

AGRO
PRODUCTIVIDAD

AP

 **ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS**
CONACYT DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Innovaciones
tecnológicas en
la producción de
planta de
café
(*Coffea arabica* L.)

pág. 74

Año 11 • Volumen 11 • Número 4 • abril, 2018

CAFETICULTURA EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS. EL CASO DEL SITIO RAMSAR
"CASCADAS DE TEXOLO Y SU ENTORNO" EN VERACRUZ, MÉXICO

3

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRIMENTAL DE LA PULPA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

9

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SELECCIONES DE CHINENE
(*Persea schiedeana* Nees) EN CAFETALES DEL CENTRO DE VERACRUZ

14

CONCENTRACIÓN DE MACRONUTRIENTES Y MICRONUTRIENTES EN GRANOS
DE CAFÉ (*Coffea* sp.) DE DIFERENTES ORÍGENES

19

VALORACIÓN NUTRICIONAL DE GRANOS DE CAFÉ ROBUSTA (*Coffea canephora*) DE
DIFERENTES ORÍGENES PROCESADOS EN MÉXICO

25

EMBRIOGÉNESIS SOMÁTICA DIRECTA E INDIRECTA EN *Coffea arabica* var. Colombia

30

y más artículos de interés...

Guía para autores

Estructura

Agroproductividad es una revista de divulgación científica y tecnológica, auspiciada por el Colegio de Postgraduados de forma mensual para entregar los resultados obtenidos por los investigadores en ciencias agrícolas y afines. En ella se publica información original y relevante para el desarrollo agropecuario, social y otras disciplinas relacionadas, en formato de artículo, nota o ensayo. Las contribuciones son arbitradas y la publicación final se hace en idioma español. La contribución debe tener una extensión máxima de 15 cuartillas, incluyendo las ilustraciones. Deberá estar escrita en Word a doble espacio empleando el tipo Arial a 12 puntos y márgenes de 2.5 cm. Debe evitarse el uso de sangría al inicio de los párrafos. Las ilustraciones serán de calidad suficiente para su impresión en offset a colores, y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF o RAW.

La estructura de la contribución será la siguiente:

1) Artículos: una estructura clásica definida por los capítulos: Introducción, Resumen, abstract, objetivos, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones y Literatura Citada; 2) Notas, Ensayos y Relatorias: deben tener una secuencia lógica de las ideas, exponiendo claramente las técnicas o metodologías que se transmiten o proponen.

Formato

Título. Debe ser breve y reflejar claramente el contenido. Cuando se incluyan nombres científicos deben escribirse en *italicas*.

Autor o Autores. Se escribirán él o los nombres completos, separados por comas, con un índice progresivo en su caso. Al pie de la primera página se indicará el nombre de la institución a la que pertenece el autor y la dirección oficial, incluyendo el correo electrónico.

Cuadros. Deben ser claros, simples y concisos. Se ubicarán inmediatamente después del primer párrafo en el que se mencionen o al inicio de la siguiente cuartilla. Los cuadros deben numerarse progresivamente, indicando después de la referencia numérica el título del mismo (Cuadro 1. Título), y se colocarán en la parte superior. Al pie del cuadro se incluirán las aclaraciones a las que se hace mención mediante un índice en el texto incluido en el cuadro.

Figuras. Corresponden a dibujos, fotografías, gráficas, diagramas. Las fotografías serán a colores y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF o RAW y las gráficas o diagramas serán en formato de vectores (CDR, EPS, AI, WMF o XLS).

Unidades. Las unidades de pesos y medidas usadas serán las aceptadas en el Sistema Internacional.

Citas libros y Revistas:

- Bozzola J. J., Russell L. D. 1992. Electron Microscopy: Principles and Techniques for Biologists. Ed. Jones and Bartlett. Boston. 542 p.
- Calvo P., Avilés P. 2013. A new potential nano-oncological therapy based on polyamino acid nanocapsules. Journal of Controlled Release 169: 10-16.
- Gardea-Torresdey J. L., Peralta-Videa J. R., Rosa G., Parsons J. G. 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. Coordination Chemistry Reviews 249: 1797-1810.

Los autores ceden los derechos patrimoniales y aceptan que los artículos sean publicados en formato físico y electrónico, incluido internet.

El costo por publicación aceptada es \$3500.00 MX.

Año 11, Volumen 11, número 4, abril 2018, Agro productividad es una publicación mensual editada por el Colegio de Postgraduados. Carretera México- Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP 56230. Tel. 5959284427. www.colpos.mx. Editor responsable: Dr. Jorge Cadena Iñiguez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-031313492200-203. ISSN: 2594-0252, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Subdirección de Organización y Cómputo del Colegio de Postgraduados, Dr. Martiniano Castro Popoca, Carretera México- Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP 56230. Tel. 58045980 ext. 1035. Fecha de última modificación, 30 de abril de 2018.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Colegio de Postgraduados.



Contenido

3	CAFETICULTURA EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS. EL CASO DEL SITIO RAMSAR "CASCADAS DE TEXOLO Y SU ENTORNO" EN VERACRUZ, MÉXICO
9	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRIMENTAL DE LA PULPA DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.)
14	CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SELECCIONES DE CHINENE (<i>Persea schiedeana</i> Nees) EN CAFETALES DEL CENTRO DE VERACRUZ
19	CONCENTRACIÓN DE MACRONUTRIENTES Y MICRONUTRIENTES EN GRANOS DE CAFÉ (<i>Coffea</i> sp.) DE DIFERENTES ORÍGENES
25	VALORACIÓN NUTRICIONAL DE GRANOS DE CAFÉ ROBUSTA (<i>Coffea canephora</i>) DE DIFERENTES ORÍGENES PROCESADOS EN MÉXICO
30	EMBRIOGÉNESIS SOMÁTICA DIRECTA E INDIRECTA EN <i>Coffea arabica</i> var. Colombia
36	VARIACIONES EN ÁREA FOLIAR Y CONCENTRACIONES DE CLOROFILAS Y NUTRIENTES ESENCIALES EN HOJAS DE CAFÉ ROBUSTA (<i>Coffea canephora</i> P.) DURANTE UN CICLO ANUAL
42	VIABILIDAD DE PROPÁGULOS MICORRIZÓGENOS-ARBUSCULARES EN PLANTACIONES DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i>) PERTURBADOS POR LA EROSIÓN
48	EL RELEVO GENERACIONAL EN EL SECTOR CAFETALERO: LA EXPERIENCIA DE LOS CURSOS DE CAFÉ PARA NIÑOS EN CHOCAMÁN, VERACRUZ, MÉXICO
55	EFFECTOS DEL ENCALADO EN SUELO ÁCIDO CULTIVADO CON CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA EL TRIUNFO, CHIAPAS, MÉXICO
61	HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN EL CRECIMIENTO DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) VARIEDADES GARNICA, CATIMOR, CATURRA Y CATUAÍ
68	TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE DOS ESPECIES DEL GÉNERO <i>Coffea</i>
74	INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.)
80	CALIDAD DEL CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) EN DOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO
87	CARACTERÍSTICAS DEL CONSUMO DEL CAFÉ (<i>Coffea</i> sp.) MEXICANO DE ESPECIALIDAD EN TILBURG, PAÍSES BAJOS
98	EFFECTO DE LA MICORRIZA ARBUSCULAR EN PLANTAS DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) INFECTADAS POR EL NEMATODO DE LA CORCHOSIS DE LA RAÍZ
105	DETERMINACIÓN DE CL50 Y CE50 DE ENDOSULFÁN LACTONA Y DIAZINÓN EN LOMBRIZ DE TIERRA (<i>Eisenia foetida</i>)
112	USO DEL GLIFOSATO Y LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS RESISTENTES
118	AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE UNA CEPA DE <i>Serratia marcescens</i> DEGRADADORA DE ÁCIDO 2,4-DICLOROFENOXIACÉTICO (2,4-D)
124	REMOCIÓN DE CADMIO MEDIANTE ADSORBENTES CERÁMICOS EMPACADOS EN COLUMNAS DE LECHO FIJO
129	IMPORTANCIA DE LA EDUCACIÓN DEL CAMPO Y DEL SABER CAMPESINO EN FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL
136	FOTOGRAFÍA UAS DE LA DEGRADACIÓN ANTRÓPICA DE SUELO DE LA NANOCUENCA 9 LA MESA, ACAXOCHITLÁN, HIDALGO, MÉXICO

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



CONACYT
ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

EBSCO
INFORMATION SERVICES



latindex

CENGAGE
Learning

PERIÓDICA
Revista de Biología y Laboratorio en Ciencias

CABI

Clarivate
Analytics

CAB ABSTRACTS

Corrección de estilo: Hannah Infante Lagarda

Maquetación: Mario Alejandro Rojas Sánchez

Suscripciones, ventas, publicidad, contribuciones de autores:

Guerrero 9, esquina Avenida Hidalgo, C.P. 56220, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México.

Teléfono: 01 (595) 928 4703 jocadena@colpos.mx; jocadena@gmail.com

Impresión 3000 ejemplares.

Es responsabilidad del autor el uso de las ilustraciones, el material gráfico y el contenido creado para esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista del Colegio de Postgraduados, de la Editorial del Colegio de Postgraduados, ni de la Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.



Dr. Jorge Cadena Iñiguez

Directorio

Said Infante Gil

Editor General del Colegio de Postgraduados

Rafael Rodríguez Montessoro[†]

Director Fundador

Jorge Cadena Iñiguez

Director de Agroproductividad

Fernando Carlos Gómez Merino

Director Adjunto de Agroproductividad

Comité Técnico-Científico

Colegio de Postgraduados—Montecillo

Ma. de Lourdes de la Isla

Dr. Ing. Agr. Catedrática Aereopolución

Ángel Lagunes T.

Dr. Ing. Agr. Catedrático Entomología

Enrique Palacios V.

Dr. Ing. Agr. Catedrático Hidrociencias

Colegio de Postgraduados—San Luis Potosí

Fernando Clemente Sánchez

Dr. Ing. Agr. Fauna Silvestre

Luis Antonio Tarango Arámbula

Dr. Ing. Agr. Fauna Silvestre

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Pedro Cadena I.

Dr. Ing. Agr. Transferencia de Tecnología

Carlos Mallen Rivera

M. C. Director de Promoción y Divulgación

Instituto Interamericano de Cooperación
para la Agricultura

Victor Villalobos A.

Dr. Ing. Agr. Biotecnología

Instituto Interamericano de Cooperación
para la Agricultura

(Guatemala)

Manuel David Sánchez Hermosillo

Dr. Ing. Agr. Nutrición Animal y manejo de Pastizales

Servicio Nacional de Inspección y

Certificación de Semillas

(SNICS-SAGARPA)

Manuel R. Villa Issa

Dr. Ing. Agr. Economía Agrícola.

Director General

Editorial

Volumen 11 • Número 4 • abril, 2018.

La Ley de Ciencia y Tecnología, define al desarrollo tecnológico como el Uso sistemático del conocimiento y la investigación dirigidos hacia la producción de materiales, dispositivos, sistemas o métodos incluyendo el diseño, desarrollo, mejora de prototipos, procesos, productos, servicios o modelos organizativos. Bajo esta premisa, **AP AGRO PRODUCTIVIDAD** invita a todos los investigadores de México, a divulgar los desarrollos tecnológicos en formato de artículo científico, que hayan sido generados en un lapso no mayor de tres años, con el fin de que los usuarios actuales y potenciales tengan mayor facilidad de acceso. De igual forma, reiteramos la invitación para el especial de variedades vegetales, tanto las registradas con título de obtentor, como las variantes criollas caracterizadas y registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) de uso común del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS-SAGARPA), con la finalidad de divulgar sus características, distribución geográfica actual, tipo de productores, e impactos socioeconómicos que de ellas se han derivado. Si una institución cuenta con un número suficiente de desarrollos tecnológicos y variedades, se pueden adecuar en un sólo número.

Dr. Jorge Cadena Iñiguez

Director de **AP AGRO**
PRODUCTIVIDAD

CAFETICULTURA EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS. EL CASO DEL SITIO RAMSAR "CASCADAS DE TEXOLO Y SU ENTORNO" EN VERACRUZ, MÉXICO

COFFEE CULTIVATION IN PROTECTED NATURAL AREAS. THE CASE OF THE RAMSAR SITE: "TEXOLO WATERFALLS AND SURROUNDING AREA" IN VERACRUZ, MEXICO

Hernández-Sánchez, M.I.¹; Nava Tablada, M.E.^{1*}

¹El Colegio de Veracruz. Carrillo Puerto No. 26, Col. Centro. Xalapa, Veracruz. C. P. 91000.

*Autor de correspondencia: menavata@yahoo.com.mx

RESUMEN

El cultivo de café bajo sombra proporciona múltiples servicios ambientales y cumple un papel esencial en áreas de conservación de la biodiversidad como los sitios Ramsar, destinados a la protección de los humedales naturales. En Veracruz existen nueve sitios Ramsar en su mayoría costeros, con excepción de "Cascadas de Texolo y su entorno", único humedal continental de agua dulce en México, donde predomina el bosque mesófilo de montaña y el cultivo de café bajo sombra; por ello su protección implica también el manejo sustentable de dicho agroecosistema. En este contexto, el objetivo fue conocer la problemática de la cafeticultura y la disposición de los productores a participar en propuestas de manejo sustentable que contribuyan a la protección del sitio Ramsar. Para ello se aplicaron 32 cuestionarios a productores de café con fincas dentro del sitio. Los principales problemas de la cafeticultura fueron: envejecimiento de los productores, escasa participación de mujeres y jóvenes, deterioro ambiental, bajo nivel tecnológico y productivo, poca rentabilidad económica, descapitalización y disminución de la calidad del café. A pesar de ello la mayoría de cafeticultores piensan seguir dedicándose a dicha actividad y expresaron disposición a participar en acciones de manejo sustentable.

Palabras clave: Café, conservación, humedales naturales.

ABSTRACT

Coffee cultivation in shaded areas provides multiple environmental benefits and plays an essential role in biodiversity conservation areas, such as sites Ramsar sites, where the aim is to protect natural wetlands. In Veracruz, there are nine Ramsar sites, mostly coastal, of which "Texolo Waterfalls and surrounding area" is the exception. This is the only continental freshwater wetland in Mexico, where mountain mesophilic forest predominates as well as shaded coffee cultivation. Therefore, its conservation also implies the sustainable management of this agroecosystem. Within this context, the objective was to learn about the problems of coffee production and the willingness of producers to participate in sustainable management proposals that contribute to the protection of the Ramsar site. To this end, 32 questionnaires were applied to coffee producers who have farms in the site. The main problems related to coffee growing included: aging of producers, low participation by women and young people, environmental

deterioration, low technology and production level, low economic profitability, decapitalization, and decrease in coffee quality. Despite this, most coffee growers plan to continue participating in this activity and expressed willingness to participate in sustainable management actions.

Keywords: Coffee, conservation, natural wetlands.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de café bajo sombra en México es una actividad con relevancia económica, social y ecológica, ocupa el tercer lugar nacional en superficie cosechada y productores que dependen de dicho cultivo, sólo después del maíz y el sorgo (Contreras, 2010). Los principales servicios ambientales que proporcionan los cafetales bajo sombra son: captura de carbono y contaminantes; generación de oxígeno; provisión de agua; control de erosión; conservación de suelos y biodiversidad; paisaje y recreación (Soto, 2007). Sin embargo, el sector cafetalero mexicano ha resentido los efectos de la caída de los precios internacionales del grano y el retiro del Estado del fomento a la producción, lo cual se refleja en rezago tecnológico, altos costos de producción, bajos rendimientos, pérdida de calidad del café, decapitalización de los productores y falta de control de calidad en los predios y beneficios agroindustriales (Mestries, 2006). Asimismo, los precios bajos del café propiciaron que la superficie cultivada en México disminuyera 10% en la última década y consecuentemente los bosques de café de sombra están en riesgo de desaparecer, pues las condiciones de deterioro económico están forzando a muchos productores a talar sus cafetales para destinar la superficie a otros cultivos más redituables, la ganadería o desarrollos habitacionales (Ávalos-Sartorio, 2002).

En Veracruz, la crisis ha sido más aguda porque la mayoría de productores vende el café en cereza, sin ninguna transformación, lo cual representa una gran vulnerabilidad ante las fluctuaciones del precio en el mercado internacional (Anta, 2006). Así, desde 1989, se ha deteriorado progresivamente la situación socioeconómica de los pequeños cafeticultores por la caída en el precio internacional del grano, agravada por el retiro de los apoyos gubernamentales al sector (Córdova *et al.*, 2008).

Los sitios Ramsar son una categoría especial de áreas naturales protegidas que se formalizan en 1971 en la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, donde se firma un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos; dicha convención se realiza en la ciudad iraní de Ramsar, de donde se retoma la denominación para dichos sitios. México se adhiere a la Convención en 1986 y actualmente cuenta con 139 sitios Ramsar (CONANP, 2013).

En Veracruz existen nueve humedales naturales declarados sitios Ramsar para la conservación de la biodiversidad, en su mayoría distribuidos en la

costa, con excepción de "Cascadas de Texolo y su entorno", único humedal continental de agua dulce en México, el cual se localiza en el centro del estado, en los municipios de Xico y Teocelo. Dicho sitio funciona como una importante zona de refugio para especies de fauna y flora (principalmente aves) representativas del bosque mesófilo de montaña, que convive con el cultivo de café bajo sombra (COEPA, 2005). Por ello, la protección del sitio Ramsar implica la conservación de sus recursos naturales y el manejo sustentable del agroecosistema predominante. En este contexto, el objetivo fue analizar la situación y problemática de la cafeticultura, así como la disposición de los productores a participar en propuestas de manejo sustentable que contribuyan a la protección del sitio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la encuesta como principal técnica de recolección de datos; el trabajo de campo se realizó en 2014. A partir del padrón cafetalero 2008, donde están georreferenciados los predios cafetaleros del estado de Veracruz, se seleccionaron aquellos que estuvieran dentro del polígono del sitio Ramsar, utilizando el programa ArcView 3.2; especialmente las fincas cercanas a las Cascadas de Texolo, por su importancia económica relacionada con la actividad turística, pero también por accesibilidad, tiempo y seguridad. Dado que el sitio Ramsar abarca los municipios de Xico y Teocelo, se aplicaron 32 cuestionarios a productores (15 en Xico y 17 en Teocelo), los cuales representan 10% de los cafeticultores con parcelas en el sitio y 32% de la superficie. Los cuestionarios fueron respondidos preferentemente por el dueño(a) del predio y/o la persona encargada de tomar las decisiones

en la producción cafetalera. La sistematización y análisis de datos se realizó con el programa SPSS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el sitio Ramsar todos los predios son propiedad privada y predominan los pequeños productores minifundistas (0.5 a 3 ha) que constituyen 59.4% de los cafecultores encuestados, pero sólo poseen 6.0% de la superficie. En contraste, los productores con predios de 20 a 35 ha (que sólo representan 9.4%) son propietarios de 50% de la superficie total registrada. Esto coincide con lo reportado por Nava-Tablada (2012) para los municipios de Coatepec, Xico y Teocelo, donde los productores eran en su mayoría minifundistas con un promedio de 3.9 ha de café. El rendimiento promedio de producción de café cereza fue de 1.69 t ha^{-1} , el cual es menor al rendimiento promedio nacional de 1.8 ton/ha^{-1} y el estatal de 2.57 t ha^{-1} (SIAP, 2013).

La producción de café la realizan principalmente los hombres (81.3%) y la participación de las mujeres es reducida (18.7%); la edad promedio de los productores es de 63 años, cifra mayor a la edad promedio de los productores de café a nivel nacional que es de 55 años (AMECAFE, 2012). Estos datos reflejan el envejecimiento de los productores y la escasa participación de mujeres y jóvenes, problemática que señalan Nava-Tablada y Martínez-Camarillo (2012) como una seria amenaza para el futuro de la cafeticultura, pues pone en riesgo la existencia de un "relevo generacional" que asegure la continuidad del sector.

Aunque todos se dedican a la producción de café, no siempre es su principal actividad económica pues

complementan sus ingresos con otras labores. Ejea (2009) coincide en que para poder sobrevivir y mantener a sus familias, los cafecultores han emprendido distintas estrategias económicas entre las que destaca la búsqueda de otro empleo, fundamentalmente en el sector terciario y en territorios diferentes al de los cafetales en sus comunidades.

La mayoría de los encuestados (59.4%) utilizan fuerza de trabajo familiar para las labores de cultivo, dado que las fincas son pequeñas y sólo contratan mano de obra en épocas de más trabajo como la cosecha. Esto coincide con los resultados de Nava-Tablada (2012) para la región cafetalera de Coatepec, Xico y Teocelo.

Los productores cultivan mayormente la especie *Coffea arabica*, aunque es frecuente encontrar diversas variedades en el cafetal: Typica, Garnica, Caterra, Mundo Novo, Bourbon, Catuai, Catimor y Costa Rica. Una situación similar reportan Hernández-Solabac *et al.* (2011) para la zona cafetalera de Córdoba-Huatusco, Veracruz.

Respecto a la edad de los cafetales, 28.1% son productivos (menores de 10 años), 15.7% deben rejuvenecerse (11 a 20 años) y 56.2% tienen que renovarse (20 hasta 100 años). El promedio de edad de los cafetales fue de 34.5 años. Es decir, 72% de los cafetales son viejos, poco productivos y más vulnerables a contraer enfermedades como la roya. Esta cifra coincide con lo reportado a nivel nacional, pues 75% de las plantaciones se encuentran en la misma situación (AMECAFE, 2012). Sin embargo, 84.4% de los productores indican que están renovando los cafetales: 33.3% mediante plántulas nacidas en el cafetal procedentes de semillas caídas (aunque este material es inadecuado para obtener planta de calidad); 37% compra las plantas a la organización que pertenecen o en viveros comerciales de la región; y 29.7% cuenta con un vivero de producción propio. En lo relativo a prácticas de conservación de suelo, 53.1% realiza acolchado (extiende una capa de materia orgánica sobre el suelo, alrededor de las plantas), siembra siguiendo las curvas de nivel, tiene barreras vivas o terrazas.

La aplicación de agroquímicos depende de que el productor disponga de recursos para su compra, lo cual es cada vez más difícil debido a la constante baja de precios del café y al alza de dichos insumos. Esto explica que sólo 21.9% fertiliza, contra 78.1% que dejó de hacerlo. De los productores que fertilizan, 71.4% utiliza abono químico, 14.3% orgánico y 14.3% los combina. Aunque 75% no fertiliza debido a los altos costos, 25% indicó que no aplican agroquímicos por ser una fuente de contaminación. En cuanto al control de malezas, 78% realiza deshierbe manual con machete y/o azadón, 18.8% aplica herbicida y 3.1% combina el control manual y químico.

Poco más de la mitad (56.2%) señaló que sus cafetales no han presentado plagas o enfermedades, sin embargo, 43.8% declaró como principal enfermedad la Roya, ocasionada por el hongo *Hemileia vastatrix*, la cual controlan aplicando Oxicloruro de Cobre. Mientras que la plaga más relevante fue la Broca del fruto del café, ocasionada por un escarabajo *Hypothenemus hampei* que se combate mediante control biológico (principalmente con el

hongo *Beauveria bassiana*) o trampas; con menor incidencia reportaron otras enfermedades ocasionadas por hongos, tales como el Ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y el Mal de hilachas (*Corticium koleroga*).

Las especies más utilizadas para sombra son el chalahuite (*Inga* sp.), jinicuil (*Inga jinicuil*), ixpepe (*Trema micrantha*), encino (*Quercus* sp.) y liquidámbar (*Liquidambar* sp.); con menores porcentajes se mencionaron árboles como grevilea (*Grevillea robusta*), aguacate (*Persea americana*), naranjo (*Citrus sinensis*), pomarrosa (*Syzygium jambos*) y marangola (*Clethra mexicana*), lo cual es similar a los resultados del estudio de Manson *et al.* (2008). El 65.6% de los encuestados regulan la sombra mediante podas, para evitar que sea excesiva y afecte negativamente la producción.

En cuanto a la comercialización, la mayoría de los productores (65.6%) venden el café en "cereza", es decir, sin ninguna transformación del fruto; esto representa una desventaja, pues el café cereza debe ser comercializado lo más rápidamente posible, no puede ser almacenado debido a que el proceso de fermentación es inmediato y deteriora la calidad del grano; por tanto los productores tienen escasa posibilidad de negociar el precio. Otro 12.5% vende una parte en cereza y otra en pergamino o tostado y molido, debido a que no cuentan con liquidez suficiente para procesar toda su producción. Mientras, 22% lo procesa y comercializa en pergamino o tostado y molido, etiquetado con alguna marca comercial. El 93.8% de los cafecultores venden su producto a un acopiador privado (intermediario); y sólo 6.2% lo expende directamente al consumidor. En relación a los resultados expuestos, Alvarado *et al.* (2006) encuentran que en la Sierra Norte de Puebla, México, los productores de café debido a sus condiciones de pobreza y marginación, se ven obligados a vender su cosecha en cereza a acopiadores, quienes les ofrecen precios inferiores a su valor real.

En el rubro de capacitación y asesoría técnica en aspectos relacionados con la producción y comercialización del café, la mayoría (84.4%) afirmó no tener acceso a

este servicio; sólo 15.6% indicó haber recibido asesoría en temas relacionados al manejo del cafetal: fertilización, establecimiento de viveros para la producción de plántulas y manejo de plagas y enfermedades.

La organización de productores es incipiente, pues 68.8% declaró no pertenecer a alguna asociación de cafetaleros, frente a 31.3% que está afiliado principalmente a la Asociación Agrícola Local de Productores de Café de Coatepec o al Consejo Veracruzano del Café. En cuanto a los beneficios por estar organizados, 60% calificó como buena su experiencia organizativa, dado que recibieron asesoría para resolver problemas productivos y consiguieron plántulas para sembrar a precio bajo; 30% consideró su experiencia como regular, pues el apoyo otorgado fue insuficiente; y 10% evaluó como mala su experiencia ya que no obtuvieron ningún apoyo.



También se cuestionó a los productores sobre el porcentaje en que la venta del café cubre el gasto para mantener a su familia. Al respecto, 65.6% dijo que no aporta nada; una cuarta parte que contribuye con 25% del ingreso familiar y sólo 9.4% indicó que cubre un 50%. Es decir, cada vez menos, la cafecultura representa una opción que garantice la subsistencia familiar, lo cual coincide con diversos estudios realizados en la zona cafetalera del centro de Veracruz (Ejea, 2009;

Hernández-Solabac *et al.*, 2011; Nava-Tablada, 2012), donde se señala que la producción de café no representa la principal fuente de ingreso familiar. Ante ello, los cafecultores han buscado estrategias para compensar las pérdidas económicas ocasionadas por las fluctuaciones del precio del café, tales como la realización de actividades económicas fuera de la parcela (generalmente en el sector terciario), la búsqueda de mejores precios para el grano; la diversificación de la producción en la finca; y la venta del café procesado.

En cuanto a la problemática que perciben los encuestados en la producción y comercialización del café, se clasificó en aspectos económicos, técnicos y sociales. Los problemas económicos señalados coinciden con

la situación de la cafeticultura estatal y nacional: precios bajos del café, altos costos de insumos, insuficiente ingreso por venta del grano y escasa rentabilidad de la cafeticultura, todo lo cual provoca la descapitalización del sector. Las dificultades económicas han impactado el aspecto técnico, ya que se han dejado de realizar o disminuido algunas labores en el cafetal, principalmente la fertilización, lo cual ha provocado que las plantas presenten desnutrición, baja producción, disminución en la calidad del grano y mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades. En los problemas sociales resalta el escaso apoyo de las instancias gubernamentales, la falta de organización de los productores, el robo de café en las parcelas y la presencia de intermediarios que pagan muy barato el grano.

Una vez identificados los principales problemas que perciben los cafecultores, se solicitó que mencionaran alguna medida para solucionarlos. El 49% de las sugerencias se inclinan por un mayor apoyo de las instituciones gubernamentales mediante acciones como: otorgar subsidios para contrarrestar los precios bajos, limitar las importaciones de café, actualizar el padrón cafetalero estatal y nacional e implementar políticas para incentivar el desarrollo del sector; 18.4% de las propuestas consideran que la organización de productores puede resolver muchos de los problemas; 10.2% enfatizaron que el acceso a capacitación y asistencia técnica para mejorar los cafetales y aumentar la producción serían una buena medida, aunque consideran que el gobierno es quien debe proporcionar estos servicios; el resto sugirió la búsqueda de mejores canales de comercialización para colocar el producto a buen precio.

En lo referente a las perspectivas de la cafeticultura, 69% piensa seguir produciendo café en el futuro, 22% no y 9% no está seguro. A pesar de la crisis por la que atraviesa la cafeticultura, es alto el porcentaje de productores que desean continuar dedicándose a esta actividad pues tienen gran apego cultural al café, además muchos expresaron "no saber hacer otra cosa" (dado que generación tras generación se ha heredado esta actividad en la familia) o no encontrar otra mejor opción productiva. Es decir, aunque la actividad cafetalera en la mayoría de los casos ya no es un negocio rentable ni representa el principal sustento económico familiar, el cultivo persiste como un símbolo de la herencia cultural e identidad regional. Asimismo, los cafecultores conciben la producción de café como una actividad que da resultados a largo plazo, con baja exigencia en insumos, capital y mano de obra, por ello prevalece la esperanza de que en el futuro los precios del grano repunten y el sector supere la crisis. Quienes no desean seguir produciendo café mencionan que el principal motivo es que el cultivo dejó de ser rentable y no están dispuestos a seguir invirtiendo en él.

Complementando lo anterior, Ejea (2009) afirma que en la zona centro de Veracruz, derribar cafetales ha sido una práctica más común entre productores de propiedad privada, con medianas o grandes extensiones de tierra, pues para ellos el café debe ser un negocio, de otro modo no les interesa y prefieren fraccionar sus terrenos para uso habitacional e invertir en actividades comerciales, de servicios y turísticas. Por el contrario, los pequeños productores conservan los cafetales porque tienen un sentido en su vida y cultura,

que va más allá de la maximización económica, pues la cafeticultura es un componente importante del complejo productivo y social que organiza la vida en los pueblos dedicados a dicha actividad.

En lo que respecta a si los productores están conscientes de que su predio se localiza en un área natural protegida, más de la mitad (56.3%) indicó tener conocimiento de que su parcela se encuentra en un área destinada a la preservación del medio ambiente y las aves. El mismo porcentaje (56.3%) manifestó estar muy dispuesto a participar en acciones para mantener y mejorar sus cafetales y con ello apoyar la conservación de los recursos naturales; 25% está medianamente dispuesto dado que realizan otras actividades económicas que no les dejan tiempo; y 18.8% está poco dispuesto, pues ya no tienen interés o la fuerza para atender el cafetal (en el caso de los productores de mayor edad), por lo que incluso piensan venderlo.

CONCLUSIONES

En el sitio estudiado, se observa polarización productiva, ya que numéricamente predominan los pequeños cafecultores, pero unos cuantos propietarios concentran la mayor parte de la superficie. También es evidente el envejecimiento de los cafecultores y la baja participación de mujeres y jóvenes, lo cual obedece a que el café ya no es una opción redituable que proporcione suficiente ingreso económico.

En el contexto de crisis de precios bajos, los productores han buscado estrategias económicas para sobrevivir, donde destaca la pluractividad en otros sectores económicos, sobre todo el terciario.

La crisis también se refleja en una regresión tecnológica (ligada a la descapitalización de los productores y la falta de apoyo gubernamental) que implica el abandono de algunas labores como la fertilización (por su alto costo), mientras otras como la poda, regulación de sombra y control de malezas, al requerir menos inversión, se continúan realizando pero con menor frecuencia. Todo ello se traduce en la disminución de la producción de café y el detrimento en la calidad del grano. Si a esto se añade que la mayoría de productores venden su café en "cereza", se incrementa la vulnerabilidad ante la fluctuación de precios y el intermediarismo.

El mantenimiento de los cafetales de sombra es de suma importancia para la conservación del sitio Ramsar Cascadas de Texolo, ya que es el agroecosistema predominante que provee diversos servicios ambientales, por tanto, el abandono de los cafetales y su conversión hacia monocultivos o usos habitacionales, puede constituir la mayor amenaza para este humedal natural. Es decir, la protección del sitio implica la reactivación y manejo sustentable de los cafetales bajo sombra (que son agroecosistemas "amigables" con el ambiente), pues se favorece el desarrollo económico de los cafeticultores pero con un enfoque sustentable, compatible con los objetivos de conservación del sitio. Algunas de las estrategias para ello son: la diversificación de cultivos al interior del cafetal, el manejo tecnológico sustentable, la mejora de la calidad del grano y generación de valor agregado, la gestión de pago por servicios ambientales, la organización productiva y la búsqueda de alternativas de comercialización que posibiliten acceder a mercados que otorguen un valor agregado al producto. De esta forma, los dueños de los predios donde existen cafetales bajo sombra, tendrían un estímulo económico que los motive a mantenerlos y con ello contribuir a la protección del suelo, la vegetación, la fauna y el agua, elementos necesarios para la conservación y restauración del sitio.

Finalmente, a pesar de que la cafecultura ha dejado de ser rentable para muchos productores y se encuentra en un proceso de abandono por los bajos precios de venta del grano y la mejor ganancia que ofrece el cambio de uso de suelo (principalmente para urbanización), la mayoría de los encuestados mostraron interés en continuar la actividad, por lo que es viable plantear acciones de manejo sustentable del café y con ello coadyuvar a la preservación del Sitio Ramsar "Cascadas de Texolo y su entorno".

LITERATURA CITADA

- Alvarado M. C., Juárez T. H. y Ramírez V. B. 2006. La comercialización de café en una comunidad indígena: Estudio en Huehuetla, Puebla. *Ra Ximhai* 2: 293-318.
- Anta F. S. 2006. El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta Ecol.* 80: 19-31.
- AMECAFE (Asociación Mexicana de la Cadena Productiva de Café). 2012. Plan integral de promoción del café. AMECAFE. México. 63 p.
- Ávalos-Sartorio B. 2002. Los cafetales de sombra como proveedores de servicios ambientales. *Cienc. Mar* 7: 17-22.
- COEPA (Consejo Estatal de Protección al Ambiente de Veracruz). 2005. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en <http://ramsar.conanp.gob.mx/documentos/fichas/61.pdf>.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2013. Humedales de México. Disponibles en <http://ramsar.conanp.gob.mx/>
- Contreras H. A. 2010. Los cafetales de Veracruz y su contribución a la sustentabilidad. *Estud. Agrar.* 16: 143-161.
- Córdova P. R., Núñez M. M. C. y Skerritt G. D. 2008. Migración internacional, crisis agrícola y transformaciones culturales en la región central de Veracruz. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, Plaza y Valdés, Universidad Veracruzana, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México. 231 p.
- Ejea M. M. T. 2009. Café y cultura productiva en una región de Veracruz. *Nueva Antropol.* 22: 33-56.
- Hernández-Solabac J. A. M., Nava-Tablada M. E., Díaz-Cárdenas S., Pérez-Portilla E. y Escamilla-Prado E. 2011. Migración internacional y manejo tecnológico del café en dos comunidades del centro de Veracruz. *Trop. Subtrop. Agroecos.* 14: 807-818.
- Mestries B. F. 2006. Entre la migración internacional y la diversificación de cultivos. Los pequeños productores de café en dos localidades de Veracruz. *Sociol.* 60: 75-108.
- Manson R. H., Contreras H. A y López-Barrera F. 2008. Estudios de la biodiversidad en cafetales. En: Manson R.H, Hernández-Ortiz V., Gallina S. y Mehlreter K. (Edit.). *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad, manejo y conservación.* Instituto de Ecología A.C e Instituto Nacional de Ecología. México. pp. 1-14.
- Nava-Tablada M. E. 2012. Migración y cafecultura en la región de Coatepec, Veracruz. *Migr. Intern.* 6: 139-171.
- Nava-Tablada M. E. y Martínez-Camarillo E. 2012. International migration and change in land use in Bella Esperanza, Veracruz. *Trop. Subtrop. Agroecos.* 15: 21-29.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>
- Soto P. L. 2007. Diversidad y otros servicios ambientales de los cafetales. *Ecofront.* 32: 2-5.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRIMENTAL DE LA PULPA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

CHEMICAL AND NUTRITIONAL CHARACTERIZATION OF COFFEE PULP (*Coffea arabica* L.)

Fierro-Cabral, N.¹; Contreras-Oliva, A.¹; González-Ríos, O.²; Rosas-Mendoza, E.S.¹; Morales-Ramos, V.^{1*}

¹Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348. Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. ²Instituto Tecnológico de Veracruz. Calzada Miguel Ángel de Quevedo No. 2779, Col. Formando Hogar, Veracruz, Veracruz. C. P. 91860.

*Autor de correspondencia: vicmor@colpos.mx

RESUMEN

El café es el segundo producto más consumido a nivel mundial, y por cada dos toneladas de café se genera alrededor de una tonelada de pulpa. Este trabajo tuvo como objetivo llevar a cabo la caracterización química y nutrimental de la pulpa de café proveniente del beneficio húmedo. Se determinaron humedad, pH, sólidos solubles, fenoles totales, capacidad antioxidante, proteína, grasa, fibra, cafeína y cenizas como algunos parámetros químicos; mientras que como parámetros nutrimentales se cuantificaron N, P, K, Ca, Mg, Na, B, Cu, Fe, Mn, Zn y C. Los resultados muestran que la pulpa seca tiene un contenido de fenoles totales de 4.09 mg EAG g⁻¹, con una capacidad antioxidante de 132.54 μ mol Etrolox g⁻¹, un contenido proteico de 10.63%, 5.78% de extracto etéreo y 9.58% de cenizas; con valores altos de los principales macronutrientes y con una relación C/N de 31.4. Estos resultados muestran que la pulpa de café es una fuente rica en nutrientes esenciales.

