado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México, proyecto SECTEI/268/2019 - CM-SECTEI/205/2020. Se agradece a las comunidades de Tulyehucalco, Villa Milpa Alta y Tetelco por el apoyo brindado para este trabajo.

Literatura citada

Dahlgren, R. A., Saigusa, M., & Ugolini, F. C. (2004). The nature, properties and management of volcanic soils. *Advances in agronomy*, 82(03), 113-182.

INEGI (2017). Encuesta Nacional Agropecuaria - ENA / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Conociendo el campo de México. Recupera-

do el 04 de enero de 2021 de: https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/438/sampling

Lichtfouse E., Navarrete M., Debaeke P., Souchère V., Alberola C. & Ménassieu J. (2009). Agronomy for sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev*. 1(29), 1–6.

NAS (2021). The Challenge of Feeding the World Sustainably: Summary of the US-UK Scientific Forum on Sustainable Agriculture. National Academy of Sciences. The National Academies Press. 67-76. https://doi.org/10.17226/26007.

Shoji, S., M. Nanzyo, & R. Dahlgren. (1993). Genesis of volcanic ash soils. In: Shoji, S., Nanzyo, M., Dahlgren, R. (Eds.), Volcanic Ash Soils: Genesis, Properties and Utilization (37-71). *Developments in Soil Science*.

Solleiro-Rebolledo, E., Rivera-Uria, Y., Chávez-Vergara, B., Díaz-Ortega, J., Sedov, S., Alcalá-Martínez, R., Beltrán-Paz, O., Jardines-Martínez, G., 2019. Evolution of the landscape and pedodiversity on volcanic deposits in the south of the Basin of Mexico and its relationship with agricultural activities. *Terra* 37, 501-518. DOI: https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.565

Nanotecnología en el sector agrícola y ambiental: de la producción de cultivos a la remediación ambiental

Fabián Fernández-Luqueño[1]
César Roberto Sarabia-Castillo[1]
Andrés Patricio Torres-Gómez[1]
Hermes Pérez-Hernández[1]
Andrea Yakelin Pérez-Moreno [1]
Dulce Yaahid Flores-Rentería[2]
Gabriela Medina-Pérez[3]
Rafael Campos-Montiel[3]
Sergio Rubén Pérez-Ríos[3]
Fernando López-Valdez[4]

Resumen

En esta investigación se describen y discuten algunos experimentos en laboratorio, invernadero o campo que evidencian el potencial de los nanomateriales (NMs) en la agricultura y la remediación de suelo o agua. Se emplearon nanopartículas metálicas de Fe, Zn, Ag o Ti, arcillas de suelo (montmorillonitas), resi-

[1] Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Cinvestav Saltillo. Posgrado en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. Email: fabian.fernandez@cinvestav.edu.mx.

[2] CONACYT- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Cinvestav Saltillo. Posgrado en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía.

[3] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP-UAEH).

[4] Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional (CIBA-IPN).

duos de café tratados por pirolisis o biomasa fúngica. En los experimentos se usaron suelos agrícolas o forestales del sureste de Coahuila, Tlaxcala, Hidalgo y Tabasco, y organismos modelo como la lombriz de suelo *Eisenia fetida*. En términos de remediación de suelo o agua, los NMs antes indicados se han utilizado para remediación de suelo o agua contaminados con metales pesados e hidrocarburos policíclicos aromáticos. Los NMs y los organismos utilizados se caracterizaron por diversas técnicas de avanzada. Se demostró que las NPs metálicas evaluadas favorecen el crecimiento de maíz y frijol e inducen tolerancia a la sequía en las plantas cultivadas durante las primeras etapas fenológicas, mientras que la montmorillonita, residuos de café y biomasa fúngica son efectivas para procesos de filtración y remoción de metales pesados o hidrocarburos en suelo y agua. Si bien algunos nanomateriales no modificaron significativamente las poblaciones microbianas del suelo después de 60 días de la adición de los NMs, sí afectaron significativamente el crecimiento y reproducción de *Eisenia fétida.* En todos los casos, los efectos de los NMs en el suelo u organismos, así como en los procesos de remedia-

ción, están en función del tipo de NMs, tiempo de exposición, concentración, etapa y modo de aplicación, entre otros. Algunos experimentos evidencian el daño potencial que los NMs podrían generar al medioambiente.

Palabras clave: *bionanorremediación, contaminación de suelos, nanopartículas metálicas, microorganismos del suelo, rendimiento*.

Introducción

Durante los últimos años la nanotecnología ha incursionado en prácticamente todas las áreas del conocimiento con aplicaciones reales, en productos que ya están en el mercado. Estos productos van desde pinturas, cosméticos, ropa, medicamentos, dispositivos electrónicos, entre otros (Leon-Silva *et al.* 2016). Además, la nanotecnología se emplea en cientos de productos relacionados con la producción y manejo de cultivos (Fernández-Luqueño *et al*., 2018; Pérez-Hernández *et al.*, 2020a, 2020b) y con la remediación ambiental (Medina-Pérez *et al.*, 2019).

Hay evidencias suficientes que demuestran que algunos nanomateriales (NMs) incrementan el crecimiento o rendimiento

de cultivos (CRC; Al-Hasany *et al*., 2020; Sukhanova *et al*., 2020), otros evidencian que los NMs disminuyen el CRC (Li *et al*., 2020), mientras que otros indican que su uso no incrementa ni reduce significativamente el CRC, en comparación con el tratamiento control o con fertilizantes comerciales (Rop *et al*., 2019). En aplicaciones nanotecnológicas para el cuidado del medioambiente, se han sintetizado y evaluado diversos materiales para remover contaminantes de suelo, agua y aire (Urdapilleta-Inchaurregui *et al*., 2020, 2021; Garcia-Mayagoitia *et al*., 2020). Estos NMs de uso agrícola o para la remediación ambiental, son liberados al ambiente para que cumplan la función para la que fueron diseñados o cuando concluyen su vida útil.

Por consiguiente, el uso de NMs en el sector agrícola o ambiental ha generado preocupación, debido a los efectos colaterales que estos pudieran tener sobre los organismos del suelo (Pérez-Hernández *et al*., 2021a, 2021b; Valerio-Rodriguez *et al*., 2020; Sanchez-Lopez *et al*., 2019). Por consiguiente, realizar investigación adicional al respecto es de suma importancia, con especial énfasis en experimentos en campo durante varios ciclos agrícolas.

El objetivo de este manuscrito es describir brevemente una serie de experimentos que se han desarrollado en laboratorio, invernadero o campo bajo la dirección del primer autor de este documento. Los experimentos se diseñaron para evaluar el efecto de diversos NMs sobre el desarrollo de los cultivos, determinar el impacto de los NMs en los procesos de remoción de contaminantes y caracterizar el daño colateral potencial de los NMs sobre los organismos del suelo.

Materiales y métodos

Los experimentos en laboratorio se realizaron en cámaras de crecimiento de plantas instaladas en el laboratorio de Interacciones Planta-Ambiente del Cinvestav Saltillo. Los experimentos en invernadero se montaron en las instalaciones del Cinvestav Saltillo y los experimentos en campo se realizaron en la hacienda San Isidro de Gómez, en el municipio de General Cepeda, Coahuila de Zaragoza, en el bosque del municipio de Arteaga, Coahuila de Zaragoza, en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en Tulancingo de Bravo, Hidalgo, y en el Centro de Investigación en Bio-

tecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional, en Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala.

Las técnicas de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), difracción de rayos X (XRD), microscopía electrónica de barrido de emisión de campo con espectrometría de dispersión de energía de rayos X (FESEM-EDS), microscopía electrónica de barrido con espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (SEM-EDS), cromatografía líquida de ultra alto desempeño acoplada a espectrometría de masas (UPLC-MS), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada (FTIR-ATR) y piro secuenciación se emplearon para caracterizar los NMs y los organismos involucrados.

Nanopartículas (NPs) de ZnO, TiO_2, Fe_2O_3 y Ag, así como arcilla montmorillonita, residuos de café tratados por pirolisis y biomasa fúngica de *Aspergillus niger* fueron empleados y caracterizados con el equipo que se indicó en el párrafo anterior.

El diseño de tratamientos, la caracterización fisicoquímica de los suelos y los NMs, las dosis empleadas, los detalles de los resultados experimentales y los análisis estadísticos pueden ser consultados en Medina-Perez *et al*. (2018), Pérez-Moreno *et al*. (2019), Pérez-Hernández *et al.* (2021a, 2021b), Sánchez-López *et al*. (2019), Urdapilleta-Inchaurregui *et al*. (2020, 2021) y Valerio-Rodríguez *et al.* (2020).

Resultados y discusión

Los NMs evaluados favorecieron la remoción de contaminantes y el crecimiento de los cultivos de maíz y frijol (Cuadro 1), en particular, las NPs de TiO_2 incrementaron significativamente la biomasa de plantas durante las primeras etapas fenológicas. Las NPs de Fe_2O_3 incrementaron significativamente el número de nódulos, las unidades SPAD y el rendimiento en frijol común. Además, las NPs de Fe_2O_3 sufrieron procesos de intemperismo químico o biológico, lo que incrementó la biodisponibilidad de hierro en el suelo y favoreció los procesos de absorción.

Cuadro 1. Efecto de nanomateriales (NMs) sobre el crecimiento del cultivo, remediación de suelo y agua, y organismos del suelo, en condiciones de laboratorio (§), invernadero (α) o campo (£).

NMs	Principales hallazgos	Referencia
Fe_2O_3	Favorece actividad fotosintética, la nodulación y el rendimiento de frijol §,α e induce comportamiento de evitación en lombrices endogeas en suelo forestal £.	Medina-Pérez *et al*. (2018) y Pérez-Hernández *et al.* (2021a, 2021b)
TiO_2	Incrementa biomasa seca de raíz, en particular en las primeras etapas fenológicas de los cultivos §,α y provocan daños en organismos del suelo forestal (lombrices endogeas e isópodos) £.	Medina-Pérez *et al*. (2018) y Pérez-Hernández *et al.* (2021a, 2021b)
	Modifica la comunidad bacteriana de un suelo agrícola §,α.	Sanchez-Lopez *et al*. (2019)
ZnO	Incrementa la reproducción de *Eisenia fétida* y el desarrollo de juveniles §.	Valerio-Rodriguez *et al.* (2020)
	Afecta la remoción de hidrocarburos §,α.	Pérez-Moreno *et al*. (2019)
Ag	Remueve colorantes orgánicos a través de nanocompositos orgánicos §,α.	Urdapilleta-Inchaurregui *et al.* (2020, 2021)
Biomasa fúngica	Remueve diversos metales pesados y colorantes a través de sus grupos funcionales §,α.	Urdapilleta-Inchaurregui *et al.* (2020, 2021)
Residuos de café	Remueve metales pesados y colorantes a través de sus grupos funcionales §,α.	Urdapilleta-Inchaurregui *et al.* (2020, 2021)
Montmorillonita	Favorece la remoción de metales pesados y colorantes orgánicos §,α.	Urdapilleta-Inchaurregui *et al.* (2020, 2021)

Conclusiones

Los NMs evaluados modifican significativamente el crecimiento de los cultivos, los procesos de remoción de contaminantes y las comunidades de organismos del suelo. Sin embargo, esos cambios están en función del tipo de NMs, la concentración, el tiempo de exposición, entre otros. Por consiguiente, es urgente promover experimentos adicionales que aporten evidencias adicionales a fin de identificar aquellos NMs con el mayor beneficio para el productor o el medio ambiente y el menor daño colateral.

Literatura citada

Al-Hasany, A. R. K., Alhilfi, S.K.J., Alfarjawi, T.M.K. 2020. Effect of foliar feeding with nano-boron on the growth and yiels of two cultivars of faba bean crop (Vicia faba L.). *Int. J. Agric. Stat. Sci*. 16(1): 237-241.

Fernández-Luqueño, F., Medina-Pérez, G., López-Valdez, F., Gutiérrez-Ramírez, R., Campos-Montiel, R.G., Vazquez-Nuñez, E., Loera-Serna, S., Almaraz-Buendía, I., Del Razo-Rodríguez, O.E., Madariaga-Navarrete, A. 2018. Use of agronanobiotechnology in the agro-food industry to preserve environmental health and improve the welfare of farmers. In: *Agricultural Nanobiotechnology, Modern Agriculture for a Sustainable Future*. López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F. (Eds.). Springer. ISBN 978-3-319-96718-9. 3-16 pp.

Garcia-Mayagoitia, S., Perez-Hernandez, H., Medina-Perez, G., Campos-Montiel, R.G., Fernandez-Luqueno, F. 2020. Bio-nanomaterials in the air pollution treatment. In: Abdeltif, A., Assadi, A.A., NguyenTri, P., Nguyen, T.A., Rtimi, S. (Eds.). *Nanomaterials for air remediation*. Elsevier. 227-248 pp.

Leon-Silva, S., Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F. 2016. Silver nanoparticles (AgNP) in the environment: a review of potential risks on human and environmental health. *Water Air Soil Pollut*. 227(9): 309.

Li, M., Liu, H.L., Dang, F., Hintelmann, H., Yin, B., Zhou, D.M. 2020. Alteration of crop yield and quality of three vegetables upon exposure to silver nanoparticles in sludge-amended soil. *ACS Sustain. Chem. Eng*. 8(6): 2472-2480.

Medina-Perez, G., Fernández-Luqueño, F., Trejo-Tellez, L.I., Lopez-Valdez, F., Pampillón-Gonzalez, L. 2018. Growth and development of common bean (Phaseolus vulgaris L.) var. Pinto Saltillo exposed to iron, titanium, and zinc oxide nanoparticles in an agricultural soil. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 16(2), 1883-1897.

Medina-Pérez, G., Fernández-Luqueño, F., Vazquez-Nuñez, E., López-Valdez, F., Prieto-Méndez, J., Madariaga-Navarrete, A., Miranda-Arámbula, M., (2019). Remediating polluted soils using nanotechnologies: Environmental benefits and risks. *Pol. J. Environ. Stud*. 28(3): 1013-1030.

Pérez-Hernández, H., Fernández-Luqueño, F., Huerta-Lwanga, E., Mendoza-Vega, J., Jose, D.A.S. 2020a. Effect of engineered nanoparticles on soil biota: Do they improve the soil quality and crop production or jeopardize them? *Land Degrad. Dev*. 31(16): 2213-2230.

Pérez-Hernández, H., Medina-Pérez, G., Valle-García, J.D., Vera-Reyes, I., Fernández-Luqueño, F. 2020b. Edible crop production by nanotechnology: Is it sustainable technology for healthy soil? In: Chetan Keswani (Ed.). *Intellectual Property Issues in Nanotechnology*. CRC Press-Taylor & Francis Group. ISBN 9780367482305. 11-40 pp.

Pérez-Hernández, H., Huerta-Lwanga, E., Mendoza-Vega, J., Alvarez-Solis, J.D., Pampillón-González, L., Fernández-Luqueño, F., 2021a. Assessment of TiO2 nanoparticles on maize seedlings and terrestrial isopods under greenhouse conditions. *J. Soil Sci. Plant Nutr*. Online first. 10.1007/s42729-021-00515-y

Pérez-Hernández, H., Fernández-Luqueño, F., Huerta-Lwanga, E., Mendoza-Vega, J., Alvarez-Solis, J.D., Perez-Moreno A.Y. 2021b. A Field Expe-

riment Regarding the Behavior of Endogenous Earthworms Exposed to Iron and Titanium Engineered Nanoparticles in a Natural Forest Soil. *Int. J. Environ. Res*. Online first. 10.1007/s41742-021-00360-y

Pérez-Moreno, A., Sarabia-Castillo, C.R., Medina-Pérez, G., Pérez-Hernández, H., De La Puente, J.R., González-Pozos, S., Corlay-Chee, L., Chamizo-Checa, A., Campos-Montiel, R.G., Fernández-Luqueño, F. 2019. Nanomaterials modify the growth of crops and some characteristics of organisms from agricultural or forest soils: An experimental study at laboratory, greenhouse and land level. *Mexican J. Biotech*. 4(4): 29-49

Rop, K., Karuku, G.N., Mbui, D., Njomo, N., Michira, I. 2019. Evaluating the effects of formulated nano-NPK slow release fertilizer composite on the performance and yield of maize, kale and capsicum. *Annals Agric. Sci*. 64(1): 9-19.

Sanchez-Lopez, K.B., De los Santos-Ramos, F.J., Gomez-Acata, E.S., Luna-Guido, M., Navarro-Noya, Y.E., Fernandez-Luqueno, F., Dendooven, L. 2019. TiO2 nanoparticles affect the bacterial community structure and Eisenia fetida (Savigny, 1826) in an arable soil. *Peer J*. 7: e6939

Sukhanova, I.M., Prishchepenko, E.A., Ilyasov, M.M., Bikkinina, L.M. 2020. Effect of presowing seed treatment with suspensions in macro- and nanostructures form on crop yield and quality. *Agrochem. Herald*. 3: 63-66.

Urdapilleta-Inchaurregui, V., Fernandez-Luqueno, F., Torres-Huerta, A.M., Roa-Velazquez, D., Rodriguez-Varela, F.J., Sanchez-Castro, M.E. 2020. Nanocomposite synthesis from a natural clay-rich soils and exhausted coffee grounds for environmental applications. *J. Nano Res*. 63: 47-63.

Urdapilleta-Inchaurregui, V., Fernandez-Luqueno, F., Torres-Huerta, A.M., Roa-Velazquez, D., Rodriguez-Varela, F.J., Sanchez-Castro, M.E. 2021. Natural soil clays from a phaeozem to synthesize a nanocomposite with exhausted coffee grounds and Ag- and TiO2-nanoparticles for water, air, or soil decontamination. *Pol. J. Environ. Stud*. 30(1): 871-880.

Valerio-Rodriguez, M.F., Trejo-Tellez, L.I., Aguilar-Gonzalez, M.A., Medina-Perez, G., Zuniga-Enriquez, J.C., Ortegon-Perez, A., Fernandez-Luqueno, F. 2020. Effects of ZnO, TiO2 or Fe2O3 nanoparticles on the body mass, reproduction, and survival of Eisenia fetida. *Pol. J. Environ. Stud*. 29(3): 2383-2394.

Nutrición nitrogenada y su efecto sobre biomasa seca y concentración de cationes macronutrientes en pimiento

Octavio González Chávez[1]
Rubén Bugarín Montoya[2]
Gelacio Alejo Santiago[2]
Cecilia Rocío Juárez Rosete[2]

Resumen

Se evaluó el efecto de la nutrición nitrogenada en solución nutritiva, con el fin de determinar la acumulación de biomasa seca y concentración de cationes K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+} en raíces, tallos, hojas y frutos en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L. var. avante). Se utilizó la solución nutritiva de Steiner al 50 %, modificada por la inclusión de diferentes proporciones de amonio y concentración de 7.5 meq·L^{-1} de nitrógeno total. El estudio fue desarrollado bajo condiciones de invernadero en un sistema hidropónico abierto. Los tratamientos evaluados fueron cuatro relaciones NO_3^-/NH_4^+ (%): 100/0, 90/10, 80/20 y 70/30. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento. El análisis de varianza indicó que las con-

---

[1] Programa de Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias.

[2] Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. octavio.glezch@gmail.com.

centraciones de NO_3^- y NH_4^+ aplicadas en la solución nutritiva promovieron una respuesta diferencial en las variables respuesta. Los valores más altos en la acumulación de biomasa seca en tallos y frutos se obtuvieron con la relación 90/10 de NO_3^-/NH_4^+ que equivale a 0.75 meq·L^{-1} de NH_4^+ y 6.75 meq·L^{-1} de NO_3^-. Asimismo, la adición de NH_4^+ en la solución nutritiva aumentó significativamente la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} en la mayoría de los órganos de la planta, por el contrario, la concentración de K^+ se redujo de manera significativa. Se concluye que la solución nutritiva que favorece la acumulación de materia seca es la que posee una relación 90/10 de NO_3^-/NH_4^+.

Palabras clave: *Solución nutritiva, cultivo hidropónico, nutrición.*

Introducción

La nutrición nitrogenada es determinante para el crecimiento y productividad de las plantas. Las principales formas inorgánicas de nitrógeno (N) presentes en suelo son NO_3^- y NH_4^+ (Saleh *et al*., 2019). La sensibilidad de las plantas a la asimilación de NH_4^+ es un problema que limita la producción, dado que concentraciones elevadas o exclusivas de este ion, pueden provocar

trastornos fisiológicos y morfológicos que conducen a la disminución del crecimiento y toxicidad a la planta (Esteban *et al*., 2016). Sin embargo, una relación apropiada entre NO_3^- y NH_4^+ en los programas de nutrición, aumenta el crecimiento de las pantas y redimiendo de los cultivos en comparación con cualquiera de estos dos iones de forma separada (Hachiya y Sakakibara, 2017). No obstante, esta relación varía entre especies, condiciones ambientales y concentración total de N (Liu *et al*., 2017). En el contexto anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de distintas relaciones NO_3^-/NH_4^+ en la solución nutritiva sobre producción de biomasa seca y concentración de K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+} en raíces, tallos, hojas y frutos en pimiento (*Capsicum annuum* L. var. avante).

Materiales y métodos

La investigación se estableció de marzo a julio de 2017, en un invernadero tipo túnel, localizado en la Unidad Académica de Agricultura en Xalisco, estado de Nayarit. Los materiales vegetales utilizados fueron plantas de pimiento morrón tipo Blocky variedad Avante® de la casa comercial Rijk Zwaan. La siembra de

las semillas y desarrollo de las plántulas se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades. A los 40 días después de la emergencia, se realizó el trasplante en contenedores de 10 L de capacidad, con tezontle rojo como sustrato, con una granulometría ≤ 6 mm. El marco de plantación utilizado fue de doble hilera: 60 cm entre hileras, 50 cm entre plantas y 120 cm entre pasillos. Se utilizó como base la solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1984) a una concentración del 50 % y se aumentó la concentración de nitrógeno total de 6 a 7.5 meq·L^{-1}. Los tratamientos que se evaluaron fueron cuatro relaciones NO_3^-/NH_4^+ (%): 100/0, 90/10, 80/20 y 70/30, que corresponde a una concentración de 7.5//0, 6.75/0.75, 6/1.5 y 5.25/2.25 meq·L^{-1} de NO_3^- y NH_4^+ respectivamente. Las plantas se regaron mediante un sistema de riego por goteo, con un drenaje de 10 y 20 % en etapa vegetativa y floración-fructificación respetivamente para obtener una conductividad eléctrica de 1 ± 0.3 mS/cm. Se establecieron cuatro tratamientos con un diseño experimental completamente al azar, con diez repeticiones por tratamiento. Cada unidad experimental estuvo compuesta por una planta cultivada en un contenedor de 10 L de capacidad. Las

variables evaluadas fueron: biomasa seca en raíz, hoja, tallo y fruto, donde las muestras vegetales se secaron en un horno de secado a 70 °C hasta obtener peso constante. Extracción total de K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+} donde las muestras secas se utilizaron para determinar la concentración de dichos elementos mediante la metodología descrita por Alcantar y Sandoval (1999). La lectura de los extractos obtenidos se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica para Ca^{2+} y Mg^{2+} y por flamometría de llama para K^+. Para la evaluación estadística de los resultados, se realizó un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) con el paquete Statistical Analysis System (SAS®) versión 9.1.

Resultados y discusión

Biomasa seca

En referencia a la biomasa seca de raíz y hojas, no existieron diferencias estadísticas significativas entre las relaciones de NO_3^- y NH_4^+. En tallos y frutos, la mayor acumulación de biomasa se obtuvo con la relación 90/10 de NO_3^-/NH_4^+ con 16.80 y 125.25 g respectivamente. Estos resultados son similares con lo

publicado por Ma *et al*. (2020) en cultivo de pepino. El uso conjunto de NO_3^- y NH_4^+ promovió la acumulación de biomasa seca a diferencia de las plantas tratadas únicamente con NO_3^-, sin embargo, concentraciones más altas o exclusivas de NH_4^+ pueden reducirla (Zhang *et al*., 2019); este efecto se observó en la diminución a partir de 10% de NH_4^+ (Tabla 1).

Concentración de K^+

Se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en la concentración de K^+ entre tratamientos en tallos, hojas y frutos, con 43.06, 41.33 y 26.68 $g \cdot kg^{-1}$ respectivamente, observándose que la adición exclusiva de NO_3^- en la solución nutritiva, promueve mayor acumulación de este elemento en todos los órganos (Figura 2). Esto se debe a que el K^+ funciona como contraión al NO_3^-, por tal motivo, existe una mayor absorción y acumulación de K^+ en órganos en soluciones donde el NO_3^- se utiliza como única forma de N (Cosun *et al*., 2017).

Tabla 1. Acumulación de biomasa seca en raíces, tallos, hojas y frutos de pimiento (*Capsicum annuum* L. var. avante) por efecto de la relación NO3-/NH4+ en la solución nutritiva.

Relación NO_3^-/NH_4^+	Raíces	Tallos	Hojas	Frutos
	(g/planta)			
100/0	24.29 a	14.04 ab	17.49 a	119.63 ab
90/10	22.81 a	16.80 a	13.03 a	125.25 a
80/20	23.01 a	15.76 ab	11.20 a	112.74 ab
70/30	22.42 a	12.36 b	12.11 a	107.82 b

Valores distintos en cada columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Concentración de Ca^{2+}

La mayor concentración de Ca^+ en raíces, tallos y frutos se obtuvo con la relación 90/10 NO_3^-/NH_4^+ con 18.38, 7.13 y 25.21 $g \cdot kg^{-1}$ respectivamente, mientras que la adición de NH_4^+ en la solución nutritiva no tuvo diferencias estadísticas significativas en hojas (Tabla 2). Estos resultados son similares a lo publicado por Savvas *et al*. (2006) en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L. cv. vardac), donde la incorporación de NH_4^+ en la solución nutritiva no tuvo efecto significativo sobre la concentración de Ca^+ en hojas.

Concentración de Mg^{2+}

La concentración de Mg^{2+} en raíces fue significativamente más alta con concentraciones bajas de NH_4^+ en la solución nutritiva. Sin embargo, en tallos, la concentración de Mg^{2+} aumentó conforme la concentración de NH_4^+ aumentó respecto a NO_3^-. Por el contrario, en hojas, la relación fue negativa, es decir, a mayor concentración de NH_4^+ respecto a NO_3^-, la concentración de Mg^{2+} disminuyó (Tabla 2). Resultados similares reportaron Assimakopoulou *et al*. (2019) en cultivo de col rizada (*Brassica oleraceae* L. var. acephala) donde, la concentración de Mg^{2+} en hojas disminuyó conforme aumenta la concentración de NH_4^+ en solución nutritiva.

Tabla 2. Concentración de K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+} en raíces, tallos, hojas y frutos de pimiento (*Capsicum annuum* L. var. avante) por efecto de la relación NO_3^-/ NH_4^+ en la solución nutritiva.

Relación NO_3^-/NH_4^+	Raíces	Tallos	Hojas	Frutos
		($g \cdot kg^{-1}$)		
		Potasio		
100/0	21.26 a	43.06 a	41.33 a	26.68 a
90/10	18.75 a	37.91 b	40.34 ab	26.46 a
80/20	20.86 a	36.68 b	34.02 c	25.92 b
70/30	19.88 a	34.31 b	39.93 b	25.91 b
		Calcio		
100/0	15.27 b	5.42 b	18.78 a	20.91 ab
90/10	18.38 a	7.13 a	19.72 a	25.21 a
80/20	13.58 c	7.05 a	20.27 a	19.76 b
70/30	10.89 d	6.96 a	20.28 a	20.75 ab
		Magnesio		
100/0	5.32 b	6.78 b	7.50 a	4.18 a
90/10	5.78 a	7.08 b	7.09 a	4.29 a
80/20	5.70 a	7.09 b	4.90 b	4.28 a
70/30	5.44 b	7.86 a	4.05 c	4.25 a

Valores distintos en cada columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Conclusiones

La adición de NH_4^+ en la solución nutritiva afectó las concentraciones de K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+} en la mayoría de los órganos de la planta, aumentado de manera significativa las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} y disminuyendo la concentración de K^+. De igual manera, la mejor respuesta en la acumulación de biomasa seca en tallos y frutos se obtuvo con la relación porcentual 90/10 de NO_3^-/NH_4^+ en la solución nutritiva, que equivale a 6.75/0.75 meq·L^{-1}, la cual, es un excelente indicador de rendimiento para pimiento.

Literatura citada

Alcántar, G. G. y Sandoval, M. V. (1999). Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial. Núm. 10. SMCS. Chapingo, México. 150 p.

Assimakopoulou, A., Salmas, I., Kounavis, N., Bastas, A. I., Michopoulou, V., & Michail, E. (2019). The Impact of Ammonium to Nitrate Ratio on the Growth and Nutritional Status of Kale. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), 848-859.

Coskun, D., Britto, D. T., & Kronzucker, H. J. (2017). The nitrogen–potassium intersection: membranes, metabolism, and mechanism. *Plant, cell & environment*, 40(10), 2029-2041.

Esteban, R., Ariz, I., Cruz, C., & Moran, J. F. (2016). Mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance. *Plant Science*, 248, 92-101.

Hachiya, T., & Sakakibara, H. (2017). Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants. *Journal of Experimental Botany*, 68(10), 2501-2512.

Liu, G., Du, Q., & Li, J. (2017). Interactive effects of nitrate-ammonium ratios and temperatures on growth, photosynthesis, and nitrogen metabolism of tomato seedlings. *Scientia Horticulturae*, 214, 41-50.

Ma, C., Ban, T. T., Gao, Y. N., Yu, H. J., Li, Q., Li, X. H., Deng, Y., & Jiang, W. J. (2020). Different nitrogen forms on the growth and nitrogen utilization of cucumber. *Journal of Agricultural and Crop Research*, 8(5), 90-97.

Saleh, S., Liu, G., Liu, M., Liu, W., He, H., & Abdelhamid, M. T. (2019). Do NH 4: NO 3 ratio and harvest time affect celery (Apium graveolens) productivity and product quality?. *Folia Horticulturae*, 31(2), 343-353.

Savvas, D., Passam, H. C., Olympios, C., Nasi, E., Moustaka, E., Mantzos, N., & Barouchas, P. (2006). Effects of ammonium nitrogen on lettuce grown on pumice in a closed hydroponic system. *HortScience*, 41(7), 1667-1673.

Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In: I. S. O. S. C. Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. The Netherlands. pp. 633-649.

Zhang, J., Lv, J., Dawuda, M. M., Xie, J., Yu, J., Li, J., Zhang, X., Tang, C., Wang, C., & Gan, Y. (2019). Appropriate ammonium-nitrate ratio improves nutrient accumulation and fruit quality in pepper (Capsicum annuum L.). *Agronomy*, 9(11), 683.

Productividad del cultivo de tomate con diferentes manejos agronómicos en condiciones de riego deficitario

Luis Eduardo Tamayo Ruiz[1]
Rafael Delgado Martínez[1]
Efraín Neri Ramírez[1]

Resumen

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), tiene importancia tanto económica y nutricional, pero el manejo agronómico puede promover la mejora en el rendimiento de fruto. En esta investigación se evaluaron manejos agronómicos plantas injertadas, injertadas + 20mg NPCu (nanopartículas de cobre) y 20mg NPCu sobre el crecimiento, rendimiento y productividad de agua de híbridos de tomate; Aquiles, Cuauhtémoc, Mesías, Moctezuma, en condiciones de RD al 75% y 50%. En condiciones de invernadero se efectuó el ensayo, en la Universidad Autónoma de Tamaulipas en la Facultad de Ingeniería y Ciencias. En el periodo de noviembre 2019 y abril 2020. La estimación de riego de realizó a partir de la estimación de evapotranspiración de referencia de Penman-Monteith. Se realizaron los injertos a través del método de empalme. Las variables evaluadas incluyeron; altura de plan-

[1] Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias.

ta, peso total de fruto y eficiencia del uso de agua. Debido a las características análogas de los híbridos el comportamiento fue similar, en contraste, las plantas injertadas promovieron mayor peso total de fruto y eficiencia en el uso del agua. Las condiciones de RD50% no redujo el rendimiento comparado con el RD 75%, además obtuvo un índice de productividad de agua favorable. Los híbridos evaluados tuvieron un comportamiento similar, sin embargo, cuando se utilizó el injerto, NPCu y en combinación se obtuvieron mayores rendimientos de fruto a diferencia de plantas sin esos manejos agronómicos. El volumen de RD50% equiparó en cuanto al rendimiento al RD75%.

Palabras clave: *déficit de riego, nanopartículas, injertos vegetales, uso eficiente del agua, bioestimulantes*.

Introducción

El tomate es una hortaliza de importancia económica y alimentaria en el mundo. Sin embargo, el rendimiento de fruto puede mejorar por las condiciones de manejo de cultivo, como injerto, aplicaciones exógenas de fertilizantes o bioestimulantes (nanopartículas) y riego (Wu *et al.*, 2021).

El injerto es una técnica de modificación del crecimiento de las plantas, que aumenta el rendimiento (Melnyk y Meyerowitz 2015), permite la tolerancia/resistencia a factores bióticos como patógenos del suelo, y abióticos; como la salinidad, temperatura y el estrés hídrico (Rivero *et al.,* 2003, Schwarz *et al.,* 2010). El riego deficitario surge como una alternativa ante el estrés hídrico debido a la evidente problemática de escasez de agua, la técnica promueve cambios en la actividad estomática lo que permite el aumento de la eficiencia en el uso del agua de riego (Castel Sánchez y González Altozano 2003, Agbna *et al.,* 2017). Por otro lado, se ha reportado que la aplicación de nanopartículas tiene efectos positivos sobre el rendimiento, el aumento de la biomasa aérea, así como los cambios en la capacidad fotosintética en el cultivo de tomate (Morales-Espinoza *et al.,* 2019). El objetivo de esta investigación fue evaluar el crecimiento, rendimiento y productividad de agua de híbridos de tomate injertados, no injertados y la aplicación de nanopartículas de cobre en condiciones de riego deficitario.

Materiales y Métodos

Se realizó el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma de Tamaulipas en la Facultad de Ingeniería y Ciencias, Ciudad Victoria, Tamaulipas. En el periodo noviembre 2019 – abril 2020.

El material vegetal utilizado fueron los híbridos de tomate; Aquiles, Cuauhtémoc, Mesías y Moctezuma (Harris Moran, Davis, CA, USA) de crecimiento indeterminado. Fueron injertados los híbridos sobre el portainjerto; Colosus RZ F1. Para la obtención de plántulas se utilizaron charolas de germinación y fueron trasplantadas 36 días después de la emergencia en bolsas de polietileno. Se utilizó un suelo de textura franco-arenosa; pH de 7.8 y conductividad eléctrica de 1.8 mS/cm.

Se utilizó el método de empalme en los injertos con un corte de 45° de inclinación y se utilizaron cuchillas de acero de doble filo para los cortes, se realizó la sujeción de los tallos con *clips* de silicón para injertos. Se ingresaron a una cámara de prendimiento durante 14 días con condiciones de humedad relativa promedio de 80% y temperaturas promedio de 27 y 17 °C.

Por vía foliar fueron aplicadas las NPCu, estas tenían un diámetro promedio de 25 nm. Se utilizó un atomizador para las aplicaciones de 20 mg/planta divididas en dos aplicaciones. La primera aplicación se realizó 30 días posteriores al trasplante y la segunda aplicación 46 después del trasplante; en la fase inicial de llenado de fruto

Desde el inicio hasta la finalización del experimento se aplicó un riego de forma diaria, a través de un sistema de riego por goteo, con el volumen requerido de acuerdo con el tratamiento. Los niveles de riego fueron calculados a partir de la evapotranspiración de referencia con la ecuación *Penman-Monteith* FAO 56. (Allen *et al.,* 2006) y se utilizó la solución nutritiva Steiner para el suministro de nutrientes a las plantas (Steiner 1961). La dosis promedio del riego deficitario al 75% (RD75) de agua para el cultivo después del desarrollo, floración y llenado de frutos correspondió a 410.9, 616.8 y 1679 mL, respectivamente y para la dosis promedio de riego deficitario al 50% (RD50) fue de 283.2, 411.2 y 1119.4 mL.

Altura, rendimiento e índice de productividad de agua

La medición de estas variables se realizó 132 días posteriores al inicio conjunto de los tratamientos, y fueron registrados los valores de todas las unidades experimentales. Se utilizó una cinta métrica graduada en cm para la altura de planta. El peso total de fruto por planta correspondió a la suma total de los pesos individuales de los frutos, donde fueron considerados los primeros seis racimos y se representó en kilogramos por planta (kg/planta). Esta variable fue útil para la determinación eficiencia del uso del agua y se representó en kilogramos de fruto por metro cúbico de agua (kg/m^3).

Diseño experimental y análisis estadísticos

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones con un arreglo factorial 4×4×2, donde los factores estudiados fueron híbridos; Aquiles, Cuauhtémoc, Mesías y Moctezuma, tres manejos agronómicos, además de un tratamiento control; aplicación de NPCu, plantas injertadas e injertadas + NPCu. Dos niveles de agua, de 75% y 50% fueron

aplicados a modo de riego deficitario. Se utilizó el programa estadístico *InfoStat* versión 2020 para el análisis de varianza y cuando hubo significancia en los tratamientos se usó la comparación de medias a través de la prueba de Tukey con nivel de significancia de 0.05.

Resultados y Discusión.

Evaluación de los híbridos

Los híbridos evaluados presentaron diferencia significativa para altura de planta y eficiencia del uso del agua (Cuadro 1). El híbrido Aquiles presentó mayor altura de planta comparado con los híbridos, Cuauhtémoc, Mesías y Moctezuma en un 12.2%, 10% y 9.7%, respectivamente. Estos porcentajes no se alejan demasiado del híbrido más destacado, esto se le puede atribuir a carga genética similar entre los híbridos, ya que comparten características análogas (Cortez y Montejo 2020).

El hábito de crecimiento determina la altura de los cultivares de tomate, esta pueden variar en función de las condiciones ambientales (Chapagain *et al.*, 2020), sin embargo, la evaluación de híbridos puede enfocarse hacía el potencial productivo y el

desempeño ante una proyección no experimental, por lo que se requiere determinar la viabilidad en condiciones particulares (Cortez y Montejo 2020). La altura de plantas del tratamiento control superó a los tratamientos de plantas injertadas e injertadas + NPCu en un 18.1% y 14.7%, respectivamente (Cuadro 2). Las características intrínsecas del portainjerto puede influenciar en la altura de la planta injertada (Soare *et al.,* 2018). Los resultados indicaron que las plantas injertadas constituyeron el mejor tratamiento, para el peso total de fruto, el cual fue superior al tratamiento control y la aplicación de NPCu en un 16.2% y 14.2%, respectivamente. Lo anterior se sustenta en el vigor de los portainjertos, el cual puede incrementar significativamente el rendimiento de tomate bajo condiciones de riego por goteo (Djidonou *et al.,* 2013, Ramírez-Jiménez *et al.,* 2020). Aunque las nanopartículas de cobre pueden ser una alternativa potencial para incrementar la productividad del cultivo de tomate (Hernández-Hernández *et al.,* 2019), en este experimento la aplicación las NPCu no tuvo un efecto favorable para el rendimiento, sin embargo no

se descarta la posibilidad de la utilización en conjunto con plantas injertadas.

Adicionalmente la eficiencia del uso de agua fue mayor en plantas injertadas comparados con el tratamiento control y NPCu en un 15.8% y 13.2% respectivamente. Cuando existe una interacción positiva o compatibilidad entre el injerto y el portainjerto, permite que la eficiencia del uso de agua, tenga índices favorables comparados con plantas no injertadas (Djidonou *et al.,* 2013), debido a que el portainjerto puede desempeñarse en condiciones de déficit hídrico, a través de la regulación de la conductancia estomática, es posible que se reduzcan los niveles de agua requeridos por la planta (Nilsen *et al.,* 2014).

Cuadro 1. Evaluación del crecimiento y rendimiento de híbridos de tomate.

Híbrido	AP(cm)	PTF (kg)	EUA (kg/m³)
Aquiles	212.09 a	2.56 a	23.60 a
Cuauhtémoc	189.06 b	2.39 a	22.27 a
Mesías	192.75 b	2.62 a	24.28 a
Moctezuma	193.25 b	2.42 a	22.65 a

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, Tukey (p=0.05). H=híbrido, AP= altura de planta, PTF= peso total de fruto, EUA= eficiencia del uso del agua.

Los tratamientos de riego deficitario no afectaron a la variable peso total de fruto (Cuadro 3). En contraste, el RD50 fue superior en eficiencia del uso del agua con 47.7%, comparado con el RD75, por lo que productividad de agua obtenida en este ensayo experimental fue satisfactorio para el nivel de riego deficitario RD50. La eficiencia del uso del agua puede variar año con año, aún bajo esa condición los índices serán inferiores conforme los niveles de agua se acerquen al riego óptimo o ideal (Patanè *et al.*, 2011).

Cuadro 2. Evaluación del crecimiento y rendimiento de plantas de tomate con aplicación de NPCu, injertadas e injertadas + NPCu.

Tratamiento	AP (cm)	DT (cm)	PTF (kg)	EUA (kg/m^3)
T0	212.28 a	0.87 b	2.35 b	21.83 b
NPCu	210.06 a	0.83 b	2.39 b	22.35 b
Injertado	179.78 b	0.96 a	2.73 a	25.29 a
Injertado + NPCu	185.03 b	0.94 a	2.51 ab	23.34 ab

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, Tukey (p=0.05). T0= control, NPCu= plantas con aplicación de nanopartículas de cobre. AP= altura de planta, DT=diámetro de tallo, PTF= peso total de fruto, EUA= eficiencia del uso del agua.