Palabras clave: Capacidad antioxidante, nutrientes esenciales, fenoles totales, cafeína, proteínas.

ABSTRACT

Coffee is the second most consumed product worldwide, and for every two tons of processed fruit, around one ton of pulp is generated. The aim of this work was to carry out the chemical and nutritional characterization of the coffee pulp coming from a wet process facility. Moisture, pH, total soluble solids, total phenolic compounds, antioxidant activity, protein, fat, fiber, caffeine and ash were determined as some chemical parameters; while for nutritional parameters the contents of N, P, K, Ca, Mg, Na, B, Cu, Fe, Mn, Zn and C were obtained. Results show that dried coffee pulp contains 4.09 mg GAE g⁻¹ of total phenols, with an antioxidant capacity of 132.54 μ mol Etrolox g⁻¹, a protein content of 10.63%, 5.78% of fat and 9.58% of ashes; including high values of main macronutrients and a C/N ratio of 31.4. These results show that coffee pulp is a rich source of essential nutrients.

Key words: Antioxidant capacity, essential nutrients, total phenolic compounds, caffeine, proteins.



INTRODUCCIÓN

El café es la semilla del árbol del cafeto. Perteneció a la familia de las Rubiaceas y su género es *Coffea*, del cual existen tres especies comerciales *Coffea arabica*, *C. canephora* y *C. liberica*. En México se cultivan comercialmente *C. arabica* y *C. canephora* (Wintgens, 2004). La primera es de mayor importancia por su calidad, valor en el mercado nacional e internacional y extensión territorial, ya que en México ocupa poco más del 97% de la superficie cafetalera y a nivel mundial se estima que ocupa el 75%. La especie *C. canephora*, se ubica en el resto de la superficie cafetalera de México y el 25% a nivel mundial (Mussatto et al., 2011). También, el café es el segundo producto más consumido en el mundo, su producción mundial aumentó de 140 a 152 millones de sacos de 60 kg del 2010 a la actualidad (Janissen y Huynh, 2018). A partir del procesamiento del café se generan diversos residuos o subproductos como: pulpa, jugo de pulpa, pajilla, película plateada, entre otros. La generación de pulpa de café, de 2010 a 2017, se incrementó de 4.2 a 4.5 millones de toneladas.

La pulpa del café representa aproximadamente el 42% en peso del fruto fresco (Duangjai et al., 2016), es por lo tanto el subproducto más voluminoso del beneficiado húmedo. Cada dos toneladas de café producen alrededor de una tonelada de pulpa, por lo que es importante minimizar sus riesgos e impacto ambiental derivados de su mal manejo (Duangjai et al., 2016). El tratamiento de la pulpa debe llevarse a cabo de forma inmediata, para evitar serios problemas de contaminación en ríos y suelos ubicados cerca de las instalaciones de pro-

cesamiento de café. Para tratar de manera adecuada a la pulpa de café hay que conocerla a fondo. Algunos autores han abordado el tema de su caracterización; entre ellos Blandón et al. (1999) y Londoño et al. (2016), quienes al estudiar la pulpa han sugerido diversos usos para la misma, entre ellos la producción de combustible, extracción de ingredientes activos, sustratos fermentables para uso de cultivos (Torres-Mancera et al., 2011), procesos de compostaje y extracción de minerales, aminoácidos, polifenoles y cafeína (Duangjai et al., 2016). La pulpa de café, al ser una materia prima con alto potencial para diversas aplicaciones, debe ser estudiada con más detalle, por esta razón el objetivo de la presente investigación fue llevar a cabo la caracterización química y nutrimental de la pulpa de café.



Figura 1. Aspecto físico de la pulpa de café *C. arabica* variedad Costa Rica, procesado en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba (México): a) fresca y b) seca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba (COLPOS), ubicado en el km 348 de la Carretera Federal Córdoba-Veracruz, Congregación Manuel León, Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

Materia prima

La pulpa de café fue obtenida del beneficio húmedo del COLPOS, proveniente de frutos sanos y maduros, de la especie *Coffea arabica* variedad Costa Rica (Figura 1). El despulpado se realizó en un módulo ecológico Penagos modelo 2500 (Santander, Colombia). La pulpa obtenida se escurrió y se puso a secar en un horno marca Terlab (Guadalajara, Jalisco, México), a una temperatura de 40 ± 5 °C por 48 horas, hasta alcanzar una humedad de 12%, para posteriormente almacenarla en recipientes herméticos a temperatura ambiente, hasta su utilización.

Análisis químicos y nutrimentales

Los análisis químicos y nutrimentales se realizaron por triplicado de acuerdo con la normatividad mexicana vigente. El pH fue medido con un potenciómetro HANNA HI8424 (Woonsocket, RI, EEUU) (NMX-F-317-S-1978), los sólidos solubles se determinaron con un refractómetro manual ATAGO (Tokio, Japón) (NMX-F-103-1982). El contenido de humedad se realizó de acuerdo con la NMX-F-428-1982, utilizando una termobalanza Mettler Toledo HG63 (Columbus, OH, USA) y el contenido de cenizas se hizo con una mufla SCORPION SCIENTIFIC modelo A51120 (Ciudad de México) (NMX-F-066-S-1978). La redisolución de cenizas con HCl diluido permitió determinar, a través de espectrometría de absorción atómica AAnalyst

400 (PerkinElmer; Waltham, MA, EEUU), los elementos K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Mn y Zn. El P se determinó a través del método UV-Bis mediante $C_8H_4K_2O_{12}Sb_2 \cdot 3H_2O$ (tartrato de antimonio y potasio) y $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4 H_2O$ (molibdato de amonio tetrahidratado). El contenido de B se hizo por colorimétrica con $C_{14}H_8O_4$ (alizarina), según el método propuesto por Cellini y González (1956). La conductividad eléctrica se midió con base a la metodología propuesta por Soto y Valiengo (2011), utilizando un conductímetro HI 9835 (HANNA). La materia orgánica se calculó como la diferencia entre el contenido en materia seca del alimento y el contenido en cenizas. En cuanto al C total se realizó por métodos de detección basados en la conductividad. El N total fue cuantificado por el método de digestión Micro-Kjeldahl (NMX-F-068-S-1980).

Los azúcares reductores se determinaron por el método de Dubois (Ávila *et al.*, 2012), utilizando un espectrofotómetro Genesys 10S UV-vis (Thermo Fisher; Madison, WI, EEUU). La actividad antioxidante

se determinó mediante el método descrito por Molyneux, (2004), medida por el 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y reportada como equivalente trolox (Etrolox). La concentración de compuestos fenólicos totales se calculó utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu, de acuerdo con la metodología propuesta por Ainsworth & Gillespie (2007), reportándolos como mg equivalentes de ácido gálico (EAG). El extracto etéreo se hizo a través del método Soxhlet, mientras que la fibra de acuerdo con la NOM-F-90-S-1978. El contenido de proteína se cuantificó por el método descrito en la NMX-F-068-S-1980. La cafeína se determinó por el método descrito en la NMX-F-182-SCFI-2011.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La pulpa de café de la variedad Costa Rica representó el 45% del peso del fruto maduro, con un 85% de humedad y muy rica en nutrientes como azúcares, proteína, fibra, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, entre otros elementos, tal como se aprecia en los Cuadros 1 y 2.

La pulpa de café es un subproducto ácido, ya que presenta pH con valores por debajo de 5, lo que puede ocasionar problemas de toxicidad por aluminio en los suelos donde se deposita para compostearla. El pH es además una variable influyente en la recuperación de compuestos fenólicos (Rovira, 2016). La pulpa posee un alto contenido de humedad, alrededor del 85%, similar al reportado por Michalska y Lysiak (2015) para el arándano (84%), o del reportado para otros residuos agroalimentarios como la citropulpa, para la cual Hincapié-Llanos *et al.* (2010) reportan 86% de humedad. Por otro lado, el contenido de cenizas obtenido (9.58%), es acorde al 8.9% reportado por Murthy y Naidu (2012a). A diferencia del grano de café, en la pulpa sobresalen los azúcares reductores, especialmente la glucosa y la xilosa (Pleissner *et al.*, 2016), cuyo valor aquí encontrado está muy por encima de lo reportado por autores como Luiz (1978) y Gurram *et al.* (2015).

Aunque la pulpa de café posee casi la mitad de los compuestos fenólicos totales (4.09 mg de equivalente de ácido gálico (GAE) por gramo de pulpa seca), reportados para el arándano, de 9.44 mg GAE g^{-1} en base seca según Wu-Yang *et al.* (2012); tiene una capacidad antioxidante similar a este producto, 13.2 mmol de Equivalentes Trolox (TE) por 100 g de pulpa seca, contra 14.98 mmol TE por 100 g de arándano seco. Los antioxidantes naturales neutralizan el exceso de radicales libres, previniendo a las células contra el daño de éstos y contribuyendo a la prevención de enfermedades (Murthy y Naidu, 2012b).

El contenido de cafeína en pulpa seca (2.262%) es similar al valor

Cuadro 1. Características químicas de la pulpa de café de la especie *C. arabica* variedad Costa Rica.

Variable medida	Unidad	Base seca	Base húmeda
pH			4.21
Humedad	%	12.05	85.37
Sólidos solubles totales	°Brix		3
Azúcares reductores	%	45.67	
Fenoles totales	mg EAG g^{-1} pulpa	4.09	0.91
DPPH	μ mol ETrolox g^{-1} pulpa	132.54	28.93
Cafeína	%	2.262	
Proteína	%	10.63	9.04
Grasa	%	5.78	6.93
Fibra	%	36.07	30.63
Cenizas	%	9.58	
Conductividad eléctrica	S/dm	7.88	
Materia orgánica	%	92.11	

reportado (2.3%) para la película plateada (Luiz, 1978; Bresciani *et al.*, 2013); mientras que el valor de 10.63% para proteínas es similar al encontrado por Ulloa y Verreth (2003) con 10-12%. La pulpa de café es rica en fibra con 36.07, sin embargo este valor es mayor al rango de 18-21%, reportado por Murthy y Naidu (2012b).

Dada la naturaleza química de la pulpa, es factible utilizarla como aditivo o ingrediente en la industria de los agroalimentos; tanto de consumo animal como humano.

En los seres humanos y otros mamíferos, el Ca y el P juntos tienen una función importante como componentes principales del esqueleto. Además, son importantes en funciones metabólicas, como la función muscular, el estímulo nervioso, actividades enzimática y hormonal, y el transporte del oxígeno. De acuerdo con Ríos de Souza *et al.* (2014), en comparación con las berries en base seca, la pulpa de café contiene aproximadamente 10 veces más minerales como P, K y Ca; así como el doble de Mg y un contenido similar de Fe y Zn. Resultados similares a los mostrados en el Cuadro 2 son reportados por Figueroa y Mendoza (2010), para la pulpa de café en base seca, con contenidos de P, K, Ca y Mg, de 1.3, 31.0, 4.6 y 1.4 g Kg⁻¹, respectivamente. En la cuantificación nutricional de la pulpa pueden ocurrir pérdidas de elementos después del despulpado, ya que la pulpa en su rápida descomposición libera una solución acuosa rica en nutrientes, especialmente K. En cuanto a Mg, su valor presente en la pulpa (1.39 g Kg⁻¹) se encuentra en menor proporción que en el expeller de soya (subproducto que se obtiene luego del proceso de extrusado y prensado), el cual presenta 4 g Kg⁻¹ (Figueroa y Mendoza, 2010). Por otro lado, la relación C/N indica un equilibrio entre el contenido de materia orgánica, medido como C (92.11%), y el contenido de nutrientes, medido como N (1.7%). Por ello, la pulpa de café puede ser aprovechada como abono, ya que la descomposición total de la materia orgánica, en los residuos inorgánicos inertes o mi-

Cuadro 2. Características nutrimentales de la pulpa de café de la especie *Coffea arabica* variedad Costa Rica.

Variable medida	Unidad	Base seca
Nitrógeno (N)	g kg ⁻¹	17.00
Fosforo (P)	g kg ⁻¹	2.48
Potasio (K)	g kg ⁻¹	25.13
Calcio (Na)	g kg ⁻¹	4.10
Magnesio (Mg)	g kg ⁻¹	1.39
Sodio (Na)	g kg ⁻¹	2.12
Boro (B)	mg kg ⁻¹	11.00
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	21.00
Fierro (Fe)	mg kg ⁻¹	77.00
Manganeso (Mn)	mg kg ⁻¹	46.00
Zinc (Zn)	mg kg ⁻¹	11.00
Carbono total	%	53.428
Nitrógeno total	%	1.7
Relación C/N		31.43

nerales, se incorporan de nuevo a la estructura del suelo, para ser asimilados por las plantas. (Vásquez *et al.*, 2010). La pulpa de café, como fuente de materia orgánica, mejora las condiciones físicas y químicas de los suelos con texturas pesadas y arenosas. También incrementa el contenido de la mayoría de nutrientes esenciales para la planta de café.

CONCLUSIONES

Las propiedades químicas y nutrimentales de la

pulpa ponen de manifiesto que es una fuente rica de antioxidantes naturales, similar al arándano, además por su alto contenido de proteína y minerales, tales como, P, K, Ca y Mg, puede ser considerada como ingrediente promisorio en la elaboración de dietas para animales y en la elaboración de productos alimenticios para humanos. Considerando además la posibilidad de ser fuente para la obtención de cafeína y la producción de metabolitos secundarios.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT por el financiamiento, a través del proyecto 2016-01-277838, para la realización de esta investigación y al Instituto Tecnológico de Veracruz, por el apoyo en el uso del equipo de cromatografía.

LITERATURA CITADA

- Ainsworth, E.A. and Gillespie, K.M. 2007. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nat. Protoc.* 2: 875-877.
- Ávila-Núñez, R., Rivas-Pérez, B., Hernández-Motzezak, R., Chirinos, M. 2012. Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en *Agave cocui* Trelease. *Multiciencia* 12: 129-135.
- Blandón C., G. Dávila, M. T.; Rodríguez V. N. 1999. Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje. *Cenicafé* 50: 5-23.
- Bresciani, L., Calani, L.; Bruni, R.; Brighenti, F.; Del Rio, D. 2013. Phenolic composition, caffeine content and antioxidant capacity of coffee silverskin. *Food. Res. Int.* 61: 196-201.
- Luiz, G.E. 1978. Composición química de la pulpa de café y otros subproductos. In *Pulpa de Café Composición, Tecnología y Utilización*. Braham, J.E. y Bressani, R. (Editores). Bogotá. pp. 19-31.

- Cellini, R.F. y González, F.A. 1956. Determinación Colorimétrica de Boro con Alizarín Sulfonato Sódico. Junta de Energía Nuclear. Spain. Reporte JEN-5. <https://www.osti.gov/biblio/4189813>.
- Duangjai, A., Suphom, N., Wungrath, J., Ontawong, A., Nuengchamnong, N., Yosboonruang, A. 2016. Comparison of antioxidant, antimicrobial activities and chemical profiles of three coffee (*Coffea arabica* L.) pulp aqueous extracts. Integr. Med. Res. 5: 324-331.
- Figuerola H.J.G. y Mendoza, A.J. 2010. Cuantificación de minerales K, Ca, Mg y P en pulpa y pergamino de café (*Coffea arabica* L. var. Typica). RVCTA. 1: 221-230.
- Gurram, R., Al-Shannag, M., Knapp, S., Das, T., Singas, E., Alkasrawi, M. 2015. Technical possibilities of bioethanol production from coffee pulp: a renewable feedstock. Clean Technol. Environ. Policy. 18: 269-278.
- Hincapié-Llanos, G. A., Omaña-Yañez, M.O., Hincapié-Llanos, C.A., Arias-Gómez, Z. y Vélez-Acosta, L. 2010. Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria presente en la citropulpa. Rev. Lasallista Investig. 7: 85-93.
- Janissen, B. y Huynh, T. 2018. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry byproducts: A review. Resour. Conserv. Recycl. 128: 110-117.
- Londoño, L., Ramírez-Toro, C., Ruiz, H. A., Ascacio, J.A., Rodríguez, R., Aguilar, C. 2016. Caracterización del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y pulpa de café (*Coffea arabica* L.) como sustrato en fermentación en estado sólido. Agron. Colomb. 34: S1156-S1158.
- Michalska, A. and Lysiak, G. 2015. Bioactive Compounds of Blueberries: Post-Harvest Factors. Int. J. Mol. Sci. 16: 18642-18663.
- Molyneux, P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. Songklanakarin J. Sci. Technol. 26: 211-219.
- Murthy, P.S., Naidu, M.M. 2012a. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition. Resour. Conserv. Recycl. 66: 45-58.
- Murthy, P.S., Naidu, M.M., 2012b. Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry by-products. Food Bioproc. Tech. 5: 897-903.
- Mussatto, S.I., Machado, E.M.S., Martins, S., Teixeira, J.A., 2011. Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. Food Bioproc. Tech. 4: 661-672.
- NMX-F-066-S-1978. Determinación de cenizas en alimentos.
- NMX-F-068-S-1980. Alimentos. Determinación de proteínas.
- NOM-F-090-S-1978. Determinación de fibra cruda en alimentos.
- NMX-F-103-1982. Alimentos. Frutas y derivados. Determinación de Grados Brix.
- NMX-F-182-SCFI-2011. Café - determinación del contenido de cafeína -método por cromatografía líquida de alta resolución (método de referencia).
- NMX-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos.
- NMX-F-428-1982. Alimentos. Determinación de humedad (método rápido de la termobalanza).
- Pleissner, D., Neu, A.N., Mehlmann, K., Schneider, R., Puerta-Quintero, G.I., Venus, J. 2016. Fermentative lactic acid production from coffee pulp hydrolysate using *Bacillus coagulans* at laboratory and pilot scales. Bioresour. Technol. 128: 167-173.
- Rios de Souza, V., Pimenta, P.P.A., Teodoro da Silva, T.L., de Oliveira, L.L.C., Pio, R., Queiroz, F. 2014. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. Food Chem. 156: 362-368.
- Rovira, J. 2016. La acidez en el café, percepción en la boca. Revista Fórum Café, 68(1), 24-28. http://www.forumdelcafe.com/system/files/flipping_book/revista_68/index.html#24/z
- Soto, G.J.L. y Valiengo, V.S. 2011. Prueba de la conductividad eléctrica en la evaluación fisiológica de la calidad de semillas en *Zeyheria tuberculosa*. Bosque 3: 197-202.
- Torres-Mancera, M., Cordova-López, J., Rodríguez-Serrano G., Roussos S., Ramírez-Coronel Ma., Favel-Torres E. 2011. Enzymatic extraction of hydroxycinnamic acids from coffee pulp. Food Technol. Biotechnol. 49: 363-373.
- Ulloa R.J.B. y Verreth, J.A.J. 2003. Biological treatments affect the chemical composition of coffee. Bioresour. Technol. 89: 267-274.
- Vásquez-de Díaz, M.A., Prada, P.A., Mondragon, M.A. 2010. Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del café con la aplicación de microorganismos nativos. Nova 8: 213-219.
- Wintgens, J.N. (Editor). 2004. Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. A Guidebook for Growers, Processors, Traders and Researchers. 1er Ed. Wiley-VCH. Switzerland. 1020 p.
- Wu-Yang, H., Hong-Cheng, Z., Wen-Xu, L., Chun-Yang, L. 2012. Survey of antioxidant capacity and phenolic composition of blueberry, blackberry, and strawberry in Nanjing. J. Zhejiang Univ. Sci. B. 13: 94-102.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SELECCIONES DE CHINENE (*Persea schiedeana* Nees) EN CAFETALES DEL CENTRO DE VERACRUZ

PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF CHINENE SELECTIONS (*Persea schiedeana* Nees) IN COFFEE PLANTATIONS OF CENTRAL VERACRUZ

Rivera-Prado, C.¹; Contreras-Oliva, A.¹; Escamilla-Prado, E.²; Robledo-Martínez, J. D.²; Morales-Ramos, V.^{1*}

¹Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. ²Centro Regional Universitario Oriente. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Huatusco-Jalapa km 6, Huatusco, Veracruz. C. P. 94100.

*Autor para correspondencia: vicmor@colpos.mx

RESUMEN

En los cafetales del estado de Veracruz se han encontrado accesiones de chinene (*Persea schiedeana* Nees), que poseen características fenotípicas contrastantes. Para conocer si esta diversidad existe también a nivel pulpa, y si la pulpa de chinene difiere significativamente de lo reportado para el aguacate (*Persea americana* var. Hass), se realizó la caracterización físico-química de ocho materiales (CRUO, IXPE, DURA, PETR, TLAL, EM22, EM33 y UBDO), previamente seleccionados por los atributos deseables de sus frutos. Los contenidos de humedad, cenizas, grasa, proteína, fibra cruda, carbohidratos y aporte calórico, permitieron conocer la interrelación entre selecciones y su semejanza con el aguacate. Mediante análisis de conglomerados se logró separar las ocho selecciones en tres grupos heterogéneos. La pulpa de las ocho selecciones no presentó diferencia significativa ($P>0.05$) en los contenidos de cenizas, proteína, fibra cruda y carbohidratos; pero si en los contenidos de humedad, grasa y aporte calórico (Kcal por 100 g de pulpa). El contenido de cenizas y de fibra cruda en las ocho selecciones fue inferior a lo reportado para el aguacate var. Hass. En el resto de los parámetros evaluados, los contenidos reportados para el aguacate quedaron dentro del rango de los contenidos encontrados en las selecciones estudiadas. Por lo anterior, se puede decir que el chinene tiene potencial como producto alternativo al aguacate, con altas posibilidades de selección y mejoramiento, dada la variabilidad en las características físico-químicas de su pulpa.

Palabras clave: *Persea schiedeana*; mejoramiento genético; fibra cruda; aporte calórico.

ABSTRACT

In coffee plantations from the state of Veracruz, México, chinene strains (*Persea schiedeana* Nees) with contrasting phenotypic characteristics have been found. To understand if this variability exists also at pulp level, and whether chinene pulp differs significantly from what has been reported for avocado (*Persea americana* var. Hass), a physical-chemical characterization was carried out in eight materials (CRUO, IXPE, DURA, PETR, TLAL, EM22, EM33 and UBDO), previously selected for the desirable characteristics of their fruits. The contents of moisture, ash, fat, protein, crude fiber,



Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 4, abril. 2018. pp: 14-18.

Recibido: noviembre, 2017. **Aceptado:** abril, 2018.

carbohydrates and calories in the pulp allowed understanding the interrelations between selections and their similarity with avocado. Through cluster analysis, the eight selections were separated into three heterogeneous groups. The pulp of the eight selections did not present significant differences ($P>0.05$) in the contents of ash, protein, raw fiber and carbohydrates; but it did in the contents of moisture, fat and calories (Kcal / 100 g of pulp). The content of ash and raw fiber in the eight selections was lower than that reported for avocado var. Hass. In the rest of the parameters evaluated, the contents reported for avocado were within the range of those found in the selections studied. Therefore, it can be said that chinene has potential as an alternative product to avocado, with high possibilities of selection and improvement, given the variability in the physical-chemical characteristics of its pulp.

Key words: *Persea schiedeana*; genetic improvement; crude fiber; calories.

INTRODUCCIÓN

El chinene (*Persea schiedeana* Ness) es una especie arbórea perennifolia tropical y subtropical, perteneciente a la familia Lauraceae, cuyos frutos son apreciados y consumidos por los pobladores de los lugares donde crece (Cruz-Castillo *et al.*, 2007), que van del centro de México, en los estados de Puebla, Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Chiapas y Tamaulipas (Koop, 1966; Sánchez-Pérez, 1999) hasta Centroamérica. El estado de Veracruz cuenta con una diversidad de variantes locales de chinene, ubicada principalmente en la Región cafetalera de las Altas Montañas (López *et al.*, 2008; Cruz-Castillo *et al.*, 2017), en los municipios de Huatusco, Coscomatepec, Ixhuatlán del Café y Chocamán. Los árboles se encuentran dentro del bosque mesófilo de montaña, como fuentes de sombra dentro de cafetales y en el traspatio (Escamilla & Roble-

do, 2014). Los frutos son apreciados por su sabor, consistencia y cremosidad (Figura 1).

Dentro de los frutos de chinene existen diferentes selecciones naturales, las cuales han surgido por la polinización cruzada que presenta esta especie, lo que resulta en frutos con alta variabilidad fenotípica (Bergh, 1992; López-Yarena *et al.*, 2018). Esta variabilidad presenta una oportunidad de selección y mejoramiento genético con fines comerciales, considerando que la compatibilidad gamética entre el chinene y el aguacate (*Persea americana* Mill.) está demostrada (Ellstrand *et al.*, 1986). La variabilidad fenotípica de los frutos de diferentes árboles, puede indicar variabilidad en la composición física y química de la pulpa de dichos frutos; por lo que el presente estudio tuvo como objetivo caracterizar la pulpa de ocho selecciones de chinene, seleccionadas previamente por Escamilla y Robledo (2014), en la Región Montañosa del estado de Veracruz, para verificar si existe variación en la composición física y química de su pulpa; comparando los resultados encontrados con aquellos reportados para el aguacate variedad Hass.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las ocho selecciones de chinene estudiadas se encuentran en cuatro municipios (Huatusco, Coscomatepec, Ixhuatlán del Café y Chocamán), ubicados en la Región Montañosa Central del estado de Veracruz, México; situadas en altitudes que van de los 1194 a los 1757 metros sobre el nivel del mar (Cuadro 1).

Estas selecciones fueron escogidas por Escamilla y Robledo (2014) por los atributos deseables de sus frutos,

tales como forma, tamaño, contenido de pulpa y grosor de la cáscara. Cada uno de los ocho árboles se georreferenciaron (GPS GARMIN-MR) y se platicó con los dueños para regresar en época de cosecha a coleccionar los frutos (Figura 2).

Los frutos maduros se conservaron a -20°C , para realizar posteriormente los análisis físico-químicos de su pulpa. Los análisis se llevaron a cabo en el Centro de



Figura 1. Variedad fenotípica de chinenes (*Persea schiedeana* Ness) en el mercado de Chocamán, Veracruz, México.

Control Total de Calidades, S.A. de C.V. (CENCON) ubicado en la Ciudad de México; de acuerdo a la normativa siguiente: Humedad (NOM-116-SSA1,1994), cenizas (NMX-F-607-NORMEX-2013), grasa (NOM-086-SSA1-1994; Apéndice normativo C.1.3), proteína (NMX-F-608-NORMEX-2011), fibra cruda (NMX-F-613-NORMEX-2003) e hidratos de carbono por diferencia. Como referencia, y para fines comparativos con el aguacate variedad Hass, se utilizaron los valores reportados por USDA (2015) y Devia & Saldarriaga (2005) (Figura 3).

Análisis estadístico

Las muestras se analizaron por triplicado realizando el análisis de varianza de una vía, mediante el programa InfoStat MR. Para la separación de medias se utilizó Tukey con una significancia de 0.05 y se empleó el análisis de conglomerados para el estudio de similitudes entre selecciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización físico-química de las selecciones de chinene se presenta en el Cuadro 2.

Las selecciones PETR y TLAL, ubicadas a 1757 y 1492 msnm respectivamente; tuvieron el mayor contenido de humedad en su pulpa (alrededor de 74 %), que presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con el resto de las selecciones, lo que de acuerdo con Zapata *et al.* (2016), puede reducir la vida de anaquel de frutos de *Persea*, que de acuerdo a Del Angel-Colonel *et al.*, (2010), es de por sí baja. Los contenidos de grasa de estas selecciones fueron los más bajos (11 %), presentando diferencia significativa con el resto de las selecciones; las cuales tuvieron valores superiores a lo reportado en grasa para el aguacate variedad Hass (15.4 %).



Figura 3. Semillas y frutos maduros de chinene (*Persea schiedeana* Ness) colectados en los municipios de Huatusco, Coscomatepec, Ixhuatlán del Café y Chocamán, Veracruz, México.

Cuadro 1. Localización de las selecciones de chinene (*Persea schiedeana* Ness) en el estado de Veracruz, México.

CLAVE	LOCALIDAD	MUNICIPIO	MSNM
PETR	Tres Aguas	Coscomatepec	1757
DURA	Durazno	Coscomatepec	1600
EM22	Tepexilotla	Chocamán	1516
EM33	Tepexilotla	Chocamán	1524
CRUO	Chapingo	Huatusco	1339
IXPE	Huatusco	Huatusco	1300
UBDO	Ocotitlán	Ixhuatlán Del Café	1194
TLAL	Tlaltengo	Coscomatepec	1492



Figura 2. Frutos de chinene (*Persea schiedeana* Ness) colectados en los municipios de Huatusco, Coscomatepec, Ixhuatlán del Café y Chocamán, Veracruz, México.

El alto contenido de grasa en el chinene (28.1 % en la selección IXPE, casi el doble de lo reportado para el aguacate Hass), lo hace susceptible de ser utilizado como fuente de aceites para la elaboración de productos cosméticos, entre otros usos (Serpa *et al.*, 2014; Cruz-Castillo *et al.*, 2017; López-Yerena *et al.*, 2018). En general, se observa una correlación negativa entre los contenidos de grasa y de humedad. Por otro lado, hay una correlación positiva entre el contenido de grasa y el aporte calórico. El aporte calórico de la pulpa de las selecciones PETR y TLAL fue el más bajo y presentó diferencia significativa con el resto de las selecciones.

El contenido de carbohidratos en la pulpa de las selecciones analizadas no varía significativamente ($P > 0.05$) y, con excepción de IXPE, el resto de las selecciones presenta un contenido de carbohidratos mayor al reportado por el USDA (2015) para el aguacate Hass. Los hidratos de carbono representan una fuente importante de energía, por lo que el chinene pudiera llegar a recomendarse a personas que desarrollan actividades físicas durante el día.

Cuadro 2. Características físico-químicas promedio de selecciones de chinene (*Persea schiedeana* Ness) y los valores de referencia del aguacate var. Hass (para 100 g de pulpa).

Nombre	Humedad (g)	Cenizas (g)	Grasa (g)	Proteína (g)	F. Cruda (g)	Carbohidratos (g)	Kcal (100 g) ⁻¹
CRUO	60±1.7 ^A	0.93±0.11 ^A	22.4±0.9 ^{BC}	1.46±0.13 ^A	3.9±2.48 ^A	10.91±1.7 ^A	251±14.8 ^{BC}
IXPE	60±0.6 ^A	0.88±0.09 ^A	28.1±4.4 ^C	1.40±0.13 ^A	1.06±0.56 ^A	8.67±3.9 ^A	293±23.73 ^C
DURA	64±3.5 ^{AB}	0.93±0.04 ^A	22.4±4.7 ^{BC}	1.46±0.08 ^A	1.94±0.33 ^A	9.27±1.4 ^A	244±36.2 ^{BC}
PETR	74±0.9 ^C	0.94±0.14 ^A	11.0±1.5 ^A	1.14±0.21 ^A	2.44±0.54 ^A	10.47±0.8 ^A	145±11.7 ^A
TLAL	74±1.2 ^C	0.76±0.14 ^A	11.5±1.2 ^A	2.23±2.44 ^A	3.97±2.44 ^A	7.42±2.0 ^A	138±7.5 ^A
EM22	66±1.0 ^B	0.72±0.02 ^A	19.1±1.8 ^B	1.38±0.17 ^A	1±0.44 ^A	11.59±1.1 ^A	224±13.8 ^B
EM33	64±2.8 ^{AB}	0.85±0.08 ^A	20.9±2.2 ^{BC}	1.69±0.16 ^A	2.60±0.94 ^A	10.25±0.9 ^A	236±17.9 ^B
UBDO	64±2.0 ^{AB}	0.86±0.04 ^A	21.1±1.6 ^{BC}	1.47±0.03 ^A	2.06±0.54 ^A	10.79±0.4 ^A	239±15.9 ^{BC}
Hass valores de referencia	*73.3	*1.66	*15.41	*1.96	*6.8	*8.64	*167
	**64.5	**1.7		**2.2	**1.65	**5.1	**264

Fuente: *USDA (2015), **Devia & Saldarriaga (2005). Letras distintas en la misma columna denotan diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Las ocho selecciones evaluadas no presentan diferencias significativas entre ellas en los contenidos de cenizas, proteínas y fibra cruda; aunque respecto al aguacate Hass, se observan las siguientes diferencias. El contenido promedio de cenizas en el chinene va de 0.72 %, en la selección EM22, a 0.94 % en la selección PETR; mientras que para el aguacate es de 1.66 %. A excepción de TLAL, el resto de las selecciones presenta un contenido promedio de proteínas menor al reportado para el aguacate Hass (1.96 %).

Las similitudes entre las ocho selecciones se presentan en la Figura 4, donde se observa alta variabilidad entre los materiales, asociada a los contenidos de humedad, grasa y aporte calórico de la pulpa (Cuadro 2). Las selecciones EM33 de Chocamán y UBDO de Ixhuatlán del Café son prácticamente las mismas, teniendo cierto parecido con las selecciones EM22 de Chocamán, con DURA de Coscomatepec y con CRUO de Huatusco. Puede decirse que estas cinco selecciones forman un grupo, carac-

terizado por incluir materiales con un contenido medio de humedad y un contenido medio de grasa. Este grupo es el parteaguas de los otros dos. Por otro lado están los materiales con el menor contenido de grasa y el mayor contenido de humedad (PETR y TLAL). La selección IXPE, al presentar el mayor contenido de grasa y el menor de humedad, permanece como un grupo separado.

CONCLUSIONES

El contenido de grasa y el de humedad en pulpa, al variar significativamente entre las selecciones de chinene analizadas, son las principales características físicas y químicas que permitieron separar las selecciones en tres grupos heterogéneos. Los contenidos de humedad, grasa, proteína, carbohidratos y aporte calórico por unidad de pulpa de chinene son similares a los reportados para el aguacate Hass, por lo que se pueden considerar productos alternativos.

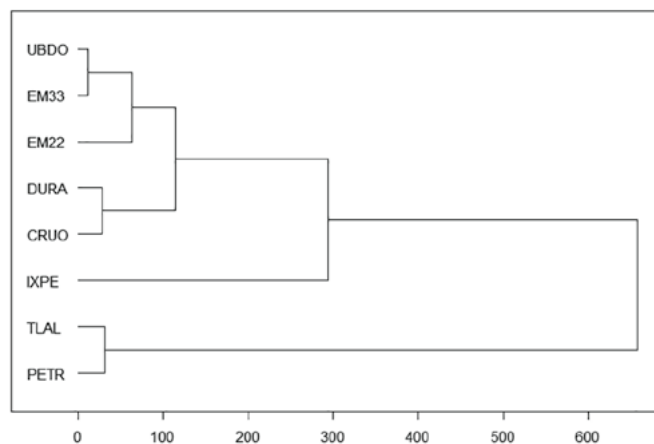


Figura 4. Dendrograma de similitudes entre las selecciones de chinene (*Persea schiedeana* Ness) colectados en los municipios de Huatusco, Coscomatepec, Ixhuatlán del Café y Chocamán, Veracruz, México.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba por el financiamiento para la realización de esta investigación y a la Universidad Autónoma Chapingo (CRUO-CENACAFÉ) por facilitar los materiales de estudio.

LITERATURA CITADA

- Bergh B.O. 1992. The origin, nature, and genetic improvement of the avocado. California Avocado Society Yearbook 76: 61-75. Obtenido de http://www.avocadosource.com/cas_yearbooks/cas_76_1992/cas_1992_pg_061.pdf
- Cruz-Castillo J.G., Del Angel C.O., De la Cruz M.J., Joaquin M.C. 2007. Características morfológicas y bioquímicas de frutos de chinene (*Persea schiedeana* Nees.). Re. Chapingo Ser. Hort. 13: 141-147. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60913280005>
- Cruz-Castillo J.G., Tinoco-Rueda J.A., Famiani F. 2017. Distribution of *Persea schiedeana* in Mexico and potential for the production of fruits with high-quality oil. HortScience 52: 661-666.
- Del Angel C.O., Cruz-Castillo J.G., De la Cruz M.J., Famiani F. 2010. Ripening and physiological changes in the fruit of *Persea schiedeana* Nees during the postharvest period. HortScience 45: 172-175. Obtenido de: <http://hortsci.ashspublications.org/content/45/1/172.full.pdf+html?sid=854f2106-a0cf-4d9f-93ed-c74d8210e8b4>
- Devia J.E., Saldarriaga F. 2005. Proceso para obtener colorante a partir de la semilla de aguacate. Revista Universidad EAFIT 41: 36-43. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/pdf/215/21513704.pdf>
- Ellstrand N.C., Lee J.M., Bergh B.O., Coffey M.D., Zentmyer G.A. 1986. Isozymes confirm hybrid parentage for 'G755' selections. California Avocado Society Yearbook, 70: 199-203. Obtenido de: http://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_70_1986/CAS_1986_PG_199-203.pdf
- Escamilla P.E., Robledo M.J.D. 2014. Promoción del chinene (*Persea schiedeana*) en cafetales como una forma de conservación *in situ*. In D. A. Gutierrez y N. P. Mayek (eds). Los recursos genéticos del aguacatero (*Persea* spp.) en México. pp. 19-31. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Kopp L. E. 1966. A Taxonomic review of the genus *Persea* in the western hemisphere (*Perseae-Lauraceae*). Proceedings of the New York Botanical Garden 14: 1-17.
- López G.M.A., Williams L.G., Manson R.H. 2008. Tree species diversity and vegetation structure in shade coffee farms in Veracruz, Mexico. Agr. Ecos. Env. 124: 160-172.
- López-Yerena A., Guerra-Ramírez D., Jácome-Rincón J., Espinosa-Solares T., Reyes-Trejo B., Famiani F., Cruz-Castillo J.G. 2018. Initial evaluations of fruit of accessions of *Persea schiedeana* Nees for nutritional value, quality and oil extraction. Food Chem. 245: 879-884.
- Norma Mexicana NMX-F-613-NORMEX 2003. Determinación de fibra cruda en alimentos. Alimentos-Método de prueba. Distrito Federal, México: Diario Oficial de la Federación. 6 de agosto de 2003. Obtenido de: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-090-S-1978.PDF>
- Norma Mexicana NMXF-608-NORMEX 2011. Determinación de proteína en alimentos. Métodos de Prueba. Distrito Federal México: Diario Oficial de la Federación 1 de abril de 2011. Obtenido de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5360486&fecha=18/09/2014
- Norma Mexicana NMX-F-607-NORMEX. 2013. Determinación de cenizas en alimentos. Alimentos-Método de prueba. Distrito Federal México: Diario Oficial de la Federación 27 de agosto de 2013. Obtenido de: www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5311757&fecha=27/08/2013.
- Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1. 1994. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición: Bienes y servicios. Especificaciones nutrimentales. Distrito Federal México: Diario Oficial de la Federación. 26 de junio de 1994. Obtenido de: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/086ssa14.html>
- Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA1. 1994. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico. Bienes y servicios método por arena o grava. Distrito Federal México: Diario Oficial de la Federación 15 de agosto de 1994. Obtenido de: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/086ssa14.html>
- Sánchez-Pérez J.L. 1999. Recursos genéticos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 5: 7-18.
- Serpa G.M.A., Echeverri L.A., Lezcano C.M.P., Vélez A.L.M., Ríos A.F., Hincapié G. A. 2014. Extracción de aceite de aguacate variedad "Hass" (*Persea americana* Mill.) liofilizado por prensado en frío. Revista Investigaciones Aplicadas 8: 113-123.
- United States Department of Agriculture (USDA). 2015. Avocado, Almond, Pistachio and Walnut Composition. National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28. Washington, United States of America: The National Agricultural Library.
- Zapata J.E., Restrepo S.A. y Arias L. 2016. Cinética de la deshidratación osmótica del aguacate (*Persea americana*), y optimización del color por medio de superficies de respuesta. Inf. Téc. 27: 17-32. doi: 10.4067/S0718-07642016000400003



CONCENTRACIÓN DE MACRONUTRIMENTOS Y MICRONUTRIMENTOS EN GRANOS DE CAFÉ (*Coffea* sp.) DE DIFERENTES ORÍGENES

CONCENTRATION OF MACRONUTRIENTS AND MICRONUTRIENTS IN COFFEE BEANS (*Coffea* sp.) OF DIFFERENT ORIGINS

Trejo-Téllez, L.I.¹; Gómez-Merino, F.C.^{1*}; Morales-Ramos, V.¹; Marín-Garza, T.²; Castañeda-Castro, O.³; Pastelin-Solano, M.C.³

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ²Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Zona Córdoba-Orizaba. Carretera Peñuela-Amatlán km 1. Peñuela, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94945. ³Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas Zona Córdoba-Orizaba. Calle Oriente 6 No. 1009, Col. Rafael Alvarado, Orizaba, Veracruz. C. P. 94340.

*Autor de correspondencia: fernandg@colpos.mx

RESUMEN

La constitución nutricional de las plantas, y en específicos de sus semillas o granos, depende de factores como la variedad, el clima, el manejo agronómico y la composición mineral del suelo donde se cultivan. A pesar de ser un país productor de café, en México existen pocos estudios comparativos sobre el efecto del origen de los granos en la calidad del grano de café. En esta investigación se determinó la concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn) en granos de café de la variedad Robusta (*Coffea canephora*) provenientes de México, Brasil y Vietnam, por espectrofotometría de emisión atómica de inducción por plasma acoplado (ICP-IES), con excepción del N, para el cual se empleó el método semi-micro Kjeldahl. Los resultados obtenidos demuestran, que con excepción del N, existe una variación en las concentraciones de los elementos minerales entre los granos los tres distintos países. Las muestras de México presentaron valores por encima del 50% en P, Ca, K y Mg; y más del 100% en Fe, Mn y Zn con respecto a los granos de café provenientes de Brasil y Vietnam.

Palabras clave: *Coffea canephora*, café, países productores, calidad, nutrientes.

ABSTRACT

The nutritional constitution of plants, and specifically of their seeds or grains, depends on factors such as the variety, the climate, the agronomic management and the mineral composition of the soil where they are cultivated. Although Mexico is a coffee producing country, there are few comparative studies exploring the effect of the place where grains are grown on the quality of coffee beans. In this study, the concentration of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg and S) and micronutrients (B, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn) in coffee beans of the Robusta variety (*Coffea canephora*), from three different countries, Mexico, Brazil, and Vietnam, was determined by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES), with the exception of N, for which the semi-micro Kjeldahl method was used. The results obtained show that, with the exception of N, there is a variation in the concentrations of mineral elements among the grains of the regions studied. Samples from Mexico presented values above 50% in P, Ca, K and Mg; and more than 100% in Fe, Mn and Zn with respect to coffee beans from Brazil and Vietnam.

Keywords: *Coffea canephora*, coffee, producing countries, quality, nutrients.

frutos secos, que con el paso del tiempo dio lugar al uso del café en mezclas sólidas con otros componentes (Teketay, 1999).

En la actualidad el café es una de las bebidas más populares y consumidas en el mundo, y es la segunda mercancía mayor comercializada después del petróleo (Mussatto et al., 2011; Nuhu, 2014). Se estima que ocupa el segundo lugar de consumo después del agua (Tofalo et al., 2016).

El grano de café contiene muchos compuestos bioactivos incluyendo cafeína, diterpenos, minerales, ácidos y ésteres, y compuestos fenólicos, muchos de los cuales muestran propiedades antioxidantes, anticancerígenas y antimicrobianas (Nuhu 2014; Cavalli y Tavani, 2016), que contribuyen a mejorar la salud en el consumidor (Santos y Lima, 2016). La especie, la madurez, la fermentación, el secado, el almacenamiento, el proceso de tostado y el método de preparación de la bebida influyen en la composición química y en la calidad del sabor, acidez, cuerpo y aroma de una taza de café (Puerta-Quintero, 2008). Altos niveles de trigonelina y ácido 3,4-dicafeoilquínico se han relacionado con una buena calidad, y por el contrario, un mayor nivel de ácidos cafeoilquínicos y feruloilquínicos y sus productos de oxidación, a una mala calidad (Farah et al., 2006). Otras características químicas que favorecen la calidad del café son altos niveles de la actividad de la polifenol oxidasa, índice de color, azúcares y bajos niveles de acidez total, pH, conductividad eléctrica y lixiviación de potasio (Clemente et al., 2015). También se han utilizado las concentraciones de macros y micros elementos, para determinar la calidad de café y el

INTRODUCCIÓN

El grano de café se obtiene de la fruta de la planta de un pequeño arbusto de hoja perenne perteneciente al género *Coffea* de la familia Rubiaceae. Aunque existen varias especies, solamente dos han cobrado importancia económica mundial: *Coffea arabica*, adaptada a regiones templadas y altitudes más elevadas, de la cual se obtiene aproximadamente el 90% de la producción total, y *Coffea canephora*, que es más rústica y mejor adaptada a regiones de baja altitud y altas temperaturas, contribuyendo con 9% (Kemsley et al., 1995; Sacco et al., 2011; Toledo et al., 2016). Los granos de café de las variedades de *Coffea arabica* contienen una mayor concentración de lípidos y de sacarosa que *C. canephora*, mientras que en la composición de *C. canephora* hay mayor concentración de polisacáridos, cafeína, ácidos clorogénicos y cenizas. Dado que *C. arabica* confiere un sabor más fino y acentuado, se ha consolidado como la especie de mayor producción y valoración para el comercio de los granos (Kemsley et al., 1995; Sacco et al., 2011). Sin embargo, el sabor no solo depende de la especie, sino también del origen geográfico de las mismas y del procesamiento a que es sometido el grano, incluyendo el lavado vía húmeda, el cual permite obtener un balance entre acidez natural y aromas. Estos atributos son bien valorados en Estados Unidos y Alemania, los principales consumidores de café en el mundo (Puerta-Quintero, 2008; ICO, 2017).

Se cree que el uso del grano de café como bebida, tuvo comienzo con pueblos nativos de África, donde al igual que otras muchas plantas, se utilizaban las hojas, frutos y semillas del cafeto para el consumo humano. Sin embargo, el color rojo y la pulpa dulce (que contiene la cafeína estimulante) de los frutos, pudo haber atraído más su atención como fuente de alimento, y debido a su periodo corto de disponibilidad de la pulpa fresca, los llevó a masticar

origen geográfico del grano (Anderson y Smith, 2002), puesto que son dependientes de factores como el ambiente (temperatura, precipitación, altitud y latitud) (Naves *et al.*, 2012), la especie, y la variedad (Leroy *et al.*, 2006), el manejo agronómico (Temis-Pérez *et al.*, 2011) y la composición química del suelo (Prieto *et al.*, 2013; Clemente *et al.*, 2015).

De acuerdo con Pohl *et al.* (2013), existe una variación en el contenido nutrimental de los granos de acuerdo al origen geográfico. De hecho, Oliveira *et al.* (2015) encontraron diferencias significativas entre los países y entre los continentes en los perfiles minerales de muestras de granos de café. Partiendo de este preámbulo y dado que Brasil, México y Vietnam se encuentran entre los primeros 10 países productores de café a nivel mundial (Temis-Pérez *et al.*, 2011; ICO, 2017), el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la variación nutrimental del grano de la variedad Robusta (*Coffea canephora*) de muestras provenientes de México, Brasil y Vietnam.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de granos de café de la variedad Robusta (*Coffea canephora*) de México, Brasil y Vietnam se secaron completamente, se trituraron, se pesaron y se sometieron a una digestión ácida en una mezcla de ácidos perclórico y nítrico, según el protocolo descrito por Alcántar y Sandoval (1999). Para determinar las concentraciones de macronutrientes (P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn) en granos, se analizaron los extractos resultantes utilizando un espectrómetro de emisión atómica de inducción por plasma acoplado (ICP-AES) (Agilent ICP-AES, modelo 725-ES; Victoria, Australia). Las concentraciones de N se cuantificaron utilizando el método de semi-micro Kjeldahl de acuerdo al protocolo descrito por Bremner (1965).

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de variación para un diseño experimental completamente azar y cuando se detectaron diferencias estadísticas, se reali-

zó la comparación de medias por el método de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las concentraciones de macronutrientes en el grano de café de la variedad Robusta (*Coffea canephora*), de diferentes orígenes, son presentadas en el Cuadro 1. Con excepción del N que no presentó variación en la concentración entre los granos de diferentes orígenes, el resto de los macronutrientes tuvieron concentraciones diferentes, observándose que los granos mexicanos tuvieron mayores valores, con excepción del K; y menores concentraciones se registraron en las muestras de Vietnam. Las variaciones entre las concentraciones altas y bajas encontradas, fueron mayores a 100% para P y Ca y superiores a 50% para K y Mg, lo cual, corrobora que el origen de la muestra tiene una gran influencia en la concentración de elementos.

El comportamiento de la concentración de N es congruente con los resultados encontrados por Krivan y Morales (1993), quienes reportaron que no hay diferencias estadísticas en muestras de café verde de ocho países latinoamericanos. Además, las concentraciones reportadas por estos mismos autores, que fluctuaron entre 2.09 a 2.02%, son cercanos a los obtenidos en el presente estudio. En un análisis de 60 muestras de café tostado expandidas en Polonia, Grembecka *et al.* (2007) reportaron un rango de concentración de 1776 a 2495 $\mu\text{g g}^{-1}$ P, con una media de $2189 \pm 171 \mu\text{g g}^{-1}$ P, los cuales están por debajo de los valores obtenidos para la muestra proveniente de México; mientras que para K, reportan una variación de 9393 a 18793 $\mu\text{g g}^{-1}$, valores por encima de los concentraciones obtenidas para los tres países en estudio.

Con respecto al Ca, las concentraciones, en muestras de café tostado tailandés, oscilan entre 529 a 781 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Ashu y Chandravanshi, 2011; Stelmanch *et al.*, 2015), los cuales son inferiores a los resultados obtenidos en

Cuadro 1. Concentración de macronutrientes en granos de café de tres países de origen.

País de origen del grano de café	N %	P	K	Ca	Mg	S
		$\mu\text{g g}^{-1}$ de materia seca				
México:	2.8 a	7797.0 a	3847.1 b	2462.5 a	3564.2 a	5328.7 a
Brasil:	2.8 a	1677.4 b	7278.0 a	1446.0 b	2509.8 b	1471.5 b
Vietnam:	2.8 a	1646.4 b	7289.9 a	1292.9 b	2458.8 b	1437.6 b

Medias con letra distinta en la misma columna son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de (Tukey, $P \leq 0.05$). Cada valor es el promedio de tres repeticiones.

muestras de los países en estudio. Sin embargo, con respecto a muestras de café expendido en el mercado polaco, cuyas concentraciones varían de 993 a 1505 $\mu\text{g g}^{-1}$ Ca (Grembecka *et al.*, 2007; Stelmach *et al.*, 2013), las concentraciones de granos provenientes de Vietnam y Brasil entran dentro de este rango, no así para el de México, que estuvo por encima de estos valores.

Por otra parte, la concentración de Mg en los grano de café en estudio, estuvieron por debajo de los valores reportados para el café tostado de Etiopía (1622 $\mu\text{g g}^{-1}$) y de Polonia (10745 y 1231 $\mu\text{g g}^{-1}$) (Ashu y Chandravanshi, 2011; Stelmanch *et al.*, 2015).

Respecto al azufre, las muestras provenientes de México tuvieron las mayores concentraciones de este nutrimento (5328.7 $\mu\text{g g}^{-1}$ S) en comparación con las muestras provenientes de Brasil y Vietnam (1471.5 y 1437.6 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente), entre las cuales no hubo diferencia estadísticas significativas. Sin embargo, en todos valores son muy inferiores a los reportados por Ballesteros *et al.* (2014), que en promedio fueron de 11700 $\mu\text{g g}^{-1}$ S de café molido en base seca expendido en Portugal.

Las concentraciones de los macronutrientes que encontramos en el presente estudio indican que el origen geográfico juega un papel importante la composición del grano, y por tanto influye en la calidad de la bebida. Krivan y Morales (1993) y Oliveira *et al.* (2015) han reportado variaciones nutrimentales en el grano y bebidas de café a nivel continental y mundial. Particularmente para los cafés mexicanos se ha demostrado que pueden diferenciarse geográficamente según su composición elemental, de tal forma que existe una gran variación nutrimental entre los granos producidos en el estado de Chiapas con respecto a los de Oaxaca (Muñiz-Valencia *et al.*, 2014). Con respecto a Brasil, los factores químicos y ambientales son determinantes para discriminar la región de origen del café (Neves *et al.*, 2012), lo cual concuerda con nuestros resultados.

Los micronutrientes también presentaron variación en sus concentraciones de una especie a otra y de una región a otra (Cuadro 2). Sin embargo, solo fueron estadísticamente diferentes las de Cu, Fe, Mn y Zn. Las muestras de grano de café mexicano, presentaron mayor concentración de Fe, Mn y Zn, superando en más de 100% a las de Brasil y Vietnam. Por el contrario, para B, Cu y Ni las muestras de Brasil fueron superiores, no así las de Vietnam que fueron inferiores. Este comportamiento en la variación de la concentración de micronutrientes en los granos de café, entre los países en estudio, son coincidentes con los reportados por Liu *et al.* (2014) y Anderson y Smith (2002), para 21 y 160 muestras de café respectivamente, procedente de diferentes países de la región de África, América y Asia. Particularmente, para Fe, Mn y Cu, se encontró factores de diferencias de 2.5, 2.0 y 1.5 respectivamente (Anderson y Smith, 2002).

En general, la concentración de los nutrimentos en el grano de café, presentan una variación dependiendo de la especie y la región de origen, por lo tanto, el genotipo y el origen geográfico de los cafés pueden ser determinantes del perfil químico de las bebidas (Anderson y Smith, 2002). Al respecto, Cruz *et al.* (2015) encontraron que el Mn es el mejor discriminador entre las áreas productoras de café de Colombia, Costa Rica, Cuba, El Salvador, México, Nicaragua, Panamá y Papúa Nueva Guinea, mientras que para las regiones de Indonesia, África Oriental y América Central y del Sur, podrían considerarse el Cu, Na, Mn y Fe. Aunque la concentración de elementos en el café es sólo alrededor del 5%, parece ser un buen indicador de la autenticidad del grano y las mezclas (Pohl *et al.* (2013). Aparentemente, este indicador puede ofrecer información útil sobre patrones elementales individuales que son distintivos del origen de suelos en donde se desarrollan, además del cultivo y las condiciones ambientales utilizadas. Además, podrían indicar la calidad de la bebida y cantidad de minerales ingeridos. De acuerdo con Oliveira *et al.* (2015), el consumo regular de una taza de café expreso contribuye a

Cuadro 2. Concentración de micronutrientes muestras de grano de café de tres países de origen.

País de origen del grano de café	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
	$\mu\text{g g}^{-1}$ de materia seca					
México	9.9 a	15.8 b	371.7 a	84.2 a	1.5 a	194.4 a
Brasil	10.2 a	18.8 a	42.9 b	10.3 c	1.8 a	5.7 b
Vietnam	8.8 a	13.8 c	46.3 b	18.6 b	nd	4.1 b

Medias con letra distinta en la misma columna son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de (Tukey, $P \leq 0.05$). Cada valor es el promedio de tres repeticiones. nd=no detectado.

una ingesta diaria de minerales que varía de 0.002% de Na en Centroamérica y hasta el 8.73% K en Asia.

La composición química, así como las características organolépticas del grano o la bebida de café, además de estar influenciadas por factores de tipo genético (Leroy *et al.*, 2006) y agronómico (Temis-Pérez *et al.*, 2011), también son modificadas por el clima (temperatura, precipitación) y el origen geográfico (altitud y latitud que son determinantes) (Neves *et al.*, 2012). Este cultivo es muy sensible a las heladas, y la latitud es de suma importancia, no solo por el cambio de temperatura, sino también por los cambios en la radiación solar, dado que un aumento de los rayos UV puede degradar algunas fitohormonas, lo que a su vez modifica las características de las frutas (Toledo *et al.*, 2016).

En el aspecto ambiental, la composición química del suelo y la relación de los elementos en éste son factores que también afectan la calidad y composición del grano de café. De hecho, la variación de la concentración nutricional de los suelos de una región a otra y su interacción con el cultivo juegan un papel fundamental en la composición química del café (Rosas *et al.*, 2008; Suárez *et al.*, 2015). Se sabe que suelos ácidos con alto contenido de Fe y Al generan tazas de calidad intermedia y alta, mientras que tazas de calidad baja están asociadas con suelos moderadamente ácidos, con altos niveles de Cu, Zn, S y con bajos de Ca y Mg (Suárez *et al.*, 2015). También existe una relación negativa entre la acidez en taza con el contenido de Ca y una correlación positiva entre la fragancia/aroma con los contenidos de K, Na y Al en el suelo. De hecho, de acuerdo con Rosas *et al.* (2008) el Ca, Mg y Fe influyen en la fragancia; mientras que, el N participa en el sabor, y el Cu actúa de forma negativa en la acidez.

En términos de manejo nutricional, la aplicación de dosis óptimas de K favorece el rendimiento, contenido de cafeína, fenoles totales y azúcares reducidos, pero también reduce la acidez total titulable, hasta un punto tal que puede afectar negativamente la calidad de la bebida (Clemente *et al.*, 2015). Por otra parte, el Zn favorece la calidad de los granos, reduciendo el porcentaje de granos medianos y pequeños, la incidencia de daños por insectos, la lixiviación de K y conductividad eléctrica, entre otras, e incrementa el ácido clorogénico y la capacidad antioxidante (Prieto *et al.*, 2013).

Las diferencias en la composición elemental de los cafés de distinto origen son considerables. Comprender esta

variabilidad podría permitir manipular esos factores para producir una infusión de café más nutritiva y agradable, además de las ventajas que determinan la autenticidad del origen y la trazabilidad.

CONCLUSIÓN

Existe una variación en la concentración de elementos minerales en los granos de café de la variedad Robusta de muestras provenientes de México, Brasil y Vietnam, donde los granos de café mexicano presentaron de manera general los valores de concentración nutricional más altos. Los porcentajes de variación entre las concentraciones altas y bajas encontradas, para los macronutrientes, fluctuaron en más de 100% para P y Ca y en más de 50% para K y Mg. Las muestras de grano de café mexicano son las que presentaron mayor concentración de Fe, Mn y Zn, superando en más de 100% a las provenientes de Brasil y Vietnam. Esto confirma que existe una variación en la concentración de elementos de acuerdo al origen geográfico de la muestra.

LITERATURA CITADA

- Alcántar-González G., Sandoval-Villa M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México. 156 p.
- Anderson K.A., Smith B.W. 2002. Chemical profiling to differentiate geographic growing origins of coffee. *J. Agric. Food Chem.* 50: 2068-2075.
- Ashu R., Chandravanshi B.S. 2011. Concentration levels of metals in commercially available ethiopian roasted coffee powders and their infusions. *Bull. Chem. Soc. Ethiopia* 25: 11-24.
- Ballesteros L.F., Teixeira J.A., Mussatto S.I. 2014. Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food Bioprocess. Technol.* 7: 3493-3503. doi: 10.1007/s11947-014-1349-z.
- Bremner J.M. 1965. Total nitrogen. *In*: Black C.A. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9.* American Society of Agronomy. Madison, WI, USA. pp. 1149-1178.
- Cavalli L., Tavani A. 2016. Coffee consumption and its impact on health. *In*: Wilson T., Temple N. (eds). *Beverage Impacts on Health and Nutrition, Nutrition and Health.* Springer, Switzerland. pp. 29-47.
- Clemente J.M., Prieto M.H.E., Alvares L.C., Finger F.L., Cecon P.R. 2015. Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. *Acta Sci. Agron.* 37: 297-305.
- Cruz R., Morais S., Casal S. 2015. Mineral composition variability of coffees: A result of processing and production. *In*: Predry V. (ed). *Processing and Impact on Active Components in Food.* Elsevier, The Netherlands. pp. 549-558.
- Farah A., Monteiro M., Calado V., Franca A.S., Trugo L.C. 2006. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chem.* 98: 373-380.

- Grembecka M., Malinowska E., Szefer P. 2007. Differentiation of market and its infusions in view of their mineral composition. *Sci. Environ.* 383: 59-69.
- ICO. 2017. Seminars and Workshops. International Coffee Organization. <http://www.ico.org/workshop.asp>
- Kemsley E.K., Ruault S., Wilson R.H. 1995. Discrimination between *Coffea arabica* and *Coffea canephora* variant robusta beans using infrared spectroscopy. *Food Chem.* 54: 321-326.
- Krivan V., Barth P., Morales A.F. 1993. Multielement analysis of green coffee and its possible use for the determination of origin. *Mikrochim. Acta* 110: 217-236.
- Leroy T., Ribeyre F., Bertrand B., Charmentant P., Dufour M., Montagnon C., Marraccini P., Pot D. 2006. Genetics of coffee quality. *Brazilian J. Plant Physiol.* 18: 229-242.
- Liu H.C., You C.F., Chen C.Y., Liu Y.C., Chung M.T. 2014. Geographic determination of coffee beans using multi-element analysis and isotope ratios of boron and strontium. *Food Chem.* 142: 439-445.
- Muñiz-Valencia R., Jurado J.M., Ceballos-Magaña S.G., Alcázar A., Hernández- Díaz J. 2014. Characterization of Mexican coffee according to mineral contents by means of multilayer perceptrons artificial neural networks. *J. Food Compos. Anal.* 34: 7-11.
- Mussatto S.I., Machado E.M.S., Martins S., Teixeira J.A. 2011. Production, Composition and application of coffee and its industrial residues. *Food Bioprocess Technol.* 4: 661-672.
- Neves B.J., Borem F.M., Cirillo M.A., Ribeiro M.M., Alves A.A., Ramos A.H.M. 2012. Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazilian J. Agric. Sci. 4: 181-190.
- Nuhu A.A. 2014. Bioactive micronutrients in coffee: Recent analytical approaches for characterization and quantification. *ISRN Nutrition*. Article No. 384230.
- Oliveira M., Ramos S., Delerue-Matos C., Morais S. 2015. Espresso beverages of pure origin coffee: Mineral Characterization, contribution for mineral intake and geographical discrimination. *Food Chem.* 177: 330-338.
- Pohl P., Stelmach E., Welma M., Szymczycha-Madeja A. 2013. Determination of the elemental composition of coffee using instrumental methods. *Food Anal. Methods* 6: 598-613.
- Prieto M.H.E., Poltronieri Y., Farah A., Perrone D. 2013. Zinc supplementation, production and quality of coffee beans. *Rev. Ceres* 60: 293-299.
- Puerta-Quintero G.I. 2008. Riesgos para la calidad por la comercialización de café pergamino húmedo. *Avances Técnicos Cenicafe* 373: 1-4.
- Rosas A.J., Escamilla P.E., Ruiz R.O. 2008. Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latin.* 26: 375-384.
- Sacco D.A.F., Belik W., Velleda N.C. 2011. The coffee planting in Brazil. Evolution, current situation and new challenges facing the future. *Memoria Académica*. DOI: http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.5036/pr.5036.pdf
- Santos R.M.M., Lima D.R.A. 2016. Coffee health effects from early fetal development through childhood and adolescence. *In: Hughes C.L., Waters M.D. (eds). Translational Toxicology, Molecular and Integrative Toxicology*. Springer, Switzerland. pp. 321-337.
- Stelmach E., Pohl P., Szymczycha-Madeja A. 2013. The suitability of the simplified method of the analysis of coffee infusions on the content of Ca, Cu, Fe, Mg, Mn and Zn and the study of the effect of preparation conditions on the leachability of elements into the coffee brew. *Food Chem.* 142: 1956-1961.
- Stelmach E., Pohl P., Szymczycha-Madeja A. 2015. The content of Ca, Cu, Fe, Mg and Mn and antioxidant activity of green coffee brews. *Food Chem.* 182: 302-308.
- Suárez S.J.C., Rodríguez B.E.H., Duran B.E.H. 2015. Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Acta Agron.* 64: 342-348.
- Teketay D. 1999. History, botany and ecological requirements of coffee. *Walia* 20: 28-50.
- Temis-Pérez A.L., López-Malo A., Sosa-Morales M.E. 2011. Producción de café (*Coffea arabica* L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. *Tem. Sel. Ingen. Alim.* 5: 54-74.
- Tofalo R., Renda G., De Caterina R., Suzzi G. 2016. Coffee: Health Effects. *In: Caballero B., Finglas P., Toldrá F. (eds). Encyclopedia of Food and Health*. Oxford, UK. pp. 237-243.
- Toledo P.R.A.B., Pezza L., Pezza H.R., Toci A.T. 2016. Relationship between the different aspects related coffee quality and their volatile compounds. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 15: 705-719.



VALORACIÓN NUTRICIONAL DE GRANOS DE CAFÉ ROBUSTA (*Coffea canephora*) DE DIFERENTES ORÍGENES PROCESADOS EN MÉXICO

NUTRITIONAL ASSESSMENT OF ROBUSTA COFFEE (*Coffea canephora*) BEANS OF DIFFERENT ORIGINS PROCESSED IN MEXICO

Gómez-Merino, F.C.¹; Trejo-Téllez, L.I.^{1*}; Morales-Ramos, V.¹; Marín-Garza, T.²; Crosby-Galván, M.M.¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ²Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Zona Córdoba-Orizaba. Carretera Peñuela-Amatlán km 1. Peñuela, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94945.

*Autor de correspondencia: tlbia@colpos.mx

RESUMEN

El valor nutricional del café como principal bebida en el mundo puede variar de acuerdo a diferentes factores, incluyendo la especie y el origen geográfico donde se produce el grano. En este estudio se evaluaron indicadores de materia orgánica, cenizas, proteínas, grasas y fibra de muestras de café de la variedad Robusta (*Coffea canephora*) provenientes de México, Brasil y Vietnam. El mayor porcentaje de materia orgánica (96.2) y de grasas (6.7) se observó en muestras de granos provenientes de México. El porcentaje de fibra (21.9) fue mayor en las muestras de Vietnam, en tanto que el de cenizas (4.10) y el de proteínas (10.3) fueron mayores en las muestras de Brasil. Esto comprueba que el origen geográfico de los granos de café influye en su valor nutricional y que en el mercado de México podemos encontrar variación en estos indicadores.

Palabras clave: *Coffea*, países productores, calidad nutricional, materia orgánica, cenizas, proteínas, grasas, fibras.

ABSTRACT

The nutritional value of coffee as primary beverage in the world can vary according to different factors, including the species and the geographical origin where the beans are produced. In this study, indicators of humidity, organic matter, ash, protein, fat and fiber from coffee samples of the variety Robusta (*Coffea canephora*) originally from Mexico, Brazil and Vietnam, were evaluated. The highest percentage of humidity (6.1), organic matter (96.2) and fat (6.7) were observed in samples of coffee beans from Mexico. The percentage of fiber (21.9) was higher in the samples from Vietnam, while ash (4.10) and the protein (10.3) were higher in samples from Brazil. This shows that the countries of origin of coffee beans influence their nutritional value and that in the market in Mexico we can find variation in these indicators.

Keywords: *Coffea*, producing countries, nutritional value, moisture, organic matter, ash, protein, fat, fiber.



INTRODUCCIÓN

El café pertenece a la familia Rubiaceae, y al género *Coffea*, el cual tiene unas 25 especies. Del total de estas especies, las de mayor cultivo e importancia económica son *Coffea arabica* (Arabica) y *Coffea canephora* (Robusta) (ICO, 2017) (Figura 1).

El café ofrece el ingrediente principal de una de las bebidas más populares y apreciadas en el mercado internacional, gracias a su sabor y propiedades estimulantes y refrescantes, y entre las especies se distinguen algunas diferencias como la acidez de las variedades Arabicas y el amargor de las Robustas.

En el mundo el café se produce en la franja tropical en América, África y Asia, principalmente en Angola, Bolivia, Burundi, Camerún, Colombia, Congo, Costa Rica, Costa de Marfil, Cuba, Ecuador, El Salvador, Etiopía, Gabón, Gana, Guatemala, Filipinas, Honduras, India, Indonesia, Kenia, Liberia, Madagascar, Malawi, México, Nicaragua, Panamá, Papúa Nueva Guinea, Paraguay, Perú, República Centroafricana, Ruanda, Sierra Leona, Tanzania, Tailandia, Timor-Leste, Togo, Uganda, Vietnam, Yemen, Zambia y Zimbabue (ICO, 2016) (Figura 2). En 2016, en estos países se produjeron más de 25 millones de quintales de café Arabica y cerca de 14 millones de quintales de café Robusta (ICO, 2017).

De estos países, sobresalen Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia, Perú, India, Uganda, Honduras, Etiopía y México como los 10 principales productores del aromático en el mundo, y México se consolida como el líder mundial en la producción de cafés orgánicos (ANMECAFE, 2017).

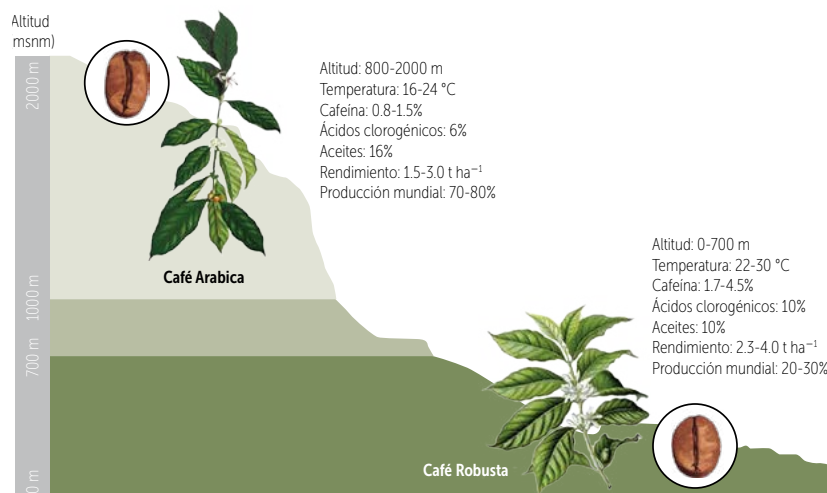


Figura 1. Las dos especies comerciales de café más importantes en el mundo: *Coffea arabica* (café Arabica) y *Coffea canephora* (café Robusta). En la figura se describen algunas de las principales características distintivas de cada una de ellas.

Los granos de café de las variedades de *Coffea arabica* contienen una mayor concentración de lípidos (un promedio de 14 a 17% en base seca) que *C. canephora*, mientras que en *C. canephora* hay mayor concentración de carbohidratos (42%), cafeína (2.4%), ácidos clorogénicos (3.8%), ácidos orgánicos (2.6%) y cenizas (4.7%) que

C. arabica (Oestreich-Janzen, 2013), lo que confiere diferente sabor y consistencia a la taza de café. No obstante, el sabor no solo depende de la especie, sino también del origen geográfico de las mismas y del procesamiento a que es sometido el grano, incluyendo el lavado vía húmeda (Puerta-Quintero, 2008; ICO, 2017). En este estudio se evaluó el valor nutricional de granos de café de la variedad Robusta (*Coffea canephora*) de muestras provenientes de tres países productores distintos: México, Brasil y Vietnam, específicamente respecto a los contenidos de materia orgánica, cenizas, proteínas, grasas y fibra del grano de café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de granos de café de la variedad

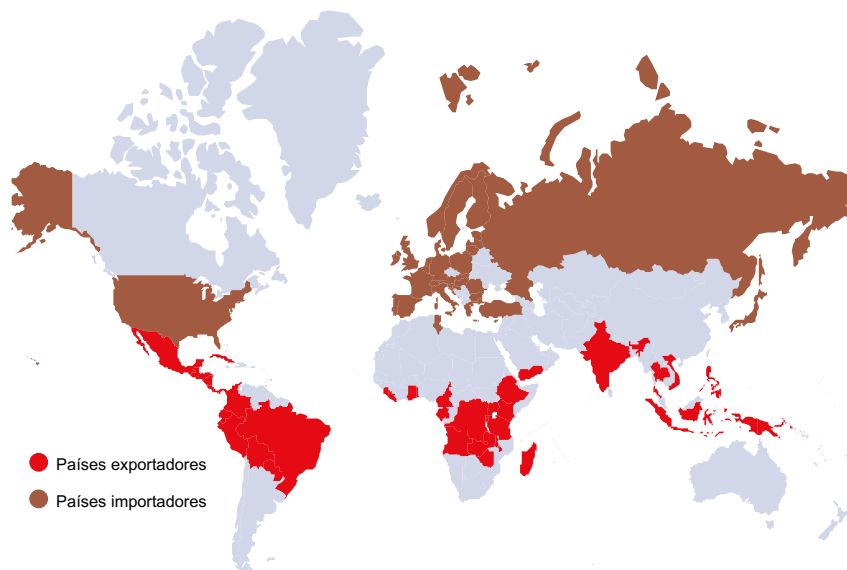


Figura 2. Principales países productores y exportadores (en rojo) e importadores (en marrón) de café en el mundo.

Robusta (*Coffea canephora*) provenientes México, de Brasil y de Vietnam se procesaron siguiendo básicamente la metodología de la AOAC (2015), con algunas adaptaciones.

Peso de biomasa fresca y seca del grano. El peso de la biomasa fresca de los granos se obtuvo al ser pesados por separado en una balanza analítica Pro AV213C (Adventurer Ohaus; Parsippany, NJ, EEUU). Posteriormente los granos fueron secados en una estufa de circulación de aire forzado HCF-125D (Riossa; Monterrey, México) a 70 °C por 48 h, con lo que se obtuvo el peso de la biomasa seca.

Una vez secos y para hacer las siguientes determinaciones, los granos fueron triturados en un molino de laboratorio tipo Wiley con malla de 1.0 mm (Wiley Modelo 4; Filadelfia, PA, EEUU).

Materia orgánica, cenizas, grasas, proteínas y fibra. Estas determinaciones se hicieron con base en los protocolos descritos por AOAC (2015). Para la determinación de cenizas se usó el protocolo AOAC 942.05, y por diferencia se estimó el porcentaje de materia orgánica. Para la cuantificación de grasas se usó el protocolo AOAC 920.39 y para el de proteínas el AOAC 2001.11. La determinación de fibras se hizo con base en el protocolo AOAC 985.29.