Conclusiones

Un comportamiento similar fue observado en los híbridos, posiblemente a su análoga carga genética. Las plantas injertadas seguido por las injertadas + NPCu obtuvieron mayor rendimiento e índice de productividad de agua, por lo que pueden contemplarse como una alternativa potencial en el ámbito de rendimiento y el uso eficiente de agua de riego. Es posible equiparar el rendimiento obtenido del RD75 con el RD50, a pesar de que este último constituyó menor volumen de riego.

Cuadro 3. Evaluación del crecimiento y rendimiento de plantas de tomate bajo dos condiciones de riego deficitario; RD75 y RD50.

Riego deficitario	AP (cm)	PTF (kg)	EUA (kg/m^3)
RD75	203.80 a	2.51 a	18.73 b
RD50	189.78 b	2.48 a	27.67 a

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, Tukey (p=0.05). RD=riego deficitario, 75 y 50= representan el nivel de riego deficitario aplicado. AP= altura de planta, PTF= peso total de fruto, EUA= eficiencia del uso del agua.

Literatura citada

Agbna, G.H.D., Dongli, S., Zhipeng, L., Elshaikh, N.A., Guangcheng, S., and Timm, L. C. 2017. Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. *Scientia Horticulturae*. 222: 90–101.

Allen, R., Pereira, L., Raes, D., and Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56.:48 Disponible en: http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/009/x0490s/x0490s02.pdf.

Castel Sánchez, J., and González Altozano, P. 2003. Riego deficitario controlado en "Clementina de Nules". I: efectos sobre la producción y la calidad de la fruta. *Spanish journal of agricultural research*. 1: 81–92.

Chapagain, T.R., Shrestha, A.K., Sharma, M.D., Tripathi, K.M., and Srivastva, A. 2020. Growth, Yield and Biochemical Characteristics of Tomato (Solanum lycopersicum L.) Genotypes under Seasonal Heat Stress. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*. 6: 22–29.

Cortez, M. del P.M., and Montejo, N.C. 2020. Agronomic Behavior of Six Saladette Tomato Hybrids Grown under Shade Mesh. *Annual Research & Review in Biology*. 35: 45–52.

Djidonou, D., Zhao, X., Simonne, E.H., Koch, K.E., and Erickson, J.E. 2013. Yield, water-, and nitrogen-use efficiency in field-grown, grafted tomatoes. *HortScience*. 48: 485–492.

Hernández-Hernández, H., Quiterio-Gutiérrez, T., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., Hernández-Fuentes, A.D., De La Fuente, M.C., Valdés-Reyna, J., and Juárez-Maldonado, A. 2019. Impact of selenium and copper nanoparticles on yield, antioxidant system, and fruit quality of tomato plants. *Plants*. 8.

Melnyk, C.W., and Meyerowitz, E.M. 2015. Plant grafting. *Current Biology*. 25: R183–R188.

Morales-Espinoza, M.C., Cadenas-Pliego, G., Pérez-Alvarez, M., Hernández-Fuentes, A.D., De La Fuente, M.C., Benavides-Mendoza, A., Valdés-Reyna, J., and Juárez-Maldonado, A. 2019. Se nanoparticles induce changes in the growth, antioxidant responses, and fruit quality of tomato developed under NaCl stress. *Molecules*. 24.

Nilsen, E.T., Freeman, J., Grene, R., and Tokuhisa, J. 2014. A rootstock provides water conservation for a grafted commercial tomato (solanum lycopersicum L.) line in response to mild-drought conditions: A focus on vegetative growth and photosynthetic.

Patanè, C., Tringali, S., and Sortino, O. 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Scientia Horticulturae*. 129.

Ramírez-Jiménez, J.A., Barrera-Sánchez, C.F., and Córdoba-Gaona, O. de J. 2020. Yield and yield components of tomato grafted plants in the high Andean region of Colombia Rendimiento y componentes del rendimiento en plantas injertadas de tomate en la región alto Andina en Colombia. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*. 14: 375–384.

Rivero, R.M., Ruiz, J.M., and Romero, L. 2003. Role of grafting. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 1: 70–74.

Schwarz, D., Rouphael, Y., Colla, G., and Venema, J.H. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*. 127: 162–171.

Soare, R., Dinu, M., and Babeanu, C. 2018. The effect of using grafted seedlings on the yield and quality of tomatoes grown in greenhouses. *Horticultural Science*. 45: 76–82.

Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*. 15: 134–154.

Wu, Y., Yan, S., Fan, J., Zhang, F., Xiang, Y., Zheng, J., and Guo, J. 2021. Responses of growth, fruit yield, quality, and water productivity of greenhouse tomato to deficit drip irrigation. *Scientia Horticulturae*. 275: 109710

Variación del cambio climático con respecto al trópico de Cáncer

Ramiro Chávez-Mota
Juan M. Enciso-Medina

Resumen

Se analizaron las temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales calculadas de las temperaturas diarias reportadas por el Servicio Meteorológico Nacional en todo el territorio nacional. Se usaron solamente aquellas que tenían registros de 30 años consecutivos o más en el periodo de 1902-2012, las cuales fueron 1777 estaciones, de las cuales, 465 ubicadas en sobre el trópico de cáncer (parte norte) y 1312 abajo de éste (parte sur). Para identificar con exactitud el punto de cambio de la temperatura en cada una de las estaciones, se usó un algoritmo interactivo para ubicar el año en el cual sucedió el mayor cambio en el periodo. Esto se hizo dividiendo interactivamente el periodo en dos partes de al menos 5 años cada una. Las dos partes elegidas fueron las que proporcionaron la mayor diferencia estadística en sus medias de temperaturas (p-value menor) usando la prueba t de Student. Una vez teniendo el menor p-value, este se compara con el nivel de significancia α=0.10. En la parte norte, tanto en temperaturas máximas como mínimas se encontró un cambio

significativo en el 90% de las estaciones. En temperaturas máximas el 52% se incrementó, el 38% se decrementó y el 10% permaneció igual. En temperaturas mínimas fueron 43%, 47% y 10% respectivamente. En la parte sur, tanto en las temperaturas máximas como en las mínimas se encontró un cambio significativo en el 92% de las estaciones. En temperaturas máximas el 59% se incrementó, el 33% se decrementó y el 8% permaneció igual. En temperaturas mínimas fueron 43%, 49% y 8% respectivamente.

Palabras clave: *Cambio climático; trópico de cáncer*.

Introducción

Saber con exactitud el punto de cambio de la temperatura en cada una de las regiones del país, si es que existe, es sumamente importante para tomar las medidas de mitigación más adecuadas. Además, es importante saber cómo este cambio de temperaturas se relaciona con otras variables tales como la altitud. En México existen diferentes estudios de los cambios de las temperaturas, sus tendencias, su geografía, consecuencias y diferentes formas de mitigación. Entre ellos podemos mencionar el de Pavia *et al* (2009) y Englehart y Douglas (2004). Para el estudio

del cambio climático se usan bases de datos diversas con varias variables por lo que se vuelve difícil el manejo de gran cantidad de información. Por esta razón, en el presente trabajo se usó programación en el lenguaje de alto nivel VBA (Visual Basic para Aplicaciones) para el manejo y análisis de la información. También se usaron varias técnicas estadísticas tanto paramétricas (t de Student) como no paramétricas (Welch), reportadas en Haan (2002) para establecer si la diferencia de las medias de las temperaturas es significativa. La combinación de pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas, además de herramientas de programación aplicadas a la identificación del cambio climático y búsqueda de las relaciones que existen con otras variables son las principales ventajas del presente estudio.

Materiales y métodos

Se usaron las estaciones meteorológicas de la página del Servicio Meteorológico Nacional del año 1902 al año 2012 que tenían al menos 30 años de registro con todas sus observaciones diarias.

Para la detección del cambio en las temperaturas se usó un algoritmo interactivo programado en el lenguaje de alto nivel VBA (Visual Basic para Aplicaciones) que viene integrado a Excel. El cual se describe a continuación.

La información de cada una de las estaciones se dividió en dos intervalos, siendo el año de partición aquel en el cual las medias de los dos intervalos tuvieran la diferencia máxima estadística, la cual ocurre para el p-value menor de la prueba estadística usada. Al comparar las medias, para los conjuntos de datos que cumplen con el requisito de igualdad de varianzas (homocedasticidad) utilizó la prueba t de Student. Para los datos con varianzas diferentes se usó el método de Welch el cual usa la ecuación 1 para calcular los grados de libertad y posteriormente se usa la prueba t de Student. El p-value se compara con el α usada para definir si el cambio en temperaturas es significativo o no. En todas las comparaciones se usó un nivel de significancia de $\alpha = 0.10$.

Ecuación 1. $$g.l. = \left[\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{\left(S_1^2/n_1 \right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(S_2^2/n_2 \right)^2}{n_2 - 1}} \right]$$

Para ver si existía alguna relación de la altitud con los cambios de temperatura se usó como umbral geográfico al trópico de cáncer y se compararon los cambios de las temperaturas de las estaciones ubicadas sobre (parte norte) y debajo de éste (parte sur). De un total de 1777 estaciones analizadas, 465 se ubican en la parte norte y 1312 en la parte sur.

Resultados y discusión

En las figuras 1 y 2 se muestran en forma espacial las estaciones y el tipo de cambio encontrado en las temperaturas tanto máximas como mínimas. En general se puede apreciar que las temperaturas máximas experimentan un cambio positivo (incremento) a lo largo de todo el país. Mientras que, las temperaturas

mínimas experimentan un cambio negativo. Ambas temperaturas tienen el cambio más intenso en la parte sur del país.

En general hubo un cambio significativo en las temperaturas tanto máximas como mínimas (norte: 90% (para ambas) y sur: 92% (para ambas)). En el análisis de las temperaturas máximas, en todos los meses hubo una marcada predominancia de las estaciones donde hubo un incremento significativo sobre las que tuvieron un decremento (norte: 52% vs 38% y sur: 59% vs 33%). (Cuadro 1).

En el análisis de las temperaturas mínimas ocurrió lo contrario. En casi todos los meses predominaron las estaciones donde hubo un decremento significativo de las temperaturas sobre las estaciones donde hubo un incremento. En promedio (norte: 47% vs 43% y sur: 49% vs 43%). Aunque en la parte sur es más intenso el cambio (49% vs 42%). (Cuadro 2).

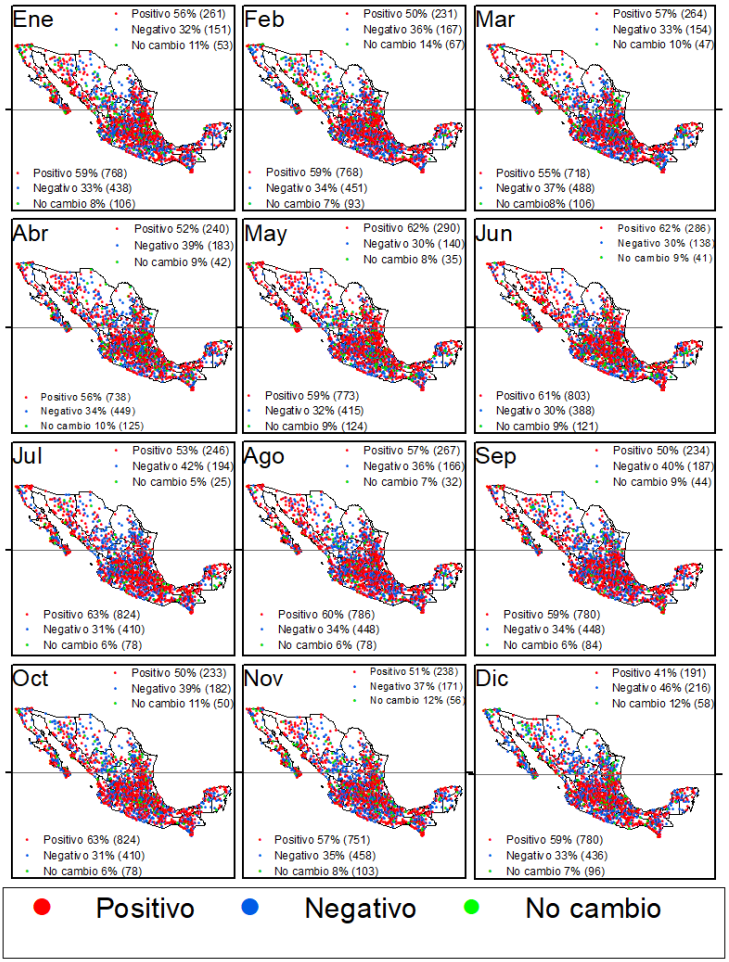


Figura 1. Porcentaje y número y estaciones con cambio positivo, negativo y sin cambio para temperaturas máximas en la parte norte y en la parte sur para todos los meses del año.

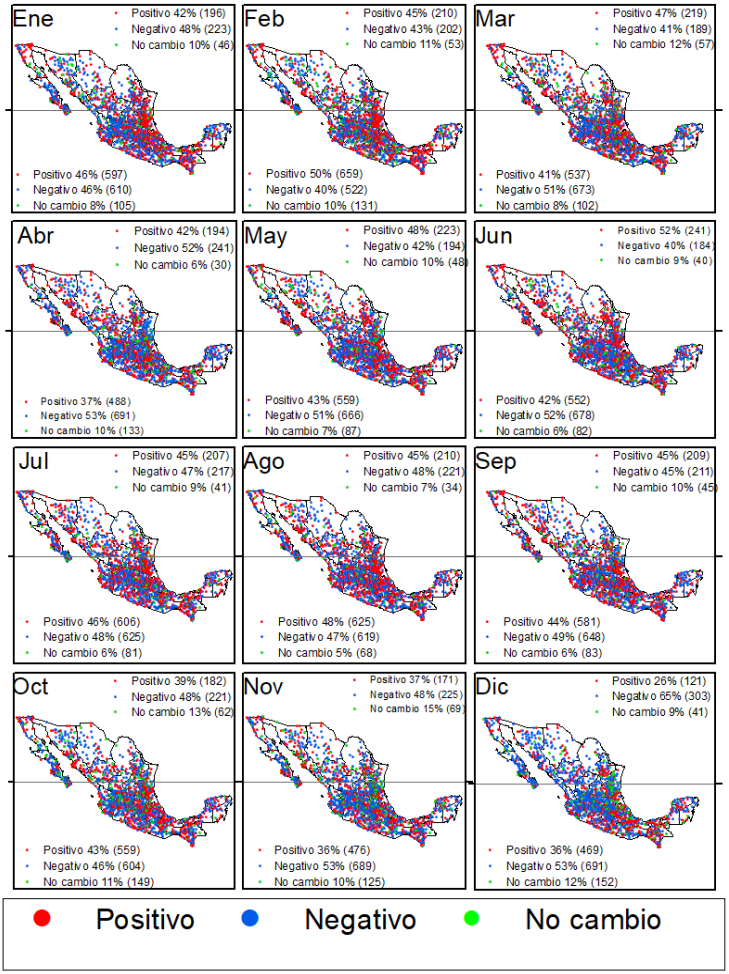


Figura 2. Porcentaje y número y estaciones con cambio positivo, negativo y sin cambio para temperaturas mínimas en la parte norte y en la parte sur para todos los meses del año.

Cuadro 1. Porcentaje de las estaciones que sufrieron un cambio positivo o negativo en sus temperaturas máximas (incremento o decremento) tanto en la parte norte como en la parte sur. Los porcentajes de rojo son los meses donde el cambio positivo es mayor o igual al cambio negativo.

TEMPERATURAS MÁXIMAS PARTE NORTE													
Cambio (%)	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**PROMEDIO**
Positivo	56	50	57	52	62	50	53	57	50	50	51	41	52
Negativo	32	36	33	39	30	39	42	36	40	39	37	46	38
Sin cambio	11	14	10	9	8	11	5	7	9	11	12	12	10
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

TEMPERATURAS MÁXIMAS PARTE SUR													
Cambio (%)	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**PROMEDIO**
Positivo	59	59	55	56	59	61	63	60	59	63	57	59	59
Negativo	33	34	37	34	32	30	31	34	34	31	35	33	33
Sin cambio	8	7	8	10	9	9	6	6	6	6	8	7	8
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

El criterio para establecer la mayor diferencia fue el menor p-valor que se calculó al hacer la comparación de las temperaturas de ambos periodos usando la prueba estadística t de Student. En algunas estaciones hubo varios periodos en los cuales había una diferencia significativa entre las medias de ambas poblaciones usando un nivel de significancia del diez por ciento (α=0.10), pero se tomaron los periodos en los cuales la diferencia entre ambas medias era mayor (p-valor menor).

Los resultados de la relación de entre el cambio en la temperatura y la altitud se pueden apreciar en los cuadros siguientes.

Cuadro 2. Porcentaje de las estaciones que sufrieron un cambio positivo o negativo en sus temperaturas mínimas (incremento o decremento) tanto en la parte norte como en la parte sur. Los porcentajes de rojo son los meses donde el cambio negativo es mayor o igual al cambio negativo.

TEMPERATURAS MÍNIMAS													
PARTE NORTE													
Cambio (%)	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**PROMEDIO**
Positivo	42	45	47	42	48	52	45	45	45	39	37	26	43
Negativo	48	43	41	52	42	40	47	48	45	48	48	65	47
Sin cambio	10	11	12	6	10	9	9	7	10	13	15	9	10
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TEMPERATURAS MÍNIMAS													
PARTE SUR													
Cambio (%)	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**PROMEDIO**
Positivo	46	50	41	37	43	42	46	48	44	43	36	36	43
Negativo	46	40	51	53	51	52	48	47	49	46	53	53	49
Sin cambio	8	10	8	10	7	6	6	5	6	11	11	12	8
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Conclusiones

El porcentaje de las estaciones que se están calentando, tanto en la parte norte como en la parte sur, es mayor con respecto a

las que se están enfriando (norte: 52 vs 38 y sur: 59 vs 33). Aunque en la parte sur es más intenso el cambio (59 vs 52).

El porcentaje de las estaciones que se están enfriando, tanto en la parte norte como en la parte sur, es mayor con respecto a las que se están enfriando (norte: 47 vs 43 y sur: 49 vs 43). Aunque en la parte sur es más intenso el cambio (49 vs 42).

Literatura citada

Englehart, Phil J. and Arthur V. Douglas. 2004. Characterizing regional-scale Variations in Monthly and Seasonal Surface Air Temperature Over Mexico. *International Journal of Climatology* 24, no. 15 (2004): 1897-1909.

Haan, Charles Thomas. 2002. Statistical Methods in Hydrology. (2002).

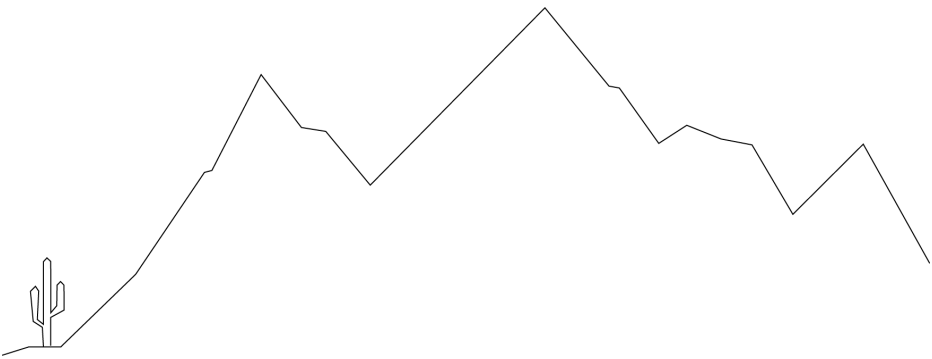
Pavia, Edgar G., Federico Graef, and Jorge Reyes. 2009 Annual and Seasonal Surface Air Temperature Trends in Mexico. *International Journal of Climatology* 29, no. 9 (2009): 1324-1329.

Solomon, Susan. 2007. Climate Change 2007-the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Vol. 4 Cambridge University Press, 2007.

Yue, Sheng and Chun Yuan Wang. 2002. Applicability of Prewhitening to Eliminate the Influence of Serial Correlation on the Mann-Kendall Test. *Water Resources Research* 38, no. 6 (2002): 4-1-4-7.

MESA 3

APROVECHAMIENTO DEL RECURSO SUELO



Acervo orgánico de fósforo: factor determinante en la productividad forestal y agrícola de suelos ácidos

Daniel Tinoco Varela[1]
Jeannette Sofía Bayuelo Jiménez[1]

Resumen

La transformación del bosque a sistemas agrícolas intensivos afecta las propiedades y ciclaje de fósforo (P). El objetivo fue comparar las formas de P de un Andisol con uso forestal y agrícola en Pablo Cuin, Michoacán. Se incluyó una muestra compuesta de un suelo ácido de un huerto de aguacate (*Persea americana*, Mill.) y un bosque adyacente. El suelo se fraccionó secuencialmente después de un periodo de 7 y 28 días de incubación y se estimó la concentración de P en cada fracción y el P microbiano. El P inorgánico fue la forma predominante en el suelo con manejo agrícola (78%). El P orgánico, por el contrario, estuvo mejor representado en el suelo de bosque (48%). Adicionalmente, la proporción de P microbiano del P total en el suelo de bosque fue del 7.5% y constituyó una reserva potencial de P biodisponible en sistemas naturales y agrícolas.

---

[1] Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 1425965j@umich.mx.

Palabras clave: *Uso diferencial del suelo, fraccionamiento de Hedley, Andisoles*.

Introducción

La ampliación de la frontera agrícola promueve una pérdida sensible de la cobertura forestal (60% equivalente a 7.8 millones de hectáreas) y el deterioro del suelo, esto a causa de una creciente población humana y la demanda de alimentos (Chakravarty *et al*., 2012). En general, la transformación del suelo de un sistema natural a uno agrícola altera la dinámica de nutrientes esenciales y sus propiedades biogeoquímicas y biológicas (Maranguit *et al*., 2017; Bessou, 2018). El fósforo (P) es el segundo nutriente más restrictivo en sistemas de uso agrícola. En suelos ácidos, su disponibilidad en solución es menor a 2 mg P kg^{-1} (Takahashi y Dahlgren, 2016) debido a su alta adsorción y/o precipitación con Fe y Al (estringita y variscita) (Takahashi y Dahlgren, 2016). Los factores antropogénicos como excesiva tala e inadecuadas prácticas agrícolas convencionales promueven que el P experimente varias reacciones físico-químicas (precipitación y adsorción), que lo transforman en formas menos solubles y de

reducida disponibilidad para la planta (Velázquez *et al*., 2016). Los Andisoles de Michoacán se destinan para un uso forestal, aunque extensas áreas (349,756 ha) se utilizan para el monocultivo de aguacate (169,939 ha) (SIAP, 2019). Esta conversión reduce la filtración de agua hacia la capa freática, mitiga la materia orgánica y eutrofiza cuerpos de agua por el uso excesivo insumos agrícolas (Bravo-Espinosa *et al*., 2012). Además, intensifica la retención de fosfato con óxidos de Al, Fe y Ca e inmoviliza los acervos de fracciones orgánicas de P (Maranguit *et al*., 2017; Bayuelo-Jiménez *et al*., 2019). La atenuación de la materia orgánica trae como consecuencia un agotamiento de la reserva de P orgánico (Po) (Maranguit *et al*., 2017). Para favorecer un adecuado funcionamiento y productividad de sistemas naturales y agrícolas depende, entre otros factores, de un correcto ciclaje de la materia orgánica y las formas de Po (Takahashi y Dahlgren, 2016) y éstos son afectados por las transformaciones en el uso del suelo. En este estudio se evaluó el efecto del uso del suelo de un sistema forestal y de monocultivo de aguacate en los acervos de P orgánico y microbiano de un Andisol de Michoacán.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El estudio se realizó en Pablo Cuin, Ario (19°13' N y 101°39' O), en Michoacán, México. El clima es de tipo templado sub-húmedo con lluvias en verano, temperatura media de 20 °C y altitud de 2000 msnm. El suelo es un Typic Hapludand (Soil Survey Staff, 1999). Este suelo presenta más del 55% de retención de fosfatos. Se eligió la localidad El Mirador de 1 ha, con dos lotes próximos, con un uso forestal (suelo nativo) y de producción de aguacate (suelo cultivado). Se realizó un muestreo de 40 puntos según un diseño de cuadros de 10 x 4 puntos separados por 30 m entre sí y una profundidad de 0-20 cm. Después de secar y tamizar las muestras, éstas se incubaron por 7 y 28 días para determinar las fracciones de P en el suelo y la biomasa microbiana. Se consideraron cuatro tratamientos de uso del suelo: Mantillo (M), suelo de bosque (B) y suelo cultivado en calle (Cc) y cajete (Cj).

Fraccionamiento secuencial del suelo

Una vez transcurridos los 7 días de incubación del suelo, se procedió a fraccionarlo (Hedley *et al*., 1982). Este método consiste en el uso de diferentes extractantes para separar secuencialmente cada muestra de suelo (0.5 g). La primera extracción se realiza con resinas de intercambio aniónico (Resina-Pi). La determinación de P inorgánico (Pi) lábil se realiza con $NaHCO_3$ 0.5M (Bic-Pi); más tarde se utiliza NaOH 0.1 M ($NaOH_{0.1}$-Pi) y NaOH 0.5 M ($NaOH_{0.5}$-Pi) para caracterizar el P adsorbido a sesquióxidos Fe/Al (Hedley *et al*., 1982). Con el HCl 1M (HCl-Pi) se extrae el P unido al calcio. La determinación del P residual se obtiene con H_2SO_4 + H_2O_2 concentrado. Las formas de P orgánico (Po) se estiman por la sustracción del P obtenido de la digestión con H_2SO_4 y de los extractos obtenidos con $NaHCO_3$ 0.5 M, NaOH 0.1 M y NaOH 0.5 M. Se utilizaron los métodos de Murphy y Riley (1962) y Dick y Tabatabai (1977), para estimar la concentración de P de los extractos ácidos y alcalinos, respectivamente.

Determinación de fósforo microbiano

Para la determinación de P microbiano, se realizó la incubación del suelo a 25 °C y 65% de humedad relativa por un periodo de 28 días. Para determinar el P microbiano, se empleó el método de Morel *et al*. (1996). En resumen, las muestras (0.5 g) se someten a una extracción secuencial, primeramente, con resinas de intercambio aniónico (Resina-Pi) y luego con $CHCl_3$ concentrado para lisar las membranas de los microorganismos.

Análisis estadístico

Los análisis se basaron en un diseño de bloques completos al azar cuyos tratamientos se arreglaron en parcelas divididas y cinco repeticiones por tratamiento. Se realizó un análisis de varianza de los datos de la concentración de Pi y Po en cada una de las fracciones de P y para cada uso de suelo. Las diferencias entre las medias de uso del suelo de cada fracción se estimaron mediante una prueba de Tukey $P \leq 0.05$ (SAS, 2000).

Resultados y discusión

En general, el P total del suelo en bosque y cajete fue mayor en relación con el suelo cultivado en calle y mantillo (Cuadro 1). Estas concentraciones coinciden con las cuantificadas en Andisoles (490 a 2,425 mg kg^{-1}) (Galván-Tejeda *et al*., 2014).

El suelo con uso agrícola (calle < cajete) obtuvo concentraciones de Pi mayores que en el suelo de bosque y mantillo. Estos valores correspondieron entre el 77.6 y 65.6% del P total, respectivamente. En el suelo de bosque y mantillo, se registró una mayor acumulación de Po (239 y 280 mg P kg^{-1}) (Cuadro 1). Es importante señalar que, en el suelo con uso forestal, las formas orgánicas de moderada labilidad representan un acervo destacable de Po (120 mg P kg^{-1}). En particular, en el suelo de bosque, se registró la mayor concentración de Po (lábiles y moderadamente lábiles) y correspondió a 46.2% del P total (Figura 1). En contraste, en el suelo cultivado, el Po solo representó el 29% del P total. Se reporta que, un porcentaje cercano al 70% de Po constituye un importante acervo de P en suelos ácidos con uso forestal (Achat *et al*., 2010). En un suelo cultivado, la proporción de Po es menor y os-

cila entre 5 y 35% (Velázquez *et al*., 2016). El P microbiano también representó un acervo importante de P en el suelo nativo de bosque (7.5% del P total). El P microbiano representa una reserva potencial de Pi biodisponible en suelos de bosque (Spohn *et al*., 2013) y de 0.6 a 1.2% en suelos cultivados (Oehl *et al*., 2004).

En el suelo de mantillo y cajete se obtuvo una alta proporción de P lábil (64.4 y 65.1 mg P kg^{-1}), que correspondió al 5 y 5.3% del P total (Cuadro 1). La fracción de P moderadamente lábil del suelo agrícola (182 mg P kg^{-1}), correspondió al 20% del P total (Figura 1). Este acervo se asoció con compuestos húmicos mayormente adsorbidos a hidróxidos y óxidos de Al y Fe (Dahlgreen *et al*., 2004). Esta fracción requiere largos procesos de transformación, pero es una fuente potencial de Pi lábil (Dahlgreen *et al*., 2004). La mayor proporción de Pi en el acervo no lábil se obtuvo en el suelo de calle (lo que representó el 66.9% del P total).

Cuadro 1. Uso del suelo y distribución de fósforo en sus diferentes acervos.

Uso	P microbial		Lábil		Mod-Lábil		No Lábil		Pi		Po		P total	
	mg P kg^{-1}													
Mantillo	1.1	c	35.6	c	156.2	c	325.0	b	277.6	c	239.2	b	518.8	b
Bosque	42.5	a	64.4	a	189.5	b	312.9	b	286.6	c	280.2	a	566.7	a
Calle	0.0	c	18.6	c	156.7	c	354.8	a	411.4	a	118.7	d	530.1	b
Cajete	12.4	b	65.1	a	208.0	a	288.1	c	372.2	b	189.0	c	561.2	a

Las medias seguidas de diferente letra entre cada fracción de fósforo difieren significativamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Las medias son el promedio de cinco repeticiones ($n = 5$).

Conclusiones

Las formas de P, distribución y disponibilidad variaron según el sistema de uso del suelo. La proporción de Pi estuvo mayormente representada en el suelo cultivado. En el suelo de bosque y mantillo, en cambio, el Po fue determinante en proveer de P biodisponible. La alta proporción de P microbiano en el suelo sugiere que este acervo es crucial en la mineralización del Po y,

consecuentemente, en la contribución de Pi lábil del suelo de sistemas naturales y agrícolas.

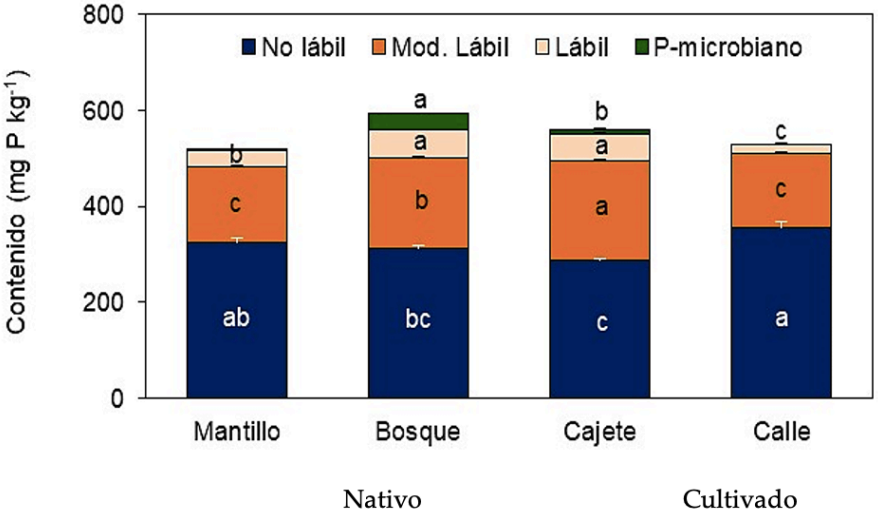


Figura 1. Formas y contenido de fósforo en un Andisol de Michoacán. Medias con letras iguales en cada acervo de fósforo, son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, 0.05).

Literatura citada

Achat, D.L., Bakker, M.R., Zeller, B., Pellerin, S., Bienaime, S. y Morel, C., (2010). Long term organic phosphorus mineralization in Spodosols under forests and its relation to carbon and nitrogen mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, 42, 1479-1490.

Bayuelo-Jiménez, J. S., Muraoka, T., de la Cruz-Torres, E., Quintero-Ponce, E., Paredes-Gutiérrez, L.C, y Zaman, M. (2019). Phosphorus fractions and dynamics as affected by land-use changes in the Central Mexican highlands. *Soil Use and Management*, 36, 240–249.

Bessou, C. (2018). Review of the impacts on soils of land-use changes induced by non-food biomass production. In: Réchauchère, O., Bispo, A., Gabrielle, B. & Makowski, D. (Eds.), *Sustainable Agriculture Reviews* 30: Environmental Impact of Land Use Change in Agricultural Systems (pp. 79-125). Cham, Switzerland: Springer.

Bravo-Espinoza, M., Mendoza, M. E., Carlón, T., Medina, L., Sáenz-Reyes, J. T. y Páez, R. C. (2012). Efects of converting forests to avocado orchards on topsoil properties in the Trans-Mexican volcanic system, Mexico. *Land Degradation and Development*, 25, 452- 467.

Chakravarty, S., Ghosh, S. K., Suresh, C. P., Dey, A. N. & Shukla, G. (2012). Deforestation: causes, effects, and control strategies. In Okia, C. A. (Ed.), *Global perspectives on sustainable forest management* (pp. 3-28). Rijeka, Croatia: Intech.

Dahlgren, R. A., Saigusa, M. y Ugolini, F. C. (2004). The nature, properties and management of volcanic soils. *Advances in Agronomy*, 82, 113-182.

Dick, W. A. y Tabatabai, M. A. (1977). Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. *Journal of Environmental Quality*, 6, 82-85.

Galván-Tejeda, N. D., Peña-Ramírez, V., Mora-Palomino, L., y Siebe, C. (2014). Soil P fractions in a volcanic soil chronosequence of Central Mexico and their relationship to foliar P in pine trees. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177, 792–802.

Hedley, M. J., Stewart, J. W. B. y Chauhan, B. S. (1982). Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal*, 46, 970-976.

Maranguit, D., Guillaume, T. y Kuzyakov, Y. (2017). Land-use affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. Catena, 149, 385-393.

Morel, C., Tiessen, H., y Stewart, J. W. B. (1996). Correction for P-sorption in the measurement of soil microbial biomass P by CHCl3 fumigation. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(12), 1699-1706.

Murphy, J. y Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in nature waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36.

Oehl, F., Frossard, E., Fliessbach, A., Dubois, D. y Oberson, A. (2004). Basal organic phosphorus mineralization in soils under different farming systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 667-675.

SAS Institute. 2000. SAS/SAT user´s guide: statistics. SAS Institute. Cary, NC, USA.

Soil Survey Staff. (1999). Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for marking and interpreting soil survey. Agriculture Handbook 436. United Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington, D. C. United States.

Spohn, M., Ermak, A. y Kuzyakov, Y. (2013). Microbial gross organic phosphorus mineralization can be stimulated by root exudates – a 33P isotopic dilution study. *Soil Biology and Biochemistry*, 65, 254–263.

Takahashi, T., y Dahlgren, R. A. (2016). Nature, properties and function of aluminum-humus complexes in volcanic soils. *Geoderma*, 263, 110-121.

Velázquez, G., Calabi-Floody, M., Poblete-Grant, P., Rumpel, C., Demanet, R., Condron, L., y Mora, M. L. (2016). Fertilizer effects on phosphorus fractions and organic matter in Andisols. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16, 294–304.

Camas biológicas en Tabasco

Verónica-Isidra Domínguez-Rodríguez[11]
Randy-Howard Adams[1]
Estefanía Hernández-Cervantes[1]
Mariana Balcazar-López[1]
Paulo-César Caamaño-Urgell[1]
José-Jesús Obrador-Olan[2]
Gabriela Méndez-Jiménez[3]
Evelyn Morillo-Contreras
Emilio-Zapata Hernández[3]
Fabricio Calderón-Jiménez[3]

Resumen

Los monocultivos son generalmente atacados por plagas, como es el caso de la sigatoka negra en el plátano, para lo cual se utiliza mancozeb para prevenir y controlar esta plaga. El uso continuo de este plaguicida puede ocasionar su acumulación en el suelo y con ello migración vertical u horizontal, afectando suelo, subsuelo y cuerpos de agua superficiales y subterráneos, debido a las características tóxicas del plaguicida al entrar en contacto con el medio y el agua. Para evitar esto último, en Tabasco se ha

[1] Universidad Juárez Autónoma de Tabasco DACBiol.

[2]Colegio de Posgraduados Campus Tabasco.

[3]Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco.

E mail ponente: tazvro@hotmail.com.

implementado la tecnología de camas biológicas, conformada por una biomezcla capaz de absorber y degradar los plaguicidas. Nuestro objetivo fue probar la tecnología de camas biológicas en las condiciones del trópico tabasqueño, implementándola a escala de campo en unidades agrícolas productoras de plátano, para ello fue necesario realizar visitas prospectivas a partir de las cuales se documentó todo el proceso de fumigación de las plantaciones para diseñar el sistema más adecuado a cada sitio. Una vez implementada la biocama, se realizó el monitoreo de parámetros de control y variables de seguimiento (toxicidad, etu, pH, MO, COS, entre otras), se capacitó a los productores sobre su uso y mantenimiento, teniendo resultados muy favorables en la degradación del plaguicida y la reducción de la toxicidad de la biomezcla gastada, lo cual hace que esta tecnología sea efectiva y con potencial de ser ampliamente implementada.

Palabras clave: *Biocamas, mancozeb, etilentiourea, biomezcla, Sigatoka*.

Introducción

La gran demanda alimentaria genera un uso excesivo de agroquímicos para satisfacerla, los plaguicidas son uno de ellos debido a que los cultivos suelen verse amenazados por plagas. Tal es el caso del monocultivo de plátano en el estado de Tabasco, que es atacado por la plaga Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), un hongo causante de daño foliar y del fruto, para prevenirlo y controlarlo actualmente se está aplicando el plaguicida mancozeb que es un etilenbisditiocarbamato (EBDC), considerado ligeramente tóxico. Sin embargo, al tener contacto con el ambiente en poco tiempo de transforma en etilentiourea (ETU) considerado tóxico y mutagénico, su vida media puede ser de 8 a 30 días según las condiciones climáticas. En las unidades agrícolas de pequeños y medianos productores se ha observado que la mezcla de fumigación se prepara cada vez en el mismo sitio, de manera quincenal (o semanal dependiendo de la época del año), debido a esto se puede llegar a bioacumular el plaguicida en el suelo y posteriormente transportarse de forma vertical u horizontal hacía las aguas subterráneas o superficiales por efecto de lluvias o escorrentías, generando así daños al ambiente (suelo, agua, fauna

acuática, salud pública), lo que hace necesaria la identificación y aplicación de tecnologías para la prevención y control de la contaminación por plaguicidas en las áreas agrícolas, como lo son las camas biológicas cuya función es la de absorber y degradar los residuos de plaguicidas derramados durante la preparación de las mezclas de fumigación, utilizando biomezclas formadas de residuos orgánicos-suelo-materia orgánica en descomposición en una proporción de 50-20-20 v/v, preferiblemente de las mismas áreas agrícolas; esta se deposita en una cavidad en el suelo, con 50 cm de profundidad y una capa de 10 cm de arcilla compactada, conservando una humedad entre 40 y 60 %. Dentro de la cama biológica se lleva el proceso de degradación del plaguicida mediante la acción de hongos lignolíticos; aunque esta es una tecnología que se viene implementando en Suecia desde la década de los 90 (Diez-Jerez *et al*., 2013), es reciente su aplicación en México, incluso a escala de campo Tabasco es el primero que reporta su implementación, nuestro objetivo ha sido probar la tecnología de camas biológicas en las condiciones del trópico tabas-

queño, esto ha sido un proceso de transferencia tecnológica al ir identificando los beneficios y limitaciones de esta tecnología.

Materiales y métodos

Las camas biológicas a escala de campo se han implementado en unidades agrícolas plataneras próximas a la ciudad de Villahermosa, Tabasco (R/a. Plátano y Cacao, R/a. Miahuatlán), que cuenta con un clima cálido húmedo, y un intervalo de temperaturas promedio durante el año que van desde 18 a 37 ºC. Estas investigaciones se han realizado durante el periodo 2016-2019. Llevando a cabo visitas prospectivas a cada unidad agrícola, documentando los procesos de fumigación, realizando entrevistas semiestructuradas a productores y trabajadores, para el diseño y ubicación de la biocama; así también se llevó a cabo un muestreo dirigido de suelo superficial con el propósito de caracterización y evaluación de la toxicidad en el área de preparación de la mezcla de fumigación y en áreas alejadas a éste. Las muestras de suelo fueron obtenidas, preservadas y tratadas de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000. Una vez desarrollado el diseño de la cama biológica, se construyeron en campo, considerando

que estamos en periodo de prueba se tomaron criterios conservadores para su implementación, como el uso de materiales de concreto y compactación mecánica de material arcilloso en el fondo. En cada unidad agrícola se han probado diferentes biomezclas, las cuales han sido monitoreadas mediante las variables de respuesta de toxicidad, ETU, pH, enriquecimiento microbiano, CE, N, MO, relación C/N, hasta el límite de su efectividad; la que inicialmente nos fue indicada por la prueba de toxicidad y concentración de ETU. Con relación a los resultados obtenidos se visionó hacía la mejora del sistema en las subsecuentes pruebas de otras biomezclas: parámetros clave de indicio de efectividad, indicadores de vida útil, detoxificación y revalorización de biomezclas gastadas e incremento de la vida útil.