Análisis estadístico de datos.

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza para un diseño experimental completamente azar y cuando se detectaron diferencias estadísticas, se realizó la comparación de medias por el método de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contenidos porcentuales de las variables medidas para determinar la calidad nutricional de los granos de café Robusta (*Coffea canephora*) de diferentes orígenes que se procesaron y fueron analizados en este estudio aparecen en el Cuadro 1.

De acuerdo con el NFI (2009), los valores de humedad en café tostado pueden oscilar entre 5.4 y 6.2%. Sin

embargo, estos valores no fueron determinados en las muestras aquí analizadas.

Los contenidos de materia orgánica fueron mayores en las muestras de café mexicano, seguidas de las de Vietnam y por último las de Brasil. No obstante, los valores aquí encontrados están por arriba del rango reportado por el NFI (2009) y Oestreich-Janzen (2013), los cuales son inferiores al 95%.

De acuerdo con el NFI (2009) y Oestreich-Janzen (2013), el contenido de cenizas en granos de café oscila entre 3.9 y 4.7%. En este estudio, los valores de esta variable oscilaron entre 3.8 y 4.2%, lo cual puede considerarse dentro de los valores ya reportados. El mayor contenido de cenizas se encontró en los granos de café de Brasil.

Los contenidos de proteínas en granos de café oscilan del 13 al 15% (NFI, 2009), por lo que los valores reportados en el presente estudio son inferiores a este rango. Entre nuestras determinaciones, los valores más altos los mostraron los granos de Brasil (10.3), y los más bajos los de Vietnam (9.8), con valores intermedios para los granos de México (10.1).

Cuadro 1. Contenidos porcentuales de materia orgánica, cenizas, proteínas, grasas y fibra en granos de café Robusta (*Coffea canephora*) de tres países de origen.

País de origen del grano	Materia orgánica	Cenizas	Proteínas	Grasas	Fibra
	% (en base seca)				
México	96.2a	3.8c	10.1b	6.7a	17.8c
Brasil	95.8c	4.2a	10.3a	5.4c	19.8b
Vietnam	96.0b	4.0b	9.8c	6.1b	21.9a

Medias con letra distinta en la misma columna son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de (Tukey, $P \leq 0.05$). Cada valor es el promedio de tres repeticiones.

De acuerdo con el NFI (2009), los contenidos de grasas en granos de café pueden variar entre 15 y 16%, en tanto que Oestreich-Janzen (2013) reporta valores del 11 a 17%. En general, todas las muestras analizadas en este trabajo tuvieron contenidos de grasas muy inferiores a los reportados en otros estudios. De estos valores, las muestras de México tuvieron las medias más altas (6.7), y las de Brasil las más bajas (5.4); el café de Vietnam tuvo valores medios respecto a esta variable (6.1).

El contenido de fibras en granos de café es de aproximadamente 20% (NFI, 2009). En nuestro estudio, las

muestras analizadas estuvieron muy cercanas a este valor, con la media más alta en muestras de Vietnam (21.9) y la más baja en muestras de México (17.8).

Con excepción de los valores de proteínas y grasas, las demás variables analizadas en este estudio (materia orgánica, cenizas y fibras) mostraron similitud con otros reportes.

Además del origen geográfico y el procesamiento de tostado del café, así como el tiempo al que es sometido, es necesario puntualizar que muchos compuestos químicos reaccionan e interactúan en todas las etapas del procesamiento del café para obtener un producto final con una gran diversidad y complejidad de estructuras.

Variación en la composición química de acuerdo a la especie

Está bien documentado que los perfiles de compuestos químicos varía entre especies de café (i.e. *Coffea canephora* vs. *C. arabica*). A fin de tener un comparativo entre estas dos especies, en el Cuadro 2 se muestra resultados de diferentes investigaciones respecto a la composición de granos.

De acuerdo a Puerta-Quintero (2011), el café Robusta tostado presenta contenidos de humedad promedio de 4.76%, en tanto que en el café Arabica este contenido es mayor, y puede variar desde el 5 hasta el 11% (Mazzafera, 1999; Food-Info, 1999; NFI, 2009).

De acuerdo con Meléndez-Márquez (2006), el porcentaje de materia orgánica en café Robusta es de aproximadamente 93%, en tanto que el café Arabica es cercano al 90%.

En relación al porcentaje de cenizas en café Robusta se reportan valores de 3.6 a 4.7% (Food-Info, 1999; Mon-

tero-Rodríguez et al., 1999; Meléndez-Márquez, 2006; Puerta-Quintero, 2011; Oestreich-Janzen, 2013). Para café Arabica los reportes señalan que están dentro del rango de 3.5 a 4.6% (Montero-Rodríguez et al., 1999; Meléndez-Márquez, 2006; Oestreich-Janzen, 2013; Puerta-Quintero, 2011).

En café Robusta se reportan contenidos de proteínas del 12 al 16% (Meléndez-Márquez, 2006; Temis-Pérez et al., 2011; Puerta-Quintero, 2011), en tanto que en Arabica estos contenidos oscilan entre 12 y 15% (Montero-Rodríguez et al., 1999; Meléndez-Márquez, 2006; Temis-Pérez et al., 2011).

De acuerdo con Food-Info (1999), en café Arabica el contenido promedio de carbohidratos es de 57%, mientras que en café Robusta es de 61%.

Los porcentajes de azúcares libres (glucosa, fructosa y sacarosa) en café Robusta pueden variar desde un 3.5 a un 7.5% (Meléndez-Márquez, 2006; Oestreich-Janzen, 2013), mientras que en Arabica oscila entre 5 y 9% (Meléndez-Márquez, 2006; Redgwell y Fischer, 2006).

Respecto a los contenidos de grasas o lípidos en granos de café Robusta, éstos pueden variar entre 10 y 15% en base seca (Food-Info, 1999; Montero-Rodríguez et al., 1999; Temis-Pérez et al., 2011; Puerta-Quintero, 2011; Meléndez-Márquez, 2006; Oestreich-Janzen, 2013). En café Arabica, estos valores pueden ser más altos, en general por arriba de 15% en base seca (Food-Info, 1999; Mazzafera, 1999; Montero-Rodríguez et al., 1999; Meléndez-Márquez, 2006; NFI, 2009; Puerta-Quintero, 2011; Oestreich-Janzen, 2013).

En cuanto a fibras, en café Robusta se han reportado valores promedio de 17 a 20% (Meléndez-Márquez, 2006; Puerta-Quintero, 2011), mientras que en Arabica el valor es de aproximadamente 16% (Sánchez y Anzola, 2012).

Cuadro 2. Valores comparativos de contenidos porcentuales de humedad, materia orgánica, cenizas, proteínas, carbohidratos, azúcares, grasas y fibra en granos de cafés de diferentes especies.								
Especie de café	Humedad	Materia orgánica	Cenizas	Proteínas	Carbohidratos	Azúcares libres	Grasas	Fibra
	Porcentaje (en base seca)							
<i>Coffea arabica</i>	5-8	90-95	3-5	12-15	40-60	4-9	10-15	15-18
<i>Coffea canephora</i>	4-6	94-97	3-6	12-16	50-65	3-7	12-17	16-19

Variación en la composición química de acuerdo al origen

En el Cuadro 3 se muestran resultados promedio de algunos valores porcentuales de cafés Robusta y Arabicas de diferentes orígenes geográficos.

Los rangos de los valores de las variables reportadas para Brasil,

Uganda, Kenia y Colombia se basan en las revisiones de Puerta-Quintero (2011), y los Etiopía y Colombia fueron reportados por Sánchez y Anzola (2012). Se puede apreciar que el origen geográfico de los granos influye en la composición química de éstos. En general, los cafés colombianos presentan los valores más altos en las variables medidas.

CONCLUSIÓN

En este estudio se pudo comprobar que el origen geográfico de los granos de café influye en su composición nutricional. En general, materia orgánica y grasas fueron mayores en los granos provenientes de México, en tanto que los granos de Brasil mostraron medias más altas para cenizas y proteínas. El contenido porcentual de fibras fue mayor en granos de Vietnam. Para futuros estudios comparativos, habría que estandarizar las metodologías de determinación de estos constituyentes.

LITERATURA CITADA

- AMECAFE. 2017. Datos sobre café en México. Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café. <https://amecafe.org.mx>
- AOAC. 2015. Official Methods of Analysis of AOAC International. Food composition, additives and natural contaminants. Gaithersburg, MA, USA.
- Food-Info.1999. Química del café: Universidad de Wageningen. Wageningen, Países Bajos. <http://www.food-info.net/es/products/coffee/chemistry.htm>
- ICO. 2016. ICO Annual Meeting. Annual review 2014-2015. Strengthening the global coffee sector through international cooperation. International Coffee Organization. London, UK.
- ICO. 2017. Seminars and Workshops. International Coffee Organization. <http://www.ico.org/workshop.asp>
- Mazzafera P. 1999. Chemical composition of defective coffee beans. Food Chemistry 64: 547-554.

Cuadro 3. Valores comparativos de contenidos porcentuales de humedad, materia orgánica, cenizas, proteínas, grasas, carbohidratos y fibra en granos de cafés Arabica (A) y Robusta (R) de diferentes orígenes geográficos.

Origen el grano de café	Humedad	Cenizas	Proteínas	Grasas	Fibra	Carbohidratos
	Porcentaje (en base seca)					
México	6.1 R	3.8 R	10.1 R	6.7 R	17.8 R	-
Brasil	4.6 A	4.9 A	-	-	-	-
Colombia	6.3 A	3.8-5.8 A	11.8-15.7 A	3.0-11.4 A	66.8 A	72.8 A
Etiopía	-	-	18.5 A	3.2 A	65.0 A	34.6 A
Uganda	4.7 R	5.1 R	-	-	-	-
Kenia	2.7 A	4.6 A	-	-	-	-

- Meléndez-Márquez H.A. 2006. Establecimiento y validación de curvas de calibración NIRS para café oro de Honduras. Tesis. Universidad Zamorano. Francisco Morazán, Honduras. 37 p.
- Montero-Rodríguez M.G., Talón-Marques M.A., Sánchez-Muñiz F.J. 1999. Consumo de café y colesterol sérico. Grasas y Aceites 50: 141-152.
- NFI. 2009. Coffee bean, roasted, ground. National Food Institute. Technical University of Denmark. http://www.foodcomp.dk/v7/fcdb_details.asp?FoodId=0103
- Oestreich-Janzen S. 2013. Chemistry of coffee. In: Mande L., Ben H.W. (eds.). Comprehensive Natural Products. Elsevier, Oxford. pp. 1-26. doi: 10.1016/B978-008045382-8.00708-5
- Puerta-Quintero G.I. 2008. Riesgos para la calidad por la comercialización de café pergamino húmedo. Avances Técnicos Cenicafe 373: 1-4.
- Puerta-Quintero G.I. 2011. Composición química de una taza de café. Avances Técnicos Cenicafe 414: 1-12.
- Redgwell R., Fischer M. 2006. Coffee carbohydrates. Braz. J. Plant Physiol. 18: 165-174.
- Sánchez A.D., Anzola V.C. 2012. Chemical characterization of the coffee silverskin (*Coffea arabica*) in varieties Colombia and Caturra. Rev. Colomb. Quim. 41: 211-226.
- Temis-Pérez A.L., López-Malo A., Sosa-Morales M.E. 2011. Producción de café (*Coffea arabica* L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 5: 54-74.

EMBRIOGÉNESIS SOMÁTICA DIRECTA E INDIRECTA EN *Coffea arabica* var. Colombia

DIRECT AND INDIRECT SOMATIC EMBRYOGENESIS IN *Coffea arabica* var. Colombia

Avila-Victor, C.M.¹; Martínez-Infante, Á.¹; Ordaz-Chaparro, V.M.¹; Arjona-Suárez, E.J.; Iracheta-Donjuan, L.²; Gómez-Merino, F.C.³; Robledo-Paz, A.^{1*}

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ²Campo Experimental Rosario Izapa. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Tapachula-Cacahoatán km 18, Tuxtla Chico, Chiapas. C. P. 30870. ³Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348. Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946.

*Autor de correspondencia: arobledo@colpos.mx

RESUMEN

México es uno de los diez principales productores de café en el mundo; sin embargo, el estado actual de sus plantaciones enfrenta problemas de índole genético y fitosanitario, lo cual requiere que los cafetales sean renovados o repoblados con plantas de calidad. El cultivo de tejidos mediante la micropropagación es una técnica que puede contribuir a cubrir dicho requerimiento. El objetivo del presente estudio fue establecer las condiciones de cultivo para inducir la embriogénesis somática en *Coffea arabica* var. Colombia a partir de tejidos de hoja. Segmentos de hoja fueron cultivados durante 0, 3, 5, 8 o 10 días en medios de cultivo que contenían las sales de Yasuda o Murashige y Skoog (MS), 1.12 mg L⁻¹ de 6-bencilaminopurina (BAP), 0.5 mg L⁻¹ de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y 0.6 mM de sorbitol. El medio que contenía las sales de Yasuda, 1.12 mg L⁻¹ de BAP y 0.6 mM de sorbitol, promovió la formación de embriones sin una fase de callo (embriogénesis directa). El medio de cultivo compuesto por las sales MS, 0.6 mM de sorbitol, 1.12 mg L⁻¹ de BAP y 0.5 mg L⁻¹ de ácido 2,4-D indujo la embriogénesis somática indirecta en los explantes de hoja. El porcentaje de explantes que formaron embriones fue superior en la embriogénesis directa (77.8) respecto a la indirecta (55); el número de embriones por explante formados mediante embriogénesis indirecta (153.2) fue significativamente mayor que aquellos generados por embriogénesis directa (10.3). Las condiciones de cultivo establecidas en este trabajo permitieron la formación de embriones somáticos en la variedad Colombia.

Palabras clave: *Coffea arabica*, café, cultivo de tejidos, embriogénesis somática, sorbitol.

ABSTRACT

Mexico is one of the top ten coffee producers in the world; however, the current state of its plantations faces genetic and phytosanitary problems that require for coffee plantations to be renewed or repopulated with high quality plants. Tissue culture by micropropagation

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 4, abril. 2018. pp: 30-35.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** abril, 2018.



could help meet this requirement. The aim of this study was to establish culture conditions to induce somatic embryogenesis in *Coffea arabica* Colombia variety from leaf tissues. Leaf segments were cultured for 0, 3, 5, 8 or 10 days on media containing Yasuda or Murashige and Skoog salts (MS), 1.12 mg L⁻¹ 6-benzylaminopurine (BAP), 0.5 mg L⁻¹ 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), and 0.6 mM sorbitol. The culture medium containing the Yasuda salts, 1.12 mg L⁻¹ BAP and 0.6 mM sorbitol promoted the formation of embryos without a callus phase (direct embryogenesis). The medium composed of MS salts, 0.6 mM sorbitol, 1.12 mg L⁻¹ BAP, and 0.5 mg L⁻¹ 2,4-D acid induced indirect somatic embryogenesis in explants. The percentage of explants that formed embryos was higher in direct embryogenesis (77.8) compared to indirect embryogenesis (55); the number of embryos per explant formed by indirect embryogenesis (153.2) was significantly higher than those generated by direct embryogenesis (10.3). The culture conditions established in this study allowed the formation of somatic embryos in Colombia variety.

Key words: *Coffea arabica*, coffee, tissue culture, somatic embryogenesis, sorbitol.

ser una técnica útil en la propagación de genotipos sobresalientes de café. Una de las vías morfogénéticas que permite la regeneración de plantas *in vitro* es la embriogénesis somática, que consiste en la formación de embriones, a partir de células somáticas, los cuales son morfológica y fisiológicamente similares a los cigóticos. La formación de los embriones somáticos puede involucrar una fase de callo previa (embriogénesis indirecta) o formarse sin requerir que se forme callo (embriogénesis directa) (Yang y Zhang, 2010).

Aun cuando existen protocolos para la propagación de distintas variedades e híbridos de café mediante embriogénesis somática (Etienne, 2006; Ahmed *et al.*, 2013), hasta donde se tiene conocimiento, para la variedad Colombia no existen un protocolo de regeneración por embriogénesis somática, y dado que la respuesta *in vitro* está en función del genotipo, es necesario desarrollar protocolos específicos para cada especie o variedad (Silva *et al.*, 2015).

El objetivo del presente estudio fue establecer las condiciones de cultivo *in vitro* para inducir la embriogénesis somática en *C. arabica* var. Colombia a partir de tejidos de hoja.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desinfestación del material vegetal

El primer par de hojas jóvenes obtenidas de plantas de seis meses de edad de *Coffea arabica* var. Colombia, se colocaron en una solución fungicida al 1 % (Promyl®) durante 15 min y luego en una solución de hipoclorito de sodio con 1.8% de cloro activo (Cloralex®) por 20 min; para finalmente, enjuagarlas con agua destilada esterilizada.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de café arábica (*Coffea arabica* L.) en México representa una actividad estratégica que involucra más de tres millones de empleos, de los cuales el 70% está vinculado a productores y familias de comunidades indígenas del país (AMECAFE, 2012). Los estados de Chiapas y Veracruz aportan 72 % de la producción nacional y constituyen del 20 al 35 % de superficie sembrada de este producto (SIAP, 2013).

Factores como la falta de prácticas agrícolas adecuadas y la presencia de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) afectan de manera significativa este cultivo en México (SENASICA, 2013). Asimismo, las plantaciones presentan problemas de índole genético y fitosanitario, por lo que es necesario renovarlas o repoblarlas con plantas de buena calidad. Los métodos convencionales de propagación, como esquejes o semillas, pueden enfrentarse al alto costo de la mano de obra requerida, baja tasa de enraizamiento o rápida pérdida de la viabilidad (Etienne *et al.*, 2002; Alves *et al.*, 2015). Por otro lado, la incidencia de la roya en el cultivo del café impacta no sólo en la cantidad y la calidad de la producción, sino también en el costo que representa implementar las medidas de control en los cultivares susceptibles (CABI, 2013).

La variedad Colombia, cuyos progenitores son el "Híbrido de Timor" y la variedad "Caturra", presenta cualidades como alto rendimiento, buena adaptación y calidad de taza, además de tolerancia a la roya (Santana *et al.*, 2004; Santos-Briones y Hernández-Sotomayor, 2006).

Herramientas biotecnológicas como el cultivo de tejidos, ha permitido la propagación masiva de distintas especies de importancia económica (Venkataiah *et al.*, 2016; Verma *et al.*, 2016; Georget *et al.*, 2017), por lo que puede

Embriogénesis somática directa

Segmentos de 1 cm² provenientes de hojas (explantos) previamente desinfectadas se cultivaron durante 0, 3, 5, 8 y 10 días en el medio nutritivo que consistió de las sales de Yasuda *et al.* (1985), 1.12 mg L⁻¹ de 6-bencilamino-purina (BAP), 30 g L⁻¹ de sacarosa, 5.2 g L⁻¹ de phytigel, 100 mg L⁻¹ de ácido cítrico, 200 mg L⁻¹ de ácido ascórbico y 0.6 mM de sorbitol (medio 1); después, los explantes se transfirieron a un medio con la misma composición, pero sin sorbitol. El pH del medio se ajustó a 6.3 y se esterilizó durante 15 min en una autoclave a 121 °C.

Embriogénesis somática indirecta

Los explantes se cultivaron durante 0 y 10 días en un medio que contenía las sales basales de Murashige y Skoog (MS) (1962) adicionadas con 0.5 mg L⁻¹ de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), 1.12 mg L⁻¹ de BAP, 30 g L⁻¹ de sacarosa, 5.2 g L⁻¹ de phytigel, 100 mg L⁻¹ de ácido cítrico, 200 mg L⁻¹ de ácido ascórbico y 0.6 mM de sorbitol (medio 2); transcurrido este tiempo los explantes se subcultivaron en el mismo medio, pero carente de sorbitol. El medio se ajustó a un pH de 5.7 y se esterilizó durante 15 min en una autoclave a 121 °C.

Condiciones de cultivo

Los cultivos se incubaron en una cámara de ambiente controlado a 25±2 °C en oscuridad total.

Variables de respuesta y diseño experimental

Después de seis meses de cultivo se cuantificó el porcentaje de explantes que produjeron embriones y el número de embriones que se formaron en cada explante o gramo de callo. El diseño experimental para la embriogénesis di-

recta consistió en uno completamente al azar con cinco tratamientos y 10 repeticiones cada uno, se consideró una caja Petri con seis explantes como una repetición. Para la embriogénesis indirecta el diseño experimental fue completamente al azar con dos tratamientos y 10 repeticiones cada uno, una caja Petri con seis explantes se consideró como una repetición. Los datos obtenidos se analizaron mediante el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 1997) y la comparación de medias se llevó a cabo mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Los datos expresados en porcentaje se transformaron con la función arcoseno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Embriogénesis somática directa

Se formaron masas proembriogénicas en los márgenes de los explantes de todos los tratamientos después de cuatro semanas de cultivo (Figura 1a). Las masas proembriogénicas sufrieron una serie de divisiones organizadas que dieron lugar a la diferenciación de embriones somáticos (Figura 1b-d), tal como lo observaron Gatica *et al.* (2007) en *Coffea arabica* variedad Caturra y Catuai.

Después de seis meses de cultivo el porcentaje más alto de explantes que formaron callo embriogénico (77.8) y el número máximo de embriones por explante (10.3) se obtuvo en el medio 1 sin sorbitol; los valores más bajos para ambas variables se registraron en los explantes que permanecieron en sorbitol durante 10 días (Cuadro 1).

Al respecto, Cueva-Agila *et al.* (2015) indican que la exposición de los explantes de *Cattleya maxima* Lindl a 0.4 M de sorbitol por más de cuatro horas en medio líquido, inhibió la formación de callos y causó la muerte de los explantes

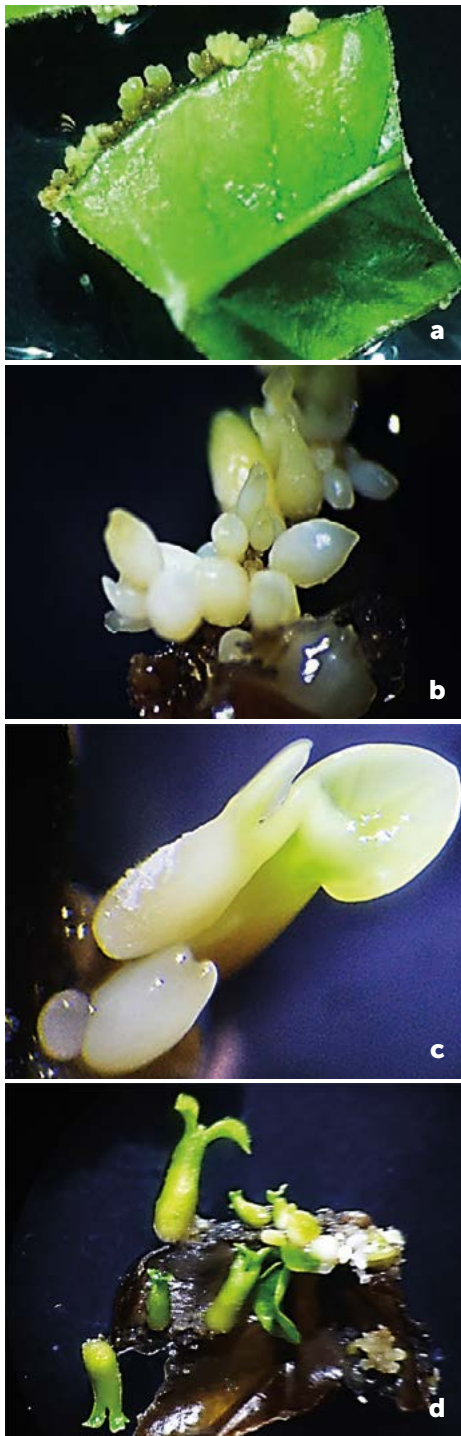


Figura 1. Embriogénesis somática directa de *Coffea arabica* var. Colombia. a) Masas proembriogénicas. b) Embriones somáticos en diferentes etapas de desarrollo. c) Embriones somáticos en etapa cotiledonar. d) Embriones somáticos germinados.

Cuadro 1. Embrionéesis somática directa en *Coffea arabica* var. Colombia después de seis meses de cultivo.

Tiempo en exposición al sorbitol (días)	Explantos que formaron embriones (%)	Número de embriones por explante
0	77.8 a	10.3 a
3	33.3 b	3.6 b
5	44.4 b	3.8 b
8	33.3 b	3.5 b
10	0.0 c	0.0 c

Valores con la misma letra dentro de las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey; $P \leq 0.05$).



Figura 2. Embrionéesis somática indirecta en explantes foliares de *Coffea arabica* cv. Colombia. A) Callo compacto. B) Callo friable. C) Embriones somáticos en distintas etapas de desarrollo. D) Embrión somático germinado.

(protocormos). Por su parte, Ghane y Nikam (2014) observaron bajo número de embriones somáticos en *Guizotia abyssinica* Cass cuando agregaron 0.01, 0.04 y 0.06 M de sorbitol al medio de cultivo.

Embrionéesis somática indirecta

No se observaron diferencias significativas para el porcentaje de explantes que formaron callo embrionéesis ni para el número de embriones que se formó en un gramo de callo cuando se cultivaron en el medio 2 con y sin sorbitol (Cuadro 2). Es posible que la concentración o el tiempo de exposición al sorbitol utilizados generaran un nivel de estrés por arriba del que los explantes tenían la capacidad de soportar, afectando negativamente la embrionéesis somática indirecta.

El estrés osmótico afecta el contenido de agua disminuyendo el potencial hídrico extracelular y la turgencia, lo cual puede repercutir en la supervivencia de las células y en su capacidad morfogénica (Lee y Huang, 2013; Odjakova y Conger, 1999).

Después de ocho semanas de cultivo fue posible observar la formación de callo friable (disgregable) y compacto (no disgregable) en los márgenes de los explantes, a partir de los cuales se formaron masas de proembrionéesis que dieron lugar a la diferenciación de los embriones somáticos (Figura 2 a y b).

Los callos generados por los explantes expuestos durante 10 días al sorbitol, así como aquellos que no lo fueron, formaron embriones somáticos después de seis meses de cultivo (Figura 2 c), mismos que se convirtieron en plántulas

Cuadro 2. Embrionéesis somática indirecta en *Coffea arabica* var. Colombia después de seis meses de cultivo.

Tiempo en exposición al medio 2 (días)	Explantos con embriones (%)	Número de embriones por gramo de callo
0	55.0 a	153.2 a
10	35.0 a	114.4 a

Valores con la misma letra dentro de las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey; $P \leq 0.05$).

cuatro semanas más tarde (Figura 2 d). Los resultados obtenidos indican que la composición medio de cultivo (sales nutritivas, reguladores de crecimiento, agente gelificante, pH) puede determinar la ruta morfogénica (directa o indirecta) que las células de un explante sigue para formar embriones somáticos. Pasternak *et al.*, (2002) y Ötvös *et al.* (2005) postulan que las auxinas como el 2,4-D y factores que causan estrés abiótico, son factores clave en la adaptación celular, reprogramación de la expresión genética, el metabolismo y la fisiología celular, que se traduce en totipotencia celular y adquisición de la capacidad para formar embriones somáticos. Asimismo, se ha propuesto, que la desdiferenciación celular y la embriogénesis somática son procesos asociados al estrés (Dutis *et al.*, 1995). De igual manera, Davletova (2001) encontró que varios genes relacionados con el estrés se inducen durante los primeros estados de la embriogénesis somática de alfalfa (*Medicago sativa*).

Considerando que el callo generado durante seis meses a partir de un explante (un gramo aproximadamente) produjo hasta 153.2 embriones (embriogénesis indirecta), mientras que, en el mismo periodo, los explantes que siguieron la vía directa de la embriogénesis sólo formaron un máximo de 10.3 embriones, se infiere que la embriogénesis somática indirecta es una ruta morfogénica más eficiente que la embriogénesis directa, bajo las condiciones de cultivo probadas en esta investigación. Mediante embriogénesis somática directa, es posible producir plantas fieles al tipo en un tiempo relativamente corto, pero su tasa de multiplicación generalmente es baja; en tanto que la embriogénesis

indirecta, podría causar algunas variaciones genéticas, no obstante, hace factible la propagación masiva (Jayanthi *et al.*, 2011; Bobadilla *et al.*, 2013).

La capacidad de formación de embriones mediante embriogénesis indirecta y las características de los callos embriogénicos obtenidos en la presente investigación, hacen factible su uso en la producción de plantas de café a gran escala por medio de biorreactores.

CONCLUSIONES

La formación de embriones somáticos por la vía directa o indirecta, estuvo en función de las sales nutritivas, reguladores de crecimiento, agente gelificante y pH utilizados en el medio de inducción. El sorbitol mostró un efecto negativo tanto en la embriogénesis directa como en la indirecta. Las condiciones de cultivo probadas en la presente investigación permitieron establecer un protocolo de propagación *in vitro* de la variedad Colombia mediante embriogénesis somática.

LITERATURA CITADA

- Ahmed W., Tileye F., Tesfaye D. 2013. Somatic embryogenesis of a coffee (*Coffea arabica* L.) hybrid using leaf explants. J. Hort. Sci. Biotech. 88: 469-475.
- Alves-dos Santos M.R., Augusto-de Souza C., Felix-da Rocha J., Ventura-de Araujo L., Curitiba-Espindula M. 2015. Comparison of economic efficiency between *in vitro* and field methods for vegetative propagation of *Coffea canephora*. Austr. J. Basic Appl. Sci. 9: 1-7.
- AMECAFE. 2012. Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café. Plan Integral de Promoción del Café de México.
- Bobadilla L.R., Cenci A., Georget F., Bertrand B., Camayo G., Dechamp E., Simpson J., Herrera J.C., Santoni S., Lashermes P., Etienne H. 2013. High genetic and epigenetic stability in *Coffea arabica* plants derived from embryogenic suspensions and secondary embryogenesis as revealed by AFLP, MSAP and the phenotypic variation rate. PLOS One 8: e56372.
- CABI. 2013. Centre for Agriculture and Biosciences International. Crop Protection Compendium. CAB International, Walling-Ford, UK.
- Cueva-Agila A.Y., Guachizaca I., Cella R. 2015. Combination of 2,4-D and stress improves indirect somatic embryogenesis in *Cattleya maxima* Lindl. Plant Biosyst. 149: 235-241.
- Davletova S., Mészáros T., Miskolczi P., Oberschall A., Torok K., Magyar Z., Dudits D., Deák M. 2001. Auxin and heat shock activation of a novel member of the calmodulin like domain protein kinase gene family in cultured alfalfa cells. J. Exp. Bot. 52: 215-221.
- Dudits D., Gyorgyey J., Bogre L., Bako L. 1995. Molecular biology of somatic embryogenesis. *In vitro* embryogenesis in plants. In: Thorpe T.A. (ed) Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. pp. 267-308.
- Etienne H. 2006. Somatic embryogenesis protocol: coffee (*Coffea arabica* L. and *C. canephora* P.) In: Protocols for Somatic Embryogenesis in Woody Plants. S.M. Jain and P.K. Gupta (eds.). Springer. Dordrecht, Netherlands. pp. 167-179.
- Etienne H., Anthony F., Dussert S., Fernandez D., Lashermes P., Bertrand B. 2002. Biotechnological applications for the improvement of coffee (*Coffea arabica* L.). In Vitro Cell. Develop. Biol.-Plant 38: 129-138.
- Gatica A.M., Arrieta E.G., Espinoza A.M. 2007. Comparison of three *in vitro* protocols for direct somatic embryogenesis and plant regeneration of *Coffea arabica* L. cvs. Caturra and Catuai. Agron. Costar. 3: 85-94.
- Georget F., Courtel P., Malo G.E., Hidalgo M., Alpizar E., Breitler J.C., Bertrand B., Etienne H. 2017. Somatic embryogenesis-derived coffee plantlets can be efficiently propagated by horticultural rooted mini-cuttings: A boost for somatic embryogenesis. Sci. Hort. 216: 177-185.
- Ghane S.G., Nikam T.D. 2014. Influence of osmotic stress, physicochemical factors and nitrogen supplements on embryogenesis and plantlet formation in *Guizotia abyssinica* Cass. Ind. J. Plant Physiol. 19: 263-272.

- Jayanthi M., Mohan N.M., Mandal P.K. 2011. Direct somatic embryogenesis and plantlet regeneration in oil palm. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology* 20: 249-251.
- Lee S.T., Huang W.L. 2013. Osmotic stress stimulates shoot organogenesis in callus of rice (*Oryza sativa* L.) via auxin signaling and carbohydrate metabolism regulation. *Plant Growth Regul.* 73: 193-204.
- McCook S., Vandermeer J. 2015. The big rust and the red queen: long-term perspectives on coffee rust research. *Phytopathol.* 105: 1164-73.
- Murashige T., Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 15: 473-497.
- Odjakova M.K., Conger B.V. 1999. The influence of osmotic pretreatment and inoculum age on the initiation and regenerability of switchgrass suspension cultures. *In Vitro Cell. Develop. Biol.-Plant* 35: 442-444.
- Ötvös K., Pasternak T.P., Miskolczi P., Domoki M., Dorjgotov D., Szucs A., Bottka S., Dudits D., Fehér A. 2005. Nitric oxide is required for, and promotes auxin-mediated activation of, cell division and embryogenic cell formation but does not influence cell cycle progression in alfalfa cell cultures. *Plant J.* 43: 849-860.
- Pasternak T.P., Prinsen E., Ayaydin F., Miskolczi P., Potters G., Asard H., Vanonckelen H.A., Dudits D., Fehér A. 2002. The role of auxin, pH, and stress in the activation of embryogenic cell division in leaf protoplast derived cells of alfalfa. *Plant Physiol.* 129: 1807-1819.
- Santana N., González M.E., Valcárcel M., Canto-Flick A., Hernández M.M., Fuentes-Cerda C.F.J., Barahona F., Mijangos-Cortés J., Loyola-Vargas V.M. 2004. Somatic embryogenesis: a valuable alternative for propagating selected robusta coffee (*Coffea canephora*) clones. *In Vitro Cell. Develop. Biol.-Plant* 40: 95-101.
- Santos-Briones C.D., Hernández-Sotomayor S.M. 2006. Coffee biotechnology. *Braz. J. Plant Physiol.* 18: 217-227.
- SENASICA. 2013. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Manual operativo de la campaña preventiva contra la roya del café. Ciudad de México.
- SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de Producción de Cultivos Cíclicos y Perennes 2011. Ciudad de México.
- Silva A.T., Barduche D., do Livramento K.G., Paiva L.V. 2015. A putative BABY BOOM-like gene (CaBBM) is expressed in embryogenic calli and embryogenic cell suspension culture of *Coffea arabica* L. *In Vitro Cell. Develop. Biol.-Plant* 51: 93-101.
- Venkataiah P., Bhanuprakash P., Kalyan S.S., Subhash K. 2016. Somatic embryogenesis and plant regeneration of *Capsicum baccatum* L. *J. Gen. Engin. Biotech.* 14: 55-60.
- Verma S.K., Das A.K., Cingoz G.S., Uslu E., Gurel E. 2016. Influence of nutrient media on callus induction, somatic embryogenesis and plant regeneration in selected Turkish crocus species. *Biotech. Rep.* 10: 66-74.
- Yang X., Zhang X. 2010. Regulation of somatic embryogenesis in higher plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 29: 36-57.
- Yasuda T., Fujii Y., Yamaguchi T. 1985. Embryogenic callus induction from *Coffea arabica* leaf explants by benzyladenine. *Plant Cell Physiol.* 26: 595-597.



VARIACIONES EN ÁREA FOLIAR Y CONCENTRACIONES DE CLOROFILAS Y NUTRIMENTOS ESENCIALES EN HOJAS DE CAFÉ ROBUSTA (*Coffea canephora* P.) DURANTE UN CICLO ANUAL

VARIATIONS IN THE FOLIAR AREA AND CONCENTRATIONS OF CHLOROPHYLLS AND ESSENTIAL NUTRIENTS IN LEAVES OF ROBUSTA COFFEE (*Coffea canephora* P.) DURING AN ANNUAL CYCLE

Marín-Garza, T.¹; Gómez-Merino, F.C.²; Aguilar-Rivera, N.¹; Murguía-González, J.¹; Trejo-Téllez, L.I.³; Pastelín-Solano, M.C.⁴; Castañeda-Castro, O.^{4*}

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Peñuela-Amatlán de los Reyes km 1, Peñuela, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94945. ²Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. ³Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km. 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ⁴Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Prolongación de Oriente 6 No. 1009. Orizaba, Veracruz. C. P. 94340.

*Autor de correspondencia: odcastaneda@uv.mx

RESUMEN

Las hojas son el principal órgano donde se lleva a cabo la fotosíntesis en la planta y su composición química puede variar de acuerdo a sus etapas de desarrollo. En esta investigación se midió el área foliar, la concentración de clorofila y de nutrientes en hojas de café Robusta (*Coffea canephora*) de las variedades Robmex y FRT-07 en diferentes etapas del cultivo: vegetativa, floración y fructificación. El área foliar ($\sim 140 \text{ cm}^2$) fue mayor en la variedad Robmex durante la etapa de floración. En esta misma variedad se tuvieron medias más altas de clorofila a ($2.00 \text{ mg g}^{-1} \text{ PMF}$) y total ($2.83 \text{ mg g}^{-1} \text{ PMF}$), así como de Cu (47.0 mg kg^{-1}) en la etapa vegetativa. Con excepción del Cu, todos los demás nutrientes esenciales fueron más altos en la variedad FRT-07.

Palabras clave: Café, variedad Robusta, área foliar, clorofila, nutrientes esenciales.

ABSTRACT

Leaves are the main organ where photosynthesis takes place in the plant, and their chemical composition can vary according to their stages of development. In this study, the foliar area was measured, as well as the concentration of chlorophyll and nutrients in Robusta coffee (*Coffea canephora*) leaves of the varieties Robmex and FRT-07 in different stages of growth: vegetative, flowering and fructification. The leaf area ($\sim 140 \text{ cm}^2$) was larger in the Robmex variety during the flowering stage. In this same variety, there were higher means of chlorophyll a ($2.00 \text{ mg g}^{-1} \text{ FBW}$) and total ($2.83 \text{ mg g}^{-1} \text{ FBW}$), and of Cu (47.0 mg kg^{-1}) in the vegetative stage. With the exception of Cu, all other essential nutrients were higher in the FRT-07 variety.

Keywords: Coffee, Robusta variety, foliar area, chlorophyll, essential nutrients.

INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos más valiosos para la economía mundial ya que genera empleos a millones de personas, y para muchos países representa hasta el 80 % de sus ingresos por exportación (ICO, 2017). El cultivo de café en México es tan importante que está relacionado con el aspecto económico, social y ambiental, dando sustento a más tres millones de connacionales que están vinculados de alguna forma con el café, generando divisas, en promedio de 900 millones de dólares anuales (SAGARPA, 2015). De los 3.8 millones de sacos (de 60 kg) de café que se producen en México, el 96 % es café Arabica y el restante 4 % es café Robusta, con lo que el país se ubica dentro de los 10 principales productores y exportadores de este grano y es el líder en producción de café orgánico (FIRA, 2015; USDA, 2017).

La planta de café de la variedad Robusta es un arbusto que puede alcanzar 10 metros de altura, tiene una raíz poco profunda y con granos pequeños, en comparación con los de la especie Arabica, además su sabor es más fuerte y amargo, ya que duplica el contenido de cafeína (hasta 4.5 %), aunque se considera de calidad inferior. Algunas variedades de Robusta son valoradas por su sabor profundo y su alta calidad (FIRA, 2015).

Una de las ventajas del café Robusta (*Coffea canephora*), es que su producción es mayor (hasta 4 t ha^{-1} de grano al año), presenta tolerancia a plagas y cambios climáticos, se requieren menor cantidad de café cereza para obtener un quintal de café oro (González-Concepción y Rubio-Pérez, 2014), además de la importancia que tiene en la industria del café soluble, por la mayor cantidad de sólidos solubles que lo hace más productivo que otras especies (Ribeiro *et al.*, 2014).

De acuerdo con Hernández-Falcón *et al.* (2015) el café no solo se consume por su sabor, sino también porque tiene muchos beneficios para la salud humana incluyendo la reducción de riesgos a enfermedades como cirrosis hepática, diabetes tipo dos, cáncer colorrectal y hepático, así como enfermedades cardiovasculares, y neurodegenerativas (*i.e.* Parkinson y Alzheimer) (Fonseca-García *et al.*, 2014).

La composición química del grano depende de la actividad fotosintética en la hoja, y los contenidos de biomoléculas como carbohidratos, lípidos, proteínas y clorofilas de la hoja dependen de varios factores incluyendo la etapa fenológica. De hecho, durante la fructificación, nutrimentos como N, K y Mg se movilizan de las hojas a los frutos (Sadeghian *et al.*, 2012), lo que indica que las concentraciones de éstos en tejido foliar también fluctúan a través del ciclo de desarrollo de la planta (Sadeghian y Salamanca, 2015).

En este estudio se cuantificaron las fluctuaciones del área foliar, concentración de clorofilas y macro y micro nutrimentos en hojas de plantas de café Robusta (*Coffea canephora*) de las variedades Robmex y FRT-07 en un ciclo anual.

METODOLOGÍA

Material vegetal y condiciones para el experimento

El presente trabajo se realizó con hojas de plantas de café de las variedades Robmex y FRT-07 de la especie *Coffea canephora*. Las plantas de café tenían cinco años de edad, provenientes de parcelas demostrativas de la finca La Laja, ubicada en la congregación La Laja, municipio de Tlaltetela, Veracruz, México, a $19^\circ 17' 10.8''$ de latitud norte, y $96^\circ 56' 51.9''$ de longitud oeste, y 1130 m.s.n.m. Las plantas se cultivan bajo sol, con el método tradicional selectivo (siembra, fertilización y poda), suelo tipo cambisol con plantaciones de 2000 arbustos por hectárea. Las etapas del ciclo anual del cultivo evaluadas

fueron: vegetativa (febrero), floración (mayo) y fructificación (diciembre).

Medición del área foliar

El área foliar se midió con el instrumento óptico medidor de área foliar CID-Biocience modelo CI-202 (Camas, WA, EEUU) que determina indirectamente el índice de área foliar (IAF).

Análisis de clorofilas

Se midió la concentración de clorofilas (clorofila a, b y total) en hojas de café siguiendo la metodología descrita por Harborne (1973). Tejido foliar fresco se colocó en acetona al 80 %, se mantuvo en maceración por 24 horas a 4 °C, se filtró y se cuantificó el contenido de clorofilas con base al peso de biomasa fresca (PBF) a una absorbancia de 645 y 665 nm en el espectrofotómetro ThermoFisher modelo Genesys 10S UV-VIS (Madison, WI, EEUU).

Análisis nutricional

La concentración de N en hoja se realizó por el método micro-Kjeldahl (Bremner, 1965) y los nutrientes P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Fe y B se cuantificaron por espectrofotometría de emisión óptica de inducción por plasma acoplado, en un equipo ICP-OES modelo 725 (Agilent; Mulgrave, Australia), siguiendo la metodología descrita por Alcántar y Sandoval (1999).

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento tuvo un diseño factorial 2×3, en donde el factor 1 fue la variedad a dos niveles (Robmex y FRT-07) y el factor 2 fue la etapa fenológica (vegetativa, floración, fructificación). Los tratamientos se distribuyeron completamente al azar, y con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (SAS, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor área foliar se presentó en la variedad Robmex durante la etapa de floración. Los demás tratamientos observaron medias estadísticamente similares entre

ellas, independientemente de la variedad y de la etapa de evaluación, aunque numéricamente, la menor área se observó en la variedad FRT-07 durante la floración (Figura 1).

De acuerdo con Montoya-Restrepo *et al.* (2017) el área foliar se relaciona con la tasa fotosintética, evapotranspiración, y desarrollo vegetativo, así como con la absorción de agua y nutrientes.

Estudios realizados entre etapas fisiológicas de distintos cultivos, han observado que los valores más altos del área foliar se dan poco después del inicio de floración o durante esta etapa (Acosta-Díaz *et al.*, 2008; Rodríguez-Cabello *et al.*, 2015). De acuerdo con Arcila *et al.* (2007), esto se debe a que una parte de las funciones de las hojas es la de proteger a las yemas, flores y frutos de la radiación y el medio ambiente adverso. El aumento

del área foliar en el árbol, se relaciona con la fructificación y la producción (Almenares-Garlobo *et al.*, 2015). De acuerdo con Montoya-Restrepo *et al.* (2017), la relación del área foliar con la producción de café cereza indica que por cada 100 cm² de área foliar existe un incremento de 2.37 g de café cereza verde aproximadamente.

Los tratamientos también afectaron las concentra-

ciones de clorofilas (Cuadro 1). La mayor concentración de clorofila a (2.0 mg g⁻¹ PMF) y total (2.8 mg g⁻¹ PMF) se observó en la variedad Robmex en etapa vegetativa. En todos los casos, la menor concentración de las tres variables (clorofila a, b y total) se observó en la variedad FRT-07 durante la etapa de floración.

En cítricos, Reyes-Santamaría *et al.* (2000) observaron que la mayor tasa fotosintética se lleva a cabo durante los meses de octubre a febrero, en donde la planta acumuló carbohidratos como fuente de reserva y para utilizarlos durante el crecimiento vegetativo, floración y fructificación. De acuerdo a Gonçalves de Oliveira *et al.* (2009), un óptimo contenido de clorofila en hojas de café es necesaria para el adecuado proceso de fotosíntesis.

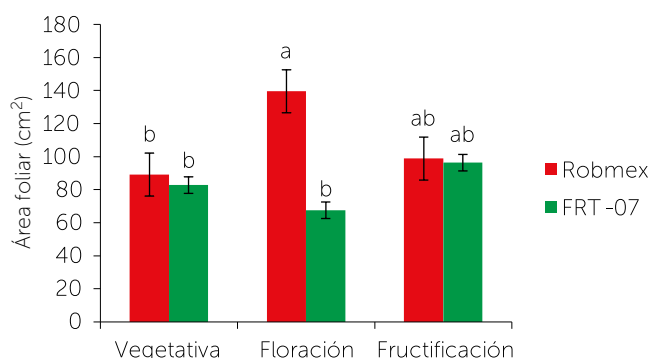


Figura 1. Área foliar en plantas de café (*Coffea canephora*) por efecto de la interacción variedad × etapa fisiológica en las variedades Robmex y FRT-07 durante diferentes etapas del ciclo anual. Medias ± DE con letra distinta sobre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

Cuadro 1. Contenido de clorofilas por efecto de la interacción variedad × etapa fisiológica en hojas café (*Coffea canephora*) variedades Robmex y FRT-07 durante el ciclo anual del cultivo.

Variedad	Etapa	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
		mg g ⁻¹ PMF		
Robmex	Vegetativa	2.00±0.53 a	0.80±0.35 b	2.83±0.87 a
	Floración	1.76±0.89 c	1.00±0.39 a	2.57±0.86 c
	Fructificación	1.45±0.98 d	0.56±0.67 d	2.03±0.87 d
FRT-07	Vegetativa	1.89±0.64 b	0.74±0.86 c	2.66±0.69 b
	Floración	0.83±0.47 f	0.33±0.67 f	1.17±0.74 f
	Fructificación	1.24±0.37 e	0.48±0.87 e	1.74±0.86 e

Medias ±DE con letra distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) por etapa del ciclo de cultivo. PMF: Peso de la Materia Fresca.

Los factores de estudio y sus niveles también afectaron la concentración de los macronutrientes evaluados en hojas (Cuadro 2). En ambas variedades, las mayores concentraciones de N se observaron durante la etapa de fructificación. Para el caso de P, hubo un efecto marcado de la variedad, más que de la etapa, con la variedad FRT-07 mostrando los mayores niveles de este nutriente en hoja. El K observó una mayor fluctuación entre tratamientos, con los mayores niveles en la variedad FRT-07 durante la fase vegetativa, y los menores en Robmex durante la etapa vegetativa. Ca y Mg mostraron un comportamiento muy semejante entre ellos, pues las mayores concentraciones se observaron en la variedad FRT-07 durante la etapa de floración, en tanto que los niveles más bajos se registraron en Robmex durante la fructificación.

Se sabe que los requerimientos de nutrientes y agua de las plantas cambian de acuerdo a su etapa de desarrollo durante del año (Ramírez *et al.*, 2010). Por ser requerido para la división y elongación celular, el N es mayormente movilizado durante las etapas tempranas

del crecimiento y desarrollo (Monsalve *et al.*, 2009). Dubberstein *et al.* (2016) observaron que en hojas de plantas de café al iniciar la fructificación los niveles de N y P fueron más altos, mientras que las concentraciones de Ca, Mg y S se observaron variaciones a través del tiempo y que estaban más relacionados con los nutrientes disponibles en el suelo y el clima, así como de la especie y variedad de la planta que con el desarrollo en etapa de fructificación (Sadeghian *et al.*, 2012).

En plantas de café, los nutrientes guardan una estrecha relación de la hoja a la fruta, con un año de alta producción y otro de bajo rendimiento debido al agotamiento de fotoasimilados y nutrientes, particularmente el N, P y K (Reis *et al.*, 2009).

En cuanto al contenido de los micronutrientes, durante la etapa vegetativa se observó la mayor concentración de Fe (283.8 mg kg⁻¹) en la variedad FRT-07, así como Cu (47.87 mg kg⁻¹) en la variedad Robmex en la etapa vegetativa. El Zn (22.3 mg kg⁻¹) destacó en la variedad

Cuadro 2. Concentración de macronutrientes por efecto de la interacción variedad × etapa fisiológica en hojas de café (*Coffea canephora*) variedades Robmex y FRT-07 durante el ciclo anual del cultivo.

Variedad	Etapa	N	P	K	Ca	Mg
		g kg ⁻¹ PMS				
Robmex	Vegetativa	21.10±0.94 c	0.78±0.69 b	9.37±0.85 e	10.65±0.87 d	2.36±0.55 cd
	Floración	23.80±0.94 d	0.99±0.65 b	13.20±0.59 d	13.01±0.54 c	2.52±0.69 c
	Fructificación	23.90±0.90 b	0.99±0.90 b	14.93±0.65 b	10.63±0.86 d	2.14±0.97 d
FRT-07	Vegetativa	20.50±0.96 e	1.05±0.90 ab	17.86±0.58 a	12.99±0.69 c	3.32±0.86 b
	Floración	20.80±0.95 d	1.06±0.68 a	9.50±0.54 e	20.35±0.69 a	4.22±0.96 a
	Fructificación	26.00±0.86 a	1.22±0.54 a	13.70±0.86 c	17.88±0.65 b	3.20±0.97 b

Medias ± DE con letra distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) por etapa del ciclo de cultivo. PMS: Peso de la Materia Seca.

FRT-07 durante la floración, así como el Mn (471.6 mg kg⁻¹) y B (62.5 mg kg⁻¹), en la misma variedad en la etapa de fructificación (Cuadro 3).

Los micronutrientes son elementos con funciones fisiológicas esenciales en el metabolismo de las plantas. Algunos de ellos funcionan como cofactores enzimáticos o como activadores en la formación estructural de la planta (Dechen y Nachtigall, 2006). De la misma forma a lo observado en macronutrientes, las mayores concentraciones de micronutrientes se registraron principalmente en la variedad FRT-07. Estas fluctuaciones pueden ser atribuidas a cambios en el medio ambiente, la disponibilidad hídrica, la especie y variedad de la planta (Sadeghian y Salamanca, 2015).

La disminución en la concentración foliar de micronutrientes es debido a que el requerimiento de éstos por la planta es mayor a su tasa de absorción, lo que produce una dilución de nutrientes en algunos órganos (Meza y Pire, 2008). Sin embargo, las tendencias registradas en los análisis foliares en café, no siempre son concluyentes, lo que puede ser atribuible al hecho de que los nutrientes requeridos por los frutos, los proporcionan principalmente las hojas cercanas a los frutos, las cuales no corresponden a las que se muestran para su análisis químico que regularmente son el tercer o cuarto par de hojas de la rama (Sadeghian y Salamanca, 2015).

Es importante destacar que las concentraciones tanto de macronutrientes como de micronutrientes observados en este estudio están dentro del rango reportado por Dubberstein *et al.* (2016).

CONCLUSIONES

Tanto el factor variedad como la etapa del cultivo influyen en las variables evaluadas. Durante la etapa vegetativa las hojas de café en la variedad Robmex presentaron las concentraciones más altas de clorofila a y total, y Cu, mientras que en la etapa de floración se observó la mayor área foliar. Las concentraciones más altas de N y P se observaron en FRT-07 durante la fructificación. El K fue más abundante en FRT durante la fase vegetativa. Ca y Mg fueron mayores en FRT durante la floración. Los micronutrientes mostraron un comportamiento similar a los macronutrientes, dado que a excepción del Cu, todos los demás mostraron concentraciones más elevadas en la variedad FRT-07.

LITERATURA CITADA

Acosta-Díaz E., Acosta-Gallegos J.A., Ramírez A., Domingo M., Padilla-Ramírez J.S. 2008. Relación entre índice de área foliar y rendimiento en frijol bajo condiciones de secano. Agr. Téc. Méx. 34: 13-20.

Alcántar G., Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial Núm. 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo. Estado de México. 156 p.

Almenares-Garlobo G.R., Pérez-Hernández M.C., Torres-de la Noval W., Varela-Nualles M., Pavón-Rosales M.I. 2015. Characterization of the vegetative development and its relationship with fruiting and production of orange trees [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]. Cult. Trop. 36: 2 56-61.

Arcila J., Farfán F., Moreno A., Salazar L.F., Hincapié E. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. Cenicafé 7: 144-160

Bremner J. 1965. Total nitrogen. Agronomy 9: 1149-1178.

Dechen A.R., Nachtigall G.R. 2006. Micronutrientes. In: Fernandes, M. S. Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. pp. 327-354.

Dubberstein D., Partelli F.L., Dias J.R.M., Espindola, M.C. 2016. Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil. Austr. J. Crop Sci. 10: 701-710.

Cuadro 3. Concentraciones de micronutrientes por efecto de la interacción variedad x etapa fisiológica en hojas de café (*Coffea canephora*) variedad Robmex y FRT-07 durante el ciclo anual del cultivo.

Variedad	Etapa	Fe	Cu	Zn	Mn	B
		mg kg ⁻¹ PMS				
Robmex	Vegetativa	170.09±0.60 c	47.87±0.50 a	5.89±0.78 f	251.77±0.65 d	32.18±0.76 f
	Floración	124.30±0.95 d	7.90±0.95 e	8.71±0.65 e	243.64±0.53 e	36.05±0.94 e
	Fructificación	111.43±0.96 f	8.32±0.86 d	10.32±0.68 c	158.00±0.69 f	45.21±0.43 d
FRT-07	Vegetativa	283.85±0.79 a	18.75±0.95 b	19.41±0.94 b	296.25±0.76 c	47.72±0.78 c
	Floración	120.62±0.65 e	7.50±0.86 f	22.32±0.96 a	312.84±0.68 b	54.11±0.85 b
	Fructificación	211.42±0.69 b	14.25±0.69 c	9.49±0.45 d	471.63±0.63 a	62.58±0.76 a

Medias ± DE con letra distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas (P≤0.05) por etapa del ciclo de cultivo. PMS: Peso de la Materia Seca.

- FIRA. 2015. Panorama Agroalimentario 2015. Café. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61949/Panorama_Agroalimentario_Caf_2015.pdf
- Fonseca-García L., Calderón-Jaimes L.S., Rivera M.E. 2014. Capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en café y subproductos del café producido y comercializado en norte de santander (Colombia). *Vitae* 21: 228-236.
- Gonçalves de Oliveira J., da Costa Aguiar Alves P.L., Pierre Vitória A. 2009. Alterations in chlorophyll a fluorescence, pigment concentrations and lipid peroxidation to chilling temperature in coffee seedlings. *Environ. Exper. Bot.* 67: 71-76.
- González-Concepción O., Rubio-Pérez A. 2014. Cambio climático y la percepción de los campesinos sobre la variedad café Robusta En la zona de "La Torcaza", Sierra Maestra, Cuba. *Batey: Rev. Cub. Antropol. Sociocult.* 6: 110-119.
- Harborne J.B. 1973. *Phytochemical methods*. London: Chapman and Hall.
- Hernández-Falcón D., Ledea-Lozano O.E., Fernández-García L.A., González-García E. 2015. Validación de un método cromatográfico para la determinación de cafeína en muestras acuosas de la Industria Farmacéutica. *Rev. Cub. Farmac.* 49: 219-231.
- ICO. 2017. International Coffee Organization. Statistics. http://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics
- Meza N., Pire, R. 2008. Evaluación de la nutrición mineral del nispero (*Manilkara achras* Miller Fosberg) en plantas jóvenes cultivadas en contenedores. *Rev. Fac. Agron.* 25: 496-506.
- Monsalve J., Escobar R., Acevedo M., Sánchez M., Coopman R. 2009. Efecto de la concentración de nitrógeno sobre atributos morfológicos, potencial de crecimiento radical y estatus nutricional en plantas de *Eucalyptus globulus* producidas a raíz cubierta. *Bosque* 30: 88-94.
- Montoya-Restrepo E., Hernández-Arrefondo J., Unigarro-Muñoz C., Flórez-Ramos C. 2017. Estimación del área foliar en café variedad Castillo a libre exposición y su relación con la producción. *Cenicafé* 68: 55-61.
- Ramírez V.H., Arcila J., Jaramillo A., Rendón J.R., Cuesta G., Menza H., Sánchez P. 2010. Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica térmica y de brillo solar. *Cenicafé* 61: 132-158.
- Reis A. R., Favarin J.L., Gallo L.A., Malavolta E., Morales M.F., Lavres J. 2009. Nitrate reductase and glutamine synthetase activity in coffee leaves during fruit development. *Rev. Brasil. Cien. Solo* 33: 315-324.
- Reyes-Santamaría M.I., Villegas-Monter M.A., Colinas-León M.T., Calderón-Zavala G. 2000. Peso específico, contenido de proteína y de clorofila en hojas de naranjo y tangerino. *Agrociencia* 34: 49-55.
- Ribeiro B., Mendonça L., Assis G., Mendonça J., Malta M., Montanari F. 2014. Evaluation of the chemical and sensory characteristics of *Coffea canephora* Pierre and *Coffea arabica* L. blends. *Coffee Sci.* 9: 178-186.
- Rodríguez-Cabello J., Díaz-Hernández Y., Pérez-González A., Fundora L.R., Rodríguez-Hernández P. 2015. Análisis del crecimiento de un genotipo silvestre de *Carica papaya* L. cultivado *ex situ* y cv. "Maradol Roja". *Cult. Trop.* 36: 96-105.
- Rodríguez-Larramendi L.A., Guevara-Hernández F., Gómez-Castro H., Fonseca-Flores M., Gómez-Castañeda J.C., Pinto-Ruiz R. 2016. Leaf anatomy related to photosynthetic pathway in coffee trees (*Coffea arabica* L., var. *Caturra Rojo*) exposed to different solar radiation levels at Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agron.* 65: 248-254.
- Sadeghian K.S., Mejia M.B., González O.H. 2012. Acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio en los frutos de café. *Cenicafé* 63: 07-18.
- Sadeghian K.S. 2010. Fertilización: Una práctica que determina la producción de los cafetales. *Avan. Téc. Cenicafé* 391: 1-8.
- Sadeghian S., Salamanca A. 2015. Micronutrimentos en frutos y hojas de café. *Avances Cenicafé* 66: 73-87.
- SAGARPA. 2015. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://www.gob.mx/sagarpa>.
- SAS. 2011. SAS/STAT® 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 178 p.
- USDA. 2017. USDA Foreign Agriculture Service. Global Agricultural Information Network. GAIN Report Number: MX7021. Mexico. Coffee Annual. Coffee Production Increase. https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Coffee%20Annual_Mexico%20City_Mexico_5-25-2017.pdf



VIABILIDAD DE PROPÁGULOS MICORRIZÓGENOS-ARBUSCULARES EN PLANTACIONES DE CAFÉ (*Coffea arabica*) PERTURBADOS POR LA EROSIÓN

VIABILITY OF ARBUSCULAR-MYCORRHIZAL FUNGI PROPAGULES IN COFFEE (*Coffea arabica*) PLANTATIONS DISTURBED BY EROSION

Lara-Capistrán, L.¹; Gómez-Merino, F.C.²; Hernández-Montiel, L.G.²; Reyes-Pérez, J.J.^{3,4}; Zulueta-Rodríguez, R.^{1*}

¹Universidad Veracruzana Campus Xalapa. Facultad de Ciencias Agrícolas. Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz, México. C. P. 91090. ²Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348. Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 94946. ³Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Mar Bermejo No. 195, Col. Playa de Santa Rita. La Paz, BCS, México. C. P. 23090. ⁴Universidad Técnica de Cotopaxi. Extensión La Maná. Av. Los Almendros y Pujilí, Edificio Universitario. La Maná, Ecuador. ⁵Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Walter Andrade km 1.5 Vía a Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

*Autor para correspondencia: rzulueta36@hotmail.com

RESUMEN

En estudios agroecológicos es importante conocer la viabilidad de los hongos formadores de micorriza arbuscular (HMA), ya que estos se ven afectados por el manejo del cultivo. Esta información permite inferir su capacidad para establecer la simbiosis y el tiempo que perdura la colonización micorrizógena arbuscular. Por tal motivo, se evaluó la viabilidad de propágulos infectivos de los HMA en ocho agroecosistemas cafetaleros con diferentes grados de erosión del suelo (EroC1, EroC2, EroC3, SevEroC1, SevEroC2, SevEroC3, MinEroC y NoEroC). La colonización viable más alta se presentó en los agroecosistemas no erosionados (MinEroC y NoEroC) y los valores más bajos se encontraron en los agroecosistemas altamente erosionados (SevEroC1 21%, SevEroC2 30% y SevEroC3 30%), sin observarse colonización arbuscular. Por otro lado, el número de esporas viables fue notable en estos agroecosistemas (26 en SevEroC1, 24 en SevEroC2 y 247 en SevEroC3). El mayor porcentaje de micelio viable se encontró en los agroecosistemas no erosionados (MinEroC 19% y NoEroC 35%), en comparación con los agroecosistemas altamente erosionados (SevEroC1 2.2%, SevEroC2 4.1% y SevEroC3 6.5%). Los resultados obtenidos muestran que la erosión del suelo afecta a la viabilidad de los propágulos infectivos de HMA en los agroecosistemas cafetaleros evaluados.

Palabras clave: *Coffea arabica*, succinato deshidrogenasa, esporas, micelio extra-radical.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 4, abril. 2018. pp: 42-47.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** abril, 2018.

ABSTRACT

In agroecological research it is important to determine the viability of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), since these are affected by crop management. Thus, this information allows us to infer their ability to form symbiotic associations and the time that AMF colonization lasts. The present study was aimed at comparing the viability of AMF propagules in eight coffee agroecosystems with different degrees of soil erosion (EroC1, EroC2, EroC3, SevEroC1, SevEroC2, SevEroC3, MinEroC and NoEroC). The highest viable colonization was found in non-eroded agroecosystems (MinEroC and NoEroC) and the lowest values were seen in highly eroded agroecosystems (SevEroC1 21%, SevEroC2 30% and SevEroC3 30%), without showing arbuscular colonization. On the other hand, the number of viable spores was remarkable in these agroecosystems (26 in SevEroC1, 24 in SevEroC2 and 247 in SevEroC3). The highest percentage of viable mycelium was found in non-eroded agroecosystems (MinEroC 19% and NoEroC 35%), compared to highly eroded agroecosystems (SevEroC1 2.2%, SevEroC2 4.1% and SevEroC3 6.5%). The results of the study show that soil erosion affects the viability of AMF propagules in the coffee agroecosystems evaluated.

Key words: *Coffea arabica*, succinate dehydrogenase, spores, extraradical mycelium.

da, se ha reconocido el dominio de plantas ruderales (predominantemente no micotróficas) (Villegas y Cifuentes, 2004) que estimulan la producción de propágulos en las primeras etapas sucesionales y, por lo tanto, su reemplazo progresivo es clave para cimentar los patrones de reaparición de especies micotróficas en el tiempo y en el espacio (Davey *et al.*, 2015).

Es por ello que el estudio de las capacidades metabólicas de estos simbioses y sobre todo la viabilidad de sus propágulos en terrenos degradados que estimulan el incremento en las cosechas demandadas por la humanidad sigue siendo impostergable, en virtud de que la información obtenida será de gran valor para que estos microorganismos sean utilizados en la reversión del deterioro que el hombre ha inferido a los atributos edáficos naturales e indicadores de la calidad del suelo (Asmelash *et al.*, 2016), el cual es un tema central de las actuales políticas ambientales en todo el mundo. De ahí que el objetivo del presente estudio fuera evaluar la viabilidad de propágulos infectivos de los HMA en agroecosistemas cafetaleros perturbados por la erosión del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los sitios de estudio se ubicaron en un área de 81000 m² en Teocelo, Veracruz, México (19° 24' latitud norte, 96° 58' longitud oeste, 1160 msnm). El clima general es templado húmedo, con precipitación entre 1500 y 2000 mm año⁻¹, y temperatura promedio anual de 18-20 °C (Medina y Soto, 1991). Los suelos predominantes se clasificaron como Acrisol órticos (INEGI, 1993), caracterizados por su fertilidad va-

INTRODUCCIÓN

En México, el arreglo espacial y tipológico de los agroecosistemas cafetaleros (o pluricultivos) es muy variado (Vázquez *et al.*, 1992), y ello no solo tiene un alto valor estético-paisajístico o cultural (Ruelas-Monjardín *et al.*, 2014), sino que discrepa con los monocultivos comerciales (o agrosistemas) establecidos a pleno sol pues en estos sistemas de producción la degradación del ambiente no solo conlleva a la erosión y contaminación del suelo por residuos tóxicos que se depositan en las fincas (DaMatta y Rena, 2002), sino que el manejo puede afectar la actividad biológica y la calidad del fruto; así como la biodiversidad de la flora y fauna, la provisión de productos comestibles y el suministro de leña (Faminow y Ariza, 2001).

En cuanto a la intensificación de las prácticas culturales para elevar la productividad de un cultivo y su efecto sobre la biota edáfica se refiere, la opinión generalizada es que casi todas ellas perturban el balance ecológico y alteran la habitual interacción existente entre las plantas y los hongos micorrizógenos arbusculares, sobre todo porque el uso desmedido de agroquímicos y métodos físico-mecánicos para el control de arvenses reducen la actividad microbiana en general, y la de los HMA en particular, e influyen en la cinética de procesos que ocurren en el suelo (Carreón-Abud *et al.*, 2016), entre los cuales se restringen las opciones para establecer simbiosis con plantas hospederas herbáceas, arbustivas y arbóreas (Rodríguez-Morelos *et al.*, 2011). Aunque los ecosistemas más tolerantes a la perturbación del suelo son aquellos donde el número de propágulos micorrizógenos es alto (esporas, raíces colonizadas y redes hifales) (McGonigle y Miller, 2000), en hábitats alterados, contaminados o muy erosionados, donde la presencia de HMA es reduci-

riable y disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio a menudo se reducen de acuerdo con la pendiente y profundidad (INEGI/ORSTOM, 1991).

Características de los sitios de muestreo

En total se tomaron muestras de ocho plantaciones de café con diferentes grados de erosión y en ese momento a 16 años de haberse establecido. Las plantaciones de café de los sitios EroC1, EroC2 y EroC3 presentaban erosión moderada, un estrato vegetativo formado por hierbas en laderas empinadas ($\geq 85\%$) y un programa de rejuvenecimiento de las plantas. Con regularidad se efectúan tres aplicaciones de herbicida (glifosato, N-fosfonometilglicina, $C_3H_8NO_5P$, CAS 1071-83-6) y fertilizante (triple 17, 17N-17P-17K) al año. Los sitios SevEroC1, SevEroC2 y SevEroC3 estaban altamente erosionados, sin estrato herbáceo o incluso suelo desnudo; pendientes elevadas ($\geq 85\%$) y también se concretan programas para el rejuvenecimiento de la finca. Se realizan tres aplicaciones de herbicida (glifosato) y fertilizante (por lo general $CaCO_3$ y triple 17) al año. En el sitio MinEroC el grado de erosión era mínimo, con pendiente muy suave (2-4%), sin aplicación de plaguicidas, pero contaba con deshierbe manual y fertilización (con triple 17) tres veces por año. Finalmente, el sitio NoEroC exhibía una cobertura densa y continua de vegetación herbácea, con pendiente muy suave (2-4%) y sin erosión evidente. Tampoco se aplican plaguicidas, y la fertilización básica se efectúa a mano con triple 17, $CaCO_3$ y 20N-10P-10K tres veces al año.

Muestreo

El muestreo se realizó en la época de lluvias, durante los meses de septiembre-octubre de 2015. Se tomó 1 L de suelo.planta⁻¹ a 1 m de distancia de la orilla de las parcelas para evitar el efecto del borde, y raíces de 20 plantas (distanciadas ca. 5 m entre sí) que se fijaron en el campo en FAA (formol, ácido acético y alcohol) para su procesamiento en el laboratorio.

Colonización micorrizógena viable

Con el fin de prevenir errores en la determinación de la viabilidad de los propágulos micorrizógenos-arbusculares, las raíces fueron procesadas el mismo día de su colecta. Se utilizó la técnica de Kough *et al.* (1987), modificada por Schaffer y Peterson (1993) y Brundrett *et al.* (1994), y se observaron al microscopio compuesto para detectar estructuras intra-radicales fúngicas viables y no viables. El porcentaje de longitud de raíz colonizada por HMA se cuantificó por el método de McGonigle *et al.*

(1990). A la proporción de estructuras fúngicas metabólicamente activas por la estimación visual de depósitos de formazán azul púrpura, que denotan viabilidad, se le aplicaron los mismos criterios de clasificación.

Cuantificación de esporas viables

Las esporas fueron separadas de las sub-muestras de suelo (50 g) obtenidas en cada uno de los agroecosistemas por el método de tamizado húmedo y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963), complementado con la flotación en sacarosa (Walker, 1997) y, para comprobar la viabilidad de las esporas, se recurrió a la técnica de Walley y Germida (1995).

Extracción, tinción y cuantificación de micelio externo viable

La extracción, tinción y cuantificación de micelio externo viable se realizó de acuerdo con la técnica de Melloni y Cardoso (1999a, b), en combinación con las de Kough *et al.* (1987) y Saito *et al.* (1993) citadas por Tawaraya *et al.* (1994). La longitud de micelio viable se cuantificó mediante la fórmula $H=11/14 \times N \times \text{Unidad de gradiente de Tennant}$ (1975).

Análisis estadístico

Se tuvieron ocho tratamientos con cuatro repeticiones en un diseño de bloques al azar, y los resultados obtenidos se analizaron con el software SAS (versión 6.12) para Windows, y la diferencia entre las medias se comparó mediante la prueba HSD de Tukey con un nivel de significación del 5% ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre la colonización micorrizógena viable cuantificada en los agroecosistemas cafetaleros que presentaban cobertura vegetal y sin erosión (NoEroC), así como los más altos porcentajes de viabilidad en las estructuras intra-radicales del hongo (hifas 10.2%, arbusculos 1% y vesículas 1%) (Cuadro 1). En cambio, en los sitios más perturbados (SevEroC1, SevEroC2 y SevEroC3) los porcentajes de viabilidad fueron prácticamente nulos. Sin embargo, en los sitios donde la cobertura vegetal y la erosión eran evidentes (EroC1, EroC2 y EroC3) la viabilidad de las vesículas e hifas intra-radicales era baja (1% y 1 a 1.5%, respectivamente). En relación al agroecosistema que presentaba mínima erosión, sin pendiente y sin cobertura vegetal (MinEroC) los porcentajes fueron de 9.8% para hifas intra-radicales, 2% para vesículas y 0% para arbusculos. Con base en lo

denotado, las diferentes fuentes de propágulos evaluados evidenciaron una baja viabilidad debido tal vez a que las especies vegetales predominantes son perennes (los cafetos) y no anuales (arvenses).

Al respecto, Abdel y Fattah (2001) refieren que los niveles de colonización más altos ocurren en plantas jóvenes, o bien en cierta etapa fenológica y edad de la hospedera. Además, mencionan que los arbuscúlos jóvenes e intercelulares son viables, mientras no se forme un septo en la hifa (Camarena-Gutiérrez, 2012), en contraste con los arbuscúlos colapsados y metabólicamente inactivos, con una vida efímera en la madurez de dos a cuatro días (Kobae y Hata, 2010).

En este caso se recurrió a la visualización histoquímica de la enzima succinato deshidrogenasa (SDH) para detectar la presencia y absorción de P en las estructuras fúngicas metabólicamente activas mediante tinción con Azul nitro-tetrazolio cloruro (NBT) (MacDonald y Lewis, 1978) (Figura 1). Para la viabilidad de esporas de hongos MA el análisis estadístico mostró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los agroecosistemas muestreados (Cuadro 1).

De acuerdo a los datos en el Cuadro 1, la mayor viabilidad la presentan las esporas en los agroecosistemas más perturbados (SevEroC1, SevEroC2 y SevEroC3). Además, se aprecia que en estos se registraron los porcentajes más altos de viabilidad de las esporas fúngicas, en comparación a los valores apreciados en los sitios menos perturbados por la erosión (MinEroC, 2.33% y NoEroC, 3.0%).

En cuanto a los agroecosistemas EroC1, EroC2 y EroC3 se obtuvieron porcentajes de 11, 8.3 y 16.3%, respectivamente, de tal manera que al parecer la erosión del suelo no afecta la viabilidad de los propágulos de *Gigaspora gigantea*, los cuales presentaron una mayor viabilidad en comparación con las esporas presentes en los sitios no erosionados.

An y Hendrix (1988) establecen que la viabilidad de esporas en la superficie del suelo oscila entre 35 y 60% de-

pendiendo del tratamiento, la estación climática o la especie micorrizógena. En dicho contexto, Meier y Charvat (1993) constataron ese rango porcentual para *Glomus* spp., y reportan un 50% en la viabilidad del cultivo fresco y almacenado de *Glomus mosseae*. Por su parte, Cuenca y Lovera (1992) comprobaron que este tipo de estructuras de resistencia presentes en sitios perturbados de La Gran Sabana, en Venezuela, pueden presentar hasta un 60% de aptitud colonizadora. Si bien las comunidades de HMA difieren en cuanto a las estrategias de propagación y los principales propágulos que forman (Varela-Cervero et al., 2015), en algunos miembros de Glomeraceae se ha constatado que el micelio intra y extra-radical tiene ventaja sobre especies de Acauloporaceae y Gigasporaceae (Schalamuk y Cabello, 2010).