Resultados y discusión

Para el análisis de enriquecimiento, de los elementos individuales la cachaza de caña es el sustrato que más crecimiento microbiano presentó, mientras que la biomezcla refleja la evidencia de que la combinación de los sustratos genera un incremento aún mayor (Figura 1). Pudiendo observar el incremento expo-

nencial el día uno, es decir la fase donde hay adaptación al nuevo medio en condiciones relativamente óptimas, con este resultado, se puede demostrar la importancia de emplear una biomezcla para el mejor funcionamiento del sistema, cumpliendo cada uno de los sustratos con su función; de acuerdo con Cortés (2012), el suelo provee la capacidad de absorción por presencia se humus y arcilla beneficiando la actividad microbiana, también es una fuente importante de microorganismos que pueden actuar en sinergia con hongos. La presencia de bacterias puede mejorar la degradación de los plaguicidas. El pizonte, por su lignina, estimula el crecimiento de hongos que la degradan y permite la formación de enzimas lignolíticas como: manganeso peroxidasa, lignina peroxidasa y lacasas, las cuales degradan diferentes plaguicidas. Y la cachaza contribuye a la capacidad de absorción, al control de la humedad y a la degradación abiótica de los plaguicidas, adicionalmente reduce el pH de la biomezcla, lo cual es favorable para los hongos y sus enzimas que degradan plaguicidas.

Al probar diferentes biomezclas en la degradación de plaguicidas empleados para la fumigación de plantaciones de plá-

tano, se encuentra que todas son efectivas para la eliminación de la toxicidad, que es una variable que generalmente no se evalúa en los sistemas; en las biomezclas probadas vemos que la vida útil va de uno a 1.8 años (Cuadro 1), lo cual nos motiva a probar otros sustratos con el propósito de incrementar la vida útil del sistema en las condiciones del trópico, considerando la ventaja que se tiene al contar con sistemas a escala de campo, puesto que la mayoría de los estudios experimentales se han hecho a escala laboratorio y basados en la cuantificación del plaguicida y no en sus efectos tóxicos. Según Gil *et al*., (2011), el quedarse a una escala laboratorio limita la evaluación de la tecnología.

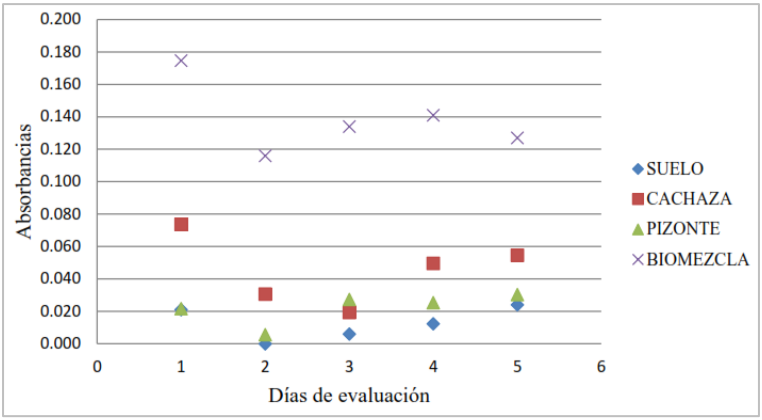


Figura 1. Enriquecimiento microbiano en sustratos individuales y biomezcla.

Cuadro 1. Respuesta de las biomezclas al final de su vida útil

Parámetro	**Fl-CC-PP[1]**	**Fl-TC-TP[2]**	**Gl-VC-MN[3]**
pH	6.9±0.19	6.9	6.93
Materia Orgánica (%)	8.9± 0.19	24.13	9.40
Toxicidad en biomezcla	Tóxica	Tóxica	Tóxica
Toxicidad (%)	***Nula***	***Nula***	***Nula***
ETU mgL^{-1}	<LD	0.06	NA
Vida útil meses (años)	12 (1)	18 (1.5)	22. (1.8)

1 Fluvisol-Cachaza de caña.Pizonte de plátano; 2 Fluvisol-Tierra de cacao-Tallo de árbol de plátano; 3 Gleysol-Viruta de cedro-Mantillo

Una vez que la biomezcla llegó a su vida útil y se extrajo para su detoxificación, se obtuvieron resultados satisfactorios, sin embargo, en el segundo mes de seguimiento se observó un incremento en la mortalidad de las lombrices, debido a que en ese mes hubo fumigación continua que cayó sobre la biomezcla, sin embargo, nuevamente se recuperó hasta no presentar mortalidad de los organismos de prueba (Figura 2), esta eliminación del efecto tóxico del contaminante se le puede atribuir a la formación de substancias húmicas por efecto de la mineralización y humificación del sustrato por efecto del postcompostaje empleado en el proceso de detoxificación de la biomezcla gastada, debido a que estas substancias pueden secuestrar moléculas orgánicas e inorgánicas y a la vez mantiene disponible los químicos tóxicos para la degradación de los microrganismos (Dimas, 2009).

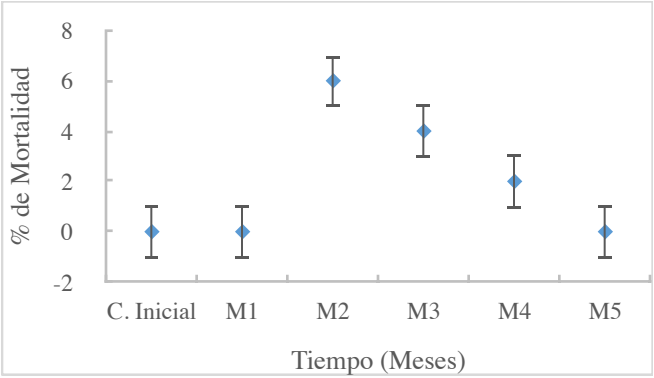


Figura 2. Detoxificación de biomezcla gastada.

Posteriormente se realizó la revalorización de la biomezcla gastada detoxificada, usándola en diferentes proporciones para la producción de flores de ornato, los resultados nos muestran que, a pesar de que la biomezcla gastada pueda considerarse un residuo del proceso de degradación de plaguicidas, por los valores obtenidos en su efectividad como abono orgánico, ésta puede emplearse para diferentes cultivos de tipo ornamental (Cuadro 2).

Cuadro 2. Revalorización de biomezcla gastada.

Tratamientos	Días de germinación	Semillas germinadas	Altura de tallo(cm)	Número de hojas	Diámetro de la flor(cm)
B 100%	7.75 ± 3.40	8 ± 0.00	22.69 ± 16.61	20 ± 9.71	10.1 ± 6.84
B75%A25%	5.00 ± 2.44	9 ±0.95	26.30 ± 18.05	23 ± 17.63	10.3 ± 7.04
B50%A50%	6.50 ± 5.19	8 ± 0.81	29.56 ± 6.21	26 ± 6.76	11 ± 2.16
B25%A75%	4.25 ± 1.50	**10** ± 0.57	30.01 ± 4.00	**30** ± 3.40	11 ± 1.15
B75%F25%	8.00 ± 8.12	7 ± 0.50	10.01 ± 15.40	17 ± 15.09	7.8 ± 5.80
B50%F50%	6.75 ± 2.06	8 ± 0.81	26.96 ± 8.14	20 ± 8.18	10 ± 2.83
B25%F75%	6.75 ± 4.27	8 ± 0.81	18.33 ± 13.36	15 ± 10.69	8 ± 5.43
P75%A35%	7.00 ± 2.30	6 ± 0.57	21.22 ± 16.09	20 ± 13.40	8.6 ± 6.34
P50%A50%	4.25 ± 1.50	8 ± 0.81	27.47 ± 7.25	26 ± 7.14	9.9 ± 2.72
P25%A75%	3.75 ± 2.50	6 ± 1.29	16.35 ± 12.14	21 ± 14.41	5.9 ± 4.21
P75%-F25%	5.75 ± 1.50	7 ± 0.95	**33.96** ± 4.43	29 ± 3.20	**14.6** ± 2.87
P50%-F50%	**3.00** ± 2.44	9 ± 1.50	26.74 ± 18.68	24 ± 16.46	9.3 ± 6.38
P25%-F75%	6.00 ± 3.16	5 ± 0.50	23.49 ± 4.32	24 ± 6.45	12.1 ± 0.63
Cacao 100%	13.25 ± 5.50	4 ± 0.00	4.14 ± 8.29	2 ± 4.50	2.5 ± 5.00

De esta manera se cierra el ciclo de la producción eliminando la generación de subproductos contaminados, haciendo de las camas biológicas una tecnología de producción más limpia según la definición de referida en ONUDI (2021), de ciclo cerrado al eliminar la generación de residuos.

Conclusiones

Las camas biológicas han resultado ser efectivas para la degradación de plaguicidas en el estado de Tabasco. Con una vida útil de 1 a 1.8 años según los sustratos utilizados. La biomezcla gastada que se genera en el proceso puede ser utilizada como abono orgánico de manera efectiva para la producción de vegetación de ornato, obteniendo así una tecnología de producción más limpia.

Literatura citada

Cortés, C.R., (2012). Alternativas de tratamiento de aguas residuales con plaguicidas de actividades agrícolas. (Tesis de pregrado). Universidad industrial de Santander. Facultad de ingeniería fisicoquímica. Bucaramanga.

Diez-Jerez, M. C., Palma-Cifuentes, G., Altamiran- Quijada, C., Díaz-Sánchez, J., RubilarAraneda, O., y Tortella-Fuentes, G. (2013). Manual de Construcción y Operación de Lechos Biológicos (Universidad de la Frontera,

Instituto de Agroindustria). Chile. Recuperado de: https://lechosbiologicos.files.wordpress.com/2013/08/manual.pdf

Dimas, R., (2009). Interacción de los ácidos húmicos con fertilizante orgánico e inorgánico en la sal del suelo. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria. Coahuila, Mexico.

Gil, A., Mendizábal, A.L., Prado, F., y Del Pilar, M., (2011). Evaluación de la degradación de fungicidas en camas biológicas. Proyecto FODECYT No.022-2006. Recuperado de glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202006.22.pdf

ONUDI. (2021). Organización de las naciones unidas para el desarrollo industrial. Obtenido de https://www.unido.org/sites/default/files/2008-06/1-Textbook_0.pdf.

Comportamiento del pH y conductividad eléctrica en camas biointensivas sembradas con frijol y lechuga

Ramón Díaz Ruiz
Karen Quintana Bautista
Salomón Sastre Tepoxtecatl
Luciano Aguirre Alvarez
Yanet López Reyes
Juan Contreras Ramos

Resumen

Los cultivos y el manejo agrícola afectan las propiedades químicas del suelo, entre ellas el pH y la conductividad eléctrica (CE) que son determinantes en el desarrollo de los cultivos. El objetivo del trabajo fue conocer el efecto de los cultivos frijol ejotero y lechuga orejona fertilizados con fuentes químicas, lombricomposta y la combinación de ambas. Fueron construidas tres camas biointensivas de 1 m por 4.2 m de ancho y largo respectivamente basados en el principio de doble excavación. Se dividieron en dos partes, sembrando frijol en una mitad y en la otra lechuga. Una cama fue fertilizada con lombricomposta, otra con fertilizante químico y una más con lombricomposta más fertilizante químico. Se realizaron dos muestreos de suelo a 20 cm de profundidad, uno antes de la siembra y otro después de la cosecha. Para ello, se tomaron tres submuestras aleatoriamente en

cada cama, se homogenizaron obteniendo la muestra representativa. La determinación del pH y la CE se basó en la Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Las lecturas se tomaron con un potenciómetro marca Thermo Scientific model Orion star A 215. La lechuga y el frijol cultivados en las camas biointensivas tuvieron efectos distintos en el pH y la CE. Los niveles de pH y CE iniciales fueron modificados por ambos cultivos, el pH tendió a ser alcalino en todos los tratamientos. En las camas sembradas con lechuga, la CE aumentó en las tres formas fertilizadas y donde fue sembrado el frijol disminuyó en relación a la determinación inicial.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris L., Lactuca sativa L., Acidez, Alcalinidad, traspatio.*

Introducción

La calidad del suelo considera entre sus características los factores bilógicos, la capacidad de intercambio catiónico, el potencial hidrógeno (pH) y la conductividad eléctrica (CE), el conocimiento de estos factores permite planear y corregir deficiencias que impidan rendimientos esperados de los cultivos. De esta

manera el pH y la CE están relacionados con la absorción de los nutrientes, la actividad biológica, el nivel de salinidad del suelo, y la posible presencia de iones que pueden resultar tóxicos para las plantas (Bernal *et. al*., 2015).

El pH permite conocer la disponibilidad de los nutrientes que las plantas necesitan asimilar para su crecimiento y desarrollo, puesto que, dependiendo de la acidez o la alcalinidad del suelo, es posible intuir la presencia de elementos que provocan toxicidad en las plantas y de igual manera la disminución de nutrientes requeridos por los cultivos. Al respecto, Rosas *et. al. (*2017) y Casierra y Aguilar (2007), mencionan que en un suelo acidificado se generan problemas de toxicidad y baja disponibilidad de nutrientes, por tanto, afecta la asimilación de nutriente como son K+, Ca2+ y Mg2+, esto debido a que el agua presente en el suelo reacciona con Al3+, Fe2+, Mn2+ y NO3, liberando H+ que acidifican el suelo. Respecto a la conductividad eléctrica, propiedad que hace referencia a la concentración de sales disueltas en el suelo, que son capaces de conducir la corriente eléctrica e inciden en las características nutritivas del suelo, los valores altos de la

CE están relacionados con altos contenidos de Ca, Mg y Na, donde se encontrado una correlación lineal con el Na (Cortés *et. al*., 2013).

Por otro lado, las camas biointensivas son un medio práctico y manejable en los traspatios, donde las familias pueden cultivar plantas de diferentes especies para su autoconsumo y en lo posible vender excedentes de la producción. Generalmente los encargados producen de manera orgánica las especies en las camas, sin embargo, pueden en ciertos momentos complementar la nutrición de los cultivos con fertilizantes químicos o combinados. Es una forma de cuidar el suelo, la alimentación de los productores y la posibilidad de abastecer mercados locales para obtener un ingreso económico (Gómez *et. al*., 2018 y Guerrero *et. al*., 2015). El estudio tuvo como objetivo determinar el efecto en el pH y la CE del suelo en camas biointensivas fertilizadas con abono orgánico, fertilizante químico y la combinación de ambos más la siembra de frijol ejotero y lechuga orejona con manejo específico dado por los productores.

Materiales y métodos

Construcción de camas biointensivas y tratamientos

Se utilizó el área de traspatio del Campus Puebla del Colegio de Postgraduados. Se construyeron tres camas biointensivas de 1 m por 4.2 m de ancho y largo respectivamente basados en el principio de doble excavación, que implica hacer zanjas cada 30 cm de largo, con 60 cm de profundidad total y el uso de abonos, que en este caso se utilizó 4 kg/m² de lombricomposta hecha con gallinaza, hojarasca, hortalizas y frutas.

Las tres camas biointensivas fueron divididas en dos partes, sembrando frijol ejotero en una mitad y en la otra lechuga orejona. En las camas construidas se trató una con fertilizante químico, otra con lombricomposta y la otra con lombricomposta más fertilizante químico definiendo los tratamientos indicados en el Cuadro 1.

Tras 15 min de hidratación de las semillas de frijol ejotero, se sembraron tres semillas cada 25 cm en la cama con el tratamiento de lombricomposta y se agregó lixiviado de lombricom-

posta al 5. Las plántulas de lechuga fueron sumergidas por 5 min en solución enraizante de sábila, antes de ser trasplantadas.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos definidos con frijol ejotero y lechuga orejona más las camas tratadas con la aplicación de los abonos orgánicos y químicos.

TRATAMIENTO	CULTIVO	SIGLAS
Lombricomposta	Lechuga	LeLom
Lombricomposta más fertilizante químico	Lechuga	LeLomQui
Fertilizante químico	Lechuga	LeQui
Lombricomposta	Frijol ejotero	FLom
Lombricomposta más fertilizante químico	Frijol ejotero	FLomQui
Fertilizante químico	Frijol ejotero	FQui

Instalación de los cultivos y fertilización

En la cama correspondiente al tratamiento de fertilización química, primero se realizó el trasplante de las plántulas de lechuga y se realizó una primera aplicación de fertilización química con fosfato diamónico a razón de 150 kg/ha, sulfato de amonio a 200 kg/ha y nitrato de potasio a razón de 100 kg/ha. Poste-

riormente se fertilizó con fosfonitrato tres veces con una diferencia de 20 días entre aplicación, añadiendo en la última de estas, nitrato de potasio. Respecto a la siembra de frijol, se realizó el mismo proceso de hidratación, y este cultivo se fertilizó 15 días después de la siembra con las dosis 60 kg/ha de nitrógeno y 40 kg/ha de fósforo, aplicando el total de fósforo y la mitad del nitrógeno. El resto de fertilizante nitrogenado se aplicó antes de la etapa de floración. Por último, a la cama con combinación de fertilizaciones, se realizó el mismo proceso dado a las otras dos camas correspondientes para frijol y lechuga.

Determinación del pH y conductividad eléctrica

Se realizaron dos muestreos de suelo a 20 cm de profundidad antes de la siembra y después de la cosecha. En el primer muestreo se tomaron tres submuestras aleatoriamente en cada cama biointensiva, las cuales se homogenizaron para formar la muestra representativa. En el segundo muestreo se realizó el mismo procedimiento en cada tratamiento.

La determinación del pH y la CE en suelos se basó en la Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000. El pH se de-

terminó en una relación suelo:agua 1:2, previo a las lecturas las muestras de suelo se colocaron en charolas para su secado y posteriormente fueron tamizadas con una malla del número 10 (2 mm). Se pesaron 10 g de suelo por muestra, se añadieron 20 ml de agua destilada, posteriormente se agitaron por 30 min con intervalos de 5 min. Finalmente se tomaron las lecturas de pH y CE con un potenciómetro marca Thermo Scientific model Orion star A 215.

Resultados y discusión

El suelo de las camas biointensivas fue modificado por las fuentes de fertilizante y el cultivo sembrado (Cuadro 2). El pH se incrementó en todos los tratamientos tendiendo a la alcalinidad, hasta más de 8.0. En la cama con fertilización química combinada con lombricomposta y sembrada con frijol ejotero aumentó de 7.7 hasta 8.64 siendo 0.94 de aumento y en la cama con fertilización química sembrada con lechuga orejona se incrementó de 7.7 hasta 8.12 con una diferencia de 0.42 unidades. Di Gerónimo *et al.* (2018) determinaron acidificación en un sistema agrícola de rotaciones y siembra directa, indicio de que el comportamiento del pH esta en función de la forma del manejo agrícola. Osorio *et al.* (2013) regis-

traron aumentos del pH con aplicación de estiércol de ganado vacuno de ácido a neutro, en el presente trabajo se detectó un aumento del pH en los tratamientos sembrados tanto con lechuga y frijol en relación al pH inicial del suelo, sin embargo, se debe tener en cuenta los efectos en función de la fuente de la composta.

En el caso de la CE se notó un efecto distinto de los cultivos sembrados, en las camas ocupadas por frijol ejotero tendieron a disminuir la CE, siendo mas acentuado en la cama con fertilizante químico que bajó de 5.40 hasta 4.46 μS/cm generando una diferencia de 0.93 μS/cm, la cama con lombricomposta disminuyó de 5.40 hasta 5.19 μS/cm teniendo una disminución de 0.20 μS/cm. Por otro lado, las camas cultivadas con lechuga orejona aumentaron la CE siendo mas marcado en la cama abonada con fertilizante químico desde 5.40 hasta 8.71 μS/cm obteniendo una diferencia de 3.31 μS/cm, el menor aumento se registró en la cama con lombricomposta de 0.52 μS/cm. Ambos cultivos tendieron a mantener la CE inicial cuando se sembraron en camas biointensivas abonadas con lombricomposta. Osorio *et al*. (2013) encontraron una disminución de la CE al incrementar la dosis de

estiércol de ganado vacuno, en este experimento se observó la situación con la siembra de frijol que fue menor a la CE inicial pero no ocurrió con la siembra de lechuga, esto podría atribuirse al manejo diferente dado a los cultivos, donde sobresalen las cantidades de fertilizante indicadas en Materiales y Métodos, aplicando mayor cantidad a la lechuga que al frijol. Los cultivos y el manejo agrícola de los mismos afectan el comportamiento de las propiedades pH y CE en el suelo, esto ha sido reportado por Jaurixje *et al*. (2013) en suelos manejados con sistemas tradicionales e intensivos. En general la CE se ha relacionado con las cantidades de Na, Ca y Mg de los cuales se ha encontrado mayor correlación lineal con el Na (Cortés *et al*., 2013), por lo que las valores de la CE registrados indican *que* las camas biointensivas no tienen problemas de la presencia significativa de tales elementos.

Cuadro 2. Comportamiento del pH y CE en camas biointensivas cultivadas con frijol y lechuga y fertilizadas con fertilizante químico, lombricomposta y la combinación de ambos.

Tratamiento	pH	CE
Fertilización combinada con frijol	8.64	4.74
Fertilización química con frijol	8.51	4.46
Fertilización lombricomposta con frijol	8.48	5.19
Fertilización combinada con lechuga	8.41	6.89
Fertilización química con lechuga	8.12	8.71
Fertilización lombricomposta con lechuga	8.60	5.92

pH Inicial: 7.7, CE inicial: 5.40.

Conclusiones

La siembra de lechuga orejona y frijol ejotero en las camas biointensivas abonadas con fertilizante químico, lombricomposta y la combinación de ambas tuvieron efectos distintos en el pH y la CE. Los niveles de pH y CE iniciales fueron modificados por ambos cultivos, el pH tendió a ser alcalino. En la siembra de lechuga, la CE aumentó en las tres formas fertilizadas y en frijol

disminuyó en las tres formas de fertilización en relación con la determinación inicial.

Literatura citada

Bernal, A., Hernández, A., Mesa, M., Rodríguez, O., González, P. J. and Reyes, R. 2015. Characteristics of soil and its´limiting factors of regional Murgas, Havana Province. *Cultivos Tropicales*. 36 (2): 30-40.

Casierra-Posada, F. y Aguilar-Avendaño, O. E. 2007. Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 1 (2): 246-257.

Cortés-D., D.L., Pérez-B., J.H., Camacho-Tamayo, J. 2013. Relación espacial entre la conductividad eléctrica y algunas propiedades químicas del suelo. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient*. 16 (2): 401-408.

Di Gerónimi, P. F., Videla, C., Fernandez, Ma. E., Zamuner, E. C., Laclau, P. Cambios en propiedades químicas y bioquímicas del suelo asociados al reemplazo de pastizales naturales por Pinus radiata D. Don y rotaciones agrícolas. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*. 34 (2): 89-101.

Gómez, R., Lázaro, G., León, J. A. 2018. Producción de frijol (Phaseolus vulgaris L.) y rábano (Rhabanus sativus L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco. Universidad y ciencia, 24(1): 11-20.

Guerrero, M.Y., Estrella, N.G., Sangerman, Ma. D., Jiménez, L., Aguirre, L. 2015. Producción de alimentos en huertos familiares con camas biointensivas, en Españita, Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11:2139-2148.

Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., Contreras, J. 2013. Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*. 25 (1): 47-56.

Osorio, B. Ma. E., Mesías, M. J. M., Araya, M. R. 2013. Estiércol de vacuno estabilizado y daño por boro en lechuga (Lactuca sativa L.) cv. del río, en el valle de Lluta, Chile. IDESIA (Chile). 31 (1): 15-25.

Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y.J., & Menjivar-Flores, J. C. 2017. Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 18 (3): 529-541.

Efecto de la micorrización de *Pinus greggii* con *Laccaria laccata* sobre la mesofauna del suelo

Maryeli Aguirre Zamora[1]
Irma Díaz Aguilar[1]

Resumen

La simbiosis pino-hongo ectomicorrízico es de gran relevancia ecológica en los bosques, debido a que la formación de la micorrizósfera crea un hábitat favorable que propicia las interacciones entre diferentes organismos, como la mesofauna del suelo. El objetivo de este estudio fue estimar el efecto de la inoculación del hongo ectomicorrízico *Laccaria laccata* sobre la abundancia de mesofauna, ácaros y colémbolos, en la micorrizósfera de las raíces de *Pinus greggii*, bajo condiciones de invernadero. Se sembraron semillas de *P. greggii*, previamente desinfestadas con H_2O_2 al 30%, en tubos de plástico negro de 125 cm^3 que contenían un sustrato esterilizado compuesto por una mezcla de arena, corteza de pino y suelo forestal (2:2:1). Se establecieron dos tratamientos, plantas de *P. greggii* inoculadas con *L. laccata* (con una concentración de 10^7 a 10^8 esporas determinadas en una cámara de Neu-

[1] Posgrado en Edafología, Campus Montecillos, Colegio de Postgraduados. maryeli23a03@gmail.com; idiaz@colpos.mx.

bauer) y un testigo sin inocular, bajo un diseño experimental completamente al azar. Se observó, un año después de la inoculación, que la red de hifas de la micorrizósfera de *L. laccata* atrajo la formación de comunidades de ácaros y colémbolos fungivoros, lo cual no se observó en la rizósfera de las plantas sin inocular. Esto sugiere que la micorrizósfera de *L. laccata* es un nicho ecológico que proporciona hábitat y alimento a ácaros y colémbolos, estructurando comunidades de mesofauna muy diferentes en comparación con las plantas sin inocular.

Palabras clave: *Hongo ectomicorrízico, micorrizósfera, ácaros, colémbolos*.

Introducción

El suelo es uno de los reservorios de la vida con mayor diversidad, con una gran heterogeneidad de hábitats, donde las raíces de las plantas crecen e interaccionan estrechamente con los organismos del suelo (Bardgett, 2002). La simbiosis pino-hongo ectomicorrízico (HE), tiene alta importancia en los ecosistemas forestales, debido a las funciones ecológicas de la micorrizósfera (Bending *et al*., 2006). En México, uno de los HE con mayor im-

portancia es *Laccaria laccata*, debido a su valor comercial (Pérez-Moreno *et al*., 2010), beneficios ecológicos (incrementa la absorción de agua y nutrientes de las raíces) (Baum *et al*., 2002) y por ser una especie pionera, que se asocia a sus hospederos en estadios tempranos, incluso en condiciones de baja fertilidad (Wadud *et al*., 2008). Además, forma interacciones con otros organismos, como la fauna del suelo (Fitter y Garbaye, 1994).

En las últimas décadas se han estudiado las posibles interaciones de la micorrizósfera con diferentes organismos, como la mesofauna (Swift *et al*., 1979). Bonkowski *et al*. 2009 mencionan que la fauna del suelo forma estrechas interacciones con las raíces de las plantas, donde los fungívoros y depredadores dependen del carbón derivado de las raíces. Diferentes familias de la mesofauna se encuentran asociadas con hongos ectomicorrízicos (Krivtsov *et al*., 2003); y se estima que su presencia puede tener una influencia positiva en el crecimiento de los mismos (Setälä, 2000). Además, los colémbolos que se alimentan de hongos influyen positivamente en el ciclo de carbono (Johnson *et al*., 2005), lo cual enfatiza la importancia de las interacciones multitróficas en

la micorrizósfera. No obstante, siguen sin conocerse gran parte de las interacciones biológicas que tienen lugar en dicha zona (Bending *et al*., 2006). Por ello, el presente trabajo tiene el objetivo de conocer el efecto de la inoculación de *Lacaria laccata* sobre la abundancia de mesofauna (ácaros y colémbolos) que habita en la micorrizósfera de *Pinus greggii*.

Materiales y métodos

Selección del material vegetal y fúngico

El germoplasma de *Pinus greggii* (Engelm) se colectó en la zona del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl, ubicado en el estado de Puebla, México. Los esporomas de *Laccaria laccata* utilizados para la inoculación fueron adquiridos en el mercado de Ozumba, localizado en la región de la Sierra Nevada en el Estado de México.

Siembra de plántulas

Las semillas previamente esterilizadas con H_2O_2 al 30% se sembraron en tubos de plástico negro de 125 cm^3, lavados y desinfectados con alcohol al 70%, con un sustrato de una mezcla de

arena, corteza de pino y suelo forestal en una proporción 2:2:1, esterilizado tres veces.

Preparación del inóculo e inoculación

El inóculo de *L. laccata* se preparó utilizando los píleos deshidratados, a 35 °C en un horno, durante 4 días. Posteriormente, se molieron en un molino eléctrico y se pasaron a través de un tamiz de abertura de 1 mm para obtener un tamaño de partícula homogéneo. Se hicieron dos inoculaciones: la primera simultáneamente con la siembra y la segunda 60 días después, aplicando el inóculo en una oquedad cilíndrica de 5 mm de diámetro por 15 mm de profundidad. Cada planta recibió una concentración de 10^7 a 10^8 esporas de *L. laccata*, determinada previamente en una cámara de Neubauer. Las plantas fueron regadas diariamente con agua destilada estéril.

Diseño experimental

El experimento se estableció en condiciones de invernadero en las instalaciones del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, bajo un diseño experimental completamente al

azar, con dos tratamientos: 1) Plantas sin inocular (testigo); 2) Plantas inoculadas con *L. laccata*, cada tratamiento con 6 repeticiones, teniéndose 12 unidades experimentales.

Variables evaluadas

Extracción e identificación taxonómica de mesofauna (ácaros y colémbolos)

La extracción de mesofauna se realizó en embudos de Berlese-Tullgren (Vargas y Recamier, 2007), durante 7 días. Posteriormente se separaron e identificaron los morfotipos de ácaros y colémbolos, utilizando un microscopio estereoscópico. Aproximadamente el 30% de los especímenes se aclararon en ácido láctico por 20 min y se montaron en líquido Hoyer, para su identificación a nivel de familia, utilizando las claves de Krantz y Walter (2009) y Bellinger *et al*. (1996-2021). Una vez finalizada la identificación se realizó el conteo de las abundancias de ácaros y colémbolos.

Análisis estadístico

Las abundancias de mesofauna, expresadas como el número de individuos encontrados en 125 cm^3, se analizaron con un

ANOVA para un diseño completamente al azar, utilizando el paquete estadístico SAS. La comparación de medias se realizó con el método de Tukey considerándose diferencias significativas cuando $p<0.05$.

Resultados y discusión

Abundancia de la mesofauna (ácaros y colémbolos)

El análisis estadístico indicó diferencias significativas entre tratamientos ($F_{(1,11)}=5.59$, $p=0.002$) en la abundancia total de ácaros y colémbolos. El tratamiento inoculado con *L. laccata* fue quien presentó mayor número de individuos, con 357 y una media de 60 debido a la formación de la micorrizósfera, en comparación con aquellos de la rizósfera del testigo que presentó 149 individuos y una media de 25. De acuerdo con Setälä (2000), al contrario de las plantas no colonizadas por HE, la micorrizósfera de las coníferas proporciona un ambiente con mayor cantidad de carbono que sirve como alimento para organismos detritívoros, atrayendo altas cantidades de mesofauna.

Tydeidae y Eupodidae fueron las familias mejor representadas con el 98% del total de la mesofauna, es decir, tomando en cuenta ambos tratamientos; además, las familias Mesostigmata y Pigmephoridae tuvieron el 0.59 y 0.39%, dando un total de 98.98%, lo cual indica que los ácaros tuvieron una alta dominancia. Mientras que los colémbolos con solo 2 familias (Sminthuridae y Entomobryidae) formaron parte del 1.02% del total de la mesofauna.

La familia más abundante en la micorrizósfera de *L. laccata* fue Tydeidae, mientras que en el testigo fue Eupodidae con abundancias de 77.2 y 70.7, respectivamente. A su vez, hubo familias que se presentaron exclusivamente en alguno de los tratamientos en muy bajas abundancias. Por ejemplo, Pygmephoridae y Sminthuridae solo se encontraron en las plantas inoculadas, mientras que Entomobryidae se presentó únicamente en el testigo (Cuadro 1).

Da Silva *et al*. (2018) mencionan que los hongos son una de las principales fuentes de alimentación de la familia Tydeidae, resultados que coinciden con la abundancia de esta familia en el tratamiento inoculado con *L. laccata*, indicando que su presencia

se encuentra asociada con la formación de la micorrizósfera, que genera un ambiente idóneo para estos organismos fungivoros. Las especies que pertenecen a esta familia habitan en gran cantidad de ambientes (desierto, estepa, montañas, etc.), lo cual las hace más adaptables a diversos sitios (Walter, 1988). En este trabajo se logró hacer una primera observación de la familia Tydeidae en la micorizósfera de *P. greggii* inoculado con *L. laccata*, por lo que se infiere que además de alimentarse de hongos fitopatógenos (Ajila *et al*., 2018), también pueden alimentarse de hongos benéficos como son los HE. Walter (1988); menciona que los ácaros pertenecientes a la familia Eupodidae son nematófagos y microvívoros, estos resultados coinciden con la mayor abundancia en el tratamiento sin inocular; sin embargo, se pudieron encontrar en bajas abundancias en el tratamiento con inoculación, indicando que prefieren hábitats como el de la rizósfera de *P. greggii*, donde pueden consumir otras fuentes de alimento. Algunas familias de la clase Collembolla se encuentran asociadas a altos niveles de hongos ectomicorrízicos (Krivtsov *et al*., 2003) y se estima que su presencia puede tener una influencia positiva en el

crecimiento de los mismos (Setälä, 2000). Por ejemplo, Sminthuridae ha sido reportada únicamente en bosques (Greenslade, 1982; Christiansen, 1966), por lo cual se infiere que dentro de su dieta los HE son esenciales. Mientras que Entomobryidae es considerada una familia con un hábitat de alta distribución, por lo que su alimentación es variada y los HE no son prioritarios (Zhang *et al*., 2018). Estos resultados indican que la mesofauna al llegar por vía aérea o de contacto, selecciona el hábitat según la influencia de la formación de la micorrizósfera o de la rizósfera. En este caso, la micorrizósfera de *P. greggii* propició condiciones idóneas para la colonización de mayor abundancia de mesofauna, en contraste con la raíz de los pinos que no se encontraban inoculados.

Conclusiones

La micorrizósfera formada a partir de la inoculación del hongo ectomicorrízico *Laccaria laccata* es un nicho ecológico que proporciona hábitat y alimento a ácaros y colémbolos, estructurando comunidades de mesofauna muy diferentes a las de la rizósfera de las plantas sin inocular. Por ello, se infiere que la me-

sofauna selecciona su hábitat de acuerdo a sus hábitos alimenticios.

Cuadro 1. Abundancias relativas de ácaros y colémbolos en las raíces de *P. greggii* inoculadas con *L. laccata* vs no inoculadas, en un volumen de 125 cm3, bajo condiciones de invernadero.

Rango taxonómico	**Familia**	**Testigo**	***Laccaria laccata***
Subclase **Acari**			
Suborden **Prostigmata**			
	Eupodidade	70.7 (21.6)	20.8 (6.7)
	Tydeidae	27.6 (12.2)	77.2 (5.2)
	Pygmephoridae	0.0 (0.0)	0.5 (0.5)
Orden **Mesostigmata**	Blatiisociidae	0.5 (0.5)	0.3 (0.3)
Clase **Collembola**			
Orden **Symphypleona**	Sminthuridae	0.0 (0.0)	1.1 (0.7)
Orden **Entomobryomorpha**	Entomobryidae	1.5 (1.5)	0.0 (0.0)
Total*	6	4	5

Nota: Los valores mostrados son los promedios de las abundancias relativas (n= 6) y el error estándar entre paréntesis. *Número total de familias.

Literatura citada

Ajila H.E.V., Ferreira J.A., Colares F., Oliveira C.M., Bernardo A.M.G., Venzon M. and Pallini A. 2018. Ricoseius loxocheles (Acari: Phytoseiidae) is not a predator of false spider mite on coffee crops: What does it eat? *Experimental and Applied Acarology* 74: 1-11.

Bardgett R.D. 2002. Causes and consequences of biological diversity in soil. *Zoology* 105: 367-375.

Baum C., Stetter U. and Makeschin F. 2002. Growth response of Populus trichocarpa to inoculation by the ectomycorrhizal fungus Laccaria laccata in a pot and a field experiment. *Forest Ecology and Management* 163: 1-8.

Bellinger P.F., Christiansen K.A. and Jansses F. 1996-2021. Checklist of the Collembola of the World. http://www.collembola.org. Accessed January 2021.

Bending G.D., Aspray T.J. and Whipps J.M. 2006. Significance of microbial interactions in the mycorrhizosphere. *Advances in Applied Microbiology* 60: 97-132.

Bonkowski M., Villenave C. and Griffiths B. 2009. Rhizosphere fauna: the functional and structural diversity of intimate interactions of soil fauna with plant roots. *Plant and Soil* 321: 213-233.

Christiansen K. 1966. The genus Arrhopalites (Collembola: Sminthuridae) in the United States and Canada. *International Journal of Speleology* 2: 1-5.

Da Silva G.L., Metzelthin H.M., Da Silva O.S. and Ferla N.J. 2018. Catalogue of the mite family Tydeidae (Acari: Prostigmata) with the world key to the species. *Zootaxa* 4135:1-68.

Fitter A.H. and Garbaye J. 1994. Interactions between mycorrhizal fungi and other soil organisms. *Plant and Soil* 159: 123-132.

Greenslade P. 1982. Revision of the Spinothecinae (Collembola: Sminthuridae) including a new Australian genus. *Australian Journal of Entomology* 21: 81-95.

Johnson D., Krsek M., Wellington E.M., Stott A.W., Cole L., Bardgett R.D. and Leake J.R. 2005. Soil invertebrates disrupt carbon flow through fungal networks. *Science* 309: 1047-1047.

Krivtsov V., Illian J.B., Liddell K., Garside A. and Bezginova T. 2003. Some aspects of complex interactions involving soil mesofauna: analysis of the results from a Scottish woodland. *Ecological Modelling* 170: 441-52.

Krantz G.W. and Walter D.E. (eds.).2009. A manual of Acarology (Third Edition). Texas Tech. University Press, Lubbock, Texas.

Pérez-Moreno J., Lorenzana-Fernández A., Carrasco-Hernández V. and Yescas-Pérez A. 2010. Los hongos comestibles silvestres del ParqueNacional Izta-Popo, Zoquiapan y anexos. Montecillo, Texcoco, Estado de México: Colegio Postgraduados, SEMARNAT, CONACYT p.167.

Setälä H. 2000. Reciprocal interactions between Scots pine and soil food web structure in the presence and absence of ectomycorrhiza. *Oecologia* 125: 109-118.

Swift M.J., Heal O.W. and Anderson J.M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. University of California Press, Berkeley.

Vargas J.G.P. and Recamier B.E.M. 2007. Técnicas de colecta, montaje y preservación de microartrópodos edáficos. Las prensas de ciencias. UNAM, Facultad de Ciencias. Cd. de México, México.

Wadud M.A., Lian C.L., Nara K., Reza M.S. and Hogetsu T. 2008. Below ground genet differences of an ectomycorrhizal fungus Laccaria laccata infecting Salix stands in primary successional stage. *Journal of Agroforestry and Environment* 2: 1-6.

Walter D.E. 1988. Nematophagy by soil arthropods from the shortgrass steppe, Chihuahuan desert and Rocky Mountains of the central United States. Agriculture, *Ecosystems and Environment* 24:307-316.

Zhang B., Chen T.W., Mateos E., Scheu S. and Schaefer I. 2018. Cryptic species in Lepidocyrtus lanuginosus (Collembola: Entomobryidae) are sorted by habitat type. *Pedobiologia* 68: 12-19.

Estimando la humedad aprovechable del suelo en sitios de pastizal mediante vuelos no tripulados

José Israel Casas Flores[1]
Alfonso Serna Pérez[2]
Pablito Marcelo López Serrano[3]
Francisco Guadalupe Echavarría Cháirez[2]
Daniel José Vega Nieva[3]

Resumen

La tecnología de teledetección tiene potencial para estimar el contenido de humedad de la superficie del suelo a partir de imágenes multiespectrales, resultado de vuelos no tripulados (VANT). El objetivo de este trabajo fue estimar la humedad volumétrica aprovechable del suelo, a partir de índices de vegetación e información del suelo obtenida en una red de muestreo. En dos cuencas dedicadas al pastoreo, en sitios contrastantes en Zacatecas, se realizaron VANT para estimar índices de vegetación a partir de imágenes multiespectrales. Además, se estimaron variables del suelo en el sitio y se obtuvieron muestras para estimar parámetros hídricos y contenido de materia orgánica del suelo. Con esta información y mediante el uso de los Softwares QGIS y el progra-

[1] Estudiante de Maestría. Universidad Juárez del Estado de Durango.

[2]INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Zacatecas.

[3]Universidad Juárez del Estado de Durango. serna.alfonso@inifap.gob.mx.

ma estadístico "R" se obtuvieron modelos para estimar el contenido de humedad volumétrico aprovechable del suelo (cm^3/cm^3 en %). El procedimiento de trabajo propuesto permitió la obtención de modelos para cada sitio con un ajuste aceptable en la predicción. Además, se obtuvieron mapas para representar de manera visual los resultados de la modelación.

Palabras clave: *Geomática, Imagen Multiespectral, Cubierta Vegetal.*

Introducción

El muestreo directo en los sitios de pastizal de la cobertura vegetal y rendimiento, variables edáficas, geomorfológicas y otras características del paisaje usados para evaluar su condición y manejo, generalmente son costosos, consumen mucho tiempo y en ocasiones son difíciles de realizar. Las nuevas tecnologías empleadas para el análisis digital de imágenes, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la obtención de imágenes aéreas a partir de sensores y de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) se han generalizado. Esta técnica es útil para el análisis y modelado de vegetación, geomorfología y variables topográficas en superfi-

cies de muy diferentes magnitudes. Mediante el uso de imágenes multiespectrales se estima la cobertura del suelo, distribución de la vegetación y otras características del área representada (Palacio-Prieto y Luna-González, 1994). Además, es posible correlacionar variables obtenidas en sitios de muestreo seleccionados, lo que reduce el tamaño de la red de muestreo y el costo de la información obtenida por unidad de superficie (Mogili y Deepak, 2018).