La presencia y alcances provenientes de las esporas pudiere ser trascendental en la colonización radicular de sus hospederas. Aunque en ocasiones las estructuras de resistencia consiguen germinar, no logran establecer una simbiosis mutualista (Walley y Gemida, 1995), o al estar parasitadas no ser viables (Trinidad-Cruz et al., 2017). Esta pudiera ser la razón del por qué los bajos porcentajes de viabilidad se presentaron en los sitios no erosionados.

Las esporas pueden persistir en el suelo por varios años sin disminuir su viabilidad, mas durante la primavera y el verano la incidencia de luz, temperatura y agua no son factores

limitantes de la actividad fisiológica y fotosintética en las plantas hospederas (Zangaro et al., 2013) y, en consecuencia, el dinamismo simbiótico mutualista tiende a sincronizarse con sus proveedores de carbohidratos, como fuente de energía (Schmidt et al., 2011).

En la viabilidad del micelio micorrizógeno, el análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los agroecosistemas muestreados (Cuadro 1), siendo en el sitio NoEroC donde se confirmaron los porcentajes más altos (35%), en comparación a lo ponderado en los parajes más erosionados (EroC1, EroC3, SevEroC1, SevEroC2 y SevEroC3) con valores fluctuantes entre 2.5 y 6.5%. Dichas evidencias

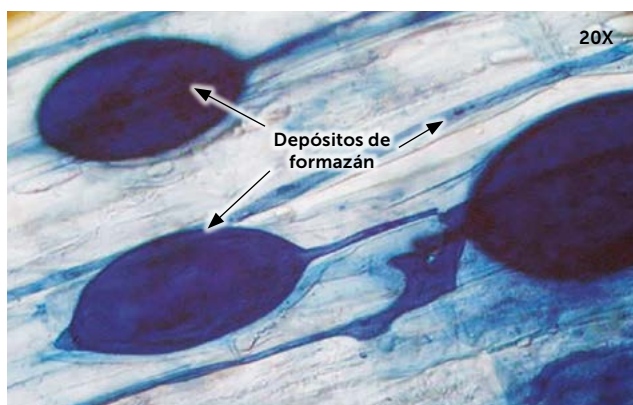


Figura 1. Viabilidad de vesículas en raíces de café de un agroecosistema no erosionado (NoEroC).

Cuadro 1. Viabilidad de propágulos micorrizógenos provenientes de agroecosistemas cafetaleros de Teocelo, Veracruz, México.

Sitios de muestreo	Porcentajes de colonización				Viabilidad de esporas [¥]	Porcentaje de viabilidad del micelio extra-radical
	Colonización total	Hifas	Vesículas	Arbúsculos		
EroC1	41.885b	41.885ab	7.705cb	2.283b	6.50 b	5.3c
EroC2	27.472cb	27.472bc	12.288b	0.0b	10.50 b	9.2 bc
EroC3	35.475cb	35.475bc	12.893b	0.525b	11.50 b	7.1c
SevEroC1	21.250c	21.250c	0.0d	0.0b	26 b	2.5c
SevEroC2	30.095cb	30.095bc	1.487cd	0.0b	24 b	4.1c
SevEroC3	30.675cb	30.675bc	0.625cd	0.0b	247.25 a	6.5 c
MinEroC	33.843cb	33.843bc	11.303b	0.05b	11.00 b	19.5b
NoEroC	64.912a	59.188a	25.817a	11.60a	11.25 b	35a

[¥]Letras iguales en la misma columna indican igualdad estadística (Tukey $P \leq 0.05$).

permiten inferir que en los agroecosistemas más conservados se carece de manejo agronómico tecnificado y por consiguiente no se presenta arrastre de partículas estructurales o texturales (o ambas) por escorrentía, a diferencia de los sistemas agroproductivos donde la degradación de las propiedades físicas, químicas y biológica del suelo es considerable (Onipchenko y Zobel, 2000).

Los resultados obtenidos concuerdan con los de Kabir et al. (1997) quienes manifiestan que el total de la densidad hifal metabólicamente activa está en función del disturbio del suelo y, cuando éste incrementa, la viabilidad de la hifa disminuye.

El cuanto al porcentaje de viabilidad se refiere, la mayor proporción se presentó en los sitios no erosionados, lo cual pudiera deberse a que la cantidad de micelio intra y extra-matrical se incrementa durante la estación lluviosa, y ello concuerda con Palma et al. (2000) al demostrar que las lluvias favorecen su incremento en sitios no erosionados. Lo denotado no ocurrió en los agroecosistemas altamente erosionados, ya que éstos se encontraban desprovistos de vegetación y además con una pendiente tan pronunciada que, al no tener protección, la pérdida del micelio seguramente es alta.

CONCLUSIONES

La viabilidad de los propágulos micorrizógenos en los agroecosistemas altamente erosionados fue alta en las esporas, mas no concordó con el porcentaje de colonización y viabilidad de micelio, pues éstos si se vieron afectados por la erosión del suelo. Por tal motivo, en estudios agroecológicos se considera de suma importancia tomar en cuenta la viabilidad

de los HMA para estimar la proporción de estructuras fúngicas metabólicamente activas dentro y fuera del sistema radical de su planta hospedera.

LITERATURA CITADA

- Abdel-Fattah G.M. 2001. Measurement of the viability of arbuscular-mycorrhizal fungi using three different strains; relation to growth and metabolic activities of soybean plants. *Microbiol. Res.* 156, 359-367.
- An Z.Q., Hendrix J.W. 1988. Determining viability of endogonaceous spores with a vital stain. *Mycologia* 80: 259-261.
- Brundrett M., Melville L., Peterson, L. (eds.). 1994. Practical methods in mycorrhiza research. Mycologue Publications, Canada. 161 p.
- Camarena-Gutiérrez G. 2012. Interacción planta-hongos micorrizicos arbusculares. *Rev. Chapingo Ser. Cien. Forest. Amb.* 18: 409-421.
- Carreón-Abud Y., Gómez-Dorantes N., Beltrán-Nambo M.A., Alvarado-Herrejón M. y Varela-Fregoso L. 2016. Diversidad de hongos micorrizicos arbusculares provenientes de la rizósfera de aguacate (*Persea americana* Mill.) y selección de plantas trampa para su propagación. *Biológicas* 18: 1-9.
- Cuenca G., Lovera M. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in disturbed and revegetated sites from La Gran Sabana, Venezuela. *Can. J. Bot.* 70: 73-79.
- DaMatta F.M., Rena A.B. 2002. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. En: Zambolim L. (ed). O estado da arte de tecnologias na produção de café (pp. 93-135). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Davey M., Blaalis R., Vik U., Carlsen T. Kauserud H., Eidesen P.B. 2015. Primary succession of *Bistorta vivipara* (L.) Delabre (Polygonaceae) root-associated fungi mirrors plant succession in two glacial chronosequences. *Environ. Microbiol.* 17: 2777-2790.
- Faminow M.D., Ariza R.E. 2001. Biodiversity of flora and fauna in shaded coffee systems. International Centre for Research in Agroforestry. Report prepared for the Commission for Environmental Cooperation. 36 p.
- Gerdemann J.W., Nicolson T.H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transac. Brit. Mycol. Soc.* 46: 235-244.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1993. Carta edafológica Veracruz E14-3, escala 1:250,000. INEGI, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) / ORSTOM (Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación). 1991. Cuaderno de información básica región Cofre de Perote. INEGI, México.
- Kough J.L., Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi, S. 1987. Depressed metabolic activity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi after fungicide applications. *New Phytol.* 106: 707-715.
- Medina A.M.E., Soto E. M. 1991. Atlas climático de los municipios de Teocelo y Cosautlán de Carvajal (Estado de Veracruz). Instituto de Ecología, México. 51 p.
- Kabir Z., O'Halloran I.P., Hamel C. 1997. Overwinter survival of arbuscular mycorrhizal hyphae is favored by attachment to roots but diminished by disturbance. *Mycorrhiza* 7: 197-200.
- Kobae Y., Hata S. 2010. Dynamics of periarbuscular membranes visualized with a fluorescent phosphate transporter in arbuscular mycorrhizal roots of rice. *Plant Cell Physiol.* 51: 341-353.
- MacDonald R.M., Lewis M. 1978. The occurrence of some acid phosphatases and dehydrogenases in the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *New Phytol.* 80: 135-141.
- McGonigle T.P., Miller M.H., Evans D.G., Fairchild G.L., Swan, J.A. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115: 495-501.
- McGonigle T.P., Miller M.H. 2000. The inconsistent effect of soil disturbance on colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi: A test of the inoculum density hypothesis. *Appl. Soil Ecol.* 14: 147-155.
- Meier R., Charvat I. 1993. Reassessment of tetrazolium bromide as a viability stain for spores of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Am. J. Bot.* 80: 1007-1015.
- Melloni R., Cardoso E.J.B.N. 1999a. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas e endófitos. I. Método empregado. *Rev. Bras. Ciên. Solo* 23: 53-58.
- Melloni R., Cardoso E.J.B.N. 1999b. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. II. Comparação entre diferentes espécies cítricas e endófitos. *Rev. Bras. Ciên. Solo* 23: 59-67.
- Onipchenko V.G., Zobel, M. 2000. Mycorrhiza, vegetative mobility and response to disturbance of alpine plants in the Northwestern Caucasus. *Folia Geobot.* 35:1-11.
- Palma R.M., Arrigo N.M., Saubidet M.I., Conti M.E. 2000. Chemical and biochemical properties as potential indicators of disturbances. *Biol. Fert. Soils* 32: 381-384.
- Rodríguez-Morelos V.H., Soto-Estrada A., Pérez-Moreno J., Negreros-Castillo P. 2011. Los hongos micorrízicos arbusculares y su implicación en la producción y manejo de especies neotropicales forestales, con énfasis en meliáceas. *Interciencia* 36: 564-569.
- Ruelas-Monjardín L.C., Nava-Tablada M.E., Cervantes J., Barradas V.L. 2014. Importancia ambiental de los agroecosistemas bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. *Madera y Bosques* 20: 27-40.
- Schaffer G.F., Peterson, L.R. 1993. Modifications to clearing methods used in combination with vital staining of roots colonized with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 4: 29-35.
- Schalamuk S., Cabello M. 2010. Arbuscular mycorrhizal fungal propagules from tillage and no-tillage systems: Possible effects on Glomeromycota diversity. *Mycologia* 102: 261-268.
- Schmidt B., Gaşpar S., Carmen D., Ciobanu I., Sumălan R. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi in terms of symbiosis-parasitism continuum. *Com. Agr. Appl. Biol. Sci.* 76: 653-659.
- Tawaray K., Saito M., Morioka M., Wagatsuma T. 1994. Effect of phosphate application to arbuscular mycorrhizal onion on the development and succinate dehydrogenase activity of internal hyphae. *Soil Sci. Plant Nutr.* 40: 667-674.
- Trinidad-Cruz J.R., Quiñones-Aguilar E.E., Hernández-Cuevas L.V., López-Pérez L., Rincón-Enríquez G. 2017. Hongos micorrízicos arbusculares asociados a la rizosfera de *Agave cupreata* en regiones mezcaleras del estado de Michoacán, México. *Sci. Fung.* 45: 13-25.
- Vázquez T. V., Zulueta R. R., Báez T. C. 1992. Descripción tipológica del cultivo del café en el centro de Veracruz. *La Ciencia y el Hombre* 10: 139-161.
- Varela-Cervero S., Vasar M., Davison J., Barea J.M., Öpik M., Azcón-Aguilar C. 2015. The composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities differs among the roots, spores and extraradical mycelia associated with five Mediterranean plant species. *Environ. Microbiol.* 17: 2882-2895.
- Villegas R. M., Cifuentes J. 2004. Las micorrizas en la evolución de las plantas. *Ciencias* 73: 30-36.
- Walker, C. 1997. Spore extraction by centrifugation-sugar flotation. Internal Document, Biological Research and Imaging Laboratory. Hampshire, UK.
- Walley F.L., Germida J.J. 1995. Estimating the viability of vesicular-arbuscular mycorrhizae fungal spores using tetrazolium salts as vital stains. *Mycologia* 87: 273-279.
- Zangaro W., Rostirola L.V., de Souza P.B., Alves R.A., Lescano L.E.A.M., Rondina A.B.L., Nogueira M.A., Carrenho R. 2013. Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome in southern Brazil. *Mycorrhiza* 23: 221-233.

EL RELEVO GENERACIONAL EN EL SECTOR CAFETALERO: LA EXPERIENCIA DE LOS CURSOS DE CAFÉ PARA NIÑOS EN CHOCAMÁN, VERACRUZ, MÉXICO

THE GENERATIONAL RELEASE IN THE COFFEE SECTOR: THE EXPERIENCE OF COFFEE COURSES FOR CHILDREN IN CHOCAMÁN, VERACRUZ, MEXICO

Escamilla-Prado, E.^{1*}; Díaz-Cárdenas, S.¹; Nava-Tablada, M.E.²; Cantú-Peña, F.³

¹Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Oriente. Carretera Huatusco-Xalapa km 6, Huatusco, Veracruz, México. C. P. 94100. ²El Colegio de Veracruz. Carrillo Puerto No. 26, Zona Centro, Xalapa, Veracruz, México. C. P. 91000. ³Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, A.C. Justo Sierra No. 19, Col. Centro, Ciudad de México.

*Autor para correspondencia: espreschoca@yahoo.com.mx

RESUMEN

El sector cafetalero en México enfrenta una problemática compleja, como son bajos precios, problemas fitosanitarios, cambio climático y baja productividad, así como migración, envejecimiento y bajo nivel de escolaridad de los productores. El objetivo de este proyecto es contribuir a la educación y formación de las nuevas generaciones de productores de café en Veracruz, mediante la implementación de cursos de cafecultura integral sustentable dirigido a niñas y niños. Durante los años 2009 a 2017 se impartieron ocho cursos, con la participación de 415 niñas y niños de municipios cafetaleros del centro de Veracruz, de Puebla y Oaxaca. El evento se desarrolla en las instalaciones de la organización Catuai Amarillo SSS en el Municipio de Chocamán, Veracruz, en un esfuerzo de colaboración interinstitucional participan 40 instructores entre académicos, profesionistas, empresas, consultores, técnicos y personal de campo. El curso se desarrolla durante 12 días en las vacaciones de verano. Esta experiencia de educación vivencial se consolida como una opción educativa con viabilidad para su implementación en otros municipios y regiones cafetaleras de Veracruz y México.

Palabras clave: Café, educación vivencial, relevo generacional, infantes, Veracruz.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 4, abril. 2018. pp: 48-54.

Recibido: noviembre, 2017. **Aceptado:** abril, 2018.



ABSTRACT

The coffee sector in Mexico has complex problem, such as low prices, phytosanitary problems, climate change and low productivity, as well as migration, aging and low level of schooling of producers. The objective of this project is to contribute to the education and training of the new generations of coffee producers in Veracruz, through the implementation of comprehensive sustainable coffee courses aimed at children. During the years 2009 to 2017, eight courses were given, with the participation of 415 children from coffee-growing municipalities in the center of Veracruz, Puebla and Oaxaca. The event takes place in the factory of the organization Catuai Amarillo SSS in the Municipality of Chocamán, Veracruz, in an effort of inter-institutional collaboration involving 40 instructors among academics, professionals, companies, consultants, technicians and field staff. The course takes place during 12 days during the summer holidays. This experiential education experience is consolidated as an educational option with feasibility for its implementation in other municipalities and coffee regions of Veracruz and Mexico.

Key words: Coffee, experiential education, generational change, children, Veracruz.

plia y compleja problemática y los futuros escenarios, algunas fuentes de información señalan que el cultivo del café pudiera desaparecer de Veracruz en los próximos años (Villers *et al.* 2011; Diario de Xalapa, 2017). Sin embargo, a pesar de los escenarios pesimistas y los desafíos por superar que tiene la cafecultura en Veracruz, también se tienen grandes oportunidades para la recuperación de este importante sector.

Para enfrentar las crisis, se han buscado estrategias como: los mercados alternativos, mejora de la calidad, generación de valor agregado, fomento a la cultura de consumo nacional y diversificación productiva, certificación de café en mercados alternativos donde el precio es más alto y estable (orgánicos, comercio justo y de sombra, entre otros) (Escamilla *et al.*, 2005). Sin embargo, poco se ha abordado específicamente el problema del relevo generacional en la cafecultura, aunque diversos estudios lo reportan como uno de los problemas futuros más preocupantes, dado que la edad promedio de los cafecultores a nivel nacional es de 55 años (AMECAFE, 2012), mientras que en la zona centro de Veracruz la mayoría de los productores tienen 60 años o más (Hernández y Nava, 2016). Es decir, existe un envejecimiento de los productores cafetaleros y escasa participación de jóvenes en la cafecultura. Al respecto, Nava y Martínez (2012) y Escamilla *et al.* (2013) coinciden en que dichas tendencias constituyen un enorme problema social y una amenaza al sector, debido a que los hijos de los productores se están desvinculando de la producción, beneficiado y comercialización del café; situación que limita la trans-

INTRODUCCION

En la región de Córdoba, Veracruz se establecieron los primeros cafetales en México.

A más de doscientos años de su introducción, el café es considerado uno de los cultivos estratégicos y emblemáticos en Veracruz, por su considerable importancia económica, social, cultural y ambiental (Hernández y Córdoba, 2011). Veracruz es el segundo productor del grano, después de Chiapas, con una superficie cercana a las 144 mil hectáreas cultivadas por 86 mil productores, y aportando una cuarta parte del volumen nacional de la producción. El café se distribuye en 10 regiones, en 82 municipios y en 842 comunidades (SAGARPA, 2011; SIAP, 2016). En la zona central de este estado, se concentra más del 90% de la superficie cafetalera y de los productores de la entidad (Escamilla *et al.*, 2013).

En los últimos veinticinco años, al igual que sucedió en la cafecultura mexicana, la crisis del sector ocasionada por la caída de los precios en el mercado internacional, el retiro del Estado mexicano, los efectos del cambio climático y la afectación de problemas fitosanitarios, y en especial a partir del año 2013 (Renard y Larroa, 2017), el severo brote de la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), tuvieron consecuencias adversas, que se manifestaron en el rezago y la regresión tecnológica, ligados a los altos costos de producción y la descapitalización de los productores, de tal forma que los rendimientos y la producción de café en Veracruz han disminuido en forma significativa (López *et al.*, 2013; Avelino *et al.*, 2015; Renard y Larroa, 2017). Desde la vertiente social se tienen dos problemas importantes en el sector cafetalero, uno es el proceso de envejecimiento de las y los cafecultores y el desinterés de los jóvenes para incorporarse como nuevos productores o en sustitución de sus familiares (Hernández *et al.*, 2011). Con toda esta am-

misión de conocimientos y experiencias entre generaciones y pone en riesgo el “relevo generacional” en el medio rural.

En este sentido, el futuro del sector cafetalero en México y en Veracruz requiere de implementar estrategias educativas para formar capital humano de los diversos agentes que intervienen en esta actividad, pero por lo general las acciones de educación y capacitación se han centrado en los productores y técnicos, pero se carecen de propuestas que incluyan a los hijos de los productores de las regiones cafetaleras (principalmente niños y niñas), tomando en cuenta que serán el potencial semillero de productores de café (Escamilla y Cantú, 2013).

Aunado a lo anterior, debido a la globalización, el avance de la tecnología y políticas neoliberales, los niños y jóvenes prefieren trabajar en las grandes ciudades que continuar laborando en su propio campo, por lo que es urgente implementar acciones educativas para motivar el interés de éstos por trabajar sus parcelas, evitando así la emigración a otros lugares. En decir, es importante propiciar una nueva cultura del café en las diferentes regiones productoras y el primer paso es incursionar en el sistema de educación básica, capacitando en aspectos de la cafecultura a los niños y niñas estudiantes de primaria y secundaria (Escamilla y Cantú, 2013).

Desde la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), el Centro Regional Universitario Oriente (CRUO), el Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café (CENACAFÉ) y las instituciones académicas relacionadas con el campo mexicano, se pueden desarrollar programas de educación que contribuyan al desarrollo de la niñez en el medio rural, y en especial en el sector cafetalero nacional, permitiendo tener la esperanza de que, aunque la calidad de la educación básica no tiene el nivel que deseáramos, hay

una gran parte de la población sensibilizada para que las cosas mejoren. El objetivo es contribuir a la educación y formación de las nuevas generaciones de productores de café en Veracruz, mediante la realización de cursos de cafecultura integral sustentable dirigidos a niñas y niños.

MATERIALES Y METODOS

Se diseñó un curso de cafecultura para niñas y niños, en base a la experiencia y los conocimientos generados durante más de 30 años por la UACH (CRUO-CENACAFÉ), y en un importante esfuerzo de colaboración interinstitucional, se han sumado otras universidades y centros de investigación, organizaciones de productores, despachos y empresas relacionadas con la cafecultura (Figura 1). El curso se fundamenta en una perspectiva de desarrollo sustentable y la visión integral, incluyendo a todos los eslabones de la cadena productiva: producción, beneficio y comercializa-

ción del café. El curso se dirige y oferta cada año a 50 estudiantes de primaria y secundaria, niñas y niños, con edades de 8 a 14 años, hijas, hijos, nietas y nietos de productores de café del municipio de Chocamán, Veracruz (cabecera municipal y comunidades). Sin embargo, a partir del tercer evento el número de asistentes se incrementó considerablemente y también participaron niños de otros municipios vera-

cruzanos aledaños. La promoción y difusión del curso se realiza con un mes de anticipación a su inicio, mediante voceo en la cabecera municipal y las localidades de Chocamán e, invitación directa a socios de organizaciones, preferentemente a las que participan en procesos de producción de café orgánico. También a través de la vinculación de la UACH, con ayuntamientos otras organizaciones y proyectos, se promueve la participación en el curso.

El curso tiene una duración de 12 días durante las vacaciones de verano en México (durante los meses de julio y agosto), previo al inicio del ciclo escolar anual.



Figura 1. Visita al Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) de niños asistentes al curso sobre café en 2012.

Su organización y coordinación se lleva a cabo por personal académico de la UACH (CRUO-CENACAFÉ), quien hace la consulta con los instructores para analizar los posibles obstáculos, planear las acciones en lo técnico y administrativo y, garantizar el éxito del curso. Se realizan dos reuniones de trabajo con los ponentes, para analizar y discutir la programación de cada uno de los temas, aportando ideas, dando opiniones, solventando dudas y notificando los requerimientos de los materiales que se utilizarán durante las exposiciones, prácticas y recorridos.

Con la experiencia de los primeros años, se llegó a la conclusión de que, para obtener mejores resultados, el curso debería programarse antes del inicio del ciclo escolar. Se hizo una aproximación de los requisitos indispensables para el registro de los niños y los criterios para definir y otorgar los materiales y útiles necesarios. Se elabora una propuesta de cronograma general del

curso y se reciben sugerencias para el desarrollo de los temas, prácticas de campo y viajes; se ratifican los instructores que participarán en cada evento; en su caso, se invitan nuevos profesores y se determina el personal auxiliar o de apoyo.

Los fundamentos teóricos y prácticos que conforman el contenido del curso, se estructuran en torno al propósito de proporcionar una visión integral de la cafecultura, en seis módulos de trabajo: Módulo 1. Historia del café. Módulo 2. El cultivo del café: propagación, manejo

del cultivo y cosecha. Módulo 3. La transformación del café: beneficio húmedo, beneficio seco y torrefacción. Módulo 4. Calidad, catación y preparación de bebidas (barismo). Módulo 5. Comercialización del café, cafés diferenciados (café orgánico) y organización de productores. Módulo 6. Los servicios ambientales y la diversificación productiva en las regiones cafetaleras.

A partir de estos temas y contenido, se integra el programa del curso, que incluye las clases de exposición dialogada en aula, donde se cubren los aspectos teóricos e



Figura 2. Actividades en el cafetal durante el curso de capacitación sobre café dirigido a niños en los cafetales de Catuai Amarillo SSS en Chocamán, Ver.

informativos; así como, las prácticas de todos los elementos que se requieren para entender esta actividad productiva, con los objetivos de mejorar la productividad de los cafetales, la calidad del grano y la bebida bajo una perspectiva sustentable. En las clases se utilizan técnicas de trabajo en grupo y el método de "oyendo, viendo y haciendo" (Figura 2).

Los cursos se desarrollaron en las instalaciones del beneficio de Catuai Amarillo Sociedad de Solidaridad Social, localizado en el mu-

nicipio de Chocamán, Veracruz, organización con amplia experiencia en la producción, beneficiado y comercialización de café orgánico y comercio justo, que cuenta con instalaciones adecuadas para el curso teórico y las prácticas.

En un esfuerzo de colaboración interinstitucional colaboran diversas instancias, como son: el Colegio de Postgraduados (COLPOS) Campus Córdoba y Montecillo, el Centro Agroecológico del Café A.C. (CAFECOL), el Instituto de Ecología A.C. (INECOL), el Instituto Politécnico Nacional y empresas cafetaleras, conjuntado alrededor de 40 instructores: productores, viveristas, profesores, investigadores, técnicos, beneficiadores, torrefactores, catadores y baristas que impartieron conocimientos y experiencias.

Los temas y ponencias se presentan de forma teórica y práctica. Se realizan recorridos con los niños por la instalación del beneficio de café de la sociedad Catuai Ama-

rillo, visitando viveros de café y de plantas diversas, producción de lombricomposta, parcela demostrativa de variedades de café, beneficio húmedo, planilla de secado, bodega de almacenamiento y área de torrefacción. También se contó con espacios adecuados para realizar actividades recreativas y deportivas. Complementariamente, se desarrollaron tres giras de campo, la primera a la UACH (CRUO-CENACAFÉ) en Huatusco, la segunda al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba y la tercera a la Finca Casa Blanca, que produce nuez de macadamia

intercalada con café, en Huatusco (Escamilla, 2016).

La perspectiva de desarrollo sustentable e integral, incluyendo todos los eslabones de la cadena productiva: producción, beneficio y comercialización del café, permea los principios y estrategias de aprendizaje. El curso es presencial, en un proceso integral, dinámico, personalizado y colaborativo. Se incorporaron actividades culturales (teatro y música), recreativas y deportivas, en donde el juego es un elemento fundamental del aprendizaje. Se integra la teoría y la práctica durante todo el curso y entre los módulos. De las últimas activi-

po y dos evaluaciones escritas (una parcial y otra final); asignando una calificación de desempeño.

Al final del curso se entrega a cada participante un paquete de materiales escolares de acuerdo con el nivel (primaria o secundaria) al que ingresará en el próximo ciclo escolar, a los participantes que tuvieron mejor desempeño se les obsequian juguetes. En el marco de la clausura se entregan diplomas a los alumnos e instructores.

RESULTADOS Y DISCUSION

Durante los años 2009, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017 se realizaron ocho cursos (Figura 3), los dos primeros fueron promovidos y financiados por el H. Ayuntamiento de Chocamán, Veracruz, y se impartieron con la entusiasta colaboración de instituciones académicas, organizaciones de productores y empresas; siendo una experiencia vivencial importante.

A partir del tercer evento realizado en 2012, se ha contado con el apoyo económico de la Dirección General de Investigación y Posgrado (DGIP) de la UACH a través de un proyecto de vinculación universitaria presentado al seno del Centro de Investigación, Desarrollo y Educación en Agricultura Multifuncional (Centro de Agroforestería), por lo que el evento es gratuito para los asistentes.

En los ocho cursos han participado 415 niñas y niños, con edades de 8 a 14 años, hijas, hijos, nietas y nietos de productores de los municipios de Chocamán, Córdoba, Fortín, Ixhuatlán del Café, Tepatlaxco, Huatusco, Zentla, Coscomatepec, Chiconquiaco, Tequila, Zongolica, Coetzala y Tomatlán. En los años 2015 y 2016, asistieron niños de regiones cafetaleras de Oaxaca y Sierra Negra de Puebla. De acuerdo con los alumnos los aspectos que más les agradan son los viajes y algunas prácticas como la injertación y la visita al módulo de lombricomposta (Figura 4).



Figura 3. Niños asistentes al octavo curso sobre café en 2017.

dades que se realizan en el curso y que tiene particular emotividad, es la exposición del trabajo final en equipos denominado "compartimos el aprendizaje con nuestros padres", donde cada equipo expone un tema seleccionado, (generalmente se programan de 8 a 12 presentaciones según el número de participantes) a padres, abuelos y familiares. El procedimiento de evaluación incluye asistencia y puntualidad, participación en clase, entrega de tareas, trabajo en equi-

La permanencia y resultados obtenidos en este curso para niños, lo hacen una experiencia con posibilidades de realización en diversas regiones cafetaleras de Veracruz, otras entidades del país e incluso se ha manifestado interés para llevarse a cabo en otros países. De hecho, en un municipio cercano, en el periodo 2013-2017 el Centro Internacional de Capacitación en Cafeticultura y Desarrollo Sustentable, A.C. (CICADES), ubicado en la localidad de Zacamitla, municipio de Ixhuatlán del Café, está replicando la experiencia con un evento anual. Se han realizado cinco eventos, los primeros cuatro de septiembre a diciembre, bajo la modalidad de fines de semana, y en el año 2017 se cambió a la modalidad de impartir en curso en vacaciones de verano. También se tiene la experiencia del CAFECOL y Fondo para la Paz que han realizado dos cursos, en 2016 y 2017, en el municipio de Tequila en la Sierra de Zongolica, Veracruz. En estos eventos han asistido alrededor de

70 niños indígenas hijos de productores de café de la etnia náhuatl.

El curso de verano impartido para futuros cafecultores es una propuesta educativa necesaria y pertinente para el sector cafetalero, y que debe continuar promoviéndose (Figura 5). La vinculación y coordinación interinstitucional es una fortaleza del curso, pues permite concentrar y compartir una gran riqueza de experiencias y conocimientos por parte de los instructores, lo que constituye un factor fundamental para el éxito de esta iniciativa docente. El curso contribuye en la construcción de una visión integral de los participantes y tiene un efecto sensibilizador con respecto a la cafecultura sustentable. Es un proyecto que intenta dar alternativas a la juventud, para que no se vean en la necesidad de dejar sus comunidades en busca de “mejores” oportunidades de trabajo, ya que un problema muy fuerte es el envejecimiento y migración de productores en regiones cafetaleras. Es por eso que se debe considerar y estudiar a profundidad la inserción de estos cursos en la educación primaria y secundaria como un proceso permanente (Figura 6).

Sin embargo, a pesar del éxito de los cursos impartidos, hasta ahora no se ha realizado ningún estudio respecto al impacto que éstos han tenido en los niños y niñas que lo han tomado, sobre todo en cuanto a los planes de vida a futuro de los participantes y la posibilidad de que los conocimientos impartidos hayan promovido la sensibilización y arraigo al cultivo del café y constituyan una posible vía que contribuya a mitigar la problemática de la falta de relevo generacional en la cafecultura.



Figura 4. A: Práctica en el semillero, B: Injertación de cafetos, C: Actividades en el área de lombricomposta.



Figura 5. A: Selección de café cereza, B: Niñas mostrando café envasado, C: Niños mostrando café tostado en grano.



Figura 6. Tomando nota en el cafetal.

CONCLUSIONES

El curso de café para niños ha logrado realizarse durante ocho años, en el periodo 2009-2017, logrando la participación de 415 niños procedentes de 10 municipios cafetaleros de Veracruz, así como de Puebla y Oaxaca.

El curso de cafecultura para niños es una buena alternativa para motivar a los participantes, para conocer sobre el café y la cafecultura, por lo que se espera que en el futuro se realice en varias regiones del país, para contribuir al relevo generacional en las comunidades cafetaleras.

Un propósito amplio y pertinente, pero a la vez un reto de mayor alcance que debe contemplarse a futuro, es el seguimiento en la formación profesional de los niños (muchos de ellos actualmente jóvenes) que han participado en los cursos y luego jóvenes en su formación profesional, para que los interesados en agronomía o licenciaturas que contribuyan al desarrollo de las comunidades y regiones cafetaleras, tengan la posibilidad de continuar esta formación y constituir uno de los elementos del relevo generacional en las unidades de producción familiar cafetaleras y toda la cadena productiva.

Finalmente, es importante explorar la inserción de los contenidos del curso en los programas de educación oficial, a nivel primaria y secundaria, en las comunidades y municipios cafetaleros del país como medio viable para garantizar la continuidad de la cafecultura nacional en las siguientes generaciones.

LITERATURA CITADA

- AMECAFE. 2012. Plan integral de promoción del café. Asociación Mexicana de la Cadena Productiva de Café-AMECAFE. México. 63 p.
- Avelino J., Cristancho M., Georgiou S., Imbach P., Aguilar L., Bomemann G., Läderach P., Anzueto F., Hruska A.J., Morales C. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solution. Food Secur. 7: 313-321.
- Diario de Xalapa. 2017. En 10 años Veracruz dejaría de ser productor de café. <https://www.diariodexalapa.com.mx/veracruz/en-10-anos-veracruz-dejaría-de-ser-productor-de-café> (Consultado 15 de junio 2017).
- Escamilla P.E., Ruiz R.O., Landeros S.C., Platas R.D.E., Zamarripa C.A., González H.V.A. 2005. El agroecosistema café orgánico en México. Man. Integr. Plagas Agroecol. 76: 5-16.
- Escamilla P.E., Cantú P.F. 2013. Curso de café para niños: una experiencia de educación vivencial. Juarez.AcademiaJournals.com5: 206-211.
- Escamilla P.E., Castillo P.G., Díaz C.S. 2013. Situación actual y potencialidades del café en Veracruz. En: Pérez A., P y A. Amalia González (Coords.). Del sabor a café y sus nuevas invenciones: escenarios cafetaleros de México y América Latina. Facultad de Estudios Superiores Acatlán-UNAM. pp: 469-509.
- Hernández M.G., Córdova S.S. 2011. México, café y productores. Historia de la cultura cafetalera que transformó nuestras regiones. Centro Agroecológico del Café A.C. Universidad Autónoma Chapingo. Xalapa, Veracruz. 79 p.
- Hernández S.J.A.M., Nava T.M.E., Díaz C.S., Pérez P.E., Escamilla P.E. 2011. Migración internacional y manejo tecnológico del café en dos comunidades del centro de Veracruz. Trop. Subtrop. Agroecos. 14: 807-818.
- Hernández S., M.I. y Nava T., M.E.. 2016. Cafecultura y uso sustentable de los recursos naturales. El caso del Sitio Ramsar "Cascadas de Texolo y su entorno" en Veracruz, México. El Colegio de Veracruz, Juan Pablos Editor. Ciudad de México. 131 p.
- López M.R., Escamilla P.E., Díaz P.G., Guajardo P.R.A., Martínez R.J.L., García M.L.E., Castillo G.M.C., López R.M.A., Barreda R.M. 2013. La cafecultura en México y su problemática. En: López M.R., Díaz P.G., Zamarripa C.A. (Comps). El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). ISBN: 978-607-0067-2. México. pp: 5-31.
- Nava T.M.E., Martínez C.E. 2012. International migration and change in land use in Bella Esperanza, Veracruz. Trop. Subtrop. Agroecos. 15: S21-29.
- Renard H.M.C., Larroa T.R.M. 2017. Política pública y sustentabilidad de los territorios cafetaleros en tiempos de roya: Chiapas y Veracruz. Estud. Latin. Nueva Época 40: 95-113.
- SAGARPA. 2011. Plan de innovación en cafecultura en el estado de Veracruz. Proyecto Estratégico Fomento Productivo 2011. Estrategia de innovación hacia la competitividad en la cafecultura mexicana. SAGARPA. COFUPRO. UACH. Sistema Producto Café. AMECAFE. INCA Rural. México. 131 p.
- SIAP. 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. En: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Fecha de consulta el 14 de junio de 2017.
- Villers L., Arizpe N., Orellana R., Conde C., Hernández J. 2009. Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. Interciencia 34: 322-329.



EFECTOS DEL ENCALADO EN SUELO ÁCIDO CULTIVADO CON CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA EL TRIUNFO, CHIAPAS, MÉXICO

EFFECTS OF LIMING ON ACID SOIL CULTIVATED WITH COFFEE (*Coffea arabica* L.) IN THE BIOSPHERE RESERVE OF EL TRIUNFO, CHIAPAS, MEXICO

López-Báez, W.^{1*}; Urbina-Hernández, L.H.²; Reynoso-Santos, R.¹; Martínez-Sánchez, J.¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Centro de Chiapas. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa km 3. Ocozocoautla, Chiapas. C. P. 29140. ²Prestador de Servicios Profesionales Independiente.

*Autor para correspondencia: lopez.walter@inifap.gob.mx.