Para medir o calcular la humedad del suelo se han usado métodos diversos, desde la medición directa hasta la teledetección y los modelos de simulación (Lobell y Asner, 2002). La tecnología de teledetección puede tener potencial para estimar y monitorear el contenido de humedad de la superficie del suelo en grandes escalas espaciales, es decir para grandes superficies (Chiesi *et al*., 2019). A partir de esta tecnología usando VANT se obtienen imágenes multiespectrales a partir de las cuales se calculan índices de vegetación que proporcionan información acerca de las condiciones específicas de distintas cubiertas del área bajo estudio (Sinde *et al*., 2020). Recientemente Gu y colaboradores (2021) han obtenido un algoritmo para estimar el contenido de

humedad gravimétrica del suelo a partir de imágenes multiespectrales obtenidas mediante VANT, integrando información de la textura del suelo al índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) e imágenes termales. En este estudio proponemos un procedimiento para estimar la humedad volumétrica aprovechable del suelo, a partir de índices de vegetación obtenidos de imágenes espectrales resultado de VANT, integrando la profundidad del suelo y el contenido de materia orgánica resultado del muestreo directo en sitios selectos.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en dos áreas de estudio contrastantes dedicadas al pastoreo del estado de Zacatecas. La primera fue una microcuenca de 135 has localizada en Valparaíso, latitud 22°48'20.93" Norte, longitud 103°38'9.74" Oeste y altitud media de 2170 m. La segunda fue una microcuenca de 50 has localizada en Pánuco, latitud 22°54'45.80" Norte, longitud 102°32'41.56" Oeste y altitud media de 2281 m. Se estableció una red de muestreo de 28 y 36 sitios distribuidos a través de las microcuencas en Valparaíso y Pánuco; respectivamente. En donde se determinó la densidad

aparente (Dap) por el cilindro de volumen conocido, profundidad del suelo fértil (PSF en cm) y se tomaron muestras del suelo superficial para determinar en el laboratorio el contenido de materia orgánica (MO) y contenido de humedad a 0.033 y 1,52 MPa mediante ollas y membranas de presión (Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000). La diferencia de humedades corregidas por la Dap es la humedad aprovechable volumétrica del suelo (HA; cm^3/cm^3 en %). En Valparaíso, se realizó un VANT con dron eBee y cámara Canon S110 NIR, altura de vuelo de 114 m y resolución espacial de 4 cm^2 por píxel. En Panuco, se utilizó un Dron P4 Multiespectral DJI, con RGB y conjunto de 5 cámaras, altura de 100 m y resolución espacial de 4 cm^2 por píxel. En ambos casos se obtuvieron ortomosaicos de las áreas.

En Valparaíso, a partir del ortomosaico se usó el Software QGIS y calculadora ráster para estimar los índices espectrales: EVI2, CTVI, ATSAVI, CIG, NDW y MSAVI. En Pánuco, se obtuvieron los índices de vegetación NDVI, GNDVI, LCI, NDRE y OSAVI de manera independiente mediante el Software DJI TERRA BASIC. Para los índices de vegetación usados en cada loca-

lidad y las variables de sitio PSF y MO se extrajo un valor promedio de pixel de cada índice a partir de un archivo shape con los puntos de muestro y un buffer de 20 metros, con el programa estadístico "R" (The R Fundation, 1993). La matriz de información obtenida se usó como la base de datos de variables predictoras. Por otra parte, la matriz de variables de respuesta o estimadas (predichas) se construyó con la información de contenido de humedad volumétrica a 0.033 MPa (Capacidad de Campo; CC), 1.52 MPa (Punto de Marchitez Permanente; PMP) y la Humedad aprovechable del suelo. Con el programa estadístico R se construyeron modelos de regresión lineal múltiple y se estimaron los coeficientes de correlación de los parámetros de la regresión y del modelo. El programa estadístico elimino algunas de las variables independientes al no tener peso en el modelo obtenido. En este escrito solo se muestra la información obtenida para la HA del suelo (cm^3/cm^3 en %) en ambas cuencas. Los mapas para presentar de manera visual los resultados de la modelación estadística se estimaron mediante la calculadora ráster del Software QGIS.

Resultados y discusión

Se estimaron los modelos de regresión lineal múltiple para CC, PMP y HA (todos con unidades cm^3/cm^3 en %), pero solo se presentan en el Cuadro 1) los modelos para la Humedad Volumétrica Aprovechable (HA; cm^3/cm^3 en %) que es la humedad contenida entre la CC y el PMP, así como el coeficiente de determinación (R^2) y el error estándar de la estimación (ESE) por sitio. El modelo para HA en Valparaíso tuvo de acuerdo con el análisis de varianza un nivel de significancia observado (NSO) del 11% (P=0.11). Por otra parte, el modelo para HA en Pánuco Zacatecas mostró de acuerdo con el análisis de varianza un NSO del 0.57 % (P=0.0057).

Al comparar el procedimiento de estimación de la humedad volumétrica aprovechable del suelo descrito en este trabajo con el algoritmo de Gu y colaboradores (2021), se pueden encontrar diferencias notables. En el procedimiento descrito en esta publicación se estima la humedad volumétrica, mientras que en la de los autores citados se obtiene la humedad gravimétrica (gr/gr) por lo que aún debe ser corregida por la densidad aparente

del suelo. Además, en nuestro procedimiento usamos parámetros directamente relacionadas con la humedad del suelo (CC y PMP) en lugar de estimadores como la textura. Lo que podría ayudar a una generalización del método, una vez que se incluya un universo mayor de condiciones de vegetación y suelo.En las Figuras 1 y 2 se presentan los mapas de la Humedad Volumétrica Aprovechable (HA; cm^3/cm^3 en %) para los sitios de Valparaiso y Pánuco, en el estado de Zacatecas. Es muy interesante notar que los intervalos de humedad aprovechable son muy similares, tal vez debido a la naturaleza geológica del estado.

Sin embargo, la región de Valparaíso presenta mejores condiciones de cobertura vegetal que la de Pánuco, probablemente debido a que recibe un mayor volumen de precipitación pluvial. Tales diferencias deben ser consideradas y explicadas en posteriores proyectos de investigación.

Cuadro 1. Coeficiente de determinación (R2), cuadrado medio del error (RMSE) y Modelos de regresión lineal múltiple para la Humedad Volumétrica Aprovechable (HA; cm3/cm3 en %), para cada sitio contrastante.

Sitio	Modelo HA	R^2	ESE
Valparaíso	HAVol = -23960+(0.1085*SueloF)+(0.08265*MO)-(42530*EVI2)+(27310*CTVI)-(37870*ATSAVI)-(0.01666*CIG)+(87030*NDWI)-(114.1*MSAVI)	0.4066	3.20
Panuco	HAVol = 23.8278-(0.03669*SueloF)-(1.8979*MO)+(25.0330*GNDVI)-(426.3370*NDRE)+(455.2581*LCI)+(351.0959*OSAVI)-(202.8081*NDVI)	0.4823	2.78

R2 es el coeficiente de determinación del modelo y ESP es el error estándar de la estimación (ESE).

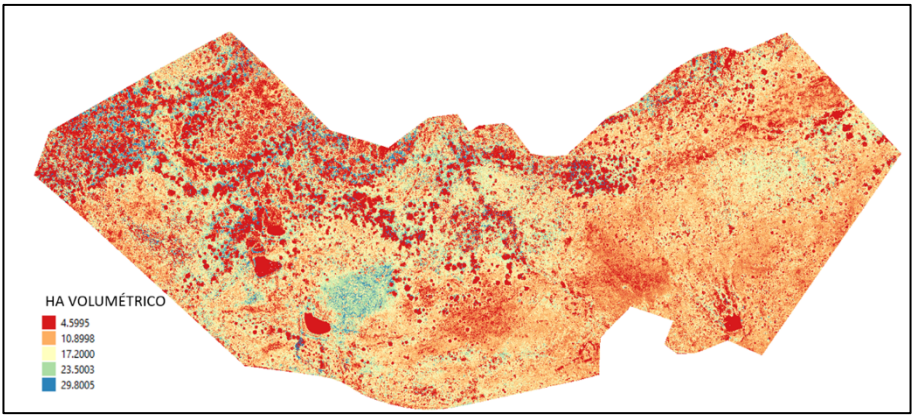


Figura 1. Predicción de la Humedad Volumétrica Aprovechable (HA) como porcentaje de humedad volumétrica, sitio Valparaíso, Zacatecas.

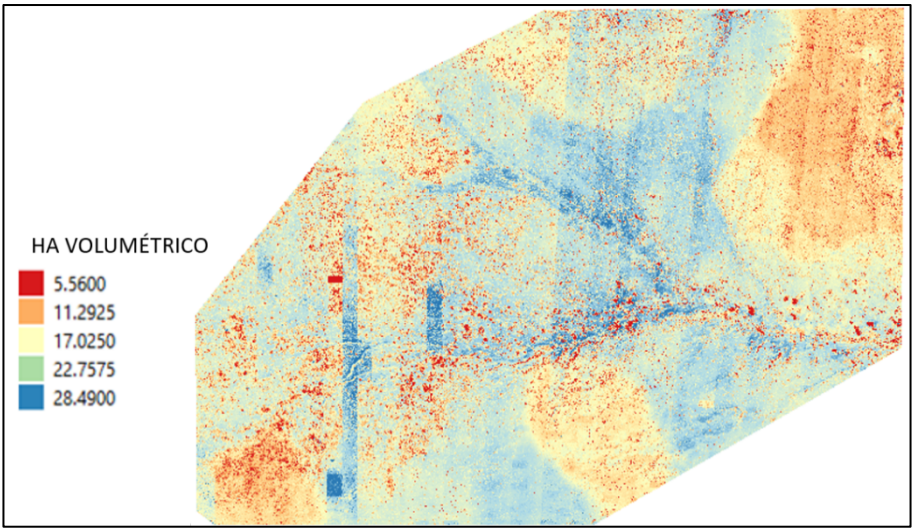


Figura 2. Predicción de la Humedad Aprovechable (HA) como porcentaje de humedad volumétrica, sitio Panuco, Zacatecas.

Conclusiones

El procedimiento de trabajo propuesto permitió la obtención de modelos para cada sitio con un ajuste aceptable en la predicción. Además, se obtuvieron mapas para representar de manera visual los resultados de la modelación.

Literatura citada

Chiesi, M., Battista, P., Fibbi, L., Gardin, L., Pieri, M., Rapi, B., Romani, M., Sabatini, F., y Maselli, F. 2019. Spatio-temporal fusion of NDVI data for simulating soil water content in heterogeneous Mediterranean areas. European *Journal of Remote Sensing*, 52(1), 88–95.

https://doi.org/10.1080/22797254.2018.155750

Gu, H., Lin, Z., Guo, W., y Deb, S. 2021. Retrieving Surface Soil Water Content Using a Soil Texture Adjusted Vegetation Index and Unmanned Aerial System Images. *Remote Sensing 2021*, Vol. 13, Page 145, 13(1), 145. https://doi.org/10.3390/RS13010145

Lobell, D. B., y Asner, G. P. 2002. Moisture Effects on Soil Reflectance. *Soil Science Society of America Journal*, 66(3), 722–727.

https://doi.org/10.2136/SSSAJ2002.7220

Mogili, U.R., Deepak, B.B.V.L. 2018. Review on *application of drone systems in precision agriculture. Procedia* Computer Science. 133: 502–509.

Palacio-Prieto, J. L., & Luna González, L. (1994). Clasificación espectral automática vs. clasificación visual: Un ejemplo al sur de la ciudad de México. *Investigaciones Geográficas*, Boletin Num. 29: 25-40.

https://doi.org/10.14350/rig.59028

Sinde, I., Yánez, D., Grefa, J., Arza, M., y Gil, M. 2020. Estimación del rendimiento del pasto mediante NDVI calculado a partir de imágenes multiespectrales de vehículos aéreos no tripulados (UAV). *Revista Geoespacial*, 17, 25–38.

Evaluación de la fertilización orgánica y mineral en producción y calidad del cultivo de fresa

Ángela Viridiana Navarro Vera[1]
Patricia Zarazúa Villaseñor[2]
Marcos Rafael Crespo González[2]
Diego Raymundo González Eguiarte[2]
Alejandro Canale Guerrero[3]

Resumen

La fresa es una especie vegetal, perteneciente al género Fragaria y la variedad *F. x ananassa* es la más cultivada a nivel mundial. Un buen manejo en la fertilidad del suelo aumenta los rendimientos y la mejora de la calidad de la cosecha. Sin embargo, una parte significativa de los fertilizantes se pierde, lo que aumenta el costo agrícola y contamina el ambiente. México ocupa el tercer lugar a nivel mundial y Michoacán ocupa el segundo lugar en la producción de fresa a nivel nacional. El fertilizante juega un papel importante en el mantenimiento del medio ambiente, lo que representa un desafío para la sustentabilidad de la agri-

[1] Estudiante de la Maestría en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas, Universidad de Guadalajara.

aviridiana.navarro@alumnos.udg.mx.

[2] Departamento de Desarrollo Rural Sustentable, Universidad de Guadalajara.

[3] Departamento de Salud Pública, Universidad de Guadalajara.

cultura moderna. El objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización orgánica en el rendimiento y calidad del fruto de fresa (*Fragaria x ananassa cv.* Camino real), considerando que su efecto es similar al del fertilizante mineral. El experimento se realizó en Zamora, Michoacán. Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar con 7 tratamientos y 4 repeticiones dando un total 28 unidades planta, se utilizaron fertilizantes minerales y orgánicos a diferentes concentraciones y se midieron variables como: rendimiento de fruto, altura de planta, diámetro ecuatorial y grados Brix. El análisis de varianza arrojó que no existen diferencias significativas, indicando que tanto la fertilización orgánica como la mineral tienen el mismo efecto en las variables estudiadas. Sin embargo, el fertilizante orgánico resultó tener rendimientos altamente competitivos para la región de Zamora, Michoacán.

Palabras clave: *Producción orgánica, Fertilización química, variedad F. x ananassa, rendimiento de cultivos orgánicos*.

Introducción

La fresa o frutilla es una especie vegetal perteneciente al género *Fragaria*. Son plantas rastreras estoloníferas pertenecientes

a la familia Rosaceae (Branzanti, 1989) y la variedad *F.* x *ananassa* es la más cultivada a nivel mundial (Cooley, 1998). La fresa se cultiva en prácticamente todo el mundo. El país líder en producción de fresa es Estados Unidos de América; México ocupa el tercer lugar a nivel mundial (FAOSTAT, 2011). Uno de los factores fundamentales que permite obtener altos rendimientos agrícolas es la fertilización química (Chen *et al*., 2018). Sin embargo, una parte significativa de los fertilizantes se pierde, lo que aumenta el costo agrícola, desperdicia energía y contamina el medio ambiente. (Chen *et al*., 2018). Dado todos los problemas ambientales antes mencionados, se han buscado alternativas sustentables, como lo es la composta o vermicomposta, cuyos procesos de elaboración son métodos biológicos que transforman restos orgánicos de distintos materiales en un producto relativamente estable (Claassen y Carey, 2004). Existen otros materiales alternativos a la fertilización química como son los fertilizantes orgánicos y la leonardita. Los fertilizantes orgánicos son aquellos que se obtienen de la mezcla de la degradación y mineralización de residuos orgánicos de origen animal o vegetal y que se aplican al suelo con el

propósito de mejorar sus características químicas, físicas o biológicas (Mosquera, 2010). La leonardita es un mineraloide conocido por su alto nivel de oxidación, se forma durante el proceso de carbonización de lignito y es rico en sustancias húmicas (puede contener entre 20% a 70%) (Terdputtakun *et al*., 2017; Tipping, 2004; Tan, 2014). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización orgánica en el rendimiento y calidad del fruto de fresa (*Fragaria x ananassa cv.* Camino real), bajo la hipótesis de que no existen diferencias significativas entre la fertilización química o mineral, y la fertilización orgánica.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el rancho Las Delicias, ubicado en la localidad de Zamora en el municipio de Zamora en el estado de Michoacán, en las coordenadas 19°59'25' N y 102°15'30 W '', con una superficie aproximada de 502.315 m^2 (91.33 m x 5.5 m), la cual estaba en surcos de 70 cm de ancho cada uno, con un espacio entre camas de 40 cm. Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar, el experimento constaba de 4 camas o repeticiones y cada una representaba un bloque y estaba dividida en 7 trata-

mientos diferentes dando un total 28 unidades experimentales, con una densidad de 1,960 plantas aproximadamente. El proyecto de investigación se llevó a cabo en un solo ciclo de cultivo de octubre del 2019 a agosto del 2020. Los materiales agrícolas utilizados en el experimento para la fertilización del cultivo fueron la vermicomposta, la leonardita, el fertilizante orgánico líquido y el fertilizante mineral (testigo) NPK (20-20 -20). Los tratamientos fueron los siguientes: 1. Fertilizante mineral al 100% (FM100); 2. Fertilizante leonardita al 100% + Fertilizante mineral al 0% (FL100); 3. Vermicomposta al 100% + Fertilizante mineral al 0% (VC100); 4. Fertilizante orgánico líquido al 100% + Fertilizante mineral al 0% (FOL100); 5. Fertilizante leonardita al 50%+Fertilizante mineral 50% (FL50); 6. Vermicomposta al 50% + Fertilizante mineral al 50% (VC50); 7. Fertilizante Orgánico Líquido al 50% + Fertilizante mineral al 0% (FOL50).

Actividades pre-culturales. Se realizaron actividades preculturales (antes del trasplante) en campo, tales como la labranza del suelo y el levantamiento de camas, una vez elegido el área de estudio, se llevó a cabo un primer muestreo del suelo, al cual se

le realizó un análisis químico preliminar con medidores HORIBA de ion específico y un fotómetro marca HANNA, modelo HI83325-01, con el objetivo de conocer las características del suelo (pH, CE, textura) y la cantidad de elementos presentes en el suelo (N, P, K, Ca, Mg, Na). Para conocer y satisfacer las necesidades del cultivo, se tomó como base el trabajo de Aguilar (2011), y en base a ello se realizó una recomendación de fertilización para el todo el ciclo de cultivo. Las características del suelo fueron las siguientes: el pH de 6.2, conductividad eléctrica de 165.85 μS y la textura del suelo arcillosa.

Calidad del fruto y altura de planta. Para medir la calidad del fruto se tomaron en cuenta parámetros como diámetro ecuatorial, grados Brix y rendimiento. La medición del rendimiento se realizó cada quinto día, después de la cosecha de cada unidad experimental, para ello se utilizó una báscula digital, la altura de la planta se midió durante los meses de noviembre, enero, febrero, marzo, abril y junio. Para el diámetro ecuatorial se utilizó un flexómetro y se midió la fresa de forma horizontal y para la medición de los grados Brix de la fresa se utilizó un refractómetro.

La toma de estas últimas variables se llevó a cabo durante los meses de febrero y mayo.

Resultados y discusión

Se aplicó un análisis de varianza a las 4 diferentes variables, dando como resultado una diferencia no significativa para todas de las variables analizadas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza de las variables

Tratamiento	**F**	**Significancia**
Rendimiento de fruto	0.416	0.868
Altura de planta final	0.268	0.946
Diámetro ecuatorial de fruto	0.424	0.855
Grados Brix	0.909	0.508

Rendimiento y altura. El tratamiento FM100 presentó un rendimiento de 15.10 ton/ha, en comparación con el FL al 100% cuyo rendimiento promedio fue de 17.45 ton/ha, dando un rendimiento 15% que el testigo. El rendimiento meta en el municipio de Zamora es de 23 a 29 toneladas por hectárea por año, en el es-

tado de Guanajuato, en el municipio de Irapuato la meta rendimiento es entre 19.8 toneladas y 23.8 toneladas por año. Según Chavez 2005, y Flores *et al*. 2017. Los motivos por lo cuales no se alcanzaron rendimientos mayores, se puede deber en medida a la dispersión de patógenos y enfermedades. Según la FAO (2008) el agua corriendo a través del surco puede transportar diferentes patógenos o semillas de malezas. Es reconocido el efecto de la dispersión de patógenos tales como Rhizoctonia, Pythium y Fusarium. Además Bronson (2008) reporta que utilizando sistemas de riego presurizado, el uso eficiente del N se puede incrementar en un 75% en comparación con la utilización de riego por gravedad el cual solo alcanza el 12% del fertilizante aplicado.

En la variable de altura, el tratamiento que menos variación presentó a través del tiempo fue el FM100, la poca variación a través de los 8 meses del ciclo de la fresa, a pesar de la fenología del cultivo y de las necesidades fisiológicas del mismo, así como la variación del clima, se debe en gran medida a que la cantidad de nutrientes presente en el suelo, fue la misma, a diferen-

cia de otros tratamientos cuyo contenido de elementos esenciales para la planta, pudo haber disminuido a través del tiempo.

Diámetro ecuatorial del fruto. Hay poca variación entre el diámetro obtenido por el uso del tratamiento FM100 (2.87 cm), en comparación con el FOL100 (2.88 cm) y no existe diferencia significativa entre los tratamientos. Según la NMX-FF-062-SCFI-2002, se clasifica con un tamaño B, siendo considerados como frutos de tamaño mediano.

Grados Brix. En la variable de grados Brix, también hubo poca variación entre tratamientos, siendo el tratamiento FL50, el que mayor cantidad presentó (9.86) en comparación al tratamiento FM100 (9.84). De acuerdo con la ISO 22000 (2010), dicho parámetro debe estar entre los 6.9 a 7.5 grados Brix, para considerar que el fruto tiene una calidad aceptable para su consumo.

Conclusiones

Los rendimientos obtenidos en la investigación no son competitivos para la región de Zamora, Michoacán, pero sí lo son para otros municipios y estados del país. El riego rodado pudo

haber afectado el rendimiento de la planta, ya sea por la dispersión de patógenos o por deficiencias nutrimentales en el cultivo de la fresa. Se puede destacar, ya que no existen diferencias estadísticas significativas entre los rendimientos de fertilizantes orgánicos o minerales, y dado que los fertilizantes minerales acarrean daños ambientales, se puede concluir que los fertilizantes orgánicos son una opción alternativa a la fertilización del cultivo de la fresa. Según la NMX-FF-062 y la ISO 22000, tanto el diámetro ecuatorial, como los grados Brix, indican que la calidad del fruto es más que aceptable para el consumo humano. Se concluye así que los fertilizantes orgánicos son una buena opción para obtener altos estándares de calidad del cultivo de la fresa.

Literatura citada

Aguilar T. M., 2011, demanda nutrimental de cuatro variedades de fresa (Fragaria X annanasa), cultivadas en la region de Zamora, Michoacán [Tesis de Maestria, Colegio de Posgraduados]

Branzanti, E.C. 1989. *La fresa*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Bronson, K. F. 2008. Nitrogen use efficiency of cotton varies with irrigation system. *Better Crops* 92: 20-22.

Chávez, J.F. (2005). Competitividad de la Agroindustria del Estado de Michoacán México. 11/05/2021, de Instituto Tecnológico de Morelia. Sitio web: https://repositorio.lasalle.mx/bitstream/handle/lasalle/966/273-Tex-

t o % 2 0 d e l % 2 0 a r t % c 3 % a d c u l o - 4 5 1 - 1 - 1 0 - 2 0 1 4 1 1 0 5 . p d f ? sequence=1&isAllowed=y\

Chen, J., Lü, S., Zhang, Z., Zhao, X., Li, Z., Ning, P. y Liu, M. 2018. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the total environment*, 613-614.

Claassen, V.P. y Carey J.L. 2004 Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using composts. *Compost Sci. & Util* 12(2): 145–152.

Cooley, D. R. 1998. Introduccion. En Compendium of Strawberry Diseases (1-6). Maryland, USA: The American Phytopathological Society

Flores, L. N., Saldivar, V., Hernandez, M. V. y Pérez V. O. 2017. Valoración del agua de riego agrícola en el valle de Zamora, Michoacán, México. INIFAP, 8, 120

Food Agriculture Organization (FAO). (2008). El desarrollo del microrriego en América Central: Oportunidades, limitaciones y desafíos. Santiago de Chile: La Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.

Food Agriculture Organization (FAO). (2008). El desarrollo del microrriego en América Central: Oportunidades, limitaciones y desafíos. Santiago de Chile: La Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). 2011. Base de datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 06/03/19, http//faostat.fao.org/site/339/default.aspx

ISO 22000. 2010. Manual de calidad de la fresa. 27/07/21, de Universidad Nacional Federico Villareal Sitio web: https://dokumen.tips/documents/manual-de-calidad-fresa-iso-22000.html

Mosquera, B. 2010. Abonos orgánicos. Protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Ecuador: Fondo para la protección del agua (FONAG), con apoyo de la USAID. p. 5. p. 5.

NMX-FF-062. 2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - fruta fresca - fresa (Fragaria x ananassa, Dutch). 27/07/21,

de Secretaría de Economía Sitio web: https://caisatech.net/uploads/XXI_2_MXD_C107_NMX-FF-062-SCFI-2002_R0_9AGO2002.pdf

Tan H. K. (2014). *Humic Matter in Soil and the Environment Principles and Controversies*. U.S.A: CRC Press.

Terdputtakun, A., Arqueropanyo, O.-A., Janhom, S., Sooksamiti, P. & Naksata, W. 2017. Adsorption Characteristics of Leonardite for Removal of Cd(II) and Zn(II) from Aqueous Solutions. *Int. J. Environ. Sci. Dev*. 8, 393–398.

Tipping, E. 2004. In Cation binding by humic substances 157–170 (Cambridge University Press).

Evaluación de la sostenibilidad del cultivo de aguacate

Alma Guadalupe Barajas Alcalá
Juan Felipe Silva Armas
Gonzalo de la Fuente de Val

Resumen

El éxito del cultivo de aguacate está relacionado con el beneficio económico y la aptitud de tierras. Con la finalidad de obtener un incremento en la producción, se han aplicado agroquímicos sin análisis previos, lo cual lleva a un impacto negativo. El objetivo es brindar una base de información para que los productores tomen decisiones de acuerdo con sus percepciones e intereses, integrar la descripción detallada del suelo con la perspectiva local, para evaluar la capacidad de sostenibilidad ambiental, social y económica del cultivo de aguacate. Se encontraron tres tipos de suelos (AN, LP y LV), los macronutrientes tienen contenido y comportamiento similar; mientras que el contenido de micronutrientes se relaciona con el manejo de las huertas. Al menos el 75% de los encuestados consideran importante mantener o aumentar la productividad para cubrir el capital financiero de la sostenibilidad. Sin embargo, el capital natural es más relevante.

Palabras clave: *Andosol, Luvisol, percepción local y capitales de la sostenibilidad*.

Introducción

El éxito del cultivo de aguacate está relacionado por una parte con el beneficio económico, y por otra con los procesos fisiológicos del árbol (Burgos *et al*., 2011), los cuales se determinan por su código genético y el ambiente (suelo, clima y agua) (Popenoe y Williams, 1948), existen tres variedades nombradas por su centro de origen: mexicana, guatemalteca y antillana (Bergh y Ellstrand, 1986).

El origen mesoamericano del aguacate abarca diversos hábitats, la variedad comercial Hass (*Persea americana Mill*), tiene preferencia por un suelo franco y permeable. Sin embargo, se ha cultivado en otros tipos de suelo con un manejo más exhaustivo (Wolstenholme, 2007; Gutiérrez-Contreras *et al.,* 2010).

La expansión del cultivo de aguacate (*Persea americana Mill*) en Michoacán, aumentó 75% durante el periodo 1980 a 2010 (INIFAP, 2009; Morales-Manilla *et al.,* 2010; Chávez-León *et al.,* 2012), primero se expandió hacia tierras de cultivos anuales, pos-

teriormente hacia tierras con matorral-pastizal inducido y por último hacia bosques (Ramírez, 2009; Barajas, 2015).

Con la finalidad de obtener un incremento en la producción, y por ende en el beneficio económico, se han aplicado agroquímicos sin análisis previos de suelos, lo cual lleva a un impacto negativo (Castellanos, 2000; IPNI, 2013). Unos pasos para solucionar los males que aquejan al cultivo del aguacate es diagnosticar el suelo, considerar el capital humano, social y financiero, para plantear una propuesta de manejo integral enfocada en los sistemas productivos sostenibles (FAO, 2007; FAO, 1976).

El manejo sostenible se concibe como un procedimiento que constantemente se renueva con la toma de decisiones que resulta en acciones que consideran los factores: ecológico, económico y social (Kates *et al.,* 2001; Bills y Gross, 2005; Bishnoi, 2015). El objetivo es brindar una base de información para que los productores tomen decisiones de acuerdo con sus percepciones e intereses, integrar la descripción detallada del suelo con la perspectiva local, para evaluar la capacidad de sostenibilidad ambiental, social y económica del cultivo de aguacate.

Materiales y métodos

Diseño de la investigación

Los principales componentes de análisis son:

–Diagnóstico de los suelos

–Percepción local de la sostenibilidad del cultivo del aguacate

Para diagnosticar el estado actual de las propiedades involucradas en la fertilidad del suelo se realizó una descripción del perfil (SEMARNAT, 2000; FAO, 2009).

Por su parte, para conocer la percepción de los productores ante el uso sostenible de las huertas se aplicaron encuestas, enfocadas en el capital humano, social, financiero y capital natural de la sostenibilidad (Toledo, 2003; Ortiz *et al.*, 1990).

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en el estado de Michoacán, México, es el municipio de Uruapan (INEGI, 2009). De acuerdo con el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (SD) tiene siete grupos: Andosol (51.98%), Leptosol (15.99%), Luvisol (13.98%), Cambisol (6.59%), Phaeozem (3.76%), Regosol (1.71%) y

Vertisol (0.19%). Aunque los ciudadanos de Uruapan ya no hablan p'urhépecha ni resguardan un conocimiento tradicional de las tierras, identifican dos principales tipos de suelo: 1) Tupuri, suelo de ceniza volcánica intemperizada, muy apto para la producción de aguacate; 2) Charanda, suelo con alto contenido de arcillas rojas con mediana aptitud para la producción (Barajas, 2015; Barrera-Bassols, 1988). Para diagnosticar el estado actual de la fertilidad del suelo se seleccionó una huerta experimental, la cual cubre una superficie de ≈ 38 hectáreas, tiene manejo convencional, árboles de 30 años o más de edad y, una zona de amortiguamiento con cubierta forestal nativa de bosque de pino encino.

Diagnóstico de la fertilidad del suelo

Se describieron tres perfiles edáficos, uno en Tupuri, uno en Charanda y otro en bosque, este último fungió el papel de muestra blanco. Se colectaron en total 12 muestras, las cuales corresponden a los horizontes. Con los datos de campo y de laboratorio se realizó la clasificación del perfil de suelo (IUSS Working Group WRB, 2015) y se diseñaron gráficas para comprender la distribución de macro y micronutrientes en el software OriginPro (versión 2021b).

Percepción local del cultivo de aguacate

Se aplicaron encuestas estructuradas cerradas, para ello se seleccionaron 33 informantes clave de acuerdo con el recorrido de campo de los técnicos de la Junta Local de Sanidad de Uruapan, es decir, se cuestionó al 1% de los productores dados de alta para el periodo 2021-2022 (García, comunicado personal), se hizo énfasis en conocer: el uso y manejo de la huerta; el perfil socioeconómico; la percepción de cambios y amenazas; y la percepción de la sostenibilidad (TEEB, 2018). Los datos obtenidos de las encuestas se analizaron con el software Quantrix modeler (21.1.0), el principal procesamiento fue la gráfica de tipo araña, para observar la correlación entre principales ideas y percepciones.

Resultados

Se identificaron tres grupos de suelos: Andosol, Luvisol y Leptosol. En los tres la distribución de macronutrientes tiene el mismo comportamiento (Fig. 1 Ai, Bi y Ci), lo que varía es el número de horizontes, la relación Mg/K es alta y Ca/Mg mediana. Los micronutrientes se comportan de forma distinta (Fig. 1 Aii, Bii y Cii), en suelos con cultivo de aguacate (Fig. 1 A y C) observamos

un contenido de Zn y B que decrece abruptamente (Fig. 1: Aii, Zn línea azul y Cii, B línea roja). Mientras que Cu y N-NO_3, tienen una distribución lineal (Fig. 1, ii: Cu línea negra y N-NO_3 línea verde). Nitrógeno tiene contenidos similares (AN 29.7, LP 27.8 y LV 12.7 (ppm)), por lo contrario, el cobre en bosque tiene 0.23 ppm y, en aguacate el Andosol 13.5 ppm y el Luvisol 36.5 ppm.

Percepción local del cultivo de aguacate

Las huertas de clima semicálido son identificadas como más vulnerables porque reportan mayor incidencia de plagas y enfermedades, además creen que el cambio climático podría afectar su huerta, porque han observado disminución en la disponibilidad de agua (Fig. 2).

Se normalizaron las poblaciones de encuestados, con naranja se observan los productores de clima semicálido y con verde los productores de clima templado.

El capital financiero enuncia que con lo que ganan les alcanza para cubrir sus necesidades básicas y se dedican a producir aguacate por el beneficio económico que reciben, sin embargo, consideran –al

menos 15 productores– que la principal barrera para transitar hacia el manejo sostenible es la falta de recursos económicos.

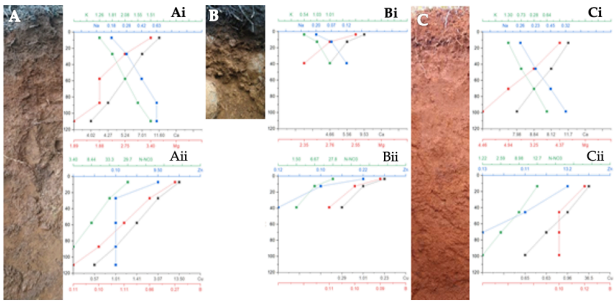


Figura 1. A) Andosol. B) Leptosol. C) Luvisol. En cultivo de aguacate (A y C) y bosque (B).

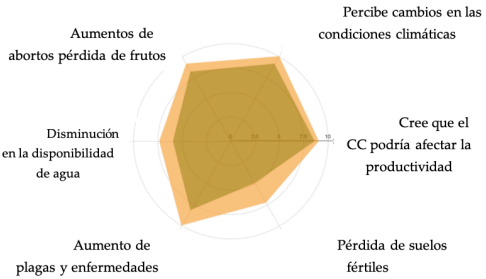


Figura 2. Percepción de amenazas a la productividad. En verde huertas de clima templado y en naranja huertas de clima semicálido.

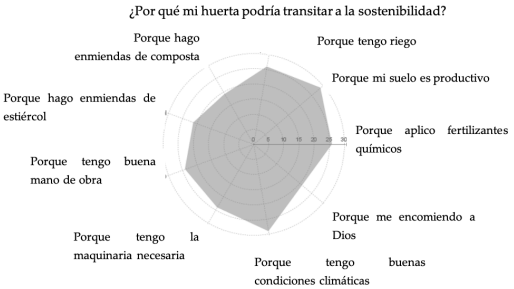


Figura 3. Variables que influyen en la transición a la sostenibilidad del cultivo de aguacate.

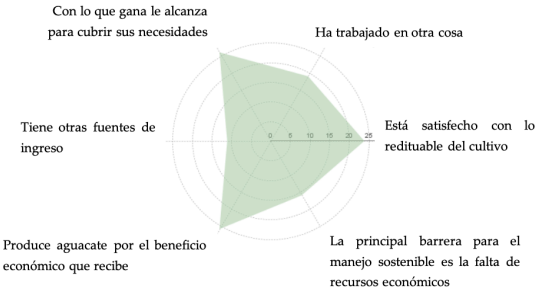


Figura 4. Perspectiva local de los productores de aguacate sobre el capital financiero.

Conclusiones

La descripción detallada de los suelos permite observar un cambio en el contenido de micronutrientes relacionados con el manejo de la huerta (Fig. 1), al menos 25 productores de los 33 encuestados consideran que pueden transitar a la sostenibilidad porque aplican fertilizantes (Fig. 3), es decir, consideran importante mantener o aumentar la productividad para cubrir el capital financiero de la sostenibilidad. Sin embargo, el capital natural es más relevante de acuerdo con la perspectiva local (Fig. 3). La capacidad de sostenibilidad ambiental, social y económica del cultivo de aguacate se podría ver amenazada por el aumento de plagas y enfermedades, y por el cambio de las condiciones climáticas (Fig. 2).

Literatura citada

Barajas, A. (2015). Evaluación de tierras en el cultivo de aguacate Tacámbaro, Michoacán, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México

Barrera-Bassols, N. (1988). Etnoedafología Purhépecha: conocimiento y uso de los suelos en la cuenca de Pátzcuaro. *México Indígena*, 24, 47-52.

Bergh, B. & Ellstrand, N. (1986). Taxonomy of the avocado. California Avocado Society. 70: 135-146.

Bills, N. & Gross, D. (2005). Sustaining multifunctional agricultural landscapes: comparing stakeholder perspectives in New York (US) and England (UK). Land Use Policy, 22, 313-321.

Bishnoi, U. (2015). PGPR Interaction: An Ecofriendly Approach Promoting the Sustainable Agriculture System. *Plant microbe interactions*, 75, 81-113.

Burgos, A., C. Anaya, M. & I. Solorio, H. (2011). Impacto ecológico del Cultivo de Aguacate a nivel regional y de parcela en el Estado de Michoacán: Definición de una Tipología de Productores. Informe final a la Fundación Produce Michoacán (FPM) y la AALPAUM. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA/UNAM Campus Morelia). Morelia, Michoacán. 90 pp.

Chávez-León G., Tapia, L. M., Bravo, M., Sáenz, J. T., Muñoz, H. J., Vidales, I. & Mendoza-Cantú M. E. (2012). Impacto del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Castellanos, J. Z. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. 2ª edición. México: Intagri.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1976). A framework for land evaluation. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2007). Land evaluation. Towards a revised framework. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

García, A. (2021). [Número de productores dados de alta en la Junta Local de Uruapan para el periodo 2021-2022.].

Gallegos-Tavera A., Bautista F., & Álvarez O. (2014). Software para la evaluación de las funciones ambientales de los suelos (Assofu). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 2:2, 237-249. doi.org/10.5154.r.rchscfa.2012.11.060

Gutiérrez-Contreras, M., Lara-Chávez, M. B. N., Guillén-Andrade, H., & Chávez- Bárcenas, A. T. (2010). Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, *México. Interciencia*, 35(9), 647-653. Disponible en: https://www.interciencia.net/wpcontent/uploads/2018/01/647-GUILLEN-7color.pdf

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (SD). Conjunto de Datos Vectoriales Edafológico. Serie II. 1:250,000. Continuo Nacional. México.

INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Uruapan, Michoacán de Ocampo. México.

INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. México.

INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. (2009). Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán (Vol. 2). México: INIFAP.

IPNI: International Plant Nutrition Institute. (2013). Manual de Nutrición de Plantas 4R: Un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas. En: T. W. Bruulsema, G. D. Fixen & G. D. Sulewski (Eds.). IPNI. EE.UU.

IUSS Working Group WRB: International Union of Soil Sciences Working Group World Reference Base for Soil Resources. (2015). World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports, (No. de serie 106). ISBN: 978-925-10-8369-7

Kates, R. W., Clark, W. C., Corell, R., Hall, J. M., Jaeger, C. C., Lowe, I., McCarthy, J. J., Schellnhuber, H. J., Bolin, B., Dickson, N. M., Faucheux, S., Gallopin, G. C., Grubler, A., Huntley, B., Jager, J., Jodha, N. S., Kasperson, R. E., Mabogunje, A., Matson, P., Mooney, H., Moore, B., O'Riordan, T. & Svedin U. (2001). *Sustainability Science. American Association for the Advancement of Science*, 5517, (292): 641-642.

Lehmann, A., David, S. & Stahr, K. (2008). Technique for Soil Evaluation and Categorization for Natural and Anthropogenic Soils. In: E. Kandeler, Y. Kuzyakov, K. Stahr & T. Streck (Eds.). *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte* (Vol. 86). Germany.

Morales-Manilla L. M., Cuevas-García G., González-Gutiérrez I., Terrazas-González D. I., Mendoza-Cantú M. E., & Valenzuela C. (2010). 2o Informe Trimestral del Proyecto: Inventario 2008-2010 e impacto ambiental regional del cultivo del aguacate (Etapa I). Michoacán, México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Fundación Produce Michoacán.

Morales, C. R. (2019). Efectos ecohidrológicos del aguacate en el estado de Michoacán, México. Tesis de doctorado. P.I.D.C.B. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Ortiz, C., Pájaro S. A. & Ordaz V. (1990). Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas. Serie Cuadernos de Edafología 15. México: Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo.

Popenoe, W. & Williams, L. (1948). Mexican Explorations of 1948. *California Avocado Society*, 33, 54-58.

Ramírez S., L. G. (2009). Evaluación de tierras para el cultivo del aguacate de acuerdo con el conocimiento local del paisaje en la región del Pico de Tancítaro, Michoacán. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y Clasificación de suelos. En: *Estudios, muestreo y análisis* (2ed.). México.

TEEB: La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (2018). Midiendo lo que importa en la agricultura y los sistemas alimentarios: síntesis de los resultados y recomendaciones del Informe sobre los Fundamentos Científicos y Económicos de la iniciativa TEEB para la Agricultura y la Alimentación. Ginebra: ONU Medio Ambiente.

Toledo, V. M. (2003). Ecología, espiritualidad y conocimiento, de la sociedad del riesgo a la sociedad sustentable. México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Universidad Iberoamericana.

Wolstenholme, B. N. (2007) Ecología: El Clima y el ambiente edáfico. En: Whinley, A.W., Schaffer, B., Wolstenholme, B. N. (Eds.) *El Palto. Botánica, Producción y Usos*. Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso. pp. 75-101

Indicadores de calidad del suelo después de la deforestación de un bosque mesófilo

Marisol Ramírez López[1]*
Angélica Bautista-Cruz[1]
Saúl Sánchez-Mendoza[2]

Resumen

La conversión del bosque mesófilo de montaña (BMM) a campos agrícolas mediante el sistema roza-tumba-quema afecta su calidad edáfica, ya que los suelos y los bosques están intrínsecamente vinculados. El objetivo de este estudio fue seleccionar un conjunto mínimo de indicadores de calidad del suelo en un área originalmente ocupada por bosque mesófilo de montaña. Se analizaron propiedades edáficas de cuatro sitios con diferente edad desde la última perturbación: un bosque de ~31 años, considerado el bosque de referencia; dos bosques secundarios de ~20 y 6 años y un maizal. Los indicadores de calidad edáfica se seleccionaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis. Las propiedades que integraron el conjunto mínimo de indicadores fueron carbono orgánico, pH, P disponible, contenido de NO3-, actividad de fosfatasa

[1] Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-OAXACA.

2 Nova Universitas. Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca.

* rl.marisol@gmail.com.

alcalina, actividad de β-glucosidasa, carbono recalcitrante e índice de recalcitrancia del carbono. La conversión del BMM a maizales disminuyó el carbono orgánico, actividad de fosfatasa alcalina, índice de recalcitrancia del carbono y carbono recalcitrante.

Palabras clave: *Carbono orgánico, carbono recalcitrante, fosfatasa alcalina, índice de recalcitrancia del carbono*.

Introducción

El bosque mesófilo de montaña (BMM) es uno de los ecosistemas más frágiles del planeta debido a procesos de degradación por el uso excesivo y su conversión a sistemas agrícolas y campos de pastoreo (González-Espinosa et al., 2012). En el municipio de Huautla de Jiménez, Oaxaca (México), el BMM ocupa poca extensión en estado primario, predominando los bosques en estado secundario arbóreo y arbustivo. El cambio de uso de suelo forestal a agrícola en esta región ha sido en gran parte a agricultura de temporal realizada en laderas, principalmente con la siembra de café, maíz y frijol de auto subsistencia. La deforestación requiere acciones que generen un diagnóstico del estado actual de este recurso mediante la obtención de indicadores de ca-

lidad del suelo. Los indicadores de calidad del suelo comprenden las propiedades clave relacionadas con las funciones del suelo relevantes para el manejo sustentable de este recurso (Riches *et al*., 2013). El objetivo de este trabajo fue seleccionar un conjunto mínimo de indicadores de calidad del suelo en un área originalmente ocupada por BMM en el municipio de Huautla de Jiménez, Oaxaca, México.

Materiales y métodos

El área de estudio se localiza entre 18º0′ a 18º25′ N y 96º44′ a 96º53′ O en el Municipio de Huautla de Jiménez, Oaxaca, México. La vegetación original era BMM el cual fue convertido a campos agrícolas mediante el sistema de roza-tumba y quema. Se identificaron cuatro sitios con diferente edad desde la última perturbación: un bosque de ~31 años, considerado el bosque de referencia (BR); dos bosques secundarios de ~20 (BS2) y 6 años (BS1) y un suelo agrícola (ZC) cultivado con maíz (*Zea mays* L.) desde hace 10 años. En cada parcela se tomaron cinco muestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm, durante el mes de diciembre de 2017. Las propiedades del suelo determinadas fueron: densidad

aparente (DA) por el método del cilindro (Klute, 1986). pH en una relación suelo-agua 1:2. Fósforo disponible (P disponible) por el procedimiento de Bray y Kurtz. Contenido de carbono orgánico (CO) por el método de Walkley y Black. Contenido de NO_3^-, Ca^{2+} y K^+ intercambiables con un medidor de iones LAQUA twin. Carbono de la biomasa microbiana (CBM) por el procedimiento de fumigación-extracción con K_2SO_4 0.5 M. Carbono recalcitrante (CR) mediante el método de hidrólisis ácida de Rovira y Vallejo (2007). Índice de recalcitrancia de carbono (IRC) mediante la fórmula: IRC= Carbono recalcitrante × 100/CO. Actividad de fosfatasa ácida y fosfatasa alcalina (FAC y FAL) por el método de Tabatabai y Bremner (1969). Actividad de β-glucosidasa (BG) por el método de Tabatabai (1982). Los datos obtenidos se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para conocer las diferencias significativas de cada propiedad edáfica entre los cuatro sitios de estudio.

Resultados y discusión

Las propiedades edáficas que mostraron diferencias significativas entre sitios se consideraron indicadores de calidad del

suelo. Estas propiedades fueron CO, pH, P disponible, NO3-, FAL, BG, CR e IRC (Cuadro 1). El CO es una de las propiedades del suelo utilizada con mayor frecuencia como indicador de su calidad (Bünemann et al., 2018). La disminución del CO en el suelo del BS1, ZC y BS2 con respecto al suelo del BR, probablemente es consecuencia de un aumento en la mineralización de la materia orgánica debido a la deforestación y a las actividades agrícolas (Novara et al., 2014). La mineralización del CO en el suelo del BR puede estar relacionada con la existencia de una fracción de CO lábil, la cual se mineraliza a una tasa relativamente alta durante los primeros años de aclareo del bosque, y una fracción de CR más estable, la cual se mineraliza a una tasa relativamente lenta (Jolivet et al., 1997), de hecho, el CR y el IRC fue más alto en el BR. Otros autores también han reportado reducciones significativas en el contenido de CO de suelos forestales convertidos a suelos agrícolas (Bautista-Cruz et al., 2012. Similarmente, Bautista-Cruz et al. (2012) seleccionaron al pH del suelo como indicador de su calidad durante la recuperación de un BMM. La materia orgánica es el sustrato para los microorganis-

mos del suelo, por lo que está fuertemente relacionada con las actividades enzimáticas de este recurso. Por esta razón, si el contenido de materia orgánica aumenta, el nivel de actividad enzimática también aumenta (Gil-Sotres et al., 2005), como ocurrió en este caso, donde la actividad de FAL fue mayor en el suelo del BR, el cual también presentó el contenido más alto de CO. El incremento de la actividad BG en la ZC se puede atribuir a un aumento en la disponibilidad de CO lábil derivado de los residuos de maíz (Zibilske y Makus, 2009).

Conclusiones

La conversión del bosque mesófilo de montaña a maizales disminuyó el contenido de carbono orgánico, actividad de fosfatasa alcalina, carbono recalcitrante e índice de recalcitrancia del carbono.

Cuadro 1. Valor medio ± error estándar de las propiedades del suelo en los sitios de estudio

Propiedad del suelo	BR	BS1	ZC	BS2	*p*
DA (kg dm^{-3})	0.62 ± 0.04 a	0.92 ± 0.05 a	0.85 ± 0.03 a	0.88 ± 0.10 a	0.08
CO (g kg^{-1})	82.4 ± 5.73 a	48.2 ± 4.50 b	34.8 ± 5.42 bc	30.6 ± 3.82 c	0.003
pH	5.5 ± 0.06 ab	5.2 ± 0.21 a	5.8 ± 0.06 bc	5.8 ± 0.06 c	0.021
P disponible (mg kg^{-1})	4.20 ± 0.73 a	3.40 ± 0.68 a	4.20 ± 0.80 a	15.8 ± 3.27 b	0.009
NO_3^- (mg kg^{-1})	9.60 ± 2.46 a	28.20 ± 1.24 b	25.8 ± 5.76 b	4.4 ± 1.20 a	0.001
Ca^{2+} ($cmol_c$ kg^{-1})	0.32 ± 0.11 a	0.48 ± 0.08 a	0.9 ± 0.32 a	0.28 ± 0.04 a	0.223
K^+ ($cmol_c$ kg^{-1})	0.99 ± 0.33 a	0.9 ± 0.37 a	0.83 ± 0.38 a	1.10 ± 0.37 a	0.805
FAC (µg PNP g^{-1} de suelo h^{-1})	47.28 ± 4.60 a	40.57 ± 6.63 a	43.72 ± 4.50 a	50.5 ± 3.6 a	0.578
FAL (µg PNPg^{-1} de suelo h^{-1})	28.96 ± 2.83 a	10.55 ± 1.34 b	12.16 ± 1.62 b	15.7 ± 3.6 ab	0.023
BG (µg PNP g^{-1} de suelo h^{-1})	15.63 ± 0.20 ab	14.59 ± 0.22 c	15.80 ± 0.16 a	15.2 ± 0.13 b	0.005
CBM (µg g^{-1})	1498.1 ± 107.3 a	1409.2 ± 185.4 a	1650.3 ± 195.1 a	1622.1± 251.4a	0.804
CR (%)	8.2 ± 0.1 a	1.7 ± 0.1 b	1.88 ± 0.2 b	1.46±0.1 b	0.004
IRC	105.7 ± 5.4 a	36.5 ± 2.5 b	55.08 ± 3.03 c	49.2 ± 3.8 c	0.001

En cada fila los valores con las mismas letras no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples de Kruskal-Wallis ($p < 0.05$). Da, Densidad aparente; CO, Carbono orgánico; P disponible, Fósforo disponible; NO3,-Nitratos; FAC, Fosfatasa ácida; FAL, Fosfatasa alcalina; BG, β-glucosidasa; CBM, Carbono de la biomasa microbiana; CR, Carbono recalcitrante; IRC, Índice de recalcitrancia del carbono; BR, Bosque de referencia; BS1, Bosque secundario 1; ZC, Maizales; BS2, Bosque secundario 2.

Literatura citada

Bautista-Cruz, A., R. Del Castillo, J. D. Etchevers-Barra, M. C. Gutiérrez-Castorena & A. Báez. 2012. Selection and interpretation of soil quality indicators for forest recovery after clearing of a tropical montane cloud forest in Mexico. *i*277: 74-80. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.04.013

Bünemann, E. K., G. Bongiorno, Z. Bai, R. E. Creamer, G. de Deyn, R. de Goede, L. Fleskens, V. Geissen, T. W. Kuyper & P. Mäder. 2018. Soil quality. A critical review: *Soil Biology and Biochemistry* 120: 105-125. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030

González-Espinosa, M., J. A. Meave, N. Ramírez-Marcial, T. Toledo-Aceves, F.G. Lorea-Hernández & G. Ibarra-Manríquez. 2012. Los bosques de niebla de México: conservación y restauración de su componente arbóreo. *Ecosistemas 21* (1-2): 36–52.

Gil-Sotres, F., C. Trasar-Cepeda, M. C. Leirós & S. Seoane. 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties: *Soil Biology and Biochemistry* 37: 877-887. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.10.003

Jolivet, C., D. Arrouays, F. Andreux & J. Lévèque. 1997. Soil organic carbon dynamics in cleared temperate forest spodosols converted to maize cropping. *Plant and Soil* 191: 225–231.

Klute, A. 1986. Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods, second ed. Agronomy Monograph, no. 9, second ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison 150: 363-375.

Novara, A., P. Pereira, A. Santoro, Y. Kuzyakov & T. La Mantia. 2014. Effect of cactus pear cultivation after Mediterranean maquis on soil carbon stock, δ13C spatial distribution and root turnover. *Catena* 118: 84–90.

Riches, D., I. J. Porter, D. P. Oliver, R. G. V. Bramley, B. Rawnsley, J. Edwards & R. E. White. 2013. Review: soil biological properties as indicators

of soil quality in Australian viticulture: *Australian Journal of Grape and Wine Research* 19: 311–323. https://doi.org/10.1111/ajgw.12034

Rovira, P. & V. R. Vallejo. 2007. Labile, recalcitrant, and inert organic matter in Mediterranean forest soils: *Soil Biology and Biochemistry* 39: 202–215. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.07.021

Tabatabai, M. A. & J. M. Bremner. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity: *Soil Biology and Biochemistry* 1: 301-307. https://doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1

Tabatabai, M. A. 1982. Soil enzymes. In A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (Eds.), Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties. 2nd Edition. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 903–947. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c43

Zibilske, L. M. & D. J. Makus. 2009. Black oat cover crop management effects on soil temperature and biological properties on a Mollisol in Texas, USA: *Geoderma* 149: 379–385. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.01.001.

La fertilidad de los suelos de Tlaxcala como un problema perverso (Wicked problem)

Andrés María Ramírez

Resumen

En el estado de Tlaxcala en promedio (2019-2020) se sembraron 225 823 hectáreas con 51.8% de maíz grano (éste con un rendimiento medio de 2.8tha^{-1}; el promedio nacional fue de 3.1tha^{-1}). Según antecedentes, los suelos de más baja fertilidad del suelo, en México son los del estado de Tlaxcala. De acuerdo con el último Censo Agropecuario 2007, de 59 061 unidades de producción, la pérdida de fertilidad del suelo (22.2%) es el tercer mayor problema para la producción de cultivos, después de las pérdidas por el clima (93.4%) y los altos costos de los insumos (41.5%). No se conoce ningún antecedente que consideré el mejoramiento de la fertilidad de los suelos agrícolas. Se busca demostrar que el abatimiento histórico de la fertilidad del suelo es un problema perverso que tiene al menos una o dos de las características de este tipo de problemas. Con base en el reporte del contenido de materia orgánica (MO) en experimentos agrícolas establecidos en 1970-1980 en la entidad y la revisión de fuentes secundarias de información, se encontró que la MO es menor que 2.0%, insufi-

ciente para sostener una producción de más de 2.5tha^{-1} de maíz, en promedio, lo que es indicio de que el suelo está recibiendo un exceso de insumos externos; se considera que la baja fertilidad del suelo es un wicked problem, que tiene más de una posible solución es términos de mejorar su calidad.

Palabras Clave: *degradación de suelos; pobreza de campesinos; epistemología lineal*.

Introducción

Wicked problem

Aunque han transcurrido 48 años desde que se empezó a hablar sobre los problemas perversos (wicked problems) por Rittel & Weber (1973), poco se ha hecho por relacionar las múltiples problemáticas que nos aquejan globalmente, como son la contaminación de suelo, agua y aire, enfermedades como la diabetes y el calentamiento global y el bienestar de la población humana (y todas las demás especies) y el medio ambiente y metodologías alternativas (al método científico convencional) para abordar estos problemas. Como afirman Levin *et al* (2007), la naturaleza de

estos problemas hace muy cuestionable la utilidad del habitual método de predicción retrospectiva –realmente post predicción– típico de la teoría deductivo-nomotética.

Ante ello, Velthuizen (2012), refiere que se requiere una metodología que permita salir de las restricciones asfixiantes del pensamiento sistémico y de los procesos lineales para adentrarnos en el espacio interior de la confluencia de las disciplinas. Estudios recientes sobre problemas perversos han sugerido que las estrategias para navegar, si no resolver, los problemas perversos requieren enfoques adaptativos, participativos y transdisciplinarios y procesos de aprendizaje social deliberativo (Fineberg & Stern, 1996; Balint *et al*., 2011; Xiang, 2013, citados por Huang & London, 2016), aunque como advierten Norris *et al* (2016), la integración de los equipos transdisciplinarios llamados a investigar y resolver problemas notoriamente perversos, es en sí mismo, un problema perverso.

Según Lewis (2008), las 10 características de un wicked problem, de acuerdo con Rittel Weber (1973), son: 1) No hay una formulación definitiva de un problema perverso; 2) Los problemas complejos no tienen una regla de terminación; 3) Las solu-

ciones a los problemas perversos no son "verdaderas o falsas" sino "buenas o malas“; 4) No hay una prueba inmediata ni definitiva de una solución a un problema perverso; 5) Toda solución aplicada a un problema perverso tiene consecuencias; 6) Los problemas perversos no tienen un conjunto bien definido de posibles soluciones; 7) Cada problema perverso es esencialmente único; 8). Todo problema perverso puede considerarse un síntoma de otro problema; 9) Las causas de un problema perverso pueden explicarse de numerosas maneras; y 10) El planificador (diseñador) no tiene derecho a equivocarse. En este aspecto se pretende identificar al menos una a dos de las características de las mencionadas de los wicked problem, con relación a la fertilidad de los suelos del estado de Tlaxcala.

Materia Orgánica y fertilidad de suelos

Según indican Rimski-Korsakov y Álvarez (2016:59-60), la MO tiene una serie de funciones en el suelo y ambiente, influyendo de manera directa e indirecta sobre numerosas propiedades químicas, físicas, biológicas y ambientales y actuar, por ejemplo,

como reservorio de nutrientes. Su importancia en la fertilidad del suelo la señalan Trinidad-Santos y Velasco-Velasco (2016:52):

Los suelos agrícolas en México son generalmente pobres en materia orgánica, con valores menores a 1%. Un suelo con 1.0% de materia orgánica solo aporta 17.4 kg de N por ha, mientras que uno que es rico en esta (4%) puede contribuir con hasta 69.6 kg de N por ha, calculado a partir de su porcentaje de mineralización anual de 1.5%, con un contenido de nitrógeno en la materia orgánica de 5.8% para un peso de suelo por hectárea de $2x10^6$ kg en los primeros 15 cm de profundidad (p.52)

Según Ojeda y Ojeda (1999), citados por SEMARNAT (2005), Tlaxcala es la entidad con los suelos más pobres de México, y según SEMARNAT-COLPOS (2002) es también una de las entidades con más problemas de degradación del suelo por erosión hídrica y eólica y abatimiento de la fertilidad. Además, según el Censo Agropecuario de INEGI (2007), la pérdida de la fertilidad es el tercero de los grandes problemas de los campesinos de Tlaxcala (22.2%), detrás de los daños por fenómenos climáticos (93.4%) y los altos costos de los insumos de producción (41.5%). En este as-

pecto, se pretende demostrar los bajos porcentajes de MO en los suelos de Tlaxcala, asociando ello a la baja fertilidad de los mismos.

Materiales y métodos

MO en los experimentos en Tlaxcala

El contenido de MO en los suelos se obtuvo de los registros de experimentos de productividad en campo, en terrenos de cooperantes en el estado de Tlaxcala, con el cultivo de maíz, principalmente de Eguiarte, Villalpando, Aveldaño (1979) citados por María (1997). Es importante mencionar que la determinación de la MO del suelo se hizo con la misma metodología en todos los sitios. El número total de observaciones promedio de MO fueron 107 experimentos distribuidos en el territorio tlaxcalteca. La interpolación se hizo con el software IDRISI Kilimanjaro.

Características de los wicked problems

Se consideró las 10 características anotadas originalmente por Rittel y Weber (1973) no obstante que con fechas más recientes se han propuesto reinterpretaciones de esas características agrupándolas en un número más reducido, pero se optó por la

información inicial original mencionada (ver Ackoff, citado por Jacson & Keys, 1984; McGregor, 2011).

De los estudios de Cattan y colaboradores (2012) y María *et al*. (2021), se retomó la idea de las dimensiones (factores) relacionadas con la contaminación del río Atoyac en la frontera Tlaxcala-Puebla, que permiten un abordaje holístico de la problemática con el enfoque de wicked problem; se retoma solo el concepto de las dimensiones, no las causas del problema.

Resultados y discusión

Contenido de MO

Se obtuvo el promedio de MO en los suelos de Tlaxcala con datos experimentales de campo de 1973 hasta 1994; esta fecha coincide con el periodo en que se empezaron a retirar los recursos destinados a la experimentación en productividad de suelo en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), situación que sigue hasta la fecha.

Al graficar, se observó que los valores no llegan ni a 1.5% de MO en el suelo y cualquiera que sea la textura del suelo: fina,

media o gruesa, el contenido se clasifica como bajo y muy bajo (Fertilab,2013; Andrades y Martínez, 2014). Debido a que no se tiene registro de acciones de política pública o de cualquiera otra naturaleza, destinadas a mejorar la fertilidad del suelo, se asume que esos valores de MO en la actualidad sean más bajos, sin embargo, esta apreciación no coincide, por ejemplo, con el hecho de que el rendimiento promedio de maíz grano, tanto bajo temporal como en riego, tiene una tendencia positiva de crecimiento (periodo 2008-2018, según SIAP,2021). Ello podría explicarse con un incremento en el uso de insumos externos (fertilizantes y semillas).

Características Wicked de la fertilidad de los suelos

Considerando un ejemplo en las dimensiones wicked reportadas por María *et al*. (2021): Política (política pública de apoyo a campesinos con fertilizantes orgánicos), Social (apoyos con especies animales de traspatio para generar estiércoles), Económica (programas sociales para reducir la pluriactividad y tener más tiempo para sus parcelas agrícolas), Ambiental (prácticas agroecológicas para reducir el impacto negativo de contaminantes del suelo), Científico – Tecnológica (inversión para proyectos

de investigación participativa). Cada una de esas acciones puede contribuir a mejorar la calidad de los suelos de Tlaxcala, cumpliendo el criterio 6: Los problemas perversos no tienen un conjunto bien definido de posibles soluciones.

De acuerdo con el Sol de Tlaxcala (30 de agosto, 2014), 80% de los productores que recibían PROCAMPO, rentaban a otros sus tierras agrícolas. Quienes se dedican a acaparar tierras, pagan la renta e intensifican el uso de insumos con miras a tener la máxima rentabilidad. Luego, el uso intensivo de la fertilización por la renta de la tierra, ayudan a explicar la baja fertilidad del suelo. Así mismo, la descapitalización de los campesinos, que les impide gestionar abonos orgánicos, también ayuda a explicar esa baja de fertilidad; con ello, se cumple lo especificado en el criterio 9). las causas de un problema perverso pueden explicarse de numerosas maneras.

Conclusiones

Se concluye que hay evidencias de que al menos dos de 10 características de los wicked problems se pueden aplicar a la baja fertilidad de los suelos; también se concluye que los bajos porcen-

tajes de MO en los suelos de Tlaxcala ayudan a explicar la baja fertilidad de los mismos.

Literatura citada

Andrades, M. & Martínez, Ma.E. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen (3ra Ed.), Universidad de la Rioja

Cattan, E. (Coord.) (2012). Regeneración de la cuenca del Río Atoyac Puebla. Reporte inicial. Taller13 Arquitectura Regenerativa y Regenesis Group. https://issuu.com/taller13/docs/libro_atoyac__baja_

Fertilab (2013).La Materia Orgánica y la Disponibilidad de Nutrientes Minerales, fertilab.com.mx; https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/La_-Materia_Organica_y_la_Disponibilidad_de_Nutrientes_Minerales.pdf

Huang, G., & London, J. K. (2016). Mapping in and out of "messes": An adaptive, participatory, and transdisciplinary approach to assessing cumulative environmental justice impacts. *Landscape and Urban Planning*, 154, 57–67. doi:10.1016/j.landurbplan.2016.

INEGI.(2007). Censo Agropecuario 2007, VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Aguascalientes, México. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.aspx

Jackson,M.C. & and Keys. P. (1984). Towards a System of Systems Methodologies, *The Journal of the Operational Research Society*, 35 (6), 473-486

Levin,K., Cashore,B.,Bernstein,S. & Auld,G. (February 28th-March 3,2007). Playing it Forward: Path Dependency, Progressive Incrementalism, and the "Super Wicked" Problem of Global Climate Change, [Keynote speech].IOP Conf. Series: *Earth Environ. Sci.* 6 502002.

Lewis, S.(2008). The tissue issue: A wicked problem, *Jurimetrics*, 48 (2), 193-215

María R., A. 1997. Potencial productivo de maíz en la región oriente del estado de Tlaxcala. [Tesis de Maestría inédita]. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

McGregor, S. L. T. (2011). Complexity economics, wicked problems and consumer education. *International Journal of Consumer Studies*, 36(1), 61–69.

Norris, P. E., O'Rourke, M., Mayer, A. S., & Halvorsen, K. E. (2016). Managing the wicked problem of transdisciplinary team formation in socio-ecological systems. *Landscape and Urban Planning*, 154, 115–122.

Rimski-Korsakov, H., Álvarez, C. R. (Edts.) (2016). *Materia orgánica del suelo. Fertilidad del suelo en planteos orgánicos*. EFA, Buenos Aires

Rittel, H.W.J., Webber, M.M. Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4 (2), 155–169

SEMARNAT. (2005). Capítulo 3. Suelos. En Flores, M.A. (Coord.). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. SEMARNAT,México.

SEMARNAT-COLPOS.(2002). Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República, Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional. Colegio de Postgraduados, México

Velthuizen,A. (2012). A transdisciplinary approach to understanding the causes of wicked problems such as the violent conflict in Rwanda, Td *The Journal for Transdisciplinary Research in Southern Africa*, 8(1), 51 - 62.

Los retos de la valoración económica de los servicios ecosistémicos que proporcionan los suelos en México

Adriana Solis Bravo[1]
María Guadalupe Tenorio Arvide[1]
Miguel Ángel Valera Pérez[1]
Salvador Peniche Camps[2]

Resumen

La interdependencia de los sistemas antropogénicos y los sistemas naturales hace evidente con el concepto de servicios ecosistémicos, pues refiere que todo lo que la humanidad requiere para su existencia y desarrollo es tomado de la naturaleza. Los suelos como parte fundamental de los ecosistemas proporcionan diversos servicios, los cuales tienen un papel trascendental para que se desarrolle la vida en sobre la Tierra. Los servicios ecosistémicos y su valoración económica advierten a la sociedad sobre los costos relacionados con la falta de medidas de conservación de la naturaleza y es una herramienta útil para visibilizar los aportes de la naturaleza al bienestar humano, y para asegurar que dichos servicios sean considerados en la gestión ambiental y

[1] Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

[2] Universidad de Guadalajara.

Correo electrónico del ponente: adriana.solisb@alumno.buap.mx.

las políticas públicas. Considerando que a la fecha existe controversia sobre la manera de clasificar los servicios ecosistémicos de manera que sean cuantificables de forma consistente y comparable, y que las metodologías para valorar económicamente los servicios ecosistémicos no han sido estandarizadas. En este trabajo se exploran las diferentes clasificaciones, metodologías y paradigmas que rigen la valoración económica de los servicios ecosistémicos que proporcionan los suelos en México. Mediante una revisión bibliográfica analítica de diferentes escritos se concluye que hay cuatro clasificaciones internacionales y dos paradigmas dominantes en este tema, y que hay escasez de trabajos en México que aborden esta problemática por lo que es necesario impulsar su estudio.

Palabras clave: *interrelaciones, recursos naturales, degradación ambiental*.

Introducción

La sociedad obtiene beneficios de los diferentes sistemas naturales y los servicios ecosistémicos que proveen, de esta forma surgió el concepto en la década de 1980 como parte de los enfoques que trataban de aumentar el interés público en el medio am-

biente y en la conservación de la naturaleza (Costanza *et al*., 1997; Costanza & Daly, 1992; de Groot, 1987; Ehrlich *et al*., 1981).

Como parte de los ecosistemas, el suelo provee diversos servicios ecosistémicos. Los estudios que investigan dichos servicios se remontan a los años sesenta. Sin embargo, el interés aumentó después de 2005 al publicarse la "Evaluación de los Ecosistemas del Milenio", con un enfoque creciente en las contribuciones de los suelos al bienestar humano y el vínculo indisoluble entre la humanidad y su medio natural (Brevik *et al*., 2018; Dazzi *et al*., 2019).

Para advertir a las sociedades sobre los costos relacionados con la falta de medidas de conservación de los recursos naturales se desarrolla el concepto de valoración de servicios ecosistémicos (Costanza *et al*., 1997) . Este enfoque puede utilizarse para considerar el funcionamiento de un socio-ecosistema en su conjunto. Actualmente forma parte de los instrumentos de políticas ambientales internacionales, pues tiene como propósito incorporar el valor de los servicios ecosistémicos en el paradigma domínate de la economía y así evitar su creciente degradación (Lebreton *et al*., 2019).

En este sentido la valoración de los servicios de los ecosistemas es útil en la gestión ambiental. Al proporcionar información clave sobre las condiciones del mercado y la viabilidad económica de la explotación de la naturaleza. Sin embargo, la valoración de los servicios ecosistémicos debe ser tratada con extrema cautela por las políticas públicas (Sutton & Peniche, 2019)

Las políticas que conservan los ecosistemas y sus servicios son especialmente problemáticas dado que la naturaleza se caracteriza por la incertidumbre, las irreversibilidades e indeterminaciones e incertidumbres; por lo que su funcionalidad y existencia no deben acatar únicamente las normas explícitas e implícitas de la economía de mercado (economía neoclásica) (Cabrera-Murieta, 2012). En donde usualmente se exponen como estudios de concesión y nivel de escasez de recursos a la valoración económica de los servicios ecosistémicos (Lara-Pulido *et al*., 2018).

La economía ecológica, en contraposición a la economía ambiental neoclásica tiene como objetivo insertar la economía en la ecología con una perspectiva crítica ante la problemática energética y la degradación ambiental, lo cual es resultado de los ac-

tuales modelos de consumo y producción global, para lograr que la dinámica de la naturaleza se integren y fluyan en la dinámica económica (Leff, 2011).

Materiales y métodos

Desde que surgió la idea de servicios ecosistémicos en los años ochenta, múltiples organizaciones y autores alrededor del mundo han proporcionado definiciones para este concepto y se han creado distintos marcos para su clasificación, sin embargo todos ellos hacen visibles las complejas relaciones de la humanidad con la naturaleza (Potschin *et al*., 2016).

Aún existe controversia sobre la manera de clasificar los servicios ecosistémicos de manera que sean cuantificables de una forma consistente y comparable. Las cuatro clasificaciones más utilizadas y encontradas en la revisión bibliográfica son las establecidas en la MEA; en una de las actividades de seguimiento de la MEA, el proyecto TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity); la dispuesta en la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES); y la Clasificación Internacional Común

de Servicios de los Ecosistemas (CICES), auspiciada por la ONU y la Agencia Europea de Medio Ambiente, que busca un consenso entre las clasificaciones y apoyar las comparaciones internacionales (Haines-Young & Potschin, 2018; IPBES, 2019; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; TEEB, 2010).

En México se cuentan con algunos estudios referidos a servicios ecosistémicos y su valoración desde 1990, los cuales han propiciado la creación de distintos instrumentos institucionales: citando textualmente al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2020) "la determinación de cuotas de entrada a las Áreas Naturales Protegidas de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), el Programa de Pago por Servicios Ambientales de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR); el establecimiento de cuotas de aprovechamiento sustentables de los distintos recursos naturales"… etc. Lo que refleja que el paradigma dominante es el de la economía neoclásica, pues se deja de lado el estudio de los modelos de producción y consumo de las zonas de influencia de dichos instrumentos. El mismo instituto en 2015 hizo una revisión referida a los bosques de México

sobre los bienes y servicios ambientales que proveen, el cual lleva por nombre "Conceptualización de las metodologías de valoración económica y de la evaluación de los apoyos otorgados por servicios ambientales en materia de bosques y selvas". Sin embargo, hasta la fecha no hay ningún estudio oficial que aborde los suelos mexicanos desde esta perspectiva (INECC, 2020).

Para corroborar la información en materia se hace una revisión de diversas bases de datos digitales de textos científicos, mismos que cuentan con acceso abierto; se utilizan palabras clave en español e inglés, abarcando el periodo de 1980 hasta 2020 (Tabla 1).

Resultados y discusión

De acuerdo con la búsqueda realizada se encuentran un total de 18 trabajos relacionados con servicios ecosistémicos y valoración económica en donde el suelo juega un papel importante o significativo dentro de México, bajo las cuatro clasificaciones presentadas con anterioridad y bajo el paradigma de la economía neoclásica.

Tabla 1. Criterios de revisión, adaptado de INECC, 2020.

Criterio	Resultado
Base de datos digital	Elsevier, Redalyc, Scielo, ScienceDirect.
Tipo de documentos	Artículos, tesis, estudios y reportes.
Palabras clave para búsqueda	Español: Valoración Económica del suelo, Servicios Ecosistémicos del suelo, Servicios Ambientales del suelo, Pago por Servicios Ambientales de suelos, Valorar los Servicios Ambientales del suelo, Evaluación de Impacto de los Servicios de los ecosistemas, Valoración Multicriterio de los Servicios Ambientales.
	Inglés: Soil Economic Valuation, Soil Ecosystem Services, Soil Environmental Services, Payment for Soil Environmental Services, Assess Soil Environmental Services, Impact Assessment of Ecosystem Services, Multicriteria Assessment of Services Environmental

Conclusiones

Desde el año 1980 hasta el año 2020 se cuentan solo con 18 trabajos que aborden la valoración de los servicios ecosistémicos en México, lo cual representa un reto para poder tener un estudio nacional que sistemáticamente aborde la problemática de la degradación de este recurso natural, también es importante mencionar que el paradigma dominante es el de la economía neoclá-

sica lo cual no contempla integralmente los patrones de consumo y desarrollo de las sociedades a las que impacta la provisión de servicios ecosistémicos. También es importante destacar que los estudios presentan distintas metodologías de clasificación de los servicios ecosistémicos por lo que dificulta una comparación entre estudios.

Literatura citada

Brevik, E. C., Pereg, L., Steffan, J. J., & Burgess, L. C. (2018). Soil ecosystem services and human health. *Environmental Science and Health*, 5, 87–92. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.003

Cabrera-Murieta, A. (2012). Valoración de los servicios ecosistémicos desde la perspectiva de la economía ecológica: el caso de la Reserva de la Biósfera Isla San Pedro Mártir. El Colegio de la Frontera Norte.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V, Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. https://doi.org/10.1038/387253a0

Costanza, R., & Daly, H. E. (1992). Natural Capital and Sustainable Development. *Conservation Biology*, 6(1), 37–46.

https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610037.x

Dazzi, C., Galati, A., Crescimanno, M., & Lo Papa, G. (2019). Pedotechnique applications in large-scale farming: Economic value, soil ecosystems services and soil security. *Catena*, 181, 104072. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104072

de Groot, R. S. (1987). Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics. *Environmentalist*, 7(2), 105–109. https://doi.org/10.1007/BF02240292

Ehrlich, P. R., Ehrlich, P. R., & Ehrlich, A. H. (1981). Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species. Random House.

Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. www.cices.eu

INECC. (2020). Revisión y análisis de documentos sobre valoración económica de los servicios ecosistémicos de México de 1990 a 2019. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

IPBES. (2019). Informe de la Evaluacion Mundial sobre la Diversidad Biologica y los Servicios de los Ecosistemas. In Summary for policy makers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the intergovernmental.

Lebreton, B., Rivaud, A., Picot, L., Prévost, B., Barillé, L., Sauzeau, T., Beseres Pollack, J., & Lavaud, J. (2019). From ecological relevance of the ecosystem services concept to its socio-political use. The case study of intertidal bare mudflats in the Marennes-Oléron Bay, France. *Ocean and Coastal Management*, 172, 41–54. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.01.024

Leff, E. (2011). Sustentabilidad y racionalidad ambiental: hacia "otro" programa de sociología ambiental. In *Revista mexicana de sociología* (Vol. 73, pp. 5–46).

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Millennium ecosystem assessment: Ecosystems and human well-being synthesis. (pp. 1–43). Island Press.

Potschin, M., Haines-Young, R., Fish, R., & Turner, R. K. (2016). Routledge Handbook of Ecosystem Services. Taylor & Francis Group.

Sutton, P. C., & Peniche, S. (2019). Ecosystem services valuation of Mesoamerica and the Caribbean. University of Denver, Universidad de Guadalajara.

TEEB. (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations (Kumar, P.). Earthscan: London and Washington.

Modelos de probabilidad para representar la materia orgánica de suelos productores de cacao

Moisés Alonso Báez[1]
Carlos Hugo Avendaño Arrazate[2]
Guillermo López Guillén[3]
Betsabé Leavit Alonso López[4]

Resumen

La materia orgánica (MO) del suelo suele identificarse como reservorio de carbono, nitrógeno y otros nutrimentos para las plantas. Sobre esta base, el objetivo de esta investigación fue evaluar modelos de distribución de probabilidad para representar y predecir el comportamiento de la materia orgánica (MO) de suelos productores de cacao de Chiapas y Tabasco, e inferir sobre el estado natural de su fertilidad. Dentro de las plantaciones en una superficie referenciada de una hectárea, se extrajeron 104 muestras de suelo a la profundidad de 30 cm (56 de Chiapas y 48

[1] Campo Experimental Rosario Izapa (CERI)-Inst. Nal. De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP): alonso.moises@inifap.gob.mx.

[2] CERI-INIFAP. Investigador del programa de cultivos industriales.

[3] CERI-INIFAP. Investigador del Programa de Sanidad Vegetal.

[4] Inst. Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan-SEP. Tuxtepec, Oax. Docente e Investigador.

de Tabasco). Estas se prepararon y analizaron en el laboratorio, donde se les determinaron sus características físicas y químicas. Específicamente, la MO objeto de estudio, se determinó por la metodología de Walkley y Black. Derivado de este análisis, la serie de valores de MO se organizó de menor a mayor. A este conjunto de datos se le ajustaron cinco modelos de distribución de probabilidad: Gamma, Normal, Log-normal, Weibull de dos y tres parámetros, mediante el software estadístico SAS V. 9.3. Los modelos fueron sometidos a su prueba de bondad de ajuste mediante Chi cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling (AD); además, se sumó el Criterio de Información de Akaike (AIC) que, elige aquel modelo entre varios modelos candidatos, el que presente el menor valor absoluto. Todos los modelos evaluados mostraron buen ajuste sobre la distribución del conjunto de datos de la MO en suelos productores de cacao de Chiapas y Tabasco.

Palabras clave: *distribución, parámetros, Chiapas, Tabasco*.

Introducción

La materia orgánica (MO) es un componente fundamental del suelo, ya que se le atribuyen muchas funciones, entre las más

importantes, como reservorio de carbono, nitrógeno y otros nutrimentos para las plantas (Craswell and Lefroy, 2000). La MO es factor clave de la productividad forestal (Grigal and Vance, 2000), donde está inmerso el agrosistema cacao (*Theobroma cacao* L.). Las propiedades del suelo incluida la MO están estrechamente interrelacionadas y se estima que la mayor fuente de variación de estas propiedades, están referidas a la cantidad de su MO (Federer *et al*., 1993).

Esta interrelación puede expresarse cuantitativamente mediante funciones de pedo-transferencia, llámense funciones estadísticas o empíricas que relacionan estas características para estimar propiedades del suelo que son difíciles o costosas de medirlas directamente (Bouma, 1989). También, la MO es una propiedad química del suelo que con frecuencia se utiliza para predecir el nivel de la fertilidad de sitio específico (Rizea *et al*., 2009; Erashin *et al*., 2006). Por otra parte, no hay duda de que su determinación y distribución en las plantaciones de cacao, permite caracterizar la concentración de nitrógeno, carbono y fósforo principalmente, además de otros nutrimentos esenciales como se mencionó. Entonces, cuando se dispone de un conjunto de datos

de MO u otra propiedad química del suelo, son susceptibles de ajuste por funciones de probabilidad y, a partir de sus parámetros deducidos de sus constantes, la ejecución de estas funciones permiten predecir el comportamiento y distribución de las variables objeto de estudio (Lagacherie and McBratney, 2007; Hartemink *et al*., 2008; Botula *et al*., 2013); por ejemplo, con dichas funciones se puede predecir bajo el mismo escenario, magnitudes variables de la MO del suelo donde crece el cacao. La capacidad predictiva de los modelos es función de su precisión, exactitud y generalidad (Levins, 1996). De acuerdo con esto, en la práctica, toda vez que se ha identificado una distribución de probabilidad que representa los datos, es factible calcular probabilidades de ocurrencia sobre esta población y, para ello es útil recurrir a la función de distribución acumulada (FDA) de la función, donde $F(x) = [X \leq x)$, es la probabilidad de que la v. a. X no rebase el valor de x. Sobre la base de estos antecedentes, el objetivo de esta investigación fue evaluar el funcionamiento de modelos univariados de distribución de probabilidad para predecir el comportamiento de la materia orgánica (MO) de los suelos productores

de cacao de Chiapas y Tabasco, e inferir sobre esta base en el estado natural de su fertilidad.

Materiales y métodos

Localización y trabajos de campo.

En el marco de esta metodología se ubicaron las parcelas representativas de cacao cuya superficie fue de 1.0 ha. En lo sucesivo se extrajeron de manera aleatoria 104 muestras dentro de las plantaciones en producción (56 de Chiapas y 48 de Tabasco). En el sitio de muestreo, mediante una pala recta de 15 cm de ancho por 30 cm de largo y punta afilada, se abrió una cepa de 30 cm x 30 cm x 30 cm de profundidad y, de las paredes de frente al sol se colectaron las muestras de arriba hacia abajo y se envasaron en bolsas de plástico de 30 cm x 40 cm (Thong and Ng, 1978; de Oliveira and Valle, 1990; Wood and Lass, 2008). Cada muestra fue identificada por orden numérico, localidad, entidad y georreferenciación (Njukeng and Baligar, 2016). Después, en un lugar específico de secado, éstas fueron puestas sobre láminas de plástico y se secaron a la sombra por ocho días (Okoffo *et al*., 2016). Cada muestra fue tamizada con la malla de 2 mm y se pesaron 800 g de

cada muestra identificada (Rosetta and Ifenkwe, 2012) y se enviaron al laboratorio donde fueron analizadas.

Análisis físico-químico del suelo

A cada muestra se le determinaron sus características químicas y físicas; sin embargo, el punto central fue observar el comportamiento de la concentración de la MO como función de las condiciones variables de los suelos en plantaciones de cacao de los estados de Chiapas y Tabasco. De acuerdo con las normas del laboratorio, el P y K se determinaron con extracto de bicarbonato de sodio más EDTA, y se cuantificaron por absorción atómica. El N, mediante espectrofotometría de luz visible con un colorímetro, pH con el potenciómetro, materia orgánica (MO) con la metodología de Walkley y Black (oxidación de la materia orgánica mediante dicromato de potasio). Otras determinaciones: Ca y Mg (por complejometría), Fe, Mn, Zn, Cu (por Absorción atómica) y S (turbidimetría) y B (Método Colorimétrico y Acido Oxálico); y elementos tóxicos: Cl (turbidimetría o potenciometría), HCO_3 (ICP), CO_3 (combustión) y CIC (Acetato de amonio). La textura se determinó por el método de Bouyoucus.

Análisis estadístico.