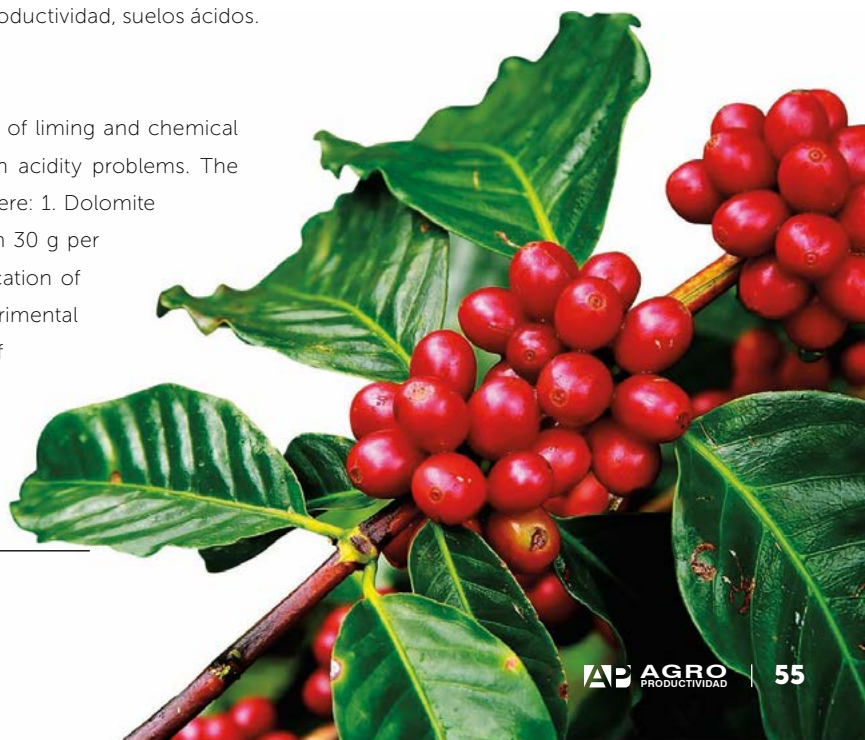
RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto del encalado y fertilización química en plantas de café establecidas en un suelo con problema de acidez. Los tratamientos evaluados en un diseño bloques al azar fueron: 1. Cal dolomita en dosis de 500 kg ha⁻¹; 2. Fertilización (nitrógeno 30 g por planta y fósforo 28 g por planta); 3. Aplicación conjunta de cal dolomita y fertilización y; 4. Testigo. La unidad experimental fue una planta de café Arabica (*Coffea arabica* L.) de la variedad Oro Azteca y se usaron 5 plantas (repeticiones) por tratamiento. La cal fue aplicada al momento de establecer la plantación en junio de 2014; a los 17 meses después se midieron altura de planta, diámetro del tallo, largo de raíz, peso de biomasa seca, características del suelo y a los 2.5 años se estimó rendimiento de café cereza. Se presentó diferencia estadística altamente significativa ($P \leq 0.01$) para altura de plantas y ausencia de significancia (n.s.) para el diámetro de tallo. La aplicación de cal demostró que las condiciones de acidez en el suelo, al afectar el crecimiento normal de las raíces; limita la absorción de nutrientes, el desarrollo de la parte aérea de las plantas y el rendimiento de grano café. También se evidenció, el efecto que tiene la fertilización nitrogenada en el aumento de la acidez y la limitada eficiencia que tienen los fertilizantes aplicados en un suelo con problema de acidez.

Palabras clave: Área natural protegida, cafeticultura, productividad, suelos ácidos.

ABSTRACT

The objective of the research was to study the effect of liming and chemical fertilization in coffee plants established in a soil with acidity problems. The treatments evaluated in a randomized block design were: 1. Dolomite lime in doses of 500 kg ha⁻¹; 2. Fertilization (nitrogen 30 g per plant and phosphorus 28 g per plant); 3. Joint application of dolomite lime and fertilization; and 4. Control. The experimental unit was one Arabica coffee plant (*Coffea arabica* L.) of the Oro Azteca variety and 5 plants (repetitions) were



used per treatment. The lime was applied at the time of establishing the plantation in June 2014. The following were measured 17 months later: plant height, stem diameter, root length, dry biomass weight, and soil characteristics; and at 2.5 years, the yield of cherry coffee was estimated. There was a highly significant statistical difference ($P \leq 0.01$) for plant height and absence of significance (n.s.) for stem diameter. The application of lime showed that the acidity conditions in the soil, by affecting the normal growth of the roots, limits the absorption of nutrients, the development of aerial part of the plants, and the yield of coffee beans. The effect of nitrogen fertilization on the increase of acidity and the limited efficiency of fertilizers applied to soils with acidity problems was also evident.

Keywords: Natural protected area, coffee production, productivity, acid soils.

INTRODUCCIÓN

Con aproximadamente 12,000 ha cultivadas, el café es la principal actividad económica dentro del polígono de la reserva de la Biósfera El Triunfo (REBITRI) ubicada en la Sierra Madre de Chiapas, particularmente en los municipios de Ángel Albino Corzo, Montecristo de Guerrero y La Concordia. Al representar la principal fuente de ingresos para las familias, el café también es la principal causa de deforestación en la REBITRI, y en consecuencia, una amenaza para la conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a ésta área natural protegida (López *et al.*, 2011; Castiaux *et al.*, 2014; Jurjonas *et al.*, 2016).

El café dentro de la REBITRI se cultiva en pequeñas áreas (80% de los productores tienen superficies menores de 2 ha) con pendientes mayores de 30 grados. El cultivo se caracteriza por presentar bajos y variables rendimientos con una media de 12 quintales ha^{-1} (± 7.7), debido entre otras causas, a la edad avanzada de las plantaciones, uso de variedades con alta susceptibilidad a la enfermedad de la roya (*Hemileia vastatrix*), pocas prácticas de manejo (sólo control de malezas, poda y desombre), deficiente nutrición y ausencia de prácticas de conservación de suelos.

En esta región los suelos son ácidos, con pH promedio de 5.1 (± 0.38) que podría estar limitando la mineralización de la materia orgánica, la eficiencia de la fertilización que realizan los productores, e influyendo en la disponibilidad y asimilación de otros nutrientes; en 25% de los sitios analizados la saturación de Ca es menor del 60%, lo que indica posible respuesta a la aplicación de cal (Ángel, 2015; López *et al.*, 2016). Particularmen-

te, está documentado que la acidez del suelo es un problema que afecta el crecimiento del café en todas las etapas del cultivo (Siavosh, 2016). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la práctica del encalado y su interacción con la fertilización química sobre la planta de café y algunas características del suelo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se instaló en una plantación de café establecida en junio de 2014 con la variedad Oro Azteca, ubicada en las coordenadas 15° 66' N y 92° 70' W, dentro de la microcuenca La Suiza, en el municipio de Montecristo de Guerrero, estado de Chiapas, México (Figura 1).

Los resultados del análisis del suelo proveniente de una muestra compuesta de la parcela, realizado previo al establecimiento del experimento e interpretado con los criterios de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (Diario Oficial de la Federación, 2002), se presenta en el Cuadro 1.

La presencia de acidez del suelo fue analizada desde la óptica de diferentes autores. Según Espinosa y Molina (1999), el contenido de Al^{3+} intercambiable está por arriba de los 0.5 meq/100 g, considerado

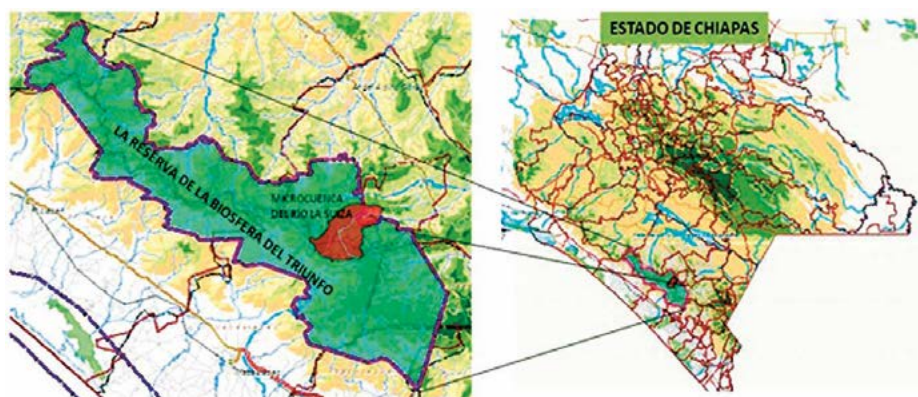


Figura 1. Ubicación de la microcuenca La Suiza, municipio de Montecristo de Guerrero, estado de Chiapas, México, donde se estableció el experimento.

como el límite para que las plantas no sean afectadas. Para Sánchez (2014), la saturación de la CIC por Al^{3+} está por arriba del 5% considerado problemático para las plantas. De acuerdo a Bertsch (1995; 1998), el porcentaje de saturación de la CIC por Al^{3+} está por debajo del valor de tolerancia de 25% recomendado para el cultivo de café, y por lo tanto no era necesaria la aplicación de cal. Considerando

como indicador el porcentaje de saturación de Ca^{2+} , el valor de 30% que tenía el suelo, estaba por debajo del nivel óptimo de 65% recomendado por Instituto Internacional de Nutrición Vegetal (IPNI, 1990) y por lo tanto requiere aplicación de cal.

Sustentado en el conocimiento previo de las características del suelo y las diferentes interpretaciones sobre las afectaciones de la acidez, se planteó un estudio exploratorio para evaluar los siguientes cuatro tratamientos: 1. Aplicación de Cal dolomita en dosis de 500 kg ha^{-1} aplicada al momento de la siembra; 2. Fertilización con nitrógeno (30 g por planta) y fósforo (28 g por planta) en forma de urea superfosfato triple; 3. Aplicación junta de cal dolomita y fertilización; y 4. Testigo sin aplicaciones.

De acuerdo al resultado de la composición química o reactividad (cantidad de acidez que puede neutralizar) y la fineza de partícula (velocidad con la cual el material puede neutralizar la acidez), el material utilizado para encalar presentó una eficiencia o poder relativo de neutralización total (PRNT) de 87.4% (Cuadro 2), considerado de buena calidad, ya que entre más alto el valor del PRNT, mayor es su efecto neutralizante de la acidez del suelo (Meléndez y Molina, 2001).

Los tratamientos se establecieron en diseño de bloques al azar con cinco repeticiones, utilizando como unidad experimental una planta de café. Como variables dependientes se midieron la altura y diámetro del tallo

Cuadro 1. Características del suelo donde se estableció experimento.

Variable	Resultado	Interpretación
pH (1:2 agua)	5.3	Moderadamente ácido
Materia orgánica (%)	4.48	Bajo
P-Bray (ppm)	1	Bajo
K (meq/100 g)	0.8	Alto
Ca (meq/100 g)	1.7	Muy bajo
Mg (meq/100 g)	2.0	Medio
Al (meq/100 g)	0.9	Medio
CIC (meq/100 g)	5.73	Bajo
Arena (%)	53	Franco-areno-arcilloso
Limo (%)	17	
Arcilla (%)	30	

cuando las plantas tenían 17 meses de haberse establecido en campo. Adicionalmente en una planta por tratamiento, se midió el largo de la raíz y el peso de biomasa seca. En una muestra compuesta por tratamiento se analizaron comparativamente las características de suelo. El rendimiento de grano ceceza fue medido en cinco plantas por tratamiento cuando tenían 2.5 años de establecidas. La eficiencia

agronómica de la cal y fertilización se estimó de acuerdo a la formula sugerida por Snyder (2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentó diferencia estadística altamente significativa ($P \leq 0.01$) para altura de plantas y ausencia de significancia (n.s.) para el diámetro de tallo (Cuadro 3 y 4). En promedio con el tratamiento con cal, las plantas superaron en 43, 34.1 y 16.8 cm de altura a las de los tratamientos testigo, fertilización y cal+fertilización; en este último, se presentó una disminución en la altura de plantas en comparación con el efecto individual de la cal.

En el Cuadro 5 y la Figura 2 se muestran los efectos en la longitud de raíces, peso de hojas, peso resto de planta (raíces, tallos y ramas) y peso de toda la planta, tomados de una planta por tratamiento con una edad de 17 meses de establecida, donde se observa que en todas las variables el tratamiento testigo obtuvo los valores más bajos, seguido por la interacción cal+fertilización. Por el contrario los valores más altos se observaron en los tratamientos que llevaron cal y fertilización. El peso total de la planta el tratamiento con

Cuadro 2. Características del material utilizado para encalar el suelo del cafetal.

Tamaño de partícula (mm)	Partícula en peso (%)	Reactividad (%)	Valor neutralizante (%)	Eficiencia (%)
>8	0.0	0	99.9	0.0
8 a 20	8.2	20	99.9	1.6
20-60	14.9	60	99.9	8.9
< 60	76.9	100	99.9	76.8
Total	100.00			87.4

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza para las variables estudiadas

Fuentes de variación	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)
Tratamientos	1855.7**	34.1 n. s.
Bloque	22.9 n. s.	8.6 n.s.
Coeficiente Variación (%)	17.7	23.2
Media	63.6	13.6

(**) Significativo a nivel de $P \leq 0.01$; n.s.=no significativo.**Figura 2.** Efectos de los tratamientos en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café variedad Oro Azteca.

cal superó en 232% al testigo, en 25% al tratamiento con fertilización y en 83% a la aplicación de cal+fertilización.

En lo que respecta a los efectos en las características del suelo, en el Cuadro 6 se observa que en los tratamientos que llevaron cal, el suelo pasó de una situación de fuertemente ácido (pH de 4.8 y 4.9) a moderadamente ácido (pH de 5.5). Este aumento de pH pudo haber ocurrido debido a la disminución de la concentración de iones H^+ en el suelo, como resultado de las reacciones bási-

Cuadro 4. Comparación de medias del efecto de los tratamientos al suelo en las variables altura de planta y diámetro de tallo (Tukey).

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)
Testigo	43.6 c	10.6 b
Cal	87.2 a	16.6 a
Fertilización	53.1 bc	12.4 ab
Cal+Fertilización	70.4 b	14.6 ab
DSH	21.2	5.9

*Letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$). DSH=Diferencia significativa honesta.

cas de la cal en el suelo que lo neutralizaron; además, el incremento de pH pudo permitir la precipitación del Al^{3+} como $Al(OH)_3$ que es un compuesto insoluble, eliminando de esta forma, el efecto tóxico del Al^{3+} en las plantas y la principal fuente de iones H^+ (Espinosa y Molina, 1999). Esto explica la razón por la que el porcentaje de saturación de Al^{3+} dentro de la CIC se redujo significativamente en los tratamientos donde se aplicó cal, y en el caso, del H^+ se redujo a cero.

En los tratamientos con aplicación de cal, también se observó un aumento significativo en el porcentaje de saturación de la CIC por Ca^{2+} , lo cual es debido al aporte proveniente de la disolución del $CaCO_3$, que aumentó la ocupación de los sitios de intercambio en la superficie de los coloides del suelo, por ese catión, sirviendo como nutrientes de las plantas (Siavosh, 2016). En lo que respecta al porcentaje de saturación de K y Mg no hubo diferencias por la aplicación de cal.

De igual manera, en los tratamientos con cal se presentó un aumento de la CIC efectiva debido al desalojo del Al^{3+} y aumento de la participación de las bases intercambiables en los sitios de intercambio. Siavosh (2016), señala que en la mayoría de los suelos cafetaleros el incremento de la acidez se traduce en una disminución de la CIC,

Cuadro 5. Efecto de los tratamientos en las variables largo de raíz, peso de hojas, peso total de raíces, ramas y tallos, y peso total de la planta.

Tratamiento	Largo raíz (cm)	Peso (g)		
		Hojas	Raíces, ramas y tallo	Total Planta
Testigo	58	117	192	309
Cal	140	360	668	1028
Fertilización	164	326	496	822
Cal+fertilización	115	226	337	562

Cuadro 6. Efecto de los tratamientos sobre propiedades del suelo.

Tratamiento	pH 1:2 (Agua)	P Bray (ppm)	CIC meq/100g	Porcentaje de saturación en la CIC					
				H+Al	Al	H	Ca	K	Mg
Testigo	4.8	6	5.84	27.0	20.0	7.0	24	13	33
Fertilización	4.9	53	4.9	42.0	28.0	14.0	14	16	26
Cal	5.5	12	8.38	3.5	3.5	0.0	54	12	28
Cal+fertilización	5.5	65	10.47	1.4	1.4	0.0	59	7	32

con implicaciones considerables en la fertilidad del suelo y la eficiencia de la fertilización, pues entre más ácido sea el suelo, habrá menor capacidad de retención o almacenamiento de nutrientes.

Dentro de los tratamientos que no llevaron cal, el tratamiento con fertilización presentó el valor más alto de porcentaje de saturación de acidez intercambiable ($H^+ + Al^{3+}$), probablemente debido al efecto que tuvo la fertilización nitrogenada sobre el incremento de la acidez en el suelo (Espinosa y Molina, 1999). De acuerdo a Raji (2011), el proceso de nitrificación, que es la causa del aumento de la acidez, tuvo mayor ocurrencia en el tratamiento con fertilización, ya que la urea es un fertilizante nitrogenado que genera un mol de H por mol de nitrógeno aplicado (Havlin et al., 2014).

En la Figura 3 se observa que en los tratamientos que llevaron cal, se mostró un mayor porcentaje de nitrógeno total en el suelo, lo cual es debido, al incremento que genera el encalado sobre la actividad de los microorganismos encargados de la mineralización de la materia orgánica, que como resultado aumentan la disponibilidad de nitrógeno (Malavolta, 1993).

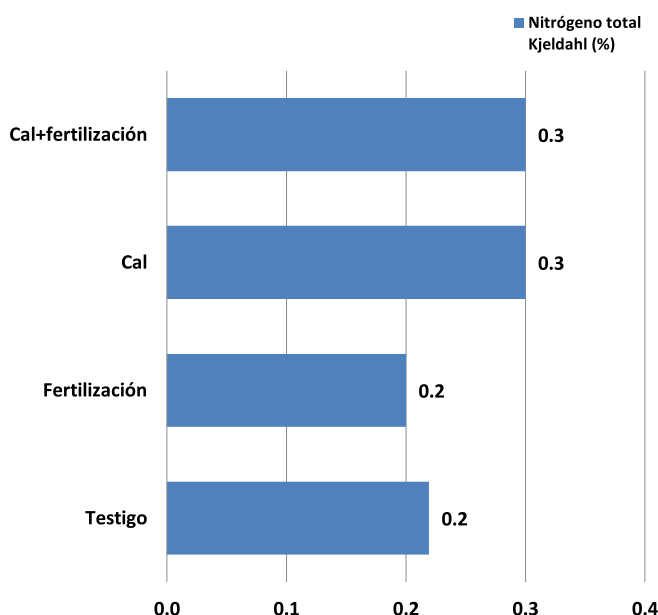


Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre el nitrógeno total en el suelo.

Con respecto al efecto sobre el rendimiento de café cereza, en las Figura 4 y 5 se observa que el tratamiento con cal supera en 34, 8 y 1.3 veces a los tratamientos testigo, fertilización y cal+fertilización. La eficiencia agronómica de la cal fue de 9.8, 8.8 y 2.4 gramos de café cereza por cada kilogramo de cal aplicado con respecto a los tratamientos testigo, fertilización y cal+fertilización, evidenciando una pérdida de la eficiencia de la cal cuando se aplica fertilizantes nitrogenados.

CONCLUSIONES

Los resultados de este ensayo, dejan claro que las condiciones de acidez en el suelo, al afectar el crecimiento normal de las raíces, limita la absorción de nutrientes, el desarrollo de la parte aérea de las plantas y el rendimiento de grano café.

Para solucionar este tipo de problemas, la cal dolomita es una excelente opción bajo las condiciones de estudio aquí descritas. También muestran el efecto que tiene la fertilización nitrogenada en el aumento de la acidez y la limitada eficiencia que tienen los fertilizantes aplicados en un suelo con problema de acidez.

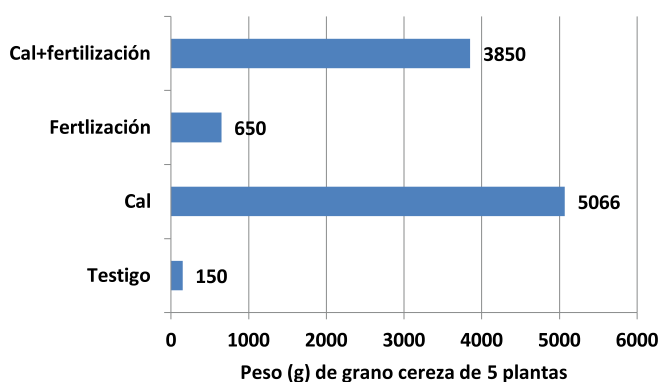


Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de café.



Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento.

LITERATURA CITADA

- Ángel C. M. C. 2015. Diagnóstico participativo de la acidez en suelos cafetaleros de la microcuenca La Suiza, municipio Montecristo de Guerrero, Chiapas. Tesis de Licenciatura Ingeniero en Ciencias Agrarias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Centro Académico Regional Chiapas. Cintalapa de Figueroa, Chiapas, México. 71 p.
- Bertsch F. 1995. La fertilidad del suelo y su manejo San José Costa Rica. ACCS. 57 p.
- Bertsch F. 1998. Potasio, calcio y magnesio en el sistema suelo-café. Curso regional sobre nutrición mineral del café. San José Costa Rica. Programa Cooperativo para la Producción y Modernización de la Cafeticultura (PROMECAFE). pp. 83-88.
- Castiaux M., Crossman K., Jurjonas M., Mondragón R.L. 2014. Diagnóstico participativo para la planeación de la producción de café en la Microcuenca La Suiza de Chiapas, México. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur- Colorado State University. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. 159 p.
- Diario Oficial (DOF). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreos y análisis. DOF del día martes 31 de diciembre de 2002. México. 85 p.
- Espinosa J., Molina E. 1999. La acidez y encalado de suelos. International Plant Nutrition Institute. Quito, Ecuador. 42 p.
- Havlin J.L. Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D. 2014. Soil Fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 8ª. Ed. New Jersey. Pearson. 516 p.
- IPNI. 1990. Manual de fertilidad de suelo: porcentaje de saturación de bases intercambiables. The Potash and Phosphate Institute. pp.12.
- Jurjonas M., Crossman K., Solomon J., López B.W. 2016. Potential links between certified organic coffee and deforestation in a protected area in Chiapas, Mexico. World Develop. 78: 13-21.
- López B.W., Castro M.I., Reynoso S.R., López M.J. 2016. Propiedades de los suelos cafetaleros en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. Rev. Mex. Cien. Agríc. 7: 607-618.
- López B.W., Salinas C.E., Santos R.R. 2011. Conectividad hídrica entre municipios, cuencas y Reserva de la Biósfera El Triunfo. Potencial para la creación de un mercado local de agua. Libro Técnico No. 10. Campo Experimental Centro Chiapas, INIFAP. 80 p.
- Meléndez G., Molina E. 2001. Manejo de la acidez y encalado de los suelos. En Memoria del Seminario Fertilidad de Suelos y Manejo de la Nutrición de Cultivos Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. pp. 27-40.
- Malavolta E. 1993. Nutricao mineral e adubacao do cafeeiro: colheitas econômicas máximas. Sao Paulo: Agronômica Ceres. 210 p.
- Rajj B.V. 2011. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. PIRACICABA. IPNI. 420 p.
- Siavosh S.K. 2016. La acidez del suelo; una limitante común para la producción de café. Avances técnicos. CENICAFE No. 466. Colombia. 12 p.
- Snyder C.S. 2009. Eficiencia del uso de nitrógeno: desafíos mundiales, tendencias futuras. En: memoria del simposio "uso eficiente de nutrientes" presentado por el IPNI en el Congreso Latinoamericano del Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. pp. 11-19.

HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN EL CRECIMIENTO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) VARIEDADES GARNICA, CATIMOR, CATURRA Y CATUAÍ

ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN COFFEE GROWTH (*Coffea arabica* L.)
VARIETIES GARNICA, CATIMOR, CATURRA AND CATUAÍ

Hernández-Acosta, E.^{1*}; Trejo-Aguilar, D.²; Ferrera-Cerrato, R.³; Rivera-Fernández, A.²; González-Chávez, M.C.³

¹Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Carretera México-Texcoco km 38.5. Chapingo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ²Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, Xalapa, Veracruz. C. P. 91090. ³Colegio de Posgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230.

*Autor de correspondencia: elizahac@yahoo.com.mx

RESUMEN

Los hongos micorrízicos arbusculares pueden incrementar los rendimientos, mejorar el crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas. La introducción en vivero de la micorriza arbuscular en café es de suma importancia, debido a que el manejo adecuado de este biofertilizante favorece la producción de plántulas de cafeto más vigorosas y con bajo costo. Se estudió el efecto de dos inóculos micorrízicos: uno formado por *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum*, y *Glomus albidum* y el segundo por *Rhizophagus aggregatus*, en cuatro variedades de café (Garnica, Catimor, Caturra y Catuai). Las plantas permanecieron en vivero once meses, se inoculó desde semilla, para evaluar su efecto en las plantas. El inóculo formado por *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum* y *Glomus albidum* fue el más eficiente en promover el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos e incrementos con respecto al testigo en altura (198%), área foliar (676%), volumen de la raíz (910%) y peso seco (1,063%). Aunque *Rhizophagus aggregatus* no fue tan eficiente como los hongos *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum*, y *Glomus albidum*, mostró incrementos significativos con respecto al testigo en todas las variables evaluadas. La inoculación con dichas especies micorrízicas permitió obtener plantas sanas y vigorosas para el trasplante a campo en menor tiempo, por lo que se recomienda su uso como biofertilizantes.

Palabras clave: Biofertilizante, crecimiento de la planta, vivero.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi can increase yields, improve growth and the vegetative development of plants. The introduction in nursery of arbuscular mycorrhizas in coffee is of great importance, since the adequate management of this biofertilizer favors the production of more vigorous coffee seedlings and of low cost. The effect of two mycorrhizal inocula were studied: one formed by the fungi *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum*, and *Glomus albidum* and the second by the fungus *Rhizophagus aggregatus*, in four coffee varieties (Garnica, Catimor, Caturra and Catuai). The plants remained in nursery for eleven months, inoculated from seed, to evaluate the effect of the fungi on the plants. The inoculum formed by *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum*, and *Glomus albidum* was the most efficient in promoting the growth and development of plants. Significant differences were obtained between treatments and increments with respect to the control in height (198%), foliar area (676%), root volume (910%) and dry weight (1,063%). Although *Rhizophagus aggregatus* was not as efficient as *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum*, and *Glomus albidum*, it did show significant increases compared to the control in all the variables evaluated. The inoculation with these mycorrhizal species allowed obtaining healthy and vigorous plants for field transplant in less time, so their use as biofertilizers is recommended.

Keywords: Biofertilizer, plant growth, nursery.

A fin de contribuir a reducir los elevados costos de producción y dependencia insumos de síntesis química, los recursos bióticos disponibles en el entorno cafetalero y la biotecnología representan una alternativa. Para los agroecosistemas cafetaleros una opción viable es el empleo de los recursos biológicos que interaccionen con las plantas y eleven la eficiencia de los mismos. Una de estas interacciones la constituyen los hongos micorrízicos arbusculares, los cuales forman una parte muy importante de la flora microbiana del suelo, ya que facilitan la absorción de agua y elementos como el P, Zn, Cu, entre otros (Barrér, 2009).

Varios trabajos informan que la asociación micorrízica arbuscular es necesaria para el desarrollo normal del café en campo (Bertolini *et al.*, 2018). Sin embargo, ya que durante una de las fases tecnológicas del cultivo, hay una etapa en vivero en la que generalmente el suelo que sirve de sustrato se somete a fumigación o esterilización a fin de eliminar organismos patógenos, los organismos benéficos entre los que figuran las micorrizas también se eliminan (Koide y Mosse 2004), por lo que la planta carece de un sistema biológico que le permite desarrollarse sin recibir una nutrición por carecer de los cuidados que se le da en vivero y en muchas ocasiones su desarrollo no tiene éxito.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum* y *Glomus albidum* y de *Rhizophagus aggregatus* en el crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de

INTRODUCCIÓN

La planta de café tiene su origen en Etiopía, y fueron los comerciantes árabes, quienes la reprodujeron en la Península Arábig, por ello el nombre de la especie del café es *Coffea arabica*. Actualmente se encuentra distribuida en una diversidad de condiciones ecológicas, en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Programa Mexicano del Carboneo, 2016; Prieto-Benavides y Belezaca-Pinargote, 2012; Aguirre-Medina *et al.*, 2011; Sánchez-Esmoris *et al.*, 2011).

De acuerdo con la Organización Internacional del Café, México es el onceavo productor mundial (su producción representa 2.4% del total mundial). El cultivo constituye el 0.66% del producto interno bruto agrícola nacional y el 1.34% de la producción de bienes agroindustriales. Se producen cafés de excelente calidad principalmente en las zonas tropicales del país, es un cultivo estratégico cuya producción emplea a más de 500 mil productores en 15 entidades federativas y 480 municipios. El consumo per cápita anual es de 1.4 kg. Chiapas es el principal productor (41%), seguido por Veracruz (24%) y Puebla (15.3%). En México se destina 3.24% del total de la superficie cultivada a la producción orgánica del café, exporta 28,000 toneladas sobre todo a la Unión Europea, donde se estima que el consumo total y per cápita aumenta desde el año 2005 y continuará creciendo. Para el ciclo 2018-2019, se calcula que el volumen de producción de México será de 4 millones de sacos, 5.8% más alto que el del año previo de cosecha (SAGARPA, 2018).

café (*Coffea arabica* L.): Garnica, Catimor, Caturra y Catuai, a nivel vivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área experimental. El experimento se realizó en el vivero de la Facultad de Ciencias Agrícolas Zona Xalapa, de la Universidad Veracruzana, ubicada en Xalapa, Veracruz, México. El sitio experimental se ubica a una altura de 1,399 msnm, con una precipitación pluvial anual promedio de 1,626 mm y una temperatura media anual de 18 °C.

Inoculo de hongos micorrízicos arbusculares. Se utilizaron dos inóculos micorrízicos: uno formado por *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum* y *Glomus albidum* (anteriormente conocido como *Glomus* sp. Zac-19 (Chamizo *et al.*, 1998)) y el segundo por *Rhizophagus aggregatus*, ambos fueron proporcionados por el Área de Microbiología de Suelos del Programa de Edafología del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo. Como fuente de inóculo se utilizaron raíces de frijol colonizadas en un 57% y 67.2% respectivamente. Se utilizaron 10 g de inóculo por planta de las especies mencionadas.

Variedades de café y preparación de las semillas. Se utilizaron las variedades Garnica, Catimor, Caturra y Catuai de la especie *Coffea arabica* L, con un porcentaje de germinación del 95%, 98%, 97% y 90%, respectivamente. Las semillas fueron tratadas para lograr una germinación rápida. Se les quitó el pergamino para dejar al grano en tipo café oro; después se remojaron en una solución de agua que contenía 450 mL cloro y jabón para romper la tensión superficial.

Preparación del sustrato y contenedores. Como sustrato se utilizó una mezcla de suelo y materia orgánica en una relación 40:60, misma que fue tamizada y posteriormente esterilizada en autoclave a una temperatura de 120 °C por dos horas y media. La mezcla presentó bajo contenido de fósforo y pH de 6.5. Como contenedores se utilizaron vasos de unicel con capacidad de 1 kg, previamente desinfectados. Se llenaron con el sustrato quedando listos para la siembra.

Siembra e inoculación. En los recipientes, previamente preparadas a los cuales se aplicó riego un día antes para que el sustrato permaneciera húmedo, se efectuó la inoculación y siembra de la semilla, utilizando 10 g de inóculo por unidad experimental. El inóculo se colocó a 4 cm de profundidad y posteriormente sobre éste se puso la semilla a una profundidad de 3 cm. La semilla y el inóculo se cubrieron con suelo, poniendo en la superficie una capa delgada de tezontle previamente esterilizado con el fin de evitar la aparición de contaminantes en el sustrato y para conservar la humedad del suelo.

Manejo de las plantas en el vivero. El experimento tuvo una duración de once meses. Durante las primeras tres semanas se aplicó riego cada tercer día y posteriormente, conforme a los requerimientos de agua por parte de la planta, hasta alcanzar la capacidad de campo en el sustrato. No fue necesaria la aplicación de ningún insumo agrícola durante la permanencia de la planta en el vivero.

Evaluación de las variables. Las variables altura de la planta (se midió con una regla desde la base del ta-

llo) y área foliar (mediante la fórmula $AF=L \times A \times 0.63$), se evaluaron a los 330 días después de la siembra. Al final del experimento (335 días después de la siembra) se evaluaron las variables: volumen radical (método volumen desplazado), peso seco (con balanza granatario), porcentaje de colonización micorrízica en las raíces de las plantas (Técnica de clareo y tinción de Phillips y Hayman, 1970) y número de esporas por gramo de suelo seco (Técnica de tamizado de Gerdemann y Nicolson, 1963).

Diseño experimental y análisis estadístico. En el ensayo se estableció un diseño completamente al azar con 12 tratamientos y 15 repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por una planta, debido a que las variedades de café no difieren en sus características fenotípicas durante la fase de vivero. Se realizó un análisis estadístico general para todas las variedades de café evaluadas y para todas las variables evaluadas, mediante un análisis de varianza, aplicando una prueba de comparación de medias de Tukey con $\alpha=0.05$, con el software SAS versión 8.0. (SAS, 2000). La descripción de los tratamientos se muestra en el Cuadro 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la micorriza arbuscular en el crecimiento del café. El análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas para todas las variables evaluadas entre las plantas inoculadas y el testigo. El inóculo micorrízico formado por *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum*, and *Glomus albidum* originó los valores más altos para todas las variables agronómicas evaluadas. Los incrementos con respecto al testigo fueron: 198% en altura de las plantas,

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos para evaluar el efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café de cuatro variedades.

Tratamiento	Hongo micorrízico arbuscular	Variedad de café	Repeticiones
1	<i>Glomus aggregatum</i> FS-39	Garnica	15
2	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	Garnica	15
3	Testigo	Garnica	15
4	<i>Glomus aggregatum</i> FS-39	Catimor	15
5	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	Catimor	15
6	Testigo	Catimor	15
7	<i>Glomus aggregatum</i> FS-39	Caturra	15
8	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	Caturra	15
9	Testigo	Caturra	15
10	<i>Glomus aggregatum</i> FS-39	Catuai	15
11	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	Catuai	15
12	Testigo	Catuai	15

676% en área foliar, 910% en volumen radical y 1,063% en peso seco. En algunas variables *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum* y *Glomus albidum* aumentó los valores de las medias, aunque numéricamente estuvieron más cercanas al testigo que a *Rhizophagus aggregatus* (Cuadro 2).

Resultados inferiores a los obtenidos en el presente trabajo para la variable altura de la planta fueron reportados por del Águila *et al.* (2018) al evaluar el efecto de la inoculación de consorcios micorrízicos arbusculares en *Coffea arabica* variedad Caturra por siete meses, obteniendo incrementos máximos con respecto al testigo de 10.65%. También fueron inferiores a los conseguidos por Trejo *et al.* (2011), quienes evaluaron consorcios micorrízicos arbusculares en plantas de café variedad Garnica a los 130 días después de la inoculación, registrando un incremento con respecto al testigo de 91%. En el presente trabajo se evidencia la influencia positiva de la micorriza arbuscular sobre la variable altura de las plantas.

Al evaluar el efecto de *Glomus intraradices* y abonos orgánicos (a los 70 días después de la siembra) sobre la producción de café, Sánchez Sánchez-Esmoris *et al.* (2011) observaron incrementos significativos (287%) respecto al testigo para la variable área foliar, aunque esos incrementos fueron inferiores

a los obtenidos en el presente trabajo (676%). También fueron superiores a los obtenidos por del Águila *et al.* (2018), quienes encontraron incrementos máximos de 239%.

En la variable peso seco, Aguirre-Medina *et al.* (2011), obtuvo resultados inferiores (de 94 a 120%) a los obtenidos en la presente investigación (1,063%) cuando evaluaron el efecto de la inoculación de *Glomus intraradices* en plantas de café durante 210 días. En general se mostró la eficiencia de *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum* y *Glomus albidum* en el crecimiento vegetativo de las variedades de café estudiadas en esta investigación.

Efecto de la interacción variedad vs cepa en el desarrollo y crecimiento de la plantas de café.

Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas cuando se evaluó la interacción variedad vs cepa en las variables altura de la planta, área foliar, volumen radical y peso seco (Cuadro 3). La interacción Garnica-*Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum*, y *Glomus albidum* originó los incrementos más altos con respecto al testigo para todas las variables evaluadas: 1,211% en altura de las plantas; 771.6% en área foliar; 866% en volumen radical; y 1,211% en la variable peso seco. La siguiente interacción más eficiente en el crecimiento y desarrollo de las plantas fue Caturra-*Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum*, y *Glomus albidum*, la cual también mostró incrementos significativos en el crecimiento de la planta, respecto a los testigos (Cuadro 3).

Los resultados obtenidos en la presente investigación fueron superiores a los reportados por Perea *et al.* (2018) en las variables altura de

Cuadro 2. Efecto de las cepas de hongos micorrízicos arbusculares sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas de cuatro variedades.

Hongo micorrízico arbuscular	Variable			
	Altura cm	Área Foliar cm ²	Volumen Radical cm ³	Peso Seco g
<i>Rhizophagus aggregatus</i>	8.43b	82.95b	4.32b	1.25b
<i>Glomus claroideum</i> , <i>Glomus diaphanum</i> y <i>Glomus albidum</i>	17.36a	225.96a	13.20a	4.04a
Testigo	8.77b	33.39c	1.45c	0.38c

Medias con letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey ≤ 0.05).