La serie de datos de la MO (104) fue ajustada por cinco modelos de distribución de probabilidad siguientes: Gamma, Normal, Log-normal, Weibull de dos y tres parámetros, mediante el software estadístico SAS V. 9.3. La confiabilidad de su ajuste se realizó por las pruebas estadísticas de bondad de ajuste: Chi cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling (AD). Estas pruebas miden el grado de correspondencia existente entre la distribución de un conjunto de datos y las distribuciones teóricas propuestas (Moreno y Nieves, 2019). Sobre el particular, la hipótesis nula (Ho) establece que la distribución empírica es similar a la distribución teórica; así, esta hipótesis afirma que la distribución de frecuencias observada es consistente con la distribución teórica y denota buen ajuste. Otro criterio estadístico que permitió precisar en la selección del modelo con el mejor ajuste fue el Criterio de Información de Akaike (AIC) que, elige aquel modelo entre varios modelos candidatos, el que presente el menor valor absoluto (Akaike, 1981).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de ajuste trazado sobre el conjunto de datos de MO. Con base en los estadísticos de prueba, principalmente de AD, todos los modelos presentaron buen ajuste para este propósito. Asimismo, mediante el criterio de información de Akaike, el modelo univariado seleccionado fue la función de distribución de probabilidad (FDP) Gamma, seguido por la función Log Normal. Ambos modelos mostraron el mejor ajuste, cuyos parámetros deducidos de sus constantes permiten su aplicación para comprender el escenario de la población de donde proviene los datos e inferir sobre estos valores.

En relación con la capacidad predictiva del modelo seleccionado y dentro de este escenario, se realizó un ejercicio de acuerdo con las funciones de distribución acumulada de la FDP Gamma y Empírica, respectivamente (FDAG y FDAE): [FDA (x) = $P(X \leq x)$], y se estimaron valores aproximados de eventos de interés con base en sus probabilidades, donde se obtuvo la probabilidad de obtener valores de MO entre el valor promedio (3.03%) más una vez la desviación estándar (s=1.98): [3.03+1.98] =

5.01%; cuyas probabilidades con las FPG y Empírica fueron: P [3.03% ≤ MO ≤ 5.01%] = FDA (5.01%) – FDA (3.03%) ≅ FDA (88% – 55%) ≅ 32% y 33%, respectivamente. Esta probabilidad (33%) indica que en este escenario existió un tercio de valores estimados superiores (34/104) al valor promedio (3.03%) y, un valor superior a 60% de probabilidad, establece que las magnitudes de MO en los suelos productores de cacao en Chiapas y Tabasco, oscilan ± una vez la desviación estándar (s=1.98). En relación con estos valores, la literatura especializada señala que los mismos se ubican dentro de valores reportados en suelos productores de cacao (Davies and Sadiq, 2010; Rubiyo and Siswanto, 2012), ya que una excelente productividad del suelo para cacao requiere que la concentración de MO sea de 3.5% y, las concentraciones de los nutrimentos N, P, K, Ca y Mg, oscilen de moderadamente altos a altos (Pohlan and Pérez, 2010; Koko, 2014). En el mismo ámbito, Barrezueta (2019) realizó una investigación en la provincia del Oro, Ecuador, ésta comprendida por cuatro regiones productoras de cacao y determinó que el promedio de la MO fue superior a 3.0%. En el contexto presentado fue evidente el uso de la estadís-

tica univariada, lo cual permitió representar el comportamiento de la MO en suelos productores de cacao. Sin duda, los resultados y su interpretación en este ámbito servirán de base para analizar y representar otras variables del suelo en futuros trabajos de investigación.

Cuadro 1. Funciones de distribución de probabilidad (FDP) teóricas y parámetros que las definen.

FDP#	Parámetros de la función							
	Localización μ	Forma α	Escala β(σ-N)	Límite γ	Máxima verosimilitud	AD≠	p-valor	AIC±
Gamma		3.116	1.060		-200.6	0.488	0.238	405.3
Log Normal	1.025		0.600		-201.0	0.593	0.119	406.1
Weibull 3P		1.495	3.151	0.457	-200.8	0.774	0.046	407.7
Weibull 2P		1.788	3.730		-204.3	1.167	<0.01	412.6
Normal	3.301		1.979		-218.6	3.123	0.000	441.1

función de densidad de probabilidad; ≠ prueba Anderson-Darling; ± Criterio de Información de Akaike; (σ-N), es la desviación típica de la función Normal y Log Normal; respectivamente.

Conclusiones

Todos los modelos evaluados mostraron buen ajuste sobre la distribución del conjunto de datos de la MO en suelos productores de cacao de Chiapas y Tabasco. Sin embargo, el mejor modelo fue la distribución de probabilidad Gamma seguido del modelo Log Normal. También, sin incurrir en un sesgo superior de hacer inferencias de valores aproximados de MO dentro del escenario de su distribución con las funciones de probabilidad teóricas, la estimación de valores de MO en el intervalo de probabilidad evaluados mediante la distribución de probabilidad empírica fue buena.

Literatura citada

Barrezueta Unda, Salomon. 2019. Properties of several soils cultivated with cocoa in the province of El Oro, Ecuador. *CienciaUAT*. 14. 155-166. 10.29059/cienciauat. v14i1.1210.

Botula, Y., Cornelis, W.M., Baert, G. 2013. Particle size distribution models for soils of the humid tropics. *J Soils Sediments* 13, 686–698 . https://doi.org/10.1007/s11368-012-0635-5

Davis, O., and Sadiq, I. 2010. Effect of Climate Change on Cocoa Yield: A Case of Cocoa Research Institute (CRIN) Farm, Oluyole Local Government Ibadan Oyo State. *Journal of Sustainable Development in Africa* 12(1): 350-358.

de Oliveira Leite, J., and Valle, R. R. 1990. Nutrient cycling in the cacao ecosystem: Rain and throughfall as nutrient sources for the soil and the cacao tree. *Agricult. Ecosyst. Environ*. 32, 143–154.

Hartemink, A.E. 2005. Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. *Advances in agronomy*, 86, pp.227-253.

Koko LK, Snoeck D, Lekadou TT, Assiri AA. 2013. Cacao-fruittree intercropping effects on cocoa yield, plant vigour andlight interception in Coˆte d'Ivoire. *Agroforest syst*., 87, pp. 1043-1052.

Lagacherie, P., McBratney, A.B. 2007. Chapter 1. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. In: Lagacherie, P.,

Levins, R., & Schultz, B. 1996. Effects of Density Dependence, Feedback and Environmental Sensitivity on Correlations Among Predators, Prey and Plant Resources: Models and Practical Implications. *Journal of Animal Ecology*, 65(6), 802-812. doi:10.2307/5678.

Moreno, E.; Nieves, V. 2019. Modelos de probabilidad en transporte e ingeniería. Usos comunes y ajuste de datos Publicación Técnica No. 545. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, México.

Njar, G.N., Iwara, A. I., Ekukinam, U. E., Deekor, T.N. & Amiolemen, S.O. 2011. Organic Carbon and Total nitrogen status of soils under rubber plantation of various ages, South-South Nigeria. *Journal of Environmental Sciences and Resource Management*, 3: 1- 13.

Nkengafac, Njukeng & Baligar, V. 2016. Soil Physical and Chemical Properties of Cacao Farms in the South Western Region of Cameroon. *International Journal of Plant & Soil Science*. 11. 1-10. 10.9734/IJPSS/2016/27037.

Okoffo, E. D., Denkyirah, E. K., Adu, D. T., & Fosu-Mensah, B. Y. 2016. A double-hurdle model estimation of cocoa farmers' willingness to pay for crop insurance in Ghana. *SpringerPlus*, 5, 873. doi:10.1186/s40064-016-2561-2.

Pohlan H A J and Pérez V D. 2010. Growth and Production of Cocoa Soils, Plant Growth And Crop Production 3.

Rubiyo and Siswanto. 2012. Peningkatan Produksi dan Pengembangan Kakao (Theobroma cacao L.) di Indonesia.BuletinRisetTanamanRempah dan Aneka Tanaman Industri, 3 (1): 33–48.

Thong KC and Ng WL, 1978. Growth and nutrient composition of mono crop cocoa plants on inland Malaysian soils. Proc. Intern. Conf. Cocoa and Coconuts, Kuala Lumpur, 1978, 262-286.

Wood, G. A. R., and Lass, R. A. 1985. "Cocoa", 4th edn. Longman Scientific and Technical, Essex.

Prácticas de monocultivo y rotación en maíz: sus efectos en la producción del cultivo

Juan Contreras-Ramos[1]
Ramón Díaz-Ruiz[1]

Resumen

La mayor superficie de cultivo en México se realiza en condiciones de temporal (secano), lo que significa un alto riesgo productivo para el productor. En la región de Serdán dentro del estado de Puebla, los agricultores locales tienden a convertir su superficie agrícola en un área de destinada a la producción del monocultivo del maíz, como consecuencia de que es el cultivo que mejor se ha adaptado al cambio climático local. Siendo el maíz el principal cultivo local, mientras que el 30% de la tierra cultivada restante se destina al haba y frijol (solas o asociadas al maíz), complementariamente en fechas tardías se cultiva la avena y chícharo. Se estudiaron durante seis años once prácticas de cultivo en condiciones de monocultivo y rotación para estudiar sus efectos en el rendimiento de grano (Y), biomasa de cosecha (BT) obtenidos por el maíz a través de varios años. El objetivo fue: Evaluar a mediano plazo el efecto que producen en el cultivo las

[1] Colegio de Postgraduados Campus Puebla.

prácticas de rotación y monocultivo, en el rendimiento de grano y Biomasa total. Los resultados generales muestran diferencias de rendimiento entre todos años; y que los mejores rendimientos y BT se obtienen mediante una rotación de cultivos con la dosis 135N-50P_2O_5.

Palabras clave: *Maíz, clima, monocultivo, rotación*.

Introducción

En Serdán se tiene una agricultura en transición, donde el productor local tiene una alta dependencia del cultivo de maíz, que ante la reducción de la precipitación e incremento de la temperatura han tenido que cambiar sus fechas de cultivo y reducir la diversidad de cultivos conservando únicamente los más rentables social y económicamente, como son el propio maíz, haba y fríjol, estas leguminosas cuándo son asociadas al maíz representan solo el 25% de una hectárea (Ramos *et al* 2013). La avena y en ocasiones el chícharo se siembra principalmente para autoconsumo dentro de la finca familiar en áreas pequeñas familiares y cuando es con propósitos comerciales en fechas posteriores a mayo ya tardías para granos básicos (Contreras y Díaz 2021).

Acuña (2015) indica que se debe procurar el incremento del bienestar social de las familias rurales locales, a través de la productividad agrícola mejorando la calidad del suelo con una secuencia apropiada de cultivos, de un uso razonable y apropiado de los insumos, buscando la disposición de maquinaria adecuada para reducir los costos; podemos agregar que se debe incluir el desarrollo de nuevas variedades productivas, así como de nuevas tecnologías agrícolas. Sin embargo, la escasa disposición cultivos locales hace que se reduzcan las opciones para establecer una secuencia amplia de rotaciones de cultivos que permitan conservar o mejorar las condiciones de fertilidad y parámetros físicos del suelo.

Las actuales recomendaciones para la producción de maíz, en especial las de fertilización se generaron hace ya 40 años. Nosotros, en estudios en la zona desde el 2011, a través de experimentos de calibración de nutrientes, evaluamos la respuesta del cultivo al nitrógeno, fósforo y potasio con respecta al rendimiento de grano y midiendo el índice normalizado de vegetación, demostrando que las dosis de fertilización para capital limitado e ilimitado en

maíz siguen vigentes. Estas recomendaciones son las que emplea el productor en la zona, destaca en especial la forma en que maneja su fertilizante debido al comportamiento de las lluvias. Ramírez (2018), al analizar la respuesta de los productores locales al cambio climático, determinó que el fertilizante, en especial el nitrógeno, era manejado estratégicamente adelantando o retrasando su aplicación, también se modificaba las veces y cantidad a aplicar de este insumo de acuerdo al comportamiento de las lluvias, otra acción que se observó fue que se está tendiendo a cambiar la profundidad del barbecho para captar y conservar más humedad.

En términos de la cantidad de lluvia anual, la fuerte reducción de la precipitación del mes de marzo (-33%) ha obligado a cambiar la fecha de siembra del maíz a la última semana de marzo y todo el mes de abril. Mientras que la reducción en los meses de junio a septiembre es en promedio del 40% lo que coincide con las etapas fenológicas V8 a R2 del maíz, con una o dos etapas de sequía que pueden durar de 10 a 25 días en ese lapso, lo que limita el rendimiento del cultivo del maíz y obliga al productor a reducir o retrasar labores al cultivo (Contreras, 2018).

Actualmente, el principal problema que se tiene en la región no solo es la baja rentabilidad que tiene el productor por sus productos y subproductos en sus escasas seis hectáreas de tenencia, y los altos costos de producción de los cultivos. En el caso del maíz, que es su principal cultivo y sustento, se tiene un estancamiento en sus rendimientos medios que varían de 2.5 a 3.2 ton ha^{-1} bastante alejados de las 4.4 ton ha^{-1} que se han obtenido en el periodo 2012-2016 del presente trabajo. Por lo que se decidió estudiar las principales practicas locales que realiza el agricultor para la producción de maíz. El objetivo fue: Evaluar a mediano plazo el efecto que producen en el cultivo las prácticas de rotación y monocultivo, en el rendimiento de grano y Biomasa total.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a efecto en Cd Serdán, municipio de Chalchicumula de Sesma en los terrenos agrícolas del Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán (18.99^0 latitud norte, -97.46^0 longitud oeste). Previamente al estudiar la variabilidad de las lluvias de los ciclos 1943-1974 y 1975-2005 se decidió que las fechas de siembra del experimento deberían ser en abril. Las se-

cuencias de producción se identifican tanto por numero como por literales fueron: 1) Maíz 110N-50P_2O_5 con 5 toneladas de estiércol (ME); 2) Maíz 135N-50P_2O_5 (M135); 3) Maíz 110N-50P_2O_5 (M110); 4) MC (el maíz no se fertiliza en año impar, en año par se fertiliza como al tratamiento 3); 5) Asociación Maíz-Haba 110N-50P_2O_5 (MH); 6) Asociación Maíz-Fríjol 110N-50P_2O_5 (MF); 7) Frijol en monocultivo 60N-60 P_2O_5 (F); 8) 110N-50P_2O_5 con 5 toneladas de estiércol aplicados solo en año par (MEE); 9) Haba 40N-40P_2O_5 (H); 10) Avena 110N-50P_2O_5 (A) y finalmente 11) Chícharo 80N-40P_2O_5 (CH). El Tratamiento MEE en la sección PB, se aplicó en el año correspondiente en que aparecía en la secuencia de la rotación.

Los rendimientos de grano y biomasa de los años 2011 y 2015 no se analizaron por haber sido ambos sembrados en mayo, siendo afectados por heladas tempranas (2011) o un período muy fuerte de sequía (2015) en la época de floración, por lo que se deben estudiar aparte para evaluar el efecto de las fechas tardías en los rendimientos y rentabilidad del maíz.

El experimento se estableció en dos secciones separadas tipo parcelas divididas (PD). La Parcela Grande (PA) se tuvo en la modalidad de monocultivo, con cuatro bloques donde cada secuencia (Sec) se repitió todos los años en la misma parcela sin realizar cambio alguno. En la sección de parcelas chicas (PB), se tuvieron los mismos tratamientos de la parcela grande, pero en ellas bajo el esquema de rotación se procuró cada año tener una secuencia de cultivos diferente cada año haciendo la secuencia lo menos repetible posible, lo que implicó la presencia en rotación de avena y chícharo en las parcelas chicas (logrando un total de 198 secuencias). Las variedades empleadas durante este periodo del experimento han sido criollas locales. El análisis estadístico de los rendimientos de grano ($\bar{y}$), Biomasa Total (BT) e Índice de cosecha, así como la prueba de medias se realizó con la versión InfoStat (Di Rienz *et al* 2020).

Resultados y discusión

El análisis estadístico de los rendimientos de grano incluyendo el efecto Año tuvo un coeficiente de variación (CV) del 23.13%, al excluir el año el CV fue del 37,13%. Se decidió incluir

el efecto año climático (A) en el análisis estadístico general, encontrando diferencias altamente significativas ($\alpha = 0.001$), en el modelo general empleado, entre años (A), Secuencias (Sec) y en la interacción Parcela Dividida por secuencia (PD*Sec), no se muestra el análisis. Los años de estudio fueron 2012-2016, se excluyó 2015 por ser fecha de siembra tardía y por lo tanto no comparable, para el propósito del estudio.

En el cuadro 1, se muestra que los rendimientos de grano de los cuatro años de estudio fueron significativamente diferentes entre ellos, lo que indica que en los cuatro años se ha tenido una alta variabilidad climática, de allí la respuesta de los agricultores ante la incertidumbre del clima, ya anteriormente mencionadas (Ramírez 2018, Contreras y Díaz 2021).No obstante, aun siendo el maíz el principal cultivo local, se debe analizar en el futuro lo que está ocurriendo con el resto de los escasos cultivos que aún siembran los productores, puesto que tenemos evidencia sobre todo en el haba que esta leguminosa requiere de una pronta mejora y cambio en su propuesta tecnológica.

El tratamiento M135 (135N-50P_2O_5) recomendado para capital ilimitado al incluir todos los rendimientos dentro de las PA y PB que llevaron esta recomendación fue el que mejor rendimiento obtuvo con una media de 5063 kg ha^{-1}, por el contrario, la fertilización para capital limitado con el tratamiento 110N (110N-50P_2O_5) en ambas Parcelas divididas fue la más baja en cuanto a rendimientos promedios con solo 4460 kg ha^{-1} (valores obtenidos con los datos del cuadro 1). La separación de los rendimientos medios de todos los siete tratamientos donde está presente el maíz entre monocultivos (PA) y rotaciones (PB), nos da como resultados cuatro opciones productivas: a) realizando rotaciones de cultivo (PB) están M135 y MH; b) produciendo bajo un esquema de monocultivo (PA), están las opciones MME y la Asociación MF (Cuadro 1).

Las opciones para la producción de Biomasa Total con fines de utilización del rastrojo son muy similares al rendimiento de grano (Cuadro 1). En el caso del empleo del tratamiento M135, no se recomienda su uso en condiciones de monocultivo para la producción de rastrojo, ya que la remoción continua de pastura

trae consigo un deterioro del fósforo del suelo ya demostrado (Contreras y Díaz, 2018).

El beneficio de realizar rotaciones se observa incluso en el Tratamiento MC en rotación PB (MC), siendo sus rendimientos superiores en 1000 kg ha^{-1} y diferentes estadísticamente a los que se obtienen solo en condiciones de monocultivo PA (MC).

Los resultados coinciden con Bowles *et al* (2020), quienes en un estudio que comprendió un amplio gradiente de ambientes, secuencias de cultivo, productividad y precipitación, comparando dos o más cultivos en rotaciones diversas para un total 347 años-sitio. Determinaron: Las rotaciones más diversas en el tiempo aumentaron los rendimientos de maíz incluso en condiciones desfavorables como sequía lo que es favorable a la adaptación al cambio climático.

Cuadro 1. Resultados del análisis de prueba de medias de los rendimientos promedios de grano de maíz y de rastrojo, tanto anuales como por sus respectivas secuencias de cultivo en rotación como en monocultivo.

Ciclo agrícola		Rendimientos de grano			Rendimientos BT		
Año	ȳ Kg·ha	PD	Secuencia	ȳ Kg·ha	PD	Secuencia	ȳ Kg·ha
2016	6254 a	B	M135	5327 a	A	MH	17876 a
2012	4723 b	A	MME	5050 ab	A	MME	15797 ab
2013	3778 c	B	MH	4848 abc	A	M135	15797 ab
2014	2865 d	A	MF	4802 abcd	B	M135	15379 ab
		A	M135	4799 abcd	A	MF	15118 ab
		B	ME	4635 bcd	A	ME	14025 bc
		A	M110	4630 bcd	B	MF	13960 bc
Media	4,400	A	MH	4605 bcd	B	ME	13897 bc
		B	ME	4538 bcd	B	M110	13719 bc
		B	MF	4327 cde	A	M110	13584 bc
		B	M110	4292 de	B	MH	13211 bc
		B	MC	3288 e	B	MC	12061 c
		B	MME	3120 ef	B	MME	9930 cd
		A	MC	2284 f	A	MC	9006 d

Conclusiones

1) Los mejores rendimientos y producción de biomasa de maíz se obtienen mediante una planeada rotación de cultivos diferentes o complementarios al maíz con 135N-50P_2O_5.

2) La producción de grano y biomasa tanto en monocultivo o en rotación del maíz con la recomendación de capital limitado 110N-50P_2O_5 es considerada baja con respecto a otras opciones.

3) El maíz responde mejor a la dosis de capital limitado (110N-50P_2O_5), cuando es cultivado en asociación con fríjol o haba, que como cultivo único con o sin rotación.

Agradecimientos

Se agradece a las autoridades del Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán, al coordinador de la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable el MC Efraín Castañeda Hernández y los profesores Ing. Alejandro Otlica Rosario y Ing. Pascual Hernández Jiménez por los apoyos brindados desde el 2011 para la realización y logro del experimento de rotación de cultivos que se realiza en dicho Instituto.

Literatura citada

Contreras-Ramos y Díaz R. R. 2021. Cómo afectan las prácticas de monocultivo y rotación la producción de grano de maíz en la región de Serdán Pág. 140-144. In: La Investigación en el Campus Puebla: Situación actual y perspectivas, Colegio de Postgraduados, México, 13 pp. Editores Pérez Ramí-

rez E., Morales Jiménez J. y Huerta de la Peña A. (Eds.) (2021). Colegio de Postgraduados Campus Puebla

Contreras R. J; Díaz R. R. 2018. Cambios en la fertilidad del suelo por efecto de monocultivos en un suelo regosol tipico de Serdán, Puebla. *Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria México* Vol 6 Núm 1:8-16 (2018).

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.-com.ar

Ramírez Huerta M. 2018. Capítulo VI Estrategias de adaptaciones agrícola ante la variabilidad climática en el cultivo de maíz en el Centro Oriente del Estado de Puebla. Tesis de Doctorado: Respuesta campesina ante la variabilidad climática en el cultivo de maíz de temporal en el centro oriente del estado de Puebla. Colegio de Postgraduados Campus Puebla.

Ramos Castro J. G. *et al*. 2013. Factores que determinan la persistencia de la producción campesina de maíz: el caso del municipio de Libres, Puebla. *Ra Ximhai*, enero - abril, año/Vol. 9, Especial 1. Universidad Autónoma Indígena de México. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 15-28.

Reinprecht Y, L. Schram, F. Marzolains, T. H. Smith, B. Hill and K. P. Pauls. 2020. Effets of Nitrogen Application on Nitrogen Fixation in Common Beans Production. *Front. Plant Sci*., 06 August 2020.

https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01172

https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2020.01172.

Rendimiento de grano de maíz y materia orgánica del suelo con fertilización orgánica y mineral

Hugo Ernesto Flores-López[1]
Gloria Vidrio Llamas[2]
Uriel Figueroa-Viramontes[3]
Irma Julieta González Acuña[4]
Fernando Villaseñor-González[1]

Resumen

La fertilización es una práctica común e indispensable en la intensificación de la producción de maíz de temporal para altos rendimientos. Sin embargo, esta práctica ha generado degradación de la tierra, requiriendo incremento constante de insumos y más laboreo del suelo, con resultados no sustentables. El objetivo del presente estudio fue evaluar tratamientos de fertilización sobre el rendimiento de grano de maíz y la dinámica de materia orgánica del suelo (MOS) en temporal. El estudio se desarrolló en temporal de 2010 a 2013 en terrenos de Campo Experimental Centro Altos de Jalisco de INIFAP. Se utilizó un diseño experi-

[1] Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. INIFAP
flores.hugo@inifap.gob.mx.

[2] Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de los Altos.

[3] Investigación y Desarrollo de Agribiotech. INIFAP.

[4] Campo Experimental Santiago Ixcuintla. INIFAP.

mental en bloque al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en seis formas aplicación de fertilizante mineral y estiércol de bovino, definidos con el método de balance más un testigo. Se determinó el contenido de MOS al inicio de cada año de evaluación en cada tratamiento. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre tratamientos de fertilización y años de la evaluación. El efecto de año estuvo correlacionado con la cantidad de lluvia ocurrida, pero fue de particular importancia en el periodo de floración y llenado de grano. La MOS resultó con niveles más altos en la fertilización con estiércol (1.63%) y la combinación estiércol (50%) más fertilización química (1.47%); el resto de los tratamientos mostró bajos nivel de MOS con valor de 1.11 a 1.26%. La tasa de acumulación de MOS fue más alta con aplicación de estiércol con 0.238%/año y más bajo en tratamiento con fertilización mineral (1.11%).

Palabras clave: *Estiércol, Urea, dosis de fertilización*.

Introducción

En México, durante el 2020, el maíz (*Zea mays* L.) para grano de temporal fue el principal cultivo producido en temporal

con 5.439 millones de hectáreas de siembra con producción de 12.895 millones de toneladas y rendimiento promedio de 2.51 ton/ha; en Jalisco durante este mismo año se produjeron 3.594 millones de toneladas en 549.1 mil hectáreas de siembra y rendimiento promedio de 6.54 ton/ha (SIAP-SADER, 2021). El rendimiento logrado se atribuye al uso intensivo de las tierras agrícolas y mayor uso de insumos, particularmente fertilizantes nitrogenados (Seebauer *et al*., 2010). Adicionalmente, el maíz forma parte de la dieta energética de la población mexicana con productos vegetales *per cápita*, en 2015 fue de 2,443 kcal/día, de la cual maíz proporcionó más del 40% del consumo diario (FAOSTAT, 2021). Estas cifras sitúan al maíz como el principal cultivo en la seguridad alimentaria nacional y estatal con referencia a Jalisco.

Los sistemas de producción agrícolas (SPA) se constituyen de cuatro componentes: clima, suelo, planta y el manejo que realiza el agricultor; el clima al no controlarse ni modificarse en los SPA, le confiere un alto grado de incertidumbre, tornándola una actividad con alto riesgo de producción, en particular cuando la producción de maíz es en temporal, donde la disponibilidad de

agua cambia a los largo de grandes áreas, durante la estación de crecimiento y a través de los años (Flores *et al.*, 2011). Otro elemento del SPA son los insumos agrícolas, donde el nitrógeno es uno de los nutrientes altamente requeridos por las plantas como el maíz (Martínez y Diamond, 1984).

La urea es una de las fuentes minerales de nitrógeno que en México más se importa (FAOSTAT, 2021) y de las más comunes utilizadas en la agricultura. Tal es el caso de la fertilización del maíz de temporal para altos rendimientos. Por ejemplo, en la región Ciénega de Jalisco, México, se efectúa con dos o tres aplicaciones; a la siembra con fertilización basada en nitrógeno, fósforo y potasio, más micronutrientes en una mezcla física con aplicación de 250 a 450 kg/ha. La segunda fertilización se realiza en la etapa de 25 a 30 días después de la siembra (DDS), principalmente con urea en dosis de 200 a 500 kg/ha. En ocasiones se realiza una tercera fertilización alrededor de 45 a 50 DDS con urea de 250 a 350 kg/ha (Flores *et al.*, 2011).

El maíz suele responder a las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, por lo que cuando se pierde N después de la apli-

cación del fertilizante, pueden producirse repercusiones importantes en el rendimiento y medio ambiente. Los abonos orgánicos son una opción para la nutrición del maíz, pero además permiten el mejoramiento de la fertilidad del suelo y otros beneficios (Fortis-Hernández *et al.*, 2009). Se reporta mayor rendimiento de forraje de maíz con fertilización orgánica, al mejorar propiedades del suelo como el contenido de materia orgánica (Salazar-Sosa *et al.*, 2010) y modificar la acidez o la alcalinidad hacia la neutralidad (Martínez *et al.*, 2008).

La materia orgánica del suelo (MOS) es el conjunto de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal que están en diferentes etapas de descomposición y se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo. Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos. El Carbón Orgánico del Suelo (COS) es el principal elemento que forma parte de la MOS estimada está a partir del COS multiplicado por el factor empírico equivalente a 1.724 (Martínez *et al.*, 2008).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de estiércol de bovino y fertilizantes minerales sobre el rendimiento de grano y a dinámica del contenido de materia orgánica del suelo en maíz bajo condiciones de temporal en Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en los terrenos del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CECEAJAL), del Centro de Investigaciones Regionales Pacífico Centro del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, localizado en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. El clima de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), es (A)C(w_1)(w)(e)g, con lluvia promedio anual es de 869 mm, temperaturas máxima, mínima y media promedio anuales de 25.7, 7.7 y 16.7 °C, respectivamente. El suelo del CECEAJAL se clasifica como mezcla fina isotérmica, Udic Rhodustalf (INEGI, 1994). La pendiente del terreno es 2.1 %.

Tratamientos a estudiar y diseño experimental

Se evaluaron siete formas de fertilización mineral y orgánica sobre la respuesta del maíz, en los temporales de lluvia del 2010 a 2013. Previo al establecimiento del experimento cada año, se tomaron muestras de suelo en cada parcela experimental de 0-30 cm de profundidad. Los tratamientos que se evaluaron en el experimento fueron los siguientes: 1) Control sin fertilizar, 2) Fertilización regional (180-69-00), 3) Fertilización química para cubrir el requerimiento de N del cultivo y P solo si lo marca necesario el análisis de suelo, 4) Estiércol bovino para cubrir el requerimiento de N del cultivo, 5) Estiércol (50% del requerimiento de N) + fertilizante (50% del N), P solo si lo marca necesario el análisis de suelo y el estiércol a aplicar, 6) Estiércol bovino para cubrir el requerimiento de P del cultivo, N solo si lo marca necesario el análisis de suelo, y 7) Fertilización regional (180-69-00) + micronutrientes + Foliares. Las dosis de fertilización se definieron con el método de balance (Figueroa-Viramontes *et al.*, 2010). Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones; el tamaño de parcela experimental fue de seis surcos; cada

surco fue de 10 m de longitud y 0.76 m de ancho. La densidad de siembra fue 92,000 semillas/ha. Los híbridos de maíz utilizados fueron en 2010 y 2011 el hibrido H-375, en 2012 el hibrido Tigre de Asgrow y en 2013 el hibrido Caimán de Asgrow. El manejo del cultivo fue el recomendado por el CECEAJAL para la región.

Rendimiento de grano

El rendimiento de grano (RG) se realizó cuando la mazorca tenía menos de 14% de humedad; se medió en cada tratamiento en parcela útil de dos surcos de 8 metros de longitud y surco de 0.76 m de ancho.

Análisis del suelo para determinar la Materia Orgánica

El método utilizado para determinar materia orgánica son los indicados en la Norma NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Información climatológica

La información climatológica utilizada se obtuvo de los registros de una estación agroclimática del CECEAJAL, con ubi-

cación de 20° 52′ 17.1″ de latitud norte, 102° 42′ 39.9″ de longitud oeste y 1930 msnm de altitud.

Análisis de la información

En el análisis de información se aplicó análisis de varianza, prueba de separación de medias Tukey 5% y estadística descriptiva, con los programas EXCEL y SAS.

Resultados y discusión

Las condiciones climáticas

La lluvia ocurrida de junio a diciembre del 2010, 2011, 2012 y 2013 fue de 634.4, 642.7, 791.4 y 1,067.9 mm, respectivamente. Esta cantidad de lluvia mostró una correlación de 77% con el rendimiento de grano.

Rendimiento de grano de maíz

El Cuadro 1 muestra el análisis de varianza del rendimiento de grano. Este cuadro muestra diferencias altamente significativas entre tratamientos y años de evaluación. El efecto de año está directamente asociado con la cantidad de lluvia ocurrida en cada año

de evaluación, pero es de particular importancia la lluvia en el periodo de floración y llenado de grano (Rossato *et al.*, 2017).

En la Figura 1 se muestra el rendimiento de grano de maíz con los tratamientos de fertilización. En esta figura se identifican los mayores rendimientos con estiércol de bovino para cubrir el requerimiento de nitrógeno de maíz seguido de la fertilización con estiércol de bovino (50%) y fertilizante químico (50%). El efecto de la cantidad de lluvia jugó un papel importante combinada con la fertilización en los rendimientos obtenidos, pues se reporta que la mayor precipitación y fertilización adecuada produce rendimientos más altos (Wang *et al.*, 2007).

Materia orgánica en el suelo (MOS)

En la Figura 2 se presenta la MOS promedio en los tratamientos con fertilización y años del estudio. La MOS más alta se observó en los tratamientos con estiércol para cubrir la demanda de nitrógeno y su combinación a la fertilización mineral con urea para cubrir el 50% de la demanda con cada producto. Con base en la pendiente de los modelos de regresión lineal entre la MOS y Años del estudio mostrados en la Figura 3, se identificó la tasa de

incremento (TI) de MOS en los tratamientos estudiados. El tratamiento 4 (Estiércol para suministrar el nitrógeno requerido y tratamiento 5 (Estiércol 50% más fertilización química 50%), mostraron las tasa de incremento (TI) de MOS más altas con 0.237 y 0.148 %/año, respectivamente. El resto de los tratamientos la TI de MOS fue muy baja, desde 0.057 a – 0.013 %/año. El valor negativo corresponde al tratamiento de fertilización con estiércol para cubrir requerimiento de fósforo, situación que implicó la necesidad de suministrar más nitrógeno para el desarrollo adecuado del maíz. Eso se complica con los años de alta precipitación con rendimientos con tendencia a reducirse (Wang *et al.*, 2007).

Conclusiones

Se identificó diferencia altamente significativa en el rendimiento de grano entre tratamientos de fertilización y años. El efecto de año estuvo correlacionado con la cantidad de lluvia ocurrida. La materia orgánica del suelo (MOS) resultó más alta en la fertilización con estiércol con 1.63% y la combinación estiércol (50%) más fertilización química (50%) con 1.47% de MOS. El resto de los tratamientos mostró bajo nivel de MOS de 1.11 a 1.26%. La

tasa de acumulación de MOS fue más alta con aplicación de estiércol (0.238%/año) y más bajo con fertilización mineral (1.11%).

Cuadro 1. Análisis de varianza del rendimiento de grano de maíz en temporal obtenido de 2010 a 2013, en Tepatitlán, Jalisco.

Fuente	Gl	Suma cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Modelo	12	1138109199	94842433	100.1	< 0.0001
Rep	3	3736357	1245452	1.31	0.274
Trat	6	97381946	16230324	17.13	< 0.0001
Año	3	1036990895	345663632	364.84	< 0.0001
Error	99	93796160	947436		
Total	111	1231905359			

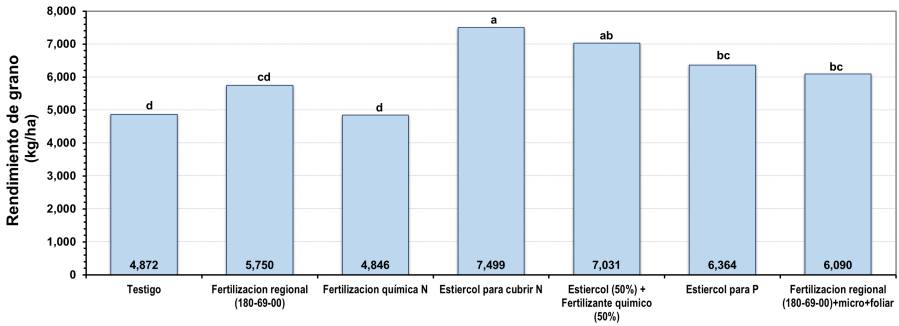


Figura 1. Rendimiento de grano promedio de 2010 al 2013, en tratamientos con fertilización química y orgánica en Tepatitlán, Jalisco.

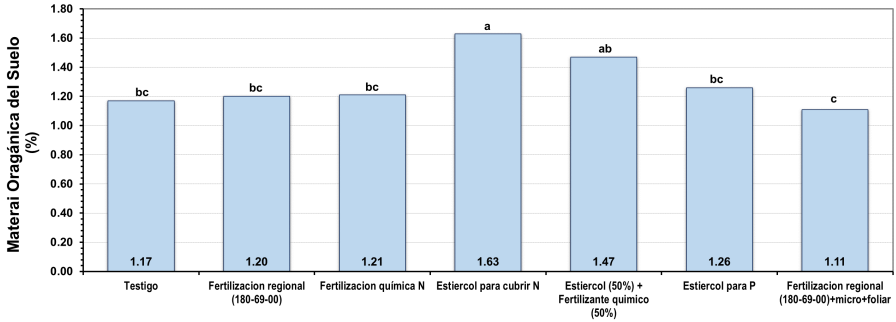


Figura 2. Contenido promedio de Materia Orgánica en el Suelo de 2010 al 2013, en tratamientos con fertilización química y orgánica en Tepatitlán, Jalisco.

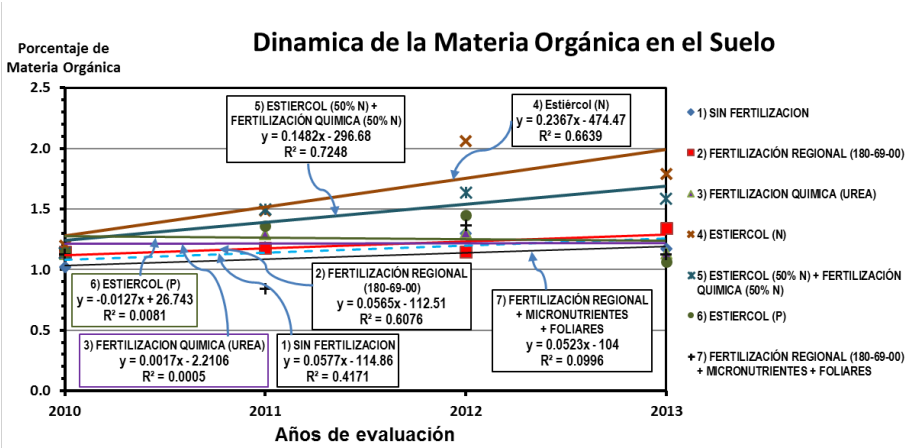


Figura 3. Tendencia mostrada por la pendiente de los modelos de regresión lineal entre la materia orgánica del suelo y Años de evaluación en los tratamientos con fertilización química y orgánica en Tepatitlán, Jalisco.

Literatura citada

Figueroa-Viramontes, U., J. A. Cueto-Wong, J.A. Delgado, G. Núñez-Hernández, D.G. Reta-Sánchez, H.M. Quiroga-Garza, R. Faz-Contreras y J.L. Márquez-Rojas. 2010. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 28: 361-369.

Fortis-Hernández, M., J.A. Leos-Rodríguez, P. Preciado-Rangel, I. Orona-Castillo, J.A. García-Salazar, J.L. García-Hernández y J.A. Orozco-Vidal, 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*, 27(4):329-336.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a edición.

Instituto Nacional De Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1994. Tour description. Tramo Guadalajara, Jalisco – Zamora, Michoacán. In: Guide for technical tours "1" and "10": Guadalajara – México city. 15° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. 10 – 16 de Julio. Acapulco, México.

FAOSTAT. 2021. Fertilizantes por Producto. Tomado de: http://www.fao.org/faostat/es/#data/RFB Fecha de acceso: 22-Julio-2021

Flores L., H.E., Paredes M., R., Ruvalcaba G., J.M., De La Mora O., C., Pérez D., J.F. y Ireta M., J. 2011. Metodología para la evaluación del valor agregado del programa de maíz de alto rendimiento (PROEMAR) 2010 en Jalisco y Guanajuato. Libro Técnico Núm. 2. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jal. México. 162 p.

Martinez, A., and R.B., Diamond. 1984. Nitrogen Use in World Crop Production. Pág. 3-21. In: *Nitrogen in Crop Production*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Martínez H., E., J.P. Fuentes E. y E. Acevedo H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R.C. Suelo Nutr. Veg*., 8:68-96.

Norma Oficial Mexicana (NOM). 2002. Diario Oficial, Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Tomado de: http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf Fecha de acceso: 15-10-2020

Rossato, L., R.C.dS. Alvalá, J.A. Marengo, M. Zeri, A.P.M. dA. Cunha, L.B.M. Pires, and H.A. Barbosa. 2017. Impact of Soil Moisture on Crop Yields over Brazilian Semiarid. *Front. Environ. Sci*. 5:73.

Salazar-Sosa, E., H.I. Trejo-Escareño, J.D. López-Martínez, C. Vázquez-Vázquez, J.S. Serrato-Corona, I. Orona-Castillo y J.P. Flores-Márgez. 2010. Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*, 28: 381-390.

Seebauer, J.R., G.W. Singletary, P.M. Krumpelman, M.L. Ruffo, and F.E. Below.2010. Relationship of source and sink in determining kernel composition of maize. *Journal of Experimental Botany*, 61(2):511–519. doi:10.1093/jxb/erp324

SIAP-SADER. 2021. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Tomado de: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/ Fecha de acceso: 21 de julio de 2021

Wang, X., D. Cai, W.B. Hoogmoed, U.D. Perdok, and O. Oenema. 2007. Crop residue, manure and fertilizer in dryland maize under reduced tillage in northern China: I grain yields and nutrient use efficiencies. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*., 79:1–16.

Rendimiento de maíz en temporal con fertilización mineral y orgánica que cubra requerimiento de nitrógeno

Hugo Ernesto Flores-López[1]
Gloria Vidrio Llamas[2]
Uriel Figueroa Viramontes[4]
Irma Julieta González Acuña[3]
Humberto Ramirez-Vega[2]

Resumen

El maíz para grano sembrado en temporal es el principal cultivo en Jalisco con rendimiento de 6.54 ton/ha. Este rendimiento se atribuye al uso intensivo de las tierras agrícolas y el uso de insumos, particularmente fertilizantes nitrogenados. El nitrógeno (N) mineral es caro y con fuerte impacto ambiental, lo que hace necesario buscar otras opciones de fertilización, para bajar el costo de producción. El objetivo del presente estudio fue evaluar el rendimiento de grano (RG) de maíz de temporal con uso de estiércol de bovino (EB), gallinaza (G) y fertilizante mine-

[1] Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.

NIFAP flores.hugo@inifap.gob.mx.

[2] Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de los Altos.

[3] Campo Experimental Santiago Ixcuintla. INIFAP.

[4] Departamento de Investigación y Desarrollo. Agribiotech.

ral (GQ) para cubrir 67, 100 y 133% del requerimiento de N, en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. El estudio se desarrolló en los temporales de 2010 a 2013, en el Campo Experimental Centro Altos de Jalisco de INIFAP. Se utilizó un diseño experimental en bloque al azar con cuatro repeticiones. Se utilizaron los productos EB, G, y FQ, con requerimientos estimados con el método de balance. Las dosis de productos fertilizantes fueron 67, 100 y 133 % del requerimiento de N, más un testigo sin fertilizar. Los resultados mostraron relación lineal entre el RG y la lluvia durante la estación de crecimiento. El RG más alto fue con EB, seguido de G y al final el FQ. No se encontraron diferencias estadísticas entre proporción de dosis de fertilización aplicadas. Se recomienda el uso de 67% de EB o G para cubrir el requerimiento de N.

Palabras clave: *estiércol bovino, gallinaza, fertilizante nitrogenado.*

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) para grano sembrado en condiciones de temporal es el principal cultivo en Jalisco con rendimiento de 6.54 ton/ha (SIAP-SADER, 2021). El rendimiento logrado se atribuye al uso intensivo de las tierras agrícolas y el uso de insumos,

particularmente fertilizantes nitrogenados (FAOSTAT, 2021). Sin embargo, la respuesta del maíz en esta condición de humedad es altamente variable (Butts-Wilmsmeyer *et al.*, 2019). Dado que los sistemas de producción agrícolas (SPA) tienen cuatro componentes: clima, suelo, planta y la tecnología de manejo que realiza el agricultor; el clima al no controlarse ni modificarse en los SPA de temporal, le confiere un alto grado de incertidumbre, tornándola una actividad con alto riesgo de producción con la variabilidad de rendimiento, particularmente por efecto de las condiciones de basadas en la disponibilidad de precipitación pluvial, caracterizada por cambiar a los largo de grandes áreas, durante la estación de crecimiento y a través de los años (Flores *et al.*, 2011). Pero, además, los insumos agrícolas y su eficiencia en aplicación considerados en la tecnología de producción, son importantes en el rendimiento a lograr por el SPA. Por esta razón, hasta que el productor minimice el agua como factor limitante del potencial de rendimiento, se incrementará la respuesta del rendimiento al manejo del SPA; en segundo término, están los nutrientes, principalmente el nitrógeno, fósforo y potasio (Havlin *et al.*, 2017). El

maíz suele responder a las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, por lo que cuando se pierde N después de la aplicación del fertilizante, pueden producirse repercusiones importantes en el rendimiento y medio ambiente (Morris *et al.*, 2018), con buena distribución de lluvia se puede lograr el mejor aprovechamiento de este recurso (Tremblay *et al.*, 2012). Sin embargo, el uso de fertilizantes minerales es caro y con fuerte impacto ambiental, lo que hace necesario buscar otras opciones de fertilización y que baje el costo de producción.

Numerosos estudios han demostrado que pueden obtenerse excelentes respuestas en rendimiento de acuerdo las fuentes, cantidades y oportunidad de aplicación del N, desde V6 hasta floración. La cantidad de fertilizante tiene un efecto importante en el rendimiento de maíz logrado, si se aplica en menor cantidad a la requerida por el SPA, se reportan reducción en el rendimiento, pero si se aplica en exceso se produce toxicidad en la planta con impacto al ambiente (Havlin *et al.*, 2017). Pero, además, los productos orgánicos utilizados en la fertilización de maíz, como con estiércoles o gallinaza, se han identificado como

opción tecnológica para incrementar la materia orgánica del suelo (Salazar-Sosa *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2008) y la captura de carbono (UNEP, 2017). El objetivo del presente estudio fue evaluar en rendimiento de grano de maíz en condiciones de temporal con la aplicación de estiércol de bovino, gallinaza y fertilizantes minerales para cubrir 67, 100 y 133% del requerimiento de nitrógeno, en Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en los terrenos del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CECEAJAL), del Centro de Investigaciones Regionales Pacífico Centro del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, localizado en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. El clima de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), es (A)C(w_1)(w)(e)g, con lluvia promedio anual es de 869 mm, temperaturas máxima, mínima y media promedio anuales de 25.7, 7.7 y 16.7 °C, respectivamente. El suelo del CECEAJAL se clasifica como mezcla fina isotérmica, Udic Rhodustalf (INEGI, 1994). La pendiente del terreno es 2.1 %.

Tratamientos a estudiar y diseño experimental

El estudio se realizó en el ciclo de primavera-verano de 2010 a 2013. Se evaluó la respuesta del maíz a la aplicación de fertilizante mineral (FQ), estiércol de bovino (EB) y gallinaza (G), para cubrir el 67, 100 y 133% del requerimiento estimado por el método de balance de nitrógeno (Figueroa *et al.*, 2010). Previo al establecimiento del experimento, se tomaron muestras de suelo de cada parcela experimental a 0-30 cm de profundidad, para su análisis en laboratorio. Los tratamientos que se evalúan en el experimento fueron los siguientes:

1) Control sin fertilizar
2) 67% del requerimiento de N del maíz (ReqNmaíz) con FQ
3) 100% del ReqNmaíz con FQ
4) 133% del ReqNmaíz con FQ
5) 67% del ReqNmaíz con EB
6) 100% del ReqNmaíz con EB
7) 133% del ReqNmaíz con EB
8) 67% del ReqNmaíz con G
9) 100% del ReqNmaíz con Gy
10) 133% del ReqNmaíz con G

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cuatro repeticiones; la parcela experimental fue de seis surcos; cada surco fue de 10 m de longitud y 0.76 m de ancho. La densidad de población fue 92,000 plantas/ha. Los híbridos de maíz utilizados fueron en 2010 y 2011 H-375, en 2012 Tigre de Asgrow y en 2013 Caimán de Asgrow. El manejo del cultivo fue el recomendado por el CECEAJAL para la región.

Rendimiento de grano de maíz (RGM)

El RGM se determinó en la parcela útil de cada tratamiento cuando el grano tenía menos de 14% de humedad; el RGM se medió para cada tratamiento en parcela útil de dos surcos de 8 metros de longitud y surco de 0.76 m de ancho.

Análisis del suelo.

Se determinó la disponibilidad de nitrógeno con el método de análisis indicado en la Norma NOM-021-RECNAT-2000 (NOM, 2002). El requerimiento de fósforo y potasio también se cubrió de acuerdo con el requerimiento obtenido con el método de balance.

Información climatológica

La información climatológica utilizada se obtuvo de los registros de una estación agroclimática del CECEAJAL, con ubicación de 20° 52′ 17.1″ de latitud norte, 102° 42′ 39.9″ de longitud oeste y 1930 msnm de altitud.

Análisis de la información

En el análisis de información se aplicó análisis de varianza, prueba de separación de medias Duncan 5% y estadística descriptiva, con los programas EXCEL y SAS.

Resultados y discusión

Las condiciones climáticas

La precipitación acumulada en cada año que duró el estudio en el periodo de junio a diciembre del 2010, 2011, 2012 y 2013 fue de 634.4, 642.7, 791.4 y 1,067.9 mm, respectivamente. El rendimiento de grano mostro una relación lineal con la cantidad de lluvia durante la estación de crecimiento como se muestra en la Figura 1, con fuerte influencia del producto fertilizante utilizado para cubrir el ReqNmaíz. Esta figura muestra que el aumento en

la cantidad de lluvia produce incremento en el rendimiento de grano linealmente, con mayor influencia con el EB, seguido de G y el FQ al final. La fertilización mineral fue más baja que el testigo cuando se cubrió el 133% del requerimiento.

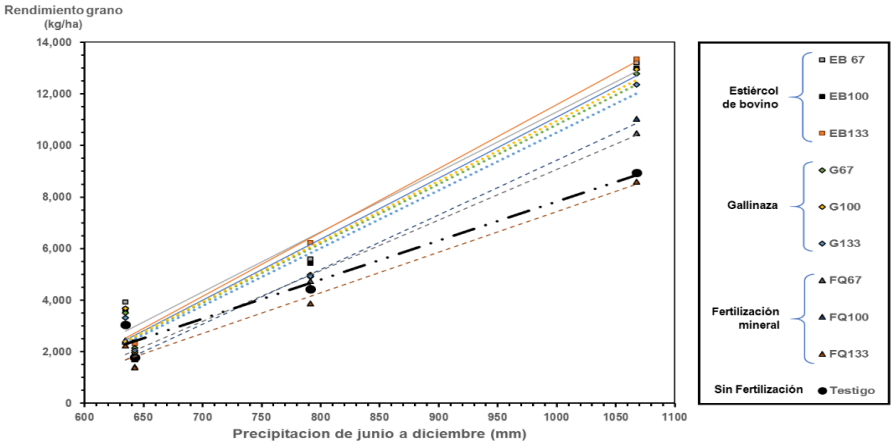


Figura 1. Rendimiento de grano de maíz en función de la lluvia acumulada de junio a diciembre durante el 2010 a 2013, en tratamientos con fertilización química y orgánica en Tepatitlán, Jalisco.

Rendimiento de grano de maíz (RGM)

El Cuadro 1 contiene el análisis de varianza del RGM. En este cuadro se muestran diferencias altamente significativas entre tratamientos y años. En la Figura 1 se observa que el efecto de año en el rendimiento es altamente dependiente de la cantidad de lluvia ocurrida en la estación de crecimiento. Diversos estudios reportan efecto similar con la cantidad y distribución de la lluvia durante la estación de crecimiento sobre el rendimiento de maíz (Morris et a., 2018; Tremblay *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2007). El Cuadro 2 muestra la comparación de medias de los tratamientos con la proporción de nitrógeno (PorcN) cubierta con los productos FQ, EB y G, en cada año que duró el estudio (Años). Cada año resultó con diferencias altamente significativas. Se observan diferencias entre EB y G, y respuesta estadística igual en FQ y sin fertilización.

Cuadro 1. Análisis de varianza del rendimiento de grano de maíz de temporal de 2010 a 2013, en Tepatitlán, Jalisco.

Fuente	Gl	Suma cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Modelo	42	4850415650	115486087	124.39	<.0001
Rep	3	11222957	3740986	4.03	0.0079
Año	3	4542546960	1514182320	1630.9	<.0001
Producto	3	161595651	53865217	58.02	<.0001
PorcN	2	6098959	3049480	3.28	0.0389
Año*Producto*PorcN	31	128951122	4159714	4.48	<.0001
Error	277	257176491	928435		
Total	319	5107592141			

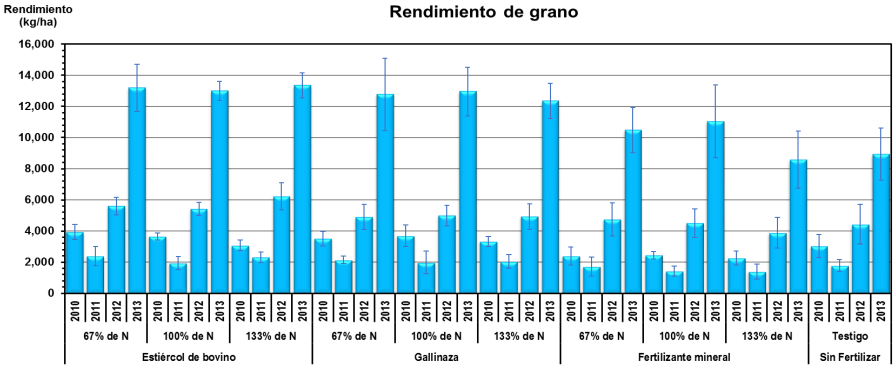


Figura 1. Rendimiento de grano de grano de maíz en tratamientos con fertilización química y orgánica para cubrir 67, 100 y 133% del requerimiento de nitrógeno durante el temporal de lluvias de 2010 al 2013, en Tepatitlán, Jalisco.

En la Figura 2 se muestra el RGM según la interacción de proporción cubierta de nitrógeno (PorcN) con FQ, EB y G, en cada año que duró el estudio. Esta interacción resultó con diferencias altamente significativas (Cuadro 1). De acuerdo con el Cuadro 2, cubrir el 67% del requerimiento de nitrógeno con los productos fertilizantes estudiados, muestra tendencia similar en el RGM al obtenido con 100 y 133% del requerimiento de nitrógeno. También se observa que los mayores RGM se tuvieron con EB y G, pero en 2013 fueron más altos, cuando la lluvia fue en mayor cantidad. Se ha reportado que la mayor cantidad de lluvia produce rendimientos más altos (Wang *et al.*, 2007). Se puede considerar el uso de 67% de EB o G para cubrir el ReqNmaíz, sin que se reduzca el rendimiento de grano. Pero también, puede considerarse una opción tecnológica de fertilización con menor impacto ambiental.

Cuadro 2. Comparación de medias entre años del estudio, productos fertilizantes utilizados y porcentaje de nitrógeno aplicado.

	Media	Año		Media	Producto		Media	PorcN
a	11667.8	2013	a	6174.2	EB	a	5648.5	67
b	4965.4	2012	b	5800.5	G	a	5585.6	100
c	3131.6	2010	c	4572.7	Q	a	5313.2	133
d	1912.5	2011	c	4551	SINFERT	b	4551	0

Conclusiones

La lluvia resultó determinante en el rendmiento de grano de maiz en condiciones de temporal. Se identificó diferencias altamente significativas entre tratamientos: la proporción de fertilización nitrogenanda utiliada para cubrir la necesidades del cultivo y entre años. El rendimiento de grano fue más alto con estiercol de bovino, seguido de la gallinaza y a final el fertilizante quimico. Como una opción tecnológica con menor impacto ambiental de fertilización, se considera el uso de 67% de estiércol de bovino o gallinaza para cubrir el requerimiento de nitrógeno.

Literatura citada

Butts-Wilmsmeyer, C.J., J. R. Seebauer, L. Singleton, and F. E. Below. 2019. Weather During Key Growth Stages Explains Grain Quality and Yield of Maize. *Agronomy*, 9:16, doi:10.3390/agronomy9010016.

FAOSTAT. 2021. Fertilizantes por Producto. Tomado de: http://www.-fao.org/faostat/es/#data/RFB Fecha de acceso: 22-Julio-2021

Figueroa-Viramontes, U., J. A. Cueto-Wong, J.A. Delgado, G. Núñez-Hernández, D.G. Reta-Sánchez, H.M. Quiroga-Garza, R. Faz-Contreras y J.L. Márquez-Rojas. 2010. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 28: 361-369.

Flores L., H.E., Paredes M., R., Ruvalcaba G., J.M., De La Mora O., C., Pérez D., J.F. y Ireta M., J. 2011. Metodología para la Evaluación del Valor Agregado del Programa de Maíz de Alto Rendimiento (PROEMAR) 2010 en Jalisco y Guanajuato. Libro Técnico Núm. 2. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jal. México. 162 p.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a edición. México, DF.

Havlin, J.L., S.L. Tisdale, W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 2017. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Pearson India Education Services Pvt. Ltd. 8a edition. Uttar Pradesh, India. 520 pág.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). 1994. Tour description. Tramo Guadalajara, Jalisco – Zamora, Michoacán. In: Guide for technical tours "1" and "10": Guadalajara – México city. 15° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. 10 – 16 de Julio. Acapulco, México.

Martínez H., E., J.P. Fuentes E. y E. Acevedo H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R.C. Suelo Nutr. Veg*., 8:68-96.

Morris, T.F., T.S. Murrell, D.B. Beegle, J.J. Camberato, R.B. Ferguson, J. Grove, Q. Ketterings, P.M. Kyveryga, *et al*. 2018. Strengths and Limitations of

Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agron. J.*, 110:1–37.

Norma Oficial Mexicana (NOM). 2002. Diario Oficial, Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Tomado de: http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf Fecha de acceso: 15-10-2020

Salazar-Sosa, E., H. I. Trejo-Escareño, J. D. López-Martínez, C. Vázquez-Vázquez, J. S. Serrato-Corona, I. Orona-Castillo y J.P. Flores-Márgez. 2010. Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*, 28:381-390.

SIAP-SADER. 2021. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Tomado de: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/ Fecha de acceso: 21 de julio de 2021

Tremblay, N., Y.M. Bouroubi, C. Belec, R.W. Mullen, N.R. Kitchen, W.E. Thomason *et al*. 2012. Corn response to nitrogen is influenced by soil texture and weather. *Agron. J*. 104(6):1658–1671. doi:10.2134/ agronj2012.0184

UNEP (2017). The Emissions Gap Report 2017. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi. Tomado de: www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report Fecha de acceso: 10-07-2021

Wang, X., D. Cai, W.B. Hoogmoed, U.D. Perdok, and O. Oenema. 2007. Crop residue, manure and fertilizer in dryland maize under reduced tillage in northern China: I grain yields and nutrient use efficiencies. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 79:1–16.

Residuos vegetales: una fuente potencial de fósforo en suelos agrícolas

Daniel Tinoco-Varela[1]
Wendolyne Cisniega-Hernández[1]
Oriana Coria-Caballero[1]
Clarissa Herrera-Murillo[1]
Jeannette Sofía Bayuelo-Jiménez[1]

Resumen

Los residuos vegetales que persisten en el suelo postcosecha constituyen una fuente potencial de fósforo (P) en diversos sistemas agrícolas. En general, cuanto mayor sea la proporción del nutriente en el residuo, mayor será su contribución en etapas críticas del desarrollo del cultivo. Se estudió el patrón de absorción y distribución de P y materia seca en vástago y raíz de tres leguminosas y tres cereales durante la etapa vegetativa. En todas las especies, la máxima acumulación de P ocurrió 36 días después de que se sembró y el vástago actuó como el principal reservorio de P. A los 56 DDS, este órgano acumuló 86 y 88% del P total en cereales y leguminosas, respectivamente. Los resultados señalan la importancia del sorgo, chícharo y frijol como fuentes potenciales de P biodisponible para sustentar productividad agrícola.

[1]Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, bayuelo@umich.mx.

Palabras clave: *Fosfato, suelos ácidos, leguminosas, cereales, acumulación*.

Introducción

El fósforo (P) es esencial en el crecimiento vegetal. Sin embargo, en el suelo solo se encuentra una pequeña proporción de P biodisponible (0.01 a 3.0 mg P L^{-1}) (Frossard *et al*., 2000). Es por ello que el incremento en la producción de los cultivos requiere de fertilizantes químicos (McLaughlin *et al*., 2011). Su uso, sin embargo, representa un alto costo para el agricultor y, no siempre se refleja en una mejor calidad del suelo (Maranguit *et al*., 2017). Una mayor eficiencia en el uso de P incrementa el beneficio agronómico, económico y ambiental, pero ello requiere de del conocimiento de la dinámica de P en el suelo. Por ejemplo, el P contenido en residuos vegetales y el P vinculado con la biomasa microbiana, constituyen dos fuentes importantes del acervo de P en sistemas agrícolas (Damon *et al*., 2014).

El P acumulado en los residuos vegetales se incorpora al suelo en la forma de P inorgánico soluble (Pi), P orgánico (Po) asimilado por los microorganismos o en una fracción de Pi quí-

micamente estable (Noack *et al*., 2012). Es común que, en el suelo (solución), se recupere una pequeña fracción del Pi (5 al 10%) (Nachimuthu *et al*., 2009), mientras que en el acervo moderadamente lábil se encuentra la mayor parte del P total acumulado en el residuo (Kwabiath *et al*., 2003). Los procesos que determinan la dinámica de P en el suelo incluyen la calidad del residuo vegetal, la actividad de la biomasa microbiana y las reacciones de sorción en los diferentes acervos del suelo (Damon *et al*., 2014). Además, los procesos de mineralización e inmovilización del P, mediados por los microrganismos del suelo, también subyacen en la cantidad de P acumulado en el residuo y el contenido de C (carbono), N (nitrógeno) y S (azufre) presente en el mismo (Barrow, 1960). En general, el P se mineraliza cuando la concentración del residuo vegetal es mayor de 3 mg g^{-1} (Iqbal, 2009). Por el contrario, su inmovilización ocurre cuando el P total acumulado en el residuo es insuficiente para satisfacer los requerimientos de la biomasa microbiana.

Los residuos contienen Pi soluble y Po insoluble. Durante la etapa reproductiva, el Pi de los residuos es menor (40 a 60%) al presente durante la etapa vegetativa (60 a 80%) (Noack *et al*., 2012).

En madurez fisiológica, la concentración de Pi de los residuos es < 20%, debido a que una gran proporción del P total (>80%), se moviliza hacia el grano en la forma de Po (fitato) (Rose *et al*., 2010). En general, la proporción de Pi es altamente dependiente de la especie, genotipo y ambiente (Rose *et al*., 2010). Sin embargo, el estado del desarrollo del cultivo también afecta la cantidad y especiación de Pi en el residuo, así como su disponibilidad en fases críticas de su crecimiento. Para demostrarlo, se evaluó la concentración de Pi en tres leguminosas y tres cereales durante la etapa vegetativa y así probar la hipótesis de que las leguminosas son más eficientes en proveer P al suelo en etapas críticas del desarrollo del cultivo.

Materiales y métodos

Se eligió la localidad de Pablo Cuin (19°13’ N y 101°39’ O), Michoacán para desarrollar el presente estudio. Éste abarcó el periodo de junio a julio de 2021. Esta localidad se distingue por un clima templado sub- húmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 20 °C y altura de 2000 msnm (INEGI, 2009). La parcela experimental recibió una dosis de fertilización

fosfatada de 50 kg ha^{-1} de superfosfato triple de calcio y nitrato de calcio, aplicada a la siembra y 60 kg N ha^{-1} a floración (entre 49 y 56 días). El muestreo se realizó en cuatro etapas vegetativas (36, 42, 49 y 56 días después de la siembra, DDS). Se incluyeron las especies de trigo (*Triticum aestivum*), sorgo (*Sorghum bicolor*), avena (*Avena sativa*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), lenteja (*Lens culinaris*) y chícharo (*Pisum sativum*). Se muestrearon cuatro plantas/especie en secciones de 0.8 x 0.5 m por surco. El tejido obtenido (raíz y vástago) se deshidrató a 65 ºC por 72 h. Posteriormente, se registró el peso seco. Se utilizó un molino Wiley-Thomas para moler las muestras vegetales y, de éstas, calcinar a 500 ºC por 6 h. El registro de la concentración de P se estimó por el método colorimétrico de Murphy y Riley (1962). La medición se realizó con un espectrofotómetro de UV/VIS (Perkin Elmer®, mod. Lamda 40, Uberlingen, Germany) a 880 nm. La acumulación de P (mg) en raíz y vástago se estimó multiplicando la concentración de P con el peso seco que acumularon ambos órganos vegetales. El análisis estadístico consideró un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones. Se consideraron dos surcos de 10 m

de longitud como unidad experimental para cada especie. La profundidad de siembra fue de 6 cm y las plantas estuvieron separadas entre sí a una distancia de 25 cm. Se realizó un análisis de varianza (SAS, 2000) para estimar las diferencias entre especies. Con la prueba de Tukey se confrontaron las diferencias entre especies para cada variable considerada.

Resultados y discusión

A los 36 DDS, todos los cultivares, excepto avena y lenteja, alcanzaron la máxima concentración de Pi en el vástago (> 3.0 mg g^{-1}) (Cuadro 1). El chícharo y sorgo presentaron las mayores concentraciones de Pi (Cuadro 1). En el caso del chícharo, frijol y lenteja, la concentración de Pi de la raíz se mantuvo alta (> 3.0 mg g^{-1}) durante las etapas vegetativas evaluadas. Una vez que la raíz adquiere el P del suelo, éste se transporta hacia los nódulos y constituye un importante reservorio de P para el desarrollo vegetativo de leguminosas (Sulieman y Tran, 2015).

El vástago actuó como reservorio de P en cada cultivar (Figura 1). A los 56 DDS, éste acumuló 86 y 88% del P total en cereales y leguminosas, respectivamente. El sorgo, chícharo y frijol

fueron las especies que acumularon la mayor proporción de P en el vástago (Figura 1). En contraste, entre 12 y 18% del P total se acumuló en la raíz. El Pi contenido en el vástago de leguminosas fue menor (53%) al presente en cereales (60%). No obstante, esta concentración es similar a los valores reportados en residuos durante la etapa vegetativa (Noack *et al*., 2012). En cereales, se reporta una concentración mínima de 1.3 a 2.5 mg g^{-1}; mientras que en leguminosas varía de 1.9 a 2.3 mg g^{-1} (Sánchez *et al*., 2007).

Cuadro 1. Acumulación de biomasa y fósforo en leguminosas y cereales.

Especie	Concentración	DDS	Peso seco	Contenido	DDS
	mg P g^{-1}		g $planta^{-1}$	mg P	
Avena sativa	2.8 (0.07)	36	8.2 (0.15)	13.3 (0.91)	49
Sorghum bicolor	3.2 (0.06)	36	10.8 (0.32)	25.2 (1.29)	56
Triticum durum	3.1 (0.05)	36	10.7 (0.34)	15.7 (0.47)	49
Pisum sativum	3.4 (0.09)	42	12.3 (0.34)	22.0 (1.44)	56
Phaseolus vulgaris	3.1 (0.09)	36	15.0 (0.65)	32.6 (0.31)	56
Lens culinaris	2.7 (0.16)	36	4.0 (0.23)	7.0 (0.64)	56

DDS: Días después de la siembra. Las medias son el promedio de cinco repeticiones (n = 5). En paréntesis se presenta el error estándar.

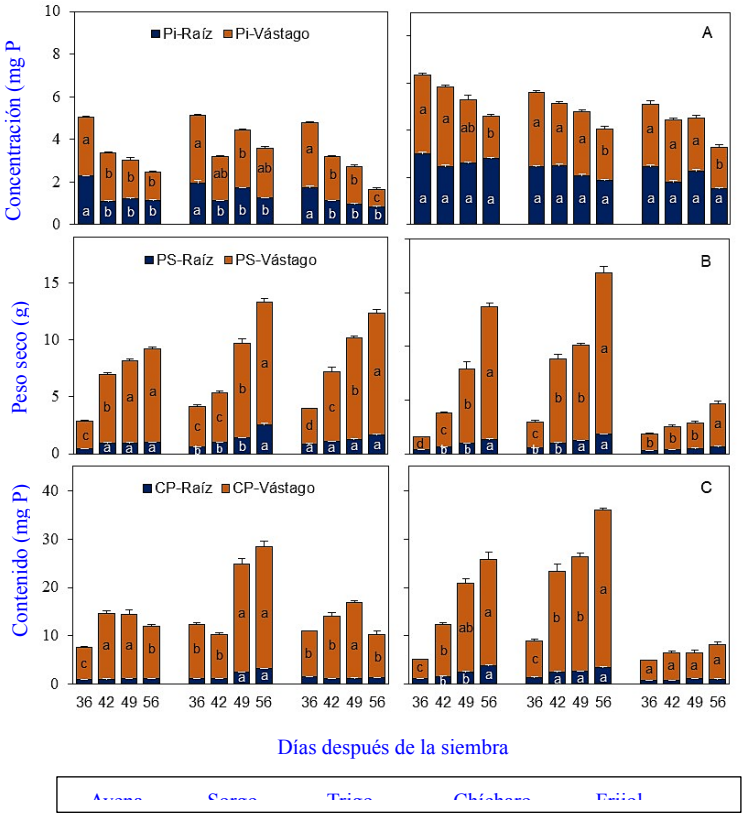


Figura 1. Acumulación de fósforo en raíz y vástago de cereales y leguminosas en etapa vegetativa. Medias con letras iguales en cada órgano, son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, 0.05). Las medias son el promedio de cuatro repeticiones (n = 4).

La avena y el trigo mostraron el mayor contenido de P a los 49 DDS, pero el contenido fue 39% menor al obtenido en el sorgo. Las plantas de leguminosas alcanzaron su máximo contenido de P a los 56 DDS. La acumulación fue mayor en frijol, seguida del chícharo y lenteja. Ésta última especie, acumuló 73% menos P que las leguminosas restantes (Figura 1). Es posible que, las discrepancias en la acumulación de P en vástago y raíz se deban a las estrategias de la planta para adquirir el nutriente; o bien a su eficiencia para utilizarlo en la producción de peso seco por unidad de P absorbido (Rose *et al*., 2010). Esta estrategia es de sumo valor para estimar qué cultivares presentan una alta eficiencia en el uso de P y favorecer la calidad del suelo, ambiente y salud humana.

Conclusiones

El estudio indicó que el vástago constituye una fuente potencial de P biodisponible para el cultivo y los microorganismos del suelo. La biodisponibilidad de P es mayor en etapas tempranas del crecimiento vegetal (36 dds) e independiente de la especie. Conforme avanza el periodo de crecimiento en cereales, la

concentración de P del tejido vegetal disminuye y, consecuentemente, su putativa contribución en el suelo. La alta acumulación de P en leguminosas, particularmente en chícharo y frijol, es de suma importancia en suelos agrícolas que presentan alta deficiencia de P y que dependen de altos insumos externos para sustentar productividad agrícola.

Literatura citada

Alcalá, J. M., Solorio, O. C. A. y Gutiérrez, C. M. C. (2001). Clasificación de los suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán. *Terra*, 19, 217-239.

Barrow, N. J. (1960). Stimulated decomposition of soil organic matter during the decomposition of added organic materials. *Australian Journal of Agricultural Research*, 11, 331-338.

Damon, P. M., Bowden, B., Rose, T. y Rengel, Z. (2014). Crop residue contributions to phosphorus pools in agricultural soils: A review. *Soil Biology & Biochemistry*, 74,127-137.

Fageria, N. K., Baligar, V. C. y Li, Y. C. (2008). The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. *Journal of Plant Nutrition*, 1, 1121-1157.

Frossard, E., Condron, L. M., Oberson, A., Sinaj, S. y Fardeau, J. C. (2000). Processes governing phosphorus availability in temperate soils. *Journal of Enviromental Quality*, 29, 15-23.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Ario, Michoacán de Ocampo. México. Recuperado de: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/16/16009.pdf

Iqbal, S. M. (2009). Effect of crop residue qualities on descomposition rates, soil phosphorus dynamics and plant phosphorus uptake. PhD Thesis. The University of Adelaide, *Soil and Land Systems*, pp 1-220.

Kwabiath, A. B., Palm, C. A., Stoskopf, N. C. y Voroney, R. P. (2003). Response of soil microbial biomass dynamics to quality of plant materials with emphasis on P availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 35, 207-216.

Maranguit, D., Guillaume, T. y Kuzyakov, Y. (2017). Land-use affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. *Catena*, 149, 385-393.

McLaughlin, M. J., McBeath, T. M., Smernik, R., Stacey, S. P., Ajiboye, B. y Guppy, C. (2011). The chemical nature of P accumulation in agricultural soils-implications for fertilizer management and design: an Australian perspective. *Plant Soil*, 349, 69-87. doi: 10.1007/s11104-011-0907-7

Murphy, J. y Riley, J. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemical Acta*, 27, 31-36.

Nachimuthu, G., Guppy, C., Kristiansen, P. y Lockwood, P. (2009). Isotopic tracing of phosphorus uptake in corn from P labelled legume residues and P labelled fertiliser applied to a Sandy loam soil. *Plant and Soil*, 314, 303-310.

Noack, R. S., McLaughlin, J. M., Smernik, J. R., McBeath, M. T. y Armstrong D. R. (2012). Crop residue phosphorus: speciation and potential bioavailability. *Plant Soil*, 359, 375-385.

Rose, T. J., Damon P. y Rengel, Z. (2010). Phosphorus-efficient faba bean (Vicia faba L.) genotypes enhance subsequent wheat crop growth in an acid and an alkaline soil. *Crop Pasture Science*, 61, 1009-1016.

Sánchez, C. A. (2007). Phosphorus. En Barker, V. A. y Pilbeam, J. D. (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition* (pp.51-90). New York, Taylor & Francis Group.

Sulieman, S. y Tran, L.S.P. (2015). Phosphorus homeostasis in legume nodules as an adaptive strategy to phosphorus deficiency. *Plant Science*, 239, 36-43.

Rompimiento con hormonas de la quiescencia en semillas de chile amashito (*Capsicum annuum* var *Glabriusculum*)

Jaime Iván Jerónimo-Robles[1]
Edmundo Gómez-Méndez[1]
Rosa Ma. Salinas-Hernández[1]
Armando Gómez-Vázquez[1]
Hortensia Brito-Vega[1]*

Resumen

En este trabajo el objetivo fue una evaluación de la pregerminación con giberelina y Biozyme en el rompimiento de la quiescencia en semilla de chile amashito por frutos maduros comprados de puestos mercantiles en el poblado de villa Benito Juárez, Macuspana. Se someterán las semillas de chile amashito a diferentes tratamientos y un diseño completamente al azar, con tres tratamientos: 1) Giberelina, 2) Biozyme y 3) Testigo (agua destilada), cada uno de los tratamientos con tres réplicas, y cada réplica con 10 semillas. Las variables fueron tomando registro todos los días

[1] Programa de Ingeniería Educativa en Agronomía, División Académica de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma Juárez de Tabasco km 25 Carretera Villahermosa-Teapa, Municipio Central, Tabasco. Mexico. 86000.

*Correspondence autor: Hortensia Brito-Vega hortensia.brito@ujat.mx.

en la emergencia de planta, crecimiento en almácigo, desarrollo vegetativo y la aparición de los botones. Los resultados obtenidos que fueron altamente significativos (α=0.05); es decir, el tiempo de inmersión de las semillas con giberelinas y Biozyme tuvo un efecto lento en las Fases fenológicas en el tiempo y porcentaje de germinación, crecimiento en la charola, a diferencia del desarrollo y aparición de los botones que fue el Tratamiento 1 (Giberelinas). Las hormonas compuestas vegetales como las gibelinas, zeatina, ácido indolacético y algunos nutrientes que conforman el producto comercial el Biozyme, su grado de efecto se observó en las dos primeras fases fenológicas germinación y crecimiento en almácigo a cambio la hormona sola la giberelina, en las fases tres y cuatro, logró este tratamiento un mayor grado de efectividad para el desarrollo y la aparición de los botones a comparación de los demás tratamientos.

Palabras clave: *Desarrollo, Efectividad, Fases fenológicas, Usuarios*.

Abstract

In this work we will try to carry out a germination evaluation in amashito chili seed by ripe fruits purchased from commercial stalls in the town of Villa Benito Juárez, Macuspana. The amashito chili seeds will be subjected to different treatments and a completely randomized design, with three treatments: 1) Gibberellin, 2) Biozyme and 3) Control (distilled water) each of the treatments with three replicates, and each replicate 10 seeds. The variables were recorded every day in the emergence of the plant, growth in storage, vegetative development and the appearance of the buttons. The results obtained were highly significant (α = 0.05); that is, the immersion time of the seeds with gibberellins and Biozyme had a slow effect on the phenological phases time and percentage of germination, growth in the tray, unlike the development and appearance of the buttons that was Treatment 1 (Gibberellins). The Biozyme, its degree of effect, was observed in the first two phenological phases, germination and growth in the warehouse, in exchange for gibberellin in phases three and four, achievements, thus recognizing the treatment with the highest

degree of effectiveness for the development and appearance of buds.

Keywords: *Development, Effectiveness Phenological phases, Users*.

Introducción

El cultivo del chile se ubica entre las siete hortalizas más cultivadas en el mundo con una producción mundial estimada en 24 millones de toneladas (Tm). Los principales países productores son China (12.5 millonesTm) y México (1.9 millonesTm). Aproximadamente el 25% de la producción mexicana se exporta (SIAP, 2019; CONAPROCH, 2019). En México existe gran variabilidad de chiles en forma, tamaño, color, sabor y picor, con una distribución desde la costa cero msnm hasta los 2 500 msnm (Hernández *et al*., 1999). El cultivo del chile (*Capsicum* spp.) es importante por la gran diversidad de especies, historia, tradición, gastronomía y cultura de México, además, un producto agrícola con alta demanda mundial (SIAP. A pesar de esto, una de las especies de este género *Capsicum* es el chile amashito, que se encuentra en forma silvestre y uno de los pocos investigados y estudiado en el estado de Tabasco (González-Cortez *et al*., 2015). En

el estado de Tabasco se explota de manera inapropiada el fruto de chile amashito en los mercados de cada municipio, por medio de colectas silvestres que realizan extrayendo el fruto en estado inmaduro para vender en mercados; por tal motivo se incrementa la demanda de este fruto, pero a la vez no existe un manejo agronómico y un desconocimiento teórico solo empírico para solo la cosecha o postcosecha. La semilla de chile amashito posee una testa dura, por tal motivo debe el ave come el fruto color naranja a rojo y el fruto pasa el proceso de la digestión y expulsado solo las semillas con la testa blanda y esta semilla está cubierta de otros compuestos degradados que ayudan a la germinación de la semilla (González-Cortez *et al*., 2015). La quiescencia en semillas significa que se encuentra vivo y con potencial de producir una plántula acorde a las condiciones de factores físicos especialmente la humedad y temperatura (Prado-Urbina *et al*., 2015). Con lo anterior se planteó el siguiente objetivo evaluar la pre-germinación de semillas chile amashito (*Capsicum annuum* var *Glabriusculum*) con Giberelinas y Biozyme para el rompimiento de quiescencia para reducir el tiempo de germinación.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estado de Tabasco se ubica en el sureste de la República Mexicana, entre los 17°15′ y 18°39′ LN y 91°00′ y 94°17′ LO. La mayor parte del territorio es una planicie costera con altitud no mayor a 30 msnm, y que además se divide en dos grandes regiones, la del Río Grijalva y la del Río Usumacinta y consta de diecisiete municipios (Barba, 2006), en el rancho la Guadalupana ubicado en la ranchería Cacahuatalillo del poblado Villa Benito Juárez, Macuspana, Tabasco.

Material vegetal

La colecta de los frutos *C. annuum* var *Glabriusculum* fueron comprados en los puestos del mercado en el poblado de Villa Benito Juárez, Macuspana, Tabasco. Los frutos fueron almacenados bolsas durante tres días a temperatura ambiente (24 °C ± 2), luego se seleccionarán los frutos maduros de color rojo-naranja, después se extrajeron las semillas mediante fricción de los frutos.

Descripción de tratamientos

Se empleo un diseño completamente al azar, con tres tratamientos: 1) Giberelina, 2) Biozyme y 3) Testigo (agua destilada) cada uno de los tratamientos con tres réplicas, y cada réplica 10 semillas. Las plantas con una fase fenológica de 40 días después de la germinación de almácigo serán trasplantadas en sistema protegido (invernadero), serán colocadas con un arreglo por surcos 80 cm x 40 cm.

Diseño Experimental

Un testigo más dos tratamientos de diez plantas con tres repeticiones fueron aplicados: Giberelina (T1), Biozyme (T2) y agua destilada (T3). Todas las soluciones de los tratamientos (excepto el agua destilada), fueron ajustadas a un pH de 6.5 usando ácido o base previamente a su aplicación.

Variables

Realizar los registros de los días germinación, crecimiento vegetativo, desarrollo vegetativo y la presencia de los botones florales. Estas variables fueron llevadas y anotadas cada día.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza de un diseño completamente al azar con igual número de repeticiones por tratamiento y pruebas de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Los datos fueron analizados con el paquete estadístico de SAS (Statistical Analysis System, 2019).

Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos que fueron altamente significativos (α=0.05); es decir, el tiempo de inmersión de las semillas con giberelinas y Biozyme tuvo un efecto lento en las Fases fenológicas en el tiempo y porcentaje de germinación, y crecimiento en la charola, a diferencia del desarrollo y aparición de los botones que fue el Tramiento 1 (Giberelinas). De acuerdo con la información técnica de la composición fitohormona balanceado de Biozyme, el ácido giberélico puede inducir en las semillas del chile amashito la hidrólisis de almidón y sucrosa para formar glucosa y fructosa, y favorecer la liberación de energía, y hace negativo el potencial hídrico permitiendo el ingreso de agua y el aumento de plasticidad a la pared

celular y provocando el crecimiento celular de tejidos (González-Cortez *et al*., 2015). En un trabajo realizado por Sandoval- Rangel *et al*. (2011), describen que en chile tipo piquín (ecotipo de amashito) el promedio general de crecimiento de las plantas de chile cultivado en campo abierto con acolchado y fertirriego fue 44.90 cm de altura y un diámetro de cobertura de 50.78 cm a los 98 días después del trasplante, y un rendimiento promedio de 130.91 g por planta en dos cortes, con contenido de antioxidantes de 8.58 equivalentes trolox mg-1 y contenido de capsaicina de 672.80 mg kg-1 (100 92.03 Unidades Escoville). Características organolépticas que hacen que según Rodríguez-Del Bosque (2005) el nivel de preferencia es muy similar al chile jalapeño.

Conclusiones

El Biozyme su grado de efecto para apresurar o reducir los días de per-germinación se observó en las dos primeras fases fenológicas, germinación y crecimiento en almácigo; a cambio, la giberelina en las fases tres y cuatro logró de esa manera reconocer el tratamiento con mayor grado de efectividad para el desarrollo y la aparición de los botones.

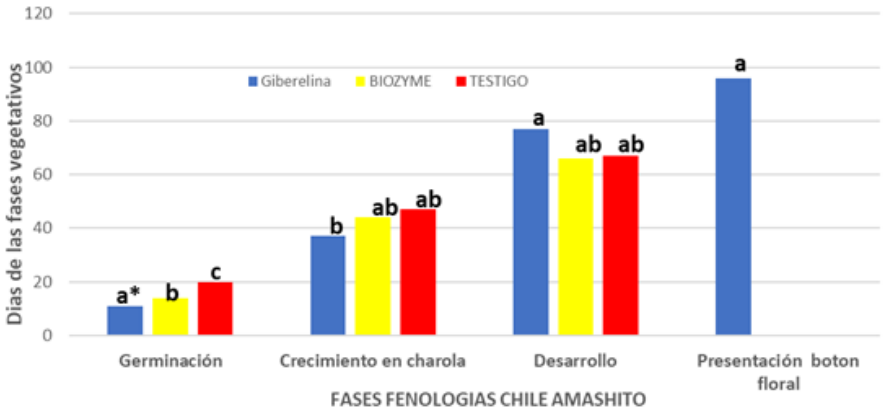


Figura 1. La presentación de algunas fases fenológicas le chile amashito (*Capsicum annuum* var Glabriusculum) a rompimiento quiescencia con hormonas vegetales.

Agradecimientos

A la División Académica de Ciencias Agropecuarias-Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Cuerpo Académico Agricultura Tropical por el apoyo económico y asesorar este Proyecto autofinanciamiento. A la Población agrícola, zonas comerciales y a la comunidad académica por proporcionar loas frutos e información sobre el cultivo.

Literatura citada

Barba E., Rangel J., Ramos R. (2006). Clasifica *Capsicum* De Los Humedales De Tabasco Mediante Sistemas De Información Geografía Ca. Univ. Cienc. UJAT. 22: 101-110

CONAPROCH. (2019). Chile Product System National Committee. National Master Plan. Decentralized Organ. https://smattcom.com/alianzas/conaproch.

González- Cortez, N., Jiménez-Vera, R., Guerra-Baños, E., Silos-Espino, H., Pairo-De la Cruz, E. 2015. Germination of amashito Chili (Capsicum annuum L. var. Glabriusculum) in southe astern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11:2211-2218. file:///C:/Users/hvbri/Downloads/800-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2209-1-10-20180122.pdf

Hernández, S., Dávila, A.P., Oyama. K. (1999). Síntesis Del Conocimiento Taxonómico, Origen Y Domesticación Del Género *Capsicum*. *Boletín De La Sociedad Botánica De México*. 64:65-84.

Prado-Urbina, G., Lagunes-Espinoza, L., García-López, E., Bautista-Muñoz, C., Camacho-Chiu, W., Mirafuentes, G.F., Aguilar-Rincón, V.H. (2015). Seed germination of wild chili peppers in response to pre-germination treatments. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 2(5):139-149.

https://www.redalyc.org/pdf/3586/358638159002.pdf

Sandoval-Rangel, A., Benavides-Mendoza, A., Alvarado-Vázquez, M.A., Foroughbakhch-Pournavab, R., Núñez-González, M.A., Robledo-Torres,

V. (2011). Influencia de ácidos orgánicos sobre el crecimiento, perfil bromatológico y metabolitos secundarios en chile piquín. *Terra Latinoamericana*. 29(4):395-401

SAS. (2019). Statistical Analysis System, version 14.2. Statistical Analysis Software, SAS/STAT | SAS

SIAP. (2019). Agrifood and Fisheries Information Service Actions (SIAP), Programs for the closure of agricultural production. Statistical Yearbook of Agricultural Production (HABANERO PEPPER).

https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Rodríguez-Del Bosque, L.A. (2005). Preferencia del consumidor por el chile piquín en comparación con otros chiles en el noreste de México. *Revista Chapingo*. Serie Horticultura. 11(002):279-281.

Uso del subsoleo en el cultivo de soya en condiciones de temporal

Moisés Alonso Báez[1]
Guillermo López Guillén[2]
Manuel Grajales Solís[3]
Betsabé Leavit Alonso López[4]

Resumen

En El Soconusco, Chiapas se siembran 13,000 ha de soya en condiciones de temporal. La preparación del suelo para su siembra ha sido intensa y en condiciones de suelo húmedo. Esta práctica repetitiva ha compactado el suelo y formado un "piso de arado" detectado mediante perfiles de suelo a ± 35 cm de profundidad. Dicha práctica reduce la infiltración y su conductividad hidráulica a saturación; pero, lo anterior puede corregirse con la ruptura del piso de arado mediante subsoleo que mejora las propiedades hidráulicas del suelo señaladas. Sobre esta base, el objetivo de esta investigación fue evaluar por tres años conse-

[1] Campo Experimental Rosario Izapa (CERI)-Inst. Nal. De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP): alonso.moises@inifap.gob.mx.

[2]CERI-INIFAP. Investigador del programa de Sanidad Vegetal.

[3]CERI-INIFAP. Investigador del Programa de Oleaginosas Anuales.

[4]Inst. Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan-SEP. Tuxtepec, Oax. Docente e Investigador.

cutivos (2017, 2018 y 2019) la infiltración en tres sistemas de manejo del suelo para la soya: subsoleo (S), barbecho (B) y rastreo del suelo (R). Cada tratamiento consistió de 1.5 ha. Inicialmente al interior de cada tratamiento se obtuvieron muestras de suelo de 0-30 cm de profundidad para estimar sus propiedades físicas e hidráulicas iniciales. Cada año se midió la infiltración por el método de doble cilindro y por un tiempo aproximado de 10 horas. A partir de esta información se determinaron las tasas de infiltración y la infiltración acumulada mediante ajuste por la Ecuación de Philip (1957) de tres términos, de cuyos coeficientes de ajuste en la Ecuación de Kutilek (1988) estima la conductividad hidráulica a saturación. Los resultados de tres años confirman mayores tasas de infiltración y de conductividad hidráulica a saturación en subsoleo, rastreo y barbecho, respectivamente.

Palabras clave: *piso de arado, compactación, Soconusco*.

Introducción

En el Soconusco, Chiapas., por muchos años la preparación del suelo para la siembra de soya ha sido intensa y en condiciones de suelo húmedo; actividad que ha comprendido de entre

uno y cuatro pasos de rastra; pero, antes de los 90 se hicieron hasta siete pasos de rastra en las mismas condiciones. Actualmente, los suelos presentan niveles variados de compactación. Los repetitivos pasos de rastra, ocasiona que cuando se siembra e inmediatamente llueve se forma una "costra" que causa taponamiento de la superficie e impide la germinación de la semilla; en consecuencia, cuando esto ocurre se realiza una segunda siembra que genera mayores costos de producción. En el ámbito mundial, la compactación de los suelos se interpreta como una forma de su degradación física (Van Ouwerkerk and Soane, 1994), ya que el uso intensivo de la maquinaria agrícola produce una capa dura (piso de arado) por debajo de la capa arable que reduce la infiltración, obstaculiza el movimiento del agua, inhibe el crecimiento radical y el rendimiento de los cultivos (Wesley *et al*., 2001). Una manera de incrementar la infiltración es por medio del subsoleo del suelo, el cual incrementa la infiltración, el movimiento interno del agua, su redistribución, su capacidad de almacenamiento y crecimiento radical del cultivo para explorar un mayor volumen de suelo (Lampurlanes *et al*., 2001; Sharma *et al*., 2004).

Asimismo, la ruptura del "piso de arado", permite el intercambio libre de flujos hacia el subsuelo, incrementa el intercambio de gases y reduce los escurrimientos superficiales (Lampurlanes *et al*., 2001; Sharma *et al*., 2004). El laboreo repetitivo para siembra de soya en El Soconusco, Chiapas; reveló que estos suelos mantienen de mediana a alta compactación, lo cual originó esta investigación, cuyo objetivo fue evaluar por tres años consecutivos la infiltración en tres sistemas de manejo del suelo y su conductividad hidráulica a saturación en un suelo cultivado anualmente con soya en las condiciones mencionadas.

Materiales y métodos

El experimento se ubicó en el municipio de Tapachula, Chiapas; entre las coordenadas 14° 45´ N y 92° 23´O, a una altitud de 16 m. El clima es cálido subhúmedo, cuya temperatura promedio fue 27± 1°C y la precipitación acumulada anual es de 1110 mm. El suelo con base en su textura es un tipo franco, el pH fue de 6.6 ligeramente ácido y un contenido de materia orgánica de 2.50%. El periodo experimental comprendió tres años consecutivos y durante los ciclos de producción primavera-verano (PV):

2017, 2018 y 2019. Los estudios preliminares fueron la abertura de perfiles de suelos en enero de 2017, donde se detectó el "piso de arado" aproximadamente a ± 35 cm de profundidad, lo que sugirió una profundidad del subsoleo a 70 cm durante el periodo seco (abril). Asimismo, se tomaron muestras de suelo a las profundidades de 0-30 cm y se determinaron sus características físicas y, a partir de éstas se estimaron los parámetros de humedad y la conductividad hidráulica a saturación inicial: contenido volumétrico de humedad a capacidad de campo (θ_{CC}), punto de marchitamiento permanente (θ_{PMP}); contenido de humedad a saturación (θs), tasa de infiltración (q_0), conductividad hidráulica a saturación (Ks) y su densidad aparente (Da). Lo anterior con base en su textura, mediante el software SPAW V. 6.02.75. El experimento consistió de tres tratamientos de 1.5 ha (150 m de largo por 100 m de ancho) distribuidos como parcelas independientes. El subsoleo (S) más un paso de rastra y siembra mecanizada; barbecho (B) más un paso de rastreo y siembra mecanizada y, rastreo (R), dos pasos de rastra y siembra mecanizada. Las fechas de siembra fueron variables, 10 de julio en 2017; 12 y 8 de julio en

2018 y 2019, respectivamente. El material vegetal fue la variedad de soya Huasteca 100 generada por el Campo Experimental Sur de Tamaulipas dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP; la planta es de porte y ciclo intermedio. En cada tratamiento se midió por duplicado la infiltración (entrada al suelo por su superficie en función del tiempo) mediante cilindros concéntricos y se obtuvieron los valores de la tasa de infiltración, $q_0(t)$, y la lámina infiltración acumulada, I(t). Los valores de la infiltración acumulada fueron ajustados por la Ecuación de Philip (1957) de tres términos, de cuyos coeficientes de ajuste en la Ecuación de Kutilek (1988) estima la conductividad hidráulica a saturación (Ks); este valor es clave para describir las propiedades hidráulicas y el balance hidrológico sobre la superficie terrestre (Campbell, 1985; Hillel, 2003; Morbidelli *et al*., 2011; Van Looy *et al*., 2017). Además, su valor es un parámetro fundamental para el diseño correcto de sistemas de riego. Los ajustes correspondientes se procesaron mediante el Software Curve Expert V. 2.6.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan la textura del suelo y los parámetros de humedad en los diferentes tratamientos de manejo del suelo. Se observa que, para el mismo suelo con base en su textura; después del subsoleo (abril de 2017), estos parámetros y su densidad aparente (Da) sólo mostraron ligera variación de sus valores iniciales. También se observa que el subsoleo en relación con los otros sistemas de manejo del suelo (barbecho y pasos de rastra), después de tres años reportó un cambio significativo en la tasa promedio de infiltración (q_0; cm min^{-1}); cuyo incremento respecto a su valor inicial fue de 235% y 127 % en el barbecho. El tratamiento con sólo pasos de rastra no observó incremento. Resultados similares reportaron poca variabilidad durante el primer año de observación y señalan que se debe a la misma heterogeneidad del suelo (Kutilek *et al*., 1994).

Aun cuando estos resultados corresponden a un periodo de mediano plazo, los mismos permiten inferir que, entre los sistemas de manejo del suelo evaluados, el subsoleo evidencia que su práctica incrementa la infiltración y otras propiedades físicas e

hidráulicas en suelos compactados. Investigaciones en este ámbito, señalan que el subsoleo con cincel, tal fue el caso en esta investigación produjo incremento en las tasas de infiltración (Álvarez *et al*., 2006; Soracco, 2009). Otras investigaciones sobre el subsoleo no reportaron diferencia significativa sobre la densidad aparente; pero, la tasa de infiltración fue altamente significativa sobre los tratamientos sin subsoleo (Solhjoo and Niazi Ardekani, 2001). En el mismo sentido, Desale *et al*. (2012) reportó altas tasas de infiltración, infiltración acumulada y mayor retención de humedad mediante el subsoleo comparado con la labranza convencional. Efectos atribuibles al subsoleo reportan un incremento del contenido de humedad en la zona radical de los cultivos, por la mejora asociada a la macroporosidad e inducción de mayores tasas de infiltración e incremento de la redistribución en el perfil radical (Mohanty *et al*., 2007; Zibilske and Bradfort, 2007). Sobre el subsoleo se remarcan mejoras de la infiltración y redistribución del agua al interior del perfil del suelo (Sushil *et al*., 2018). Con relación a la conductividad hidráulica a saturación (Ks) mejorada por el subsoleo, ésta evidenció superioridad sobre el resto de los

tratamientos (Subsoleo>barbecho>rastreo: 290%, 12% y 11%). En el cultivo de soya el subsoleo ha experimentado ventajas superiores sobre la labranza convencional, ya que incrementa la tasa de infiltración y el almacenamiento de agua en el perfil radical del cultivo; condición superior de humedad que minimiza el riesgo de déficit hídrico (Wesley *et al*., 2001).

Conclusiones

Se determinó que la ruptura del piso de arado mediante el subsoleo en suelos compactados productores de soya de El Soconusco, Chiapas., en el corto plazo, incrementó la tasa de infiltración y su conductividad hidráulica a saturación.

Cuadro 1. Parámetros de humedad del suelo, densidad aparente, tasa de infiltración y conductividad hidráulica a saturación en tres sistemas de manejo del suelo: subsoleo, barbecho y pasos de rastra, en suelos productores de soya en El Soconusco, Chiapas.

Textura del suelo	Variables hidráulicas	Tratamientos					
		Subsoleo		Barbecho		Rastreo	
		2017	2019	2017	2019	2017	2019
Franco	θ_{PMP} (%)#	15.4	15.4	15.1	15.1	15.8	15.8
	θ_{CC} (%)	28.2	28.2	27.7	27.7	28.9	28.9
	θs (%)	40.8	40.8	39.5	39.5	39.4	39.4
	Da (g cm^{-3})	1.04	1.04	0.97	0.97	0.94	0.94
	q_0 (cm min^{-1})	0.017	0.04	0.011	0.014	0.019	0.018
	Ks (cm h^{-1})	0.609	1.77	0.483	0.540	0.406	0.450

ΘPMP (%) es el contenido volumétrico de humedad a punto de marchitamiento permanente en porciento, θcc (%) es contenido volumétrico de humedad a capacidad de campo en porciento, ΘS (%) es el contenido volumétrico de humedad a saturación en porciento, Da (g cm-3) es la densidad aparente del suelo, q0 (cm m-1) es la tasa de infiltración y Ks (cm h-1) es la conductividad hidráulica a saturación.

Literatura citada

Campbell, G. S. 1985. Soil physics with BASIC: transport models for soil-plant systems, Elsevier.

Desale, K. A., Melesse, T. L. and Abdu, A. M. 2012. Effect of Winged Subsoiler and Traditional Tillage Integrated with Fanya Juu on Selected Soil

Physico-Chemical and Soil Water Properties in the Northwestern Highlands of Ethiopia. *East African Journal of Sciences*. Volume 6 (2) 105-116. Elsevier, Amsterdam. Pp. 141-165.

Hillel, D. 2003. *Introduction to environmental soil physics*, Academic press.

Kutilek, M & D Nielsen. 1994. *Soil Hydrology*. Catena Verlag, Germany.

Kutílek, M., and Krejča, M. 1987. Three-parameter infiltration equation of Philip type, Vodohosp. Čas, 35, 52-61.

Lampurlanes, B.J., Angas, P., Cantero-Martinez, C., 2001. Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage systems on two soils in semi-arid conditions. *Field Crops Res*. 69, 27–40.

Mohanty, M., Bandyopadhyay, K.K., Painuli, K.D. Ghosh, K.A., Misra, K.P. and Hati, K.M. 2007. Water transmission characteristics of a vertisol and water use efficiency of rainfed Soybean under subsoiling and manuring. *Soil Tillage Research* 93: 420- 428.

Morbidelli, R., Corradini, C., Saltalippi, C., Flammini, A., and Rossi, E. 2011. Infiltration-soil moisture redistribution under natural conditions: experimental evidence as a guideline for realizing simulation models, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 2937.

Philip, JR. 1957. The Theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci*. 84: 257-264.

Sharma, P., Tripathi, R.P., Singh, S. and Kumar, R. 2004. Effect of tillage on soil physical properties and crop performance under rice-wheat system. *J.Indian Soc. Soil Sci*.52,12-16.

Solhjoo, A.A and Niazi Ardekani, J. (2001). Effect of subsoiling on soil physical properties and irrigated wheat yield. *Journal of Agricultural Engineering Research* 7: 14-21.

Sushil Kumar, Mukesh Jain, Vijaya Rani, Anil Kumar, Vinod Kumar and Naresh. 2018. Effect of Various Tillage Practices on Soil Physical Properties. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*. 7(03): 1591-1596.

doi: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.191

Van Looy, K., Bouma, J., Herbst, M., Koestel, J., Minasny, B., Mishra, U., Montzka, C., Nemes, A., Pachepsky, Y., and Padarian, J. 2017. Pedotransfer functions in Earth system science: challenges and perspectives, Reviews of Geophysics.

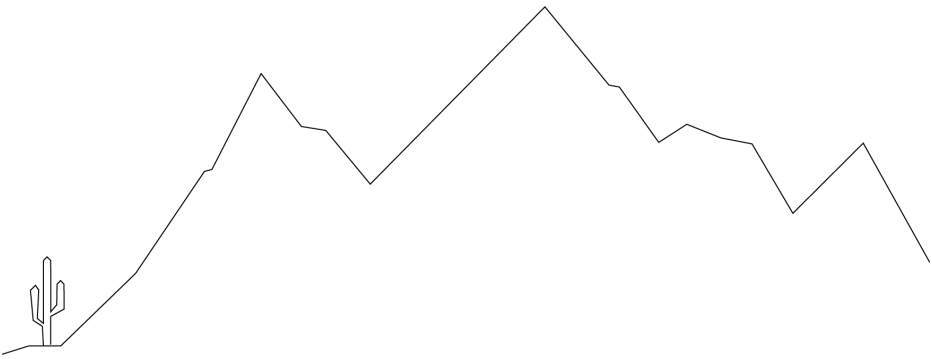
Van Ouwerkerk, C. and Soane, B.D. 1994. In: Soane, B.D., Van, Ouwerkerk, C. (Eds.), Soil Compaction in Crop Production. Elsevier, Amsterdam, pp. 627–642.

Wesley, R.A., Elmore, C.D., Spurlock, S.R., 2001. Deep tillage and crop rotation effects on cotton, soybean and grain sorghum clayey soils. *Agron. J.* 93, 170–178.

Zibilske, L.M. and Bradford, J.M. 2007. Soil aggregation, aggregate carbon and nitrogen and moisture retention induced by conservation tillage. *Soil Science Society of American Journal* 71: 793-802.

MESA 4

EDUCACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA



Educación ambiental, un elemento fundamental en el desarrollo de una aplicación móvil para clasificar el color del suelo

Aesly Suheil Arredondo-Ríos[1]
Juan Antonio Ovalle Patiño[1]
Héctor Alejandro Acuña-Cid[1]
Alfonso Nájera-Bastida[1]
Mónica Judith Chávez-Soto[1]

Resumen

El suelo es un recurso importante para el ser humano, en él se desarrollan procesos fundamentales para la vida y su preservación es importante para mantener el equilibrio de los ecosistemas, es por ello, que nuestra atención se dirige hacia las actividades que el ser humano desarrolla en él y una de ellas es la agricultura. Los principales actores (agricultores), en ocasiones no cuentan con los elementos necesarios para explotar el suelo de una manera sustentable o adecuada, por lo que es importante llevar información oportuna, práctica y con fundamentos científicos a este sector de la población, que le permita aplicar técnicas y desarrollar metodologías que favorezcan al suelo. Teniendo en cuenta lo anterior, se está desarrollando una aplicación móvil para teléfonos inteligentes cuyo objetivo es la identificación del

[1] Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería campus Zacatecas (UPIIZ). Instituto Politécnico Nacional (IPN). aeslysar96@gmail.com.

color del suelo, aunado con cápsulas informativas con datos importantes sobre el suelo; estas cápsulas son dinámicas y de fácil comprensión, con el fin de que la información esté disponible y pueda ser una guía sencilla para fomentar la conservación del suelo. Por lo tanto, se considera, que implementar una herramienta que presente la información pertinente de manera interactiva y pueda estar disponible para su utilización repetidamente y no en circunstancias ocasionales como talleres o cursos, puede tener un mayor impacto en el corto y mediano plazo.

Palabras clave: *usuario, agricultura, concientización*.

Introducción

Para que la agricultura pueda ser sustentable es necesario considerar algunos factores, uno de los más importantes es el conocer las propiedades que posee el suelo sobre el cual se va a cultivar, esto es debido a que proporciona nutrientes, agua y minerales para el desarrollo de plantas y árboles (Bautista & Smit, 2012).

El suelo se puede diferenciar por características físicas (como textura, estructura y porosidad), químicas (comportamiento de nutrientes y materia orgánica) y biológicas (formas de

vida), en donde cada una depende de distintos factores como la roca que lo originó, antigüedad, relieve, clima, vegetación entre otros (Rojas Martínez & Torres Torres, 2019). El color del suelo puede darnos indicios acerca de su contenido en minerales y nutrientes. Un suelo es fértil cuando contiene los nutrientes necesarios, es decir, las sustancias indispensables para que las plantas se desarrollen bien (FAO, 1996).

Existen algunas herramientas, como las tablas Munsell, que permiten identificar el color del suelo en campo, desafortunadamente, no aporta otra información más allá del color, y su transporte en cada salida resulta poco práctica. Por lo que, el desarrollo de esta aplicación en teléfonos móviles resultaría en una herramienta de gran utilidad, que se encontraría al alcance de la población en general, tanto académicos, como agricultores, facilitando el trabajo en campo y favoreciendo el buen manejo de las tierras agrícolas.

Dentro de la aplicación móvil se consideran cápsulas informativas cuyo objetivo es fomentar el conocimiento del recurso suelo, fomentando en los usuarios la educación ambiental, defi-

niendo a esta como el proceso de formación dirigido a toda la sociedad, tanto en el ámbito escolar como en el ámbito extraescolar, para facilitar la percepción integrada del ambiente a fin de lograr conductas más racionales a favor del desarrollo social y del ambiente, que comprende la asimilación de conocimientos, la formación de valores, el desarrollo de competencias y conductas con el propósito de garantizar la preservación de la vida (DOF, 2021).

En el caso del estado de Zacatecas, Rivera (2014) menciona en su libro *La problemática ambiental en Zacatecas, recuentos, avances y limitaciones* que "la historia ambiental de Zacatecas es una historia de siglos de explotación […] y supone que la actitud depredadora de una sociedad hacia la naturaleza está condicionada por sus conflictos internos", remarcando que hay un problema definido en el uso y aprovechamiento desmedido de los recursos, donde la actitud de consumo no se ha detenido o controlado.

Materiales y métodos

Utilizando las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), y empleando la metodología de desarrollo de software cascada como apoyo a las metodologías de enseñanza tradi-

cionales con herramientas de acceso, organización, creación y difusión de los contenidos, se está desarrollando una aplicación enfocada para la plataforma Android bajo el Framework de desarrollo Flutter, que aborda la temática de la determinación del color del suelo. La aplicación móvil necesita de un Smartphone (celular inteligente), el cual debe de tener el sistema operativo Android (desarrollado por Google, basado en el Kernel de Linux), para la clasificación del color basándose en el sistema de coloración Munsell del suelo y se necesitan usuarios que tengan conocimientos de cómo utilizar un Smartphone.

El software es una aplicación móvil y contiene botones de un buen tamaño y agradables a la vista de los usuarios. Las cápsulas informativas se plasman para que los usuarios que no tienen conocimientos del suelo puedan saber un poco sobre: ¿Qué es el suelo?, ¿Qué es la erosión del suelo?, problemáticas del suelo y algunas soluciones que hay para las problemáticas del suelo.

En la figura 1 se representa la arquitectura del proyecto con sus capas y las tareas del proyecto que corresponde a cada una. El color naranja representa la capa de usuario, en la cual se

tiene la tarea del tutorial y la cápsula informativa. El color gris es la capa de negocio, en esta se encuentran las tareas de "tomar o seleccionar la foto", "recortar la imagen", "editar la imagen" y "guardar la imagen". La capa de datos es la de color amarillo, en la cual se encuentra "obtener nomenclatura", "obtener componente inorgánico" y "mostrar usos agrícolas".

Resultados y discusión

Las actividades que se encuentran en el menú son: Inicio, Mi perfil, Tomar fotografía, Seleccionar imagen de la galería, Tutorial, Cápsula informativa y Cerrar sesión, como se muestra en la figura 2.

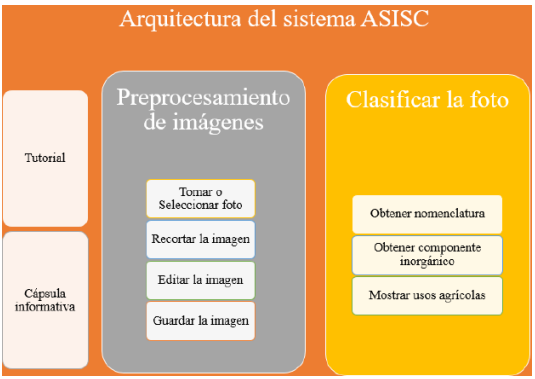


Figura 1. Arquitectura del sistema. Elaboración propia.



Figura 2. Aplicación móvil, pantalla de inicio. Elaboración propia.

En la figura 3 se muestra el primer video *¿Qué es el suelo?*, en la parte final hay un botón con el cual se puede cambiar al siguiente video o regresarse al video anterior. En esta sección se incluyó a una especie de ardilla para familiarizar a los agricultores con ella y concientizar sobre su situación.

En México existen dos especies, pero una de ellas es endémica y se denomina perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*), vive en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Za-

catecas y se encuentra en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) que lo considera amenazado y en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 catalogado como en peligro de extinción (CONAFOR, 2021).



Figura 3. Imágenes de la cápsula informativa *¿Qué es el suelo?* Elaboración propia.

En la figura 4 se presentan imágenes de la cápsula *¿Qué es la erosión del suelo?*, donde se explica cómo el viento y el agua aunado a una poca o nula cobertura vegetal genera el desgaste, arrastre y pérdida de partículas de suelo.



Figura 4. Imágenes de la cápsula informativa *¿Qué es la erosión el suelo?* Elaboración propia.

En la figura 5 se presentan imágenes de la cápsula *Problemática del suelo*, donde se explica que el suelo que hoy tenemos es el resultado de transformaciones que han sucedido en cientos de años y que su pérdida es muy rápida. Se aborda que la población va en aumento y con ello la necesidad de alimentos, identificando como problemáticas el uso excesivo de plaguicidas, incendios

no controlados y que es un receptor de aguas residuales no tratadas generalmente.



Figura 5. Imágenes de la cápsula informativa *Problemática del suelo*. Elaboración propia.

En la figura 6 se presentan imágenes de la cápsula S*olución,* donde se propone que los fertilizantes químicos deben usar-

se con precaución para no perturbar los procesos biológicos, también que existen algunas alternativas como abonos verdes, siembra de leguminosas, rotación de cultivos, el uso de abono animal y la producción de composta.

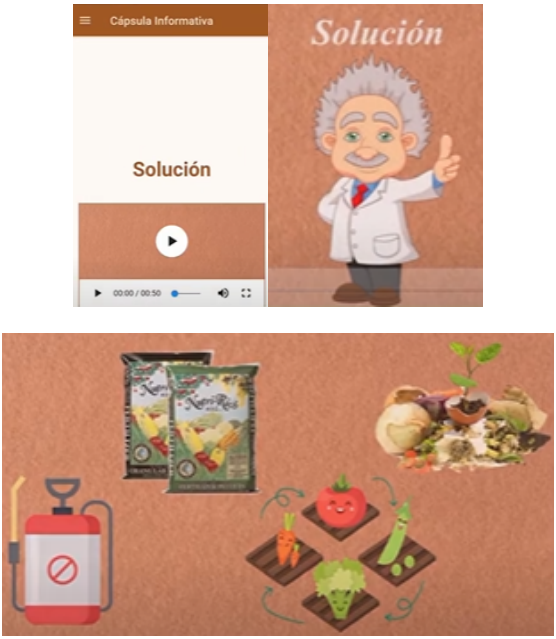


Figura 6. Imágenes de la cápsula informativa "solución". Elaboración propia.

Conclusiones

La educación ambiental enfocada en el recurso suelo es fundamental para generar conciencia en aquellos que se benefician de este, donde los contenidos ágiles y visuales permiten informar en cualquier momento y siempre están disponibles.

El uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) es una excelente herramienta educativa, ya que ofrece una gran variedad de opciones para la creación de nuevas experiencias en el ámbito educativo.

Literatura citada

Bautista, J. A., & Smit, M. A. (2012). Sustentabilidad y agricultura en la «región del mezcal» de Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(1), 5-20.

CONAFOR (2021). Perrito llanero mexicano, el ingeniero de la pradera. Recuperado 30 de julio de 2021, de https://www.gob.mx/conafor/es/articulos/perrito-llanero-mexicano-el-ingeniero-de-la pradera?idiom=es

DOF (2021). Ley General Del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente Recuperado 30 de julio de 2021 de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_180121.pdf

FAO (1996). Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. ECOLOGIA Y ENSEÑANZA RURAL. Recuperado 30 de junio de 2020, de http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm

Rivera, P. (2014). La problemática ambiental en Zacatecas, recuentos, avances y limitaciones. El Colegio de la Frontera Norte.

Rojas Martínez, A., & Torres Torres, F. (2019). Suelo agrícola en México: Retrospección y prospectiva para la seguridad alimentaria. Recuperado 21 de agosto de 2019, de REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA de: https://www.inegi.org.mx/rde/2019/01/25/suelo-agricola-en-mexico-retrospeccion-prospectiva-la-seguridad-alimentaria/

El uso del acrilato de potasio para el cultivo de fresa, en suelo permeable

Implementación de hidrogel superabsorbente en cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* duch.) sobre una mezcla de tezontle y suelo.

Erick Emanuel Delgadillo Gutiérrez[1]
Dr. Horacio E. Alvarado Raya[2]
Dra. Judith Prieto-Méndez[1]
Dra. Eliazar Aquino-Torres[1]
Dr. Alfredo Madariaga-Navarrete[1]

Resumen

En el presente proyecto se plantea buscar alternativas que ayuden al aprovechamiento de los recursos hídricos y nutricionales en el cultivo de fresa, por lo cual se propone el uso de acrilato de potasio, con el propósito de conocer su impacto en la retención de humedad y nutrientes y cómo este afecta la producción de fresa de invernadero. El hinchamiento del hidrogel en promedio es de 330 veces su peso en agua, por lo cual el acrilato parece tener una influencia importante en el uso de menos cantidades

[1] Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Hidalgo.

[2] Universidad Autónoma Chapingo-Departamento de Fitotecnia.

de agua para riego, y sin aparentes diferencias en el desarrollo fenológico del cultivo de la fresa, los tratamientos están teniendo efecto en el desarrollo fenológico del cultivo hasta el momento.

Palabras Clave: *Acrilato, uso del agua, suelo arenoso*.

Introducción

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) es una especie hortícola altamente apreciada por su sabor y por su contenido de vitamina C. En México se tiene el potencial para incrementar su producción, por lo cual en el plan agrícola nacional 2017-2030 se pretende incorporar nuevas regiones de cultivo y el estado de Hidalgo se encuentra dentro de ellas. Mayormente este cultivo se siembra a campo abierto, aproximadamente 56% de la producción de fresa que se realiza en México es de temporal, lo cual genera que el cultivo tenga bajo rendimiento por superficie, ya que en muchos casos no se satisface del todo sus demandas hídricas, esto debido a que la fresa tiene una gran necesidad de agua, no tanto en volumen sino en frecuencia, además de que requiere de un suelo con buen drenaje y aireación, ya este cultivo se vuelve susceptible a enfermedades si el agua se estanca. Tomando en

cuenta el potencial que tiene el cultivo de fresa en su producción y los problemas relacionados con la utilización de agua, surge la necesidad de buscar alternativas que ayuden a hacer más eficiente el aprovechamiento del recurso hídrico de este cultivo.

La utilización de hidrogeles en cultivo de rábano redujo la tasa de mortalidad y aumentó la producción, en regiones de poca lluvia y suelos pobres (Nnadi y Brave, 2011). La aplicación de acrilato de potasio en cultivos de frijol presentó un efecto significativo en las variables fisiológicas de altura y peso seco de la planta (Hernández, 2012). Otros autores señalan que al utilizar polímeros super-absorbentes, se aumenta el contenido de nitrógeno y de potasio en las hojas y frutos de la fresa (Mikiciuk *et al*., 2015) por retención de este y su liberación lenta que ayuda al cultivo a absorberlos y retenerlo. En tratamientos en la producción de lechuga el más rentable fue la aplicación de acrilato de potasio al suelo-raíz con riego por goteo, cuyo beneficio fue de un incremento del 72% (Vélez, 2016). Al encapsular fertilizantes en redes de polímeros de hidrogel, se puede reducir la lixiviación y la infiltración de nutrientes en el suelo (Zonatto *et al*., 2017). En culti-

vo de tabaco en suelo limoso, hubo una reducción significativa en la lixiviación de nitratos, fósforo y potasio en comparación a suelo sin uso de hidrogel (Song *et al*., 2020). Por lo cual el objetivo de este trabajo es evaluar la influencia que tiene el acrilato de potasio en el desarrollo de dos variedades de fresa en suelos permeables.

Materiales y métodos

Análisis de suelo

Fue determinado siguiendo la metodología establecida en la NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis por medio de un medidor multiparamétrico de pH/ISE/conductividad/oxígeno disuelto, Thermo ScientificTM OrionTM Versa Star ProTM.

Se determinó textura del suelo (NOM-021-RECNAT, 2000) por el método de Bouyoucos.El contenido de humedad de las muestras de suelo se realizó según la NOM-021-RECNAT, 2000. Para la determinación de nutrientes se empleó la prueba de aná-

lisis de suelos “LaMotte” serie STH, el cual sigue la metodología indicada en la NOM-021-RECNAT, 2000.

Diseño experimental

Se monitorea actualmente la fenología, y producción al menos para un ciclo completo. El experimento se realiza en un invernadero ubicado en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, con coordenadas; latitud norte 20° 02' 20.5", longitud oeste 98° 21' 14.1", a una altura de 2174 MSNM.

Se realizó un diseño experimental con bloques al azar con arreglo factorial 4AX2B (tabla 1 y 2). Siendo un total de 8 tratamientos, 4 repeticiones por tratamiento y 32 unidades experimentales (dando un total de 128 plantas).

Resultados y discusión

pH y conductividad eléctrica (CE) y humedad del suelo

De acuerdo con los resultados obtenidos (tabla 3) se realiza la clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH, como medianamente alcalinos, una conductividad eléctrica baja clasifica-

da como suelo no salino, la humedad del suelo 12.54 %, representa y se relaciona con la textura del suelo franco arcilloso.



Figura 1. Plantas de fresa madre de la variedad Fronteras en el invernadero.

Tabla 1. Niveles del diseño

Factor	Nombre del factor	Niveles	Dosis
A	Dosis de AP	1	0 g
		2	10 g
		3	20 g
B	Niveles de riego	1	Diario
		2	Día alterno

Tabla 2. Identificación de los tratamientos en el diseño experimental

Tratamiento	Diseño	Repeticiones
T1	A1,B1	4
T2	A2,B1	
T3	A3,B1	
T4	A1,B2	
T5	A2,B2	
T6	A3,B2	

Textura del suelo

Al realizar la mezcla de suelo y tezontle que llevan a cabo los productores de fresa, se obtiene una textura: **Arenoso**

% de arena = 85.8

% de arcilla = 7.98

% Limo = 6.22

Tabla 3. Resultados del pH y CE del suelo

Mediciones	pH	CE (dS / m)	Humedad (%)
1	7.789	0.387	12.31
2	7.367	0.415	12.92
3	7.308	0.409	12.39
Promedio	**7.488**	**0.403**	**12.54**

Capacidad libre de hinchamiento del hidrogel (FSC)

El promedio del FSC fue de 330.46, lo que se puede observar es que el hidrogel absorbe en promedio 330 veces su peso en agua.

Nutrientes del suelo

Tabla 4. Resultados nutrientes del suelo

Nutrientes	Kg/ Ha	ppm
N	22.6	20
P	84.75	75
K	214.7	190
Mg	14.13	12.5

En la tabla 4 se observan los valores de los nutrientes del suelo, de los cuales el nitrógeno y el magnesio se encuentran bajos a diferencia del potasio y fósforo los cuales son altos, comparándolos con la interpretación de los rangos de concentración de nutrientes en el suelo, según Tomado de Espinoza *et al*. en 2012.

Análisis del área foliar

Las mediciones de área foliar al inicio del experimento no muestran diferencias significativas entre tratamientos ni entre bloques (Tabla 5) por lo que se puede en un inicio el experimento comenzó sin diferencias estadísticas significativas.

Tabla 5. Análisis de varianza para área foliar al inicio del experimento

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas (tratamientos)	218695.84	3	72898.61	1.24	0.32	3.10
Columnas (Bloques)	1178758.11	20	58937.91			

Desarrollo de la fresa con el uso del acrilato

Se midieron hasta el momento por tratamiento variables fenológicas como número de hojas, estolones unidades Spa de clorofila y peso seco y fresco.

En la tabla 6 se muestra el análisis de varianza entre bloques por tratamientos a los dos meses de comenzado el experimento, donde podemos ver marcado en color rojo que no se tienen diferencias estadísticas significativas para el numero de hojas por tratamiento, para el caso del desarrollo de estolones a los dos meses, si existen entre tratamientos diferencias estadísticas significativas (marcado en verde). Por lo que se considera que los tra-

tamientos están teniendo efecto en el desarrollo fenológico del cultivo. En la figura 2, podemos ver estas diferencias de forma gráfica, para los estolones desarrollados por cada tratamiento para todos los bloques a los dos meses.

Tabla 6. Resultados análisis de varianza

NNo. Hojas

	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
	Filas (tratamientos)	4.27	17	0.251	1.31	1.83
	Columnas (Bloques)	1.31	3	0.437	2.28	2.79
	Error	9.76	51	0.1914		

Estolones

	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
	Filas (tratamientos)	4.85	17.00	0.29	1.97	1.83
	Columnas (Bloques)	0.02	3.00	0.01	0.04	2.79
	Error	7.39	51.00	0.14		

Conclusiones

Según los resultados reportados hasta la fecha podemos mencionar que el acrilato parece tener una influencia importante en el uso de menos cantidades de agua para riego, y sin aparentes diferencias en el desarrollo fenológico del cultivo de la fresa, al encontrarnos en la etapa primera de este experimento aún no se cuenta con producción para delimitar el potencial del uso del acrilato en el cultivo de fresa como una tecnología nueva para este cultivo.

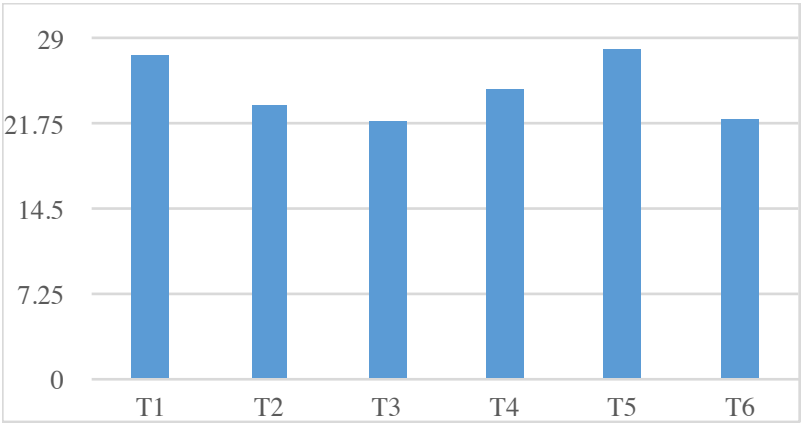


Figura 2. Suma promedio estolones (a los dos meses) por Tratamiento.

Literatura citada

Hernández Ruiz, M. E. (2012). Efecto sinérgico de Algaenzims y poliacrilato de potasio en las variables fisiológicas del cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.) y en la retención de humedad de cuatro sustratos bajo invernadero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Mikiciuk, G., Mikiciuk, M., & Hawrot Paw, M. (2015). Influence of superabsorbent polymers on the chemical composition of strawberry (Fragaria × ananassa Duch.) and biological activity in the soil. *Folia Horticulturae*, 27(1), 63–69. https://doi.org/10.1515/fhort-2015-0015

NOM-021-RECNAT-2000. (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Nnadi, F., & Brave, C. (2011). Environmentally friendly superabsorbent polymers for water conservation in agricultural lands. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 2(7), 206–211.

SAGARPA (2017). Fresa Potencial. Obtenido de Planeación agrícola nacional de 2017-2030, Secretaria de Agricultura, primera edición: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257075/Potencial-Fresa.pdf

Song, B., Liang, H., Sun, R., Peng, P., Jiang, Y., & She, D. (2020). Hydrogel synthesis based on lignin/sodium alginate and application in agriculture. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144, 219–230.

SMN. (2010). Estación Climatológica 13031 (Santiago Tulantepec). Conagua. https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales8110/NORMAL13031.TXT

Tecno Agro. (2019). Producción de Fresa en México. Tecno Agro. https://tecnoagro.com.mx/no.-135/produccion-de-fresa-en-mexico

Zonatto, F., Muniz, E. C., Tambourgi, E. B., & Paulino, A. T. (2017). Adsorption and controlled release of potassium, phosphate and ammonia from modified Arabic gum-based hydrogel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 363–369.

Si el suelo respira, tú respiras, compilado por Mariana Saucedo García y Judith Prieto Méndez, se publicó digitalmente en febrero de 2022.

ISBN: 978-607-99732-0-9