Cuadro 3. Efecto de la interacción variedad-cepa en el desarrollo y crecimiento de las plantas de café.

Variedad	Cepa	Altura (cm)	Área Foliar (cm ²)	Volumen Radical (cm ³)	Peso Seco (g)
Garnica	<i>Rhizophagus aggregatus</i>	0.51c*	40.29cd	1.77cd	0.81bc
Garnica	<i>Glomus claroideum</i> , <i>Glomus diaphanum</i> y <i>Glomus albidum</i>	5.45a	341.62a	20.80a	5.45a
Garnica	Testigo	0.45c	44.27cd	2.40cd	0.45bc
Catimor	<i>Rhizophagus aggregatus</i>	2.12b	143.23bc	7.23c	2.12b
Catimor	<i>Glomus claroideum</i> , <i>Glomus diaphanum</i> y <i>Glomus albidum</i>	4.49a	238.39ab	13.93b	4.49bc
Catimor	Testigo	0.47bc	34.55d	1.43cd	0.47bc
Caturra	<i>Rhizophagus aggregatus</i>	1.93bc	114.65cd	6.77cd	1.93bc
Caturra	<i>Glomus claroideum</i> , <i>Glomus diaphanum</i> y <i>Glomus albidum</i>	4.79a	290.97a	15.71cb	4.73a
Caturra	Testigo	0.27c	28.06cd	1.01d	0.27c
Catuaí	<i>Rhizophagus aggregatus</i>	0.41c	33.62d	1.53cd	0.41bc
Catuaí	<i>Glomus claroideum</i> , <i>Glomus diaphanum</i> y <i>Glomus albidum</i>	1.43bc	2.35cd	32.88d	1.19bc
Catuaí	Testigo	0.33c	0.95d	26.88d	0.33c

*Medias con letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey ≤ 0.05).

la planta (142%) y peso seco (482%) e inferiores para la variable área foliar (1,038%), cuando investigaron durante ocho meses el efecto que tenía la interacción entre consorcios micorrízicos nativos y plantas de café de la variedad Garnica a nivel vivero.

De acuerdo con del Águila *et al.* (2018) y Trejo *et al.* (2011), las variedades Garnica y Caturra crecen más rápido y presentan mejor desarrollo vegetativo cuando se inoculan con consorcios micorrízicos. Sin embargo, en la presente investigación se resalta que se obtuvieron resultados muy superiores a los logrados en las dos investigaciones citadas, sobre todo para las variables altura de la planta y área foliar.

Por otro lado, tanto Perea *et al.* (2018), del Águila *et al.* (2018) y Trejo *et al.* (2011) inocularon las plantas de café con consorcios micorrízicos, en la presente investigación se superó por mucho los valores obtenidos por los investigadores

citados, con el consorcio *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum* y *Glomus albidum*.

Los resultados muestran que no todos los inoculantes funcionan de la misma manera. En este caso, el mejor fue el que está compuesto por más de una especie. Resultados similares fueron reportados por Trejo *et al.* (2011). Por otra parte, no todas las variedades de café respondieron a la inoculación micorrízica de la misma manera, en este caso la variedad Catui, no presentó diferencias significativas con respecto al testigo, a pesar de que si hubo colonización (Cuadros 3 y 4).

Colonización endomicorrízica total y número de esporas.

Los hongos micorrízicos arbusculares fueron infectivos en la colonización micorrízica de las raíces y eficientes, ya que estimularon cambios fisiológicos metabólicos positivos que se manifestaron cuando se evaluó el desarrollo de las plantas.

Al final del experimento se evaluó el porcentaje de colonización, y el valor más alto fue de 34.32% en la variedad Garnica cuando se inoculó con *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum* y *Glomus albidum*; los porcentajes obtenidos con este inóculo provocaron eficiencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que se manifestó en el incremento de los valores medios de todas las variables estudiadas (Cuadro 3). La respuesta de las variedades de café a la inoculación con *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum* y *Glomus albidum*; fue favorable, ya que las plantas mostraron incrementos con respecto al testigo de hasta 1,211% en la variable peso seco. Además, en todas las variables evaluadas se obtuvieron incrementos significativos cuando se compararon con los resultados obtenidos para las mismas variables en las plantas testigo.

El porcentaje de colonización que se obtuvo con la cepa *Rhizophagus aggregatus* fue de 23.5, y también

Cuadro 4. Porcentaje de colonización endomicorrízica total y número de esporas al finalizar el experimento en vivero.

Variedad	Porcentaje de colonización micorrízica (%)		Número de esporas (100 g de suelo seco)	
	<i>Rhizophagus aggregatus</i>	<i>Glomus claroideum</i> , <i>Glomus diaphanum</i> y <i>Glomus albidum</i>	<i>Rhizophagus aggregatus</i>	<i>Glomus claroideum</i> , <i>Glomus diaphanum</i> y <i>Glomus albidum</i>
Garnica	9.7	34.32	2 170	4 128
Catimor	23.5	27.42	2 953	4 764
Caturra	10.40	16.53	3 721	6 469
Catuaí	0.10	15.44	1 987	2 395

provocó incrementos significativos con respecto al tratamiento testigo en todas las variables evaluadas en las plantas (Cuadro 4). Resultados superiores (51.33%) a los reportados en el presente estudio (34.32%), fueron obtenidos por Perea *et al.* (2018), cuando se evaluó la interacción consorcio micorrízico y plantas de café variedad Garnica a nivel vivero.

Estudios realizados en el trópico reportan la eficiencia de los hongos micorrízicos arbusculares en las plantas de café, donde refieren diferentes porcentajes de colonización. Así, Sánchez-Esmoris *et al.* (2011), lograron un porcentaje de hasta 51% en plantas inoculadas en la provincia de Cienfuegos, Cuba. Aguirre-Medina *et al.* (2011) obtuvieron un porcentaje de 18%, en plantas de café variedad Oro Azteca en Chiapas, México; en ambos trabajos se inoculó con la especie *Glomus intraradices*.

Otros estudios señalan la eficiencia de los consorcios micorrízicos en el desarrollo de las plantas de café. Por ejemplo, del Del Águila *et al.* (2018), reportaron porcentajes de colonización de hasta 31% en plantas de café variedad Caturra en la Amazonia Peruana. En tanto Trejo *et al.* (2011) en plantas de café de la variedad Garnica reportaron 90.2% de porcentaje de colonización, en Veracruz, México.

El número de esporas producidas por los hongos micorrízicos durante la estancia de las plantas en vivero se observa en el Cuadro 4. *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum* y *Glomus albidum* produjeron el mayor número de esporas (de 2,395 a 6,469) en todas las variedades de café; y fue la variedad Caturra el que lo presentó, seguida por las variedades Catimor, Garnica y Catuaí. Los

resultados obtenidos en el presente trabajo superaron a los indicados por Sánchez-Esmoris *et al.* (2009), quienes reportaron el mayor número de esporas (161) en 50 g de suelo seco después de 70 días después de la siembra.

Khanam *et al.* (2006) mencionan que la variación en cantidad de esporas presentes en el suelo pueden estar determinadas por el pH, humedad del suelo y otros factores ambientales como el clima. La ma-

yor cantidad de esporas en el suelo y la variabilidad de la morfología micelar en las raíces de plantas en vivero, sugiere que en esa etapa son más aptas para ser colonizadas por la micorriza arbuscular.

Esta investigación y las que se presentan en el documento comprueban que la inoculación de las plántulas es necesaria para obtener una micorrización efectiva y para favorecer el vigor de las mismas.

CONCLUSIONES

El cultivo del cafeto dependiente de la asociación con hongos micorrízicos arbusculares para prosperar en campo. La inoculación con estos hongos es de vital importancia para su producción en vivero, debido a que fueron capaces de incrementar el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las cepas micorrízicas arbusculares difirieron en su capacidad infectiva con *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum* y *Glomus albidum*, mostrando más afinidad con el cultivo, ya que presentó los valores más altos en los porcentajes de colonización y número de esporas por gramo de suelos seco, y fue la más eficiente en promover el crecimiento y desarrollo vegetativo. Las variedades de café que respondieron mejor a la colonización del hongo micorrízico arbuscular fue Garnica y Caturra, así mismo, fueron las más favorecida con la inoculación con *Glomus claroideum*, *Glomus diaphanum* y *Glomus albidum*.

La estancia de la planta de café en vivero se redujo con la inoculación del hongo micorrízico arbuscular; por otra parte y debido al vigor y sanidad de las plantas no fue necesario el uso de pesticidas, ni fertilizantes, por tanto, disminuyeron los costos de producción.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Medina J.F., Moroyoqui-Ovilla D.M., Mendoza-López A., Cadena-Iñiguez J., Avendaño-Arrazate C.H., Aguirre-Cadena J.F. 2011. Hongo endomicorrízico y bacteria fijadora de nitrógeno inoculadas a *Coffea arabica* en vivero. Agron. Mesoam. 22: 71-80.
- Barrer S.E. 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. Rev. Fac. Cien. Agrar. 7: 123-133.
- Bertolini V.B., Montaña M.N., Chimal S.E., Varela L.F., Gómez R.J., Martínez V.M. 2018. Abundancia y riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en cafetales de Soconusco, Chiapas, México. Rev. Biol. Trop. 66: 91-105.
- Chamizo A., Ferrera-Cerrato R., Varela L. 1998. Identificación de especies de un consorcio del género *Glomus*. Rev. Mex. Micol 14: 37-40.
- Del Aguila, Karen M., Vallejos-Torres, Geomar, Arévalo, Luis A., & Becerra, Alejandra G.. (2018). Inoculación de Consorcios Micorrízicos Arbusculares en *Coffea arabica*, Variedad Caturra en la Región San Martín. Información tecnológica, 29(1), 137-146. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000100137>
- Gerdemann J.W., Nicolson T.H. 1963. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Brit. Mycol. Soc. 46: 235-244.
- Flores V.F. 2015. La producción de café en México: ventana de oportunidad para el sector agrícola de Chiapas. ESPACIO I+D, Innovación más Desarrollo 7: 175-194.
- Khanam D., Mridha M.A.U., Solaiman A.R.M. Hossain T. 2006. Effect of edaphic factor son root colonization and spore population of arbuscular mycorrhizal fungi. Bull. Inst. Trop. Agric. 29: 97-104.
- Koide R., Mosse B. 2004. A history of research on arbuscular mycorrhiza. Mycorrhiza 145-163.
- Perea R.Y.C., Arias R.M., Mendel O.R., Trejo A.D., Heredia G., Rodríguez Y.Y. 2018. Effects of native arbuscular mycorrhizal and phosphate-solubilizing fungi on coffe plants. Agroforest Syst. doi: 10.1007/s10457-018-0190-1
- Phillips J., Hayman D. 1970. Improved procedures for clearing roots and vesicular-arbuscular fungi for rapid assessment of the infection. Trans. British. Mycol. Soc. 55: 158-161.
- Programa Mexicano del Carbono. 2016. Una red para salvar la sombra de la Sierra Madre de Chiapas. Campaña a favor de los acervos de carbono y la biodiversidad en los cafetales bajo sombra. Breves de Políticas Públicas. Universidad Autónoma Metropolitana. Boletín informativo. México. D. F.
- Prieto-Benavides O.O., Belezaca-Pinargote C.E., Mora-Silva W.F., Garcés-Fiallos F.R., Sabando-Ávila F.A., Cedeño-Loja P.E. 2012. Identificación de hongos micorrízicos arbusculares en sistemas agroforestales con cacao en el trópico húmedo ecuatoriano. Agron. Mesoam. 23: 233-239.
- Sánchez-Esmoris C., Rivera-Espinosa R., Caballero-Bencosme D., CupullSantana R., González-Fernández C., Urquiaga-Caballero S. 2011. Abonos verdes e inoculación micorrízica de posturas de cafeto sobre suelos fersialíticos rojos lixiviados. Cult. Tropic. 31: 11-17.
- Sánchez C., Rivera R., Caballero D., Cupull R., González C., Urquiaga S. 2009. Los abonos verdes y la inoculación micorrízica de plántulas de *Coffea arabica* sobre suelos cambisoles gléyicos. Cult. Tropic. 30: 5-10.
- SAS Institute. 2000. Software SAS version 8. Nashville Enabled. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2018. México, onceavo productor mundial de café. Disponible en: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/mexico-onceavo-productor-mundial-de-cafe?idiom=es> 2 de abril 2018
- Trejo D. Ferrera-Cerrato R., García R., Varela L., Lara L., Alarcón A. 2011. Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. Rev. Chil. Hist. Nat. 84: 23-31.

TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE DOS ESPECIES DEL GÉNERO *Coffea*

PREGERMINATIVE TREATMENTS IN SEEDS OF TWO SPECIES OF THE *Coffea* GENUS

Ortiz-Timoteo, V.¹; Ordaz-Chaparro, V.M.^{1*}; Aldrete, A.¹; Escamilla-Prado, E.²; Sánchez-Viveros, G.³; López-Romero, R.M.¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco Estado de México. C. P. 56230. ²Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Oriente. Carretera Huatusco-Xalapa km 6. Huatusco, Veracruz. C. P. 94100. ³Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz. C. P. 91000.

*Autor de correspondencia: ordaz@colpos.mx

RESUMEN

La semilla de café presenta germinación lenta y asincrónica, lo que incrementa el tiempo para la obtención de plántulas, y los gastos asociados. Se determinó el tratamiento pregerminativo (TP) que disminuye el tiempo de germinación de semillas de *Coffea arabica* L. var. Colombia y *Coffea canephora* P. var. Robusta. Se aplicaron cinco tratamientos pregerminativos en agua a semillas sin endocarpo: T1) inmersión 24 horas; T2) lijado más inmersión 24 horas; T3) inmersión a 40 °C por una hora; T4) inmersión 48 hora; y T5) lijado más inmersión 48 horas. Posteriormente, se sembraron en dos sustratos (arena y turba). Los tratamientos tuvieron tres repeticiones, con 25 semillas como unidad experimental, organizadas en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial. Las variables evaluadas fueron: días de inicio de la germinación (DIG), velocidad de emergencia (VE) y porcentaje de emergencia (PE). En *Coffea arabica*, el TP que disminuyó el periodo de germinación fue T1 al obtener plántulas emergidas a los 22 días, mayor vigor al obtener una VE de 0.55 plántulas emergidas por día e incrementó los PE de 59, 92 y 97% a los 30, 40 y 50 días, respectivamente. En *Coffea canephora*, el T1 presentó 0.40 en VE y el PE en 42% a los 30 días y 73% a los 50 días y el T2 incrementó el PE a los 40 y 50 días en 70 y 81%, respectivamente. El mejor sustrato fue la arena que redujo el periodo de la germinación de semillas de *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, a 26 y 23 días, aumentó la VE en 0.53 y 0.35 plántulas emergidas por día, respectivamente y el PE fue superior a 70% a los 50 días en ambas especies.

Palabras clave: Café, germinación asincrónica, endocarpo, endospermo, velocidad de germinación.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 4, abril. 2018. pp: 68-73.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** abril, 2018.

ABSTRACT

Coffee seeds have slow and asynchronic germination, which increases the time needed to obtain seedlings, and the expenses associated. A pregerminative treatment (PT) was defined which decreases the germination time in seeds of *Coffea arabica* L. var. Colombia and *Coffea canephora* P. var. Robusta. Five pregerminative treatments in water were applied to seeds without endocarp: T1) immersion for 24 hours; T2) scraping plus immersion for 24 hours; T3) immersion for one hour at 40 °C; T4) immersion for 48 hours; and T5) scraping plus immersion for 48 hours. Subsequently, they were sown in two substrates (sand and peat-moss). The treatments had three replicates with 25 seeds as experimental unit, organized into a completely randomized design with factorial arrangement. The variables evaluated were: days to start of germination (DIG), speed of emergence (VE), and percentage of emergence (PE). In *Coffea arabica*, the PT that decreased the germination period was T1, obtaining seedlings at 22 days, with greater vigor with a VE of 0.55 emerged seedlings per day, and increased PE to 59, 92, and 97% on days 30, 40, and 50, respectively. In *Coffea canephora*, T1 presented 0.40 VE and PE of 42% at 30 days and 73% at 50 days, while T2 increased PE at 40 and 50 days by 70 and 81%, respectively. The best substrate was sand, which decreased the germination period of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* to 26 and 23 days, increased VE to 0.53 and 0.35 emerged seedlings per day, respectively, and had PE of more than 70% after 50 days in both species.

Key words: Coffee, asynchronic germination, endocarp, endosperm, speed of germination.

nación y diferentes sustratos, en las dos variedades comerciales de café: *Coffea arabica* y *Coffea canephora*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció durante 50 días en el Laboratorio de Semillas del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México, en un cuarto de germinación a 25 ± 1 °C, con luz blanca constante.

Se evaluaron semillas de *Coffea arabica* L. var. Colombia y *C. canephora* P. var. Robusta a los 30 días de la cosecha. Se les eliminó el endocarpio y se sometieron a tratamientos pregerminativos en agua: T1) inmersión 24 horas; T2) lijado más inmersión 24 horas; T3) inmersión a 40 °C por una hora; T4) inmersión 48 horas; y T5) lijado más inmersión 48 horas. El lijado se realizó a un costado del endospermo (lija de agua No. 100). Las semillas se sembraron a una profundidad de 1 cm en arena de río y turba en charolas de 1 L.

La unidad experimental fue de 25 semillas con tres repeticiones en cada especie en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 5×2 (tratamientos pregerminativos × sustrato). Se evaluaron los días de inicio de la germinación (DIG), de la siembra a la emergencia de la primera plántula; la velocidad de emergencia (VE) como $VE = \frac{\sum}{\text{número de plántulas emergidas/día de conteo}}$ y el porcentaje de emergencia (PE) se calculó con $PE = \left(\frac{\sum G}{N} \right) \times 100$, donde G=número de plántulas emergidas a los 30, 40 y 50 días y N=número de semillas total. El análisis de varianza y comparación de medias (Tukey; $P \leq 0.05$) se realizaron en SAS y las variables que

INTRODUCCIÓN

Las especies de café cultivadas comercialmente son básicamente *Coffea arabica* L. y *C. canephora* P. (Mishra y Slater, 2012), mismas que aportan el 70 y 30% de la cosecha mundial del grano, respectivamente (Oliveira et al., 2010). La semilla de café germina lentamente y en forma asincrónica (De Fariás et al., 2015), manifiesta baja tolerancia a la desecación y longevidad reducida (Temis-Pérez et al., 2011), que ocasiona pérdida de viabilidad (Da Rosa et al., 2010), lo que dificulta la obtención de plántulas con buenos estándar de calidad (Castanheira et al., 2013). Esta situación demanda mayor inversión económica por el periodo prolongado en la germinación (Coa et al., 2014). Si bien la obtención de plantas depende de la germinación (Czarna et al., 2016), destaca también la calidad del sustrato (Araméndiz-Tatis et al., 2013).

En las semillas de café, el endocarpio puede prolongar la germinación (Coa et al., 2014), por lo que su remoción (Fialho et al., 2014), permite que la semilla germine en un tiempo menor (Patui et al., 2014). Además, al escarificar las semillas (Kumar et al., 2012) y eliminar la cubierta (Tung y Serrano, 2011) es posible acortar la fase de germinación. El objetivo de esta investigación fue probar diferentes formas de pretratamiento de las semillas para su germi-

no cumplieran con los supuestos se transformaron con la función arco-seno de la raíz cuadrada (Prado-Urbina *et al.*, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los análisis de varianza se observa efecto por tipo de sustrato y tratamientos pregerminativos, en el DIG, VE y PE de semillas de *C. arabica* (Cuadro 1). Además, hubo interacción entre los factores, excepto para PE (50 D) que resultó no significativa. En *C. canephora* hubo significancia por efecto del tratamiento pregerminativo y del sustrato para todas las variables. Sin embargo, la interacción de los factores se presentó solamente en las variables PE (40 D) y PE (50 D).

Efecto de los tratamientos pregerminativos

En *C. arabica*, los DIG respondieron al T1 y T3, cuyos valores fueron de 22 y 23 días, respectivamente y en *C. canephora*, sobresalió el T2 con 21 días (Cuadro 2) acortando la fase de germinación con relación a los 45 o 60 días señalados por Guevara *et al.* (1997). Probablemente la imbibición ocurrió en la primera semana y la protrusión de la radícula de los 13 a 15 días (Shimizu y Mazzafera, 2000). En la VE a los 30 días después de la siembra fue mayor con T1, tanto en *C. arabica* como en *C. canephora* (0.55 y 0.40 plántulas emergidas por día, respectivamente), expresando el vigor de las semillas.

El T1 en el PE a los 30, 40 y 50 días de la siembra, superó a los demás tratamientos (59, 92 y 97%, respectivamente). A los 30 días se comportó estadísticamente igual al T2 y, a los 40 días al T2 y al T3. A los 30 días, el PE en *C. canephora* con T1 fue de 42%, comportándose estadísticamente igual al T2 y al T3. El PE a los 40 y 50 días de T1 y T2, fueron superiores a 60% (Figura 1). Coa *et al.* (2014) reportaron resultados similares con la escarificación mecánica (lijado del pergamino) e inmersión de agua durante 24 y 48 horas a los 25 días. Al respecto, Gebreselassie *et al.* (2010) encontraron que las semillas de *C. arabica* remojadas por 12 y 72 horas tuvieron 13.28 y 49.80%, respectivamente, mejor emergencia

Cuadro 1. Análisis de varianza (cuadrados medios) en variables de germinación y emergencia de semillas de *Coffea arabica* y *Coffea canephora*.

Especie	FV	DIG	VE	Porcentaje de emergencia (PE)		
				30 días	40 días	50 días
<i>C. arabica</i>	TP	257.80***	0.29***	13428.05***	0.0058***	418.11***
	S	33.84**	1.29***	13324.14***	0.0009**	56.03**
	TP*S	73.11***	0.17***	7376.44***	0.0009***	6.61NS
	CV %	7.52	20.68	19.35	12.24	11.48
<i>C. canephora</i>	TP	29.42**	0.10***	0.0017***	0.0023***	0.0026***
	S	27.58*	0.34**	0.0055***	0.0051***	0.0041***
	TP*S	8.56NS	0.02NS	0.0002NS	0.0009**	0.0015***
	CV %	8.29	44.75	22.92	15.17	14.00

DIG=Días de inicio de la germinación; VE=velocidad de emergencia; FV=factor de variación; TP=tratamiento pregerminativo; S=sustrato; CV=coeficiente de variación. *= $P \leq 0.05$; **= $P \leq 0.01$; ***= $P \leq 0.0001$; NS=no significativo.

Cuadro 2. Variables de germinación y emergencia en semillas de café.

Tratamiento pregerminativo	Días de inicio de la germinación (DIG)		Velocidad de emergencia (VE)	
	Ca	Cc	Ca	Cc
Inmersión 24 horas (T1)	22a	22ab	0.55a	0.40a
Lijado más inmersión 24 horas (T2)	24ab	26c	0.47ab	0.29ab
Inmersión a 40 °C por una hora (T3)	23a	21a	0.37b	0.33ab
Inmersión 48 horas (T4)	27b	25bc	0.14c	0.15bc
Lijado más inmersión 48 horas (T5)	38c	26c	0.00d	0.07c

Ca=*Coffea arabica*; Cc=*Coffea canephora*. Medias con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey; $P \leq 0.05$). n=3.

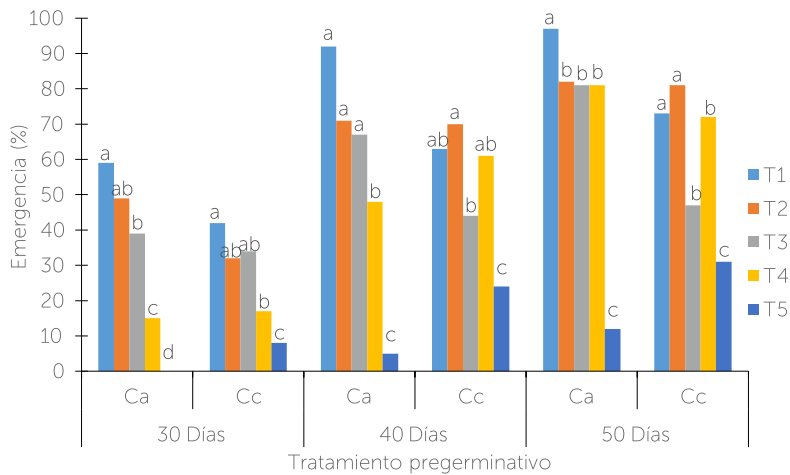


Figura 1. Emergencia en semillas de café en función de los tratamientos pregerminativos. T1=inmersión 24 horas; T2=lijado más inmersión 24 horas; T3=inmersión a 40 °C por una hora; T4=inmersión 48 horas; T5=lijado más inmersión 48 horas. Ca=*Coffea arabica*; Cc=*Coffea canephora*. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey; $P \leq 0.05$).

a los 45 días de la siembra y Mohammed *et al.* (2013) alcanzaron hasta 76.47% con remojo por 72 horas. La escarificación mecánica (lijado del endospermo) con la inmersión 24 horas en agua muestra ser factible para el PE en la mayoría de las fechas (30, 40 y 50 días) de evaluación de *C. arabica* y *C. canephora*.

Efecto del sustrato

Los DIG con la arena fueron de 26 y 23 días para *C. arabica* y *C. canephora*, respectivamente (Cuadro 3), cuya respuesta puede relacionarse a las características de la arena de acuerdo con Pire y Pereira (2003), dado que ésta presenta 37.3, 4.7 y 32.6% de porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad, respectivamente y la turba 73.57, 7.45 y 66.12%, respectivamente (Puerta *et al.*, 2012). Por lo anterior, este sustrato requería porosidad de aireación ligeramente superiores al 30% (Hernández-Zarate *et al.*, 2014). Los DIG empezaron entre los 23 y 28 días, que se relaciona con la emisión de la radícula (15 días) de semillas sin endocarpo (Patui *et al.*, 2014). La VE sobresalió en la arena con 0.53 plántulas emergidas por día en *C. arabica*, valor más elevado que 0.35 plántulas obtenidas en *C. canephora* por la calidad debido a que las semillas de café presentan problemas en la calidad fisiológica (Fialho-Rubim *et al.*, 2014).

La arena favoreció el PE en *C. arabica* a los 30, 40 y 50 días de la siembra con 52, 69 y 74%, respectivamente, superó a los valores de PE de las semillas sembradas en turba (Figura 2). Estos

resultados son superiores a los de Guevara *et al.* (1997). Un buen sustrato garantiza altos porcentajes en la producción de plantas (Aparicio *et al.*, 1999) como la arena que también ha sido satisfactorio en *Stevia rebaudiana* y *Tagetes minuta* en arena (Kumar y Sharma, 2012).

Efecto de la interacción tratamiento pregerminativo y sustrato

Los DIG fueron 19 y 20 en *C. arabica* cuando se aplicó T3 y T1, respectivamente, y la arena como sustrato. (Cuadro 4). En relación con la VE, el T2 y la arena presentaron los valores más elevados con 0.88 plántulas emergidas por día a los 30 días.

El efecto de la interacción (tratamiento pregerminativo por sustrato) fue significativo a los 30 días en el PE de *C. arabica*, resultados superiores a 70% se alcanzaron con T1, T2 y T3, y la siembra en arena. Una tendencia similar se observó a los 40 días de la siembra, destacando T1 y T2, y la arena con 99 y 92%, respectivamente. A los 50 días la mejor combinación se observó con T1 y la arena (100% en PE).

En *C. canephora* T2 y la siembra en arena, destacó como la mejor combinación con 19 de DIG. En relación con la VE, el T2 y la siembra de *C. canephora* en arena, presentó 0.47 plántulas emergidas a los 30 días (Cuadro 5).

El PE en T3 y arena a los 30 días fue mejor con 49%, a los 40 y 50 días sobresalieron T1, T3 y T4, y arena,

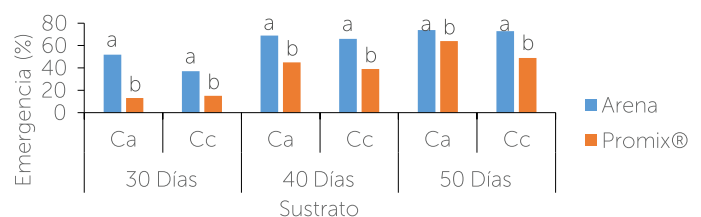


Figura 2. Emergencia en semillas de café en dos sustratos. Ca=*Coffea arabica*; Cc=*Coffea canephora*.

Cuadro 3. Variables de germinación y emergencia en semillas de café en dos sustratos.

Sustrato	Días de inicio de la germinación (DIG)		Velocidad de emergencia (VE)	
	<i>C. arabica</i>	<i>C. canephora</i>	<i>C. arabica</i>	<i>C. canephora</i>
Arena	26a	23a	0.53a	0.35a
Turba	28b	25b	0.11b	0.13b

Medias con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey; $P \leq 0.05$). n=3.

Cuadro 4. Variables de germinación y emergencia en semillas de *Coffea arabica*.

Tratamiento	Sustrato	Días de inicio de la germinación (DIG)	Velocidad de emergencia (VE)	Porcentaje de emergencia (PE)		
				30 D	40 D	50 D
T1	Arena	20a	0.68b	72a	99a	100a
T2		22ab	0.88a	91a	92a	93ab
T3		19a	0.73ab	76a	85ab	88ab
T4		23ab	0.29c	30b	71ab	87ab
T5		43e	0.00d	0c	0e	12c
T1	Turba	24abc	0.42c	47b	85ab	93ab
T2		26bc	0.07d	8c	49bc	71b
T3		26bc	0.02d	3c	52.0bc	75b
T4		29cd	0.04d	5c	25cd	75b
T5		26bc	0.02d	5c	52bc	75b

D=días; T1=inmersión 24 horas; T2=lijado más inmersión 24 horas; T3=inmersión a 40 °C por una hora; T4=inmersión 48 horas y T5=lijado más inmersión 48 horas. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey; $P \leq 0.05$). n=3.

alcanzando valores entre 60 y 90%, asimismo la combinación de T1 y T3 con turba, sobresalieron con resultados entre 50 y 80% en PE (Cuadro 5). Al respecto, Gebrelassie *et al.* (2010) destacan que la remoción del pergamino y el remojo en agua mejoran la emergencia. Con relación a T2 y T4, probablemente el exceso del agua promovido por la turba no favoreció los resultados, ya que tiene mayor capacidad de retención de humedad que la arena.

CONCLUSIONES

El tratamiento pregerminativo de inmersión en agua durante 24 horas favorece la germinación, velocidad y porcentaje de emergencia en *Coffea arabica*. En *Coffea canephora* la inmersión en agua 24 horas y lijado del endocarpo disminuyen el periodo y aumentan el porcentaje de germinación. Entre los sustratos, la arena disminuye el periodo de la germinación de semillas en *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, al reducir los días de

inicio de la germinación, aumentar la velocidad y el porcentaje de germinación. Por lo tanto, el periodo de germinación en *Coffea arabica* disminuye al combinar la inmersión 24 horas, lijado más inmersión 24 horas e inmersión a 40 °C por una hora con la arena y en *Coffea canephora* con la inmersión en agua 24 horas, inmersión a 40 °C por una hora e inmersión 48 horas, con el sustrato arena y la inmersión 24 horas e inmersión a 40 °C por una hora en turba.

Cuadro 5. Variables de germinación y emergencia en semillas de *Coffea canephora* en función de la interacción (tratamiento pregerminativo por sustrato).

Tratamiento	Sustrato	Días de inicio de la germinación (DIG)	Velocidad de emergencia (VE)	Porcentaje de emergencia (PE)		
				30 D	40 D	50 D
T1	Arena	21ab	0.44ab	45ab	64a	75a
T2		19a	0.47a	48ab	60a	61ab
T3		23bcd	0.45ab	49a	81a	87a
T4		25bcd	0.25abcd	28abcd	76a	80a
T5		26cd	0.15abcd	16bcd	48ab	63ab
T1	Turba	21ab	0.37abc	39abc	63a	72a
T2		24bcd	0.12bcd	12cd	20b	26b
T3		28d	0.13bcd	15bcd	59a	76a
T4		26cd	0.06cd	7de	45ab	64ab
T5		0e	0.00d	0e	0c	0c

D=días; T1=inmersión 24 horas; T2=lijado más inmersión 24 horas; T3=inmersión a 40 °C por una hora; T4=inmersión 48 horas y T5=lijado más inmersión 48 horas. Medias con letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey; $P \leq 0.05$). n=3.

LITERATURA CITADA

- Aparicio R.A., Cruz J.H., Alba L.J. 1999. Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch. et Cham., *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en condiciones de vivero. *Foresta Veracruzana* 1: 31-34.
- Araméndiz-Tatis H., Cardona-Ayala C., Correa-Álvarez E. 2013. Efecto de diferentes sustratos en la calidad de plántulas de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Rev. Colomb. Cien. Hortic.* 7: 55-61.
- Castanheira G.G., Veiga F.R.S.D., Serafim C.L.F., Delly V.A., Sampaio C.A.C. 2013. Minimum period to assess the potential of germination of coffee seeds. *J. Seed Sci.* 35: 347-352.
- Coa U.M., Méndez N.J.R., Silva A.R., Mundarain P.S. 2014. Evaluación de métodos químicos y mecanismos para promover la germinación de fosforitos en café (*Coffea arabica*) var. Catuai Rojo. *IDESIA* 32: 43-53.
- Czarna M., Kolodziejczak M., Janska H. 2016. Mitochondrial proteome studies in seeds during germination. *Proteomes* 4: 1-16.
- Da Rosa S.D.V.F., McDonald M.B., Veiga A.D., Villela F.L., Ferreira I.A. 2010. Staging coffee seedling growth: a rationale for shortening the coffee seed germination test. *Seed Sci. Technol.* 38: 421-431.
- De Farias E.T., Amaral da S.E.A., Toorop P.E., Derek B.J., Hilhorst H.W.M. 2015. Expression studies in the embryo and in the micropylar endosperm of germination coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seeds. *Plant Growth Regul.* 75: 575-581.
- Fialho R.R., Duarte V.H., Fontes A.E., Sanazário O.A.C., Pio V.A. 2014. Emergence of conilon coffee seedlings originating from seeds treated with a sodium hypochlorite solution. *Am. J. Plant Sci.* 5: 1819-1830.
- Gebreselassie W., Mohammed A., Netsere A. 2010. Pre-sowing treatment of coffee (*Coffea arabica* L.) seeds to enhance emergence and subsequent growth of seedlings. *Res. J. Seed Sci.* 3: 218-226.
- Guevara E., Herrera J., Alizaga R. 1997. Efecto del sustrato y su condición hídrica sobre la germinación de semilla de café caturra. *Agron. Costar.* 21: 207-216.
- 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: 627-637.
- Kumar R., Misra K.K., Misra D.S., Brijwal M. 2012. Seed germination of fruits crops: a review. *HortFlora Res. Spectr.* 1: 199-207.
- Kumar R., Sharma S. 2012. Effect of light and temperature on seed germination of important medicinal and aromatic plants in north western Himalayas. *Int. J. Med. Arom. Plants* 2: 468-475.
- Mishra M.K., Slater A. 2012. Recent advances in the genetic transformation of coffee. *Biotech. Res. Int.* 2012. Article ID 580857. doi: 10.1155/2012/580857
- Mohammed A., Gebreselassie W., Nardos T. 2013. Effect of effective microorganisms (EM) seed treatment and types of potting mix on the emergence and growth of coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings. *Int. J. Agric. Res.* 8: 34-41.
- Oliveira V.R., Costa M.J.M., Pot D., Batista A.A., Carvalho A.A., Protasio P.L.F., Colombo C.A., Gonzaga E.V.L., Falsarella C.M., Amarante G.P.G. 2010. A high-throughput data mining of single nucleotide polymorphisms in *Coffea* species expressed sequence tags suggest differential homeologous gene expression in the allotetraploid *Coffea arabica*. *Plant Physiol.* 154: 1053-1066.
- Patui S., Clincon L., Peresson C., Zancani M., Conte L., Del Terra L., Navarini L., Vianello A., Braidot E. 2014. Lipase activity and antioxidant capacity in coffee (*Coffea arabica* L.) seeds during germination. *Plant Sci.* 219-220: 19-25.
- Pire R., Pereira A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. *Propuesta metodológica. Bioagro* 15: 55-63.
- Prado-Urbina G., Lagunes-Espinoza L.C., García-López E., Bautista-Muñoz C.C., Camacho-Chiu W., Mirafuentes G.F., Aguilar-Rincón V.H. 2015. Germinación de semillas de chiles silvestres en respuesta a tratamientos pre-germinativos. *Ecosist. Rec. Agrop.* 2: 139-149.
- Puerta A.C.E., Russián L.T., Ruiz S.C.A. 2012. Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Rev. Cient. UDO Agríc.* 12: 298-306.
- Shimizu M.M., Mazzafera P. 2000. A role for trigonelline during imbibition and germination of coffee seeds. *Plant Biol.* 2: 605-611.
- Temis-Pérez A.L., López-Malo V.A., Sosa-Morales M.E. 2011. Producción de café (*Coffea arabica* L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. *Temas Sel. Ingen. Alim.* 5: 54-74.
- Tung L. D., Serrano E.P. 2011. Effects of warm water in breaking dormancy of rice seed. *Omonrice* 18: 129-136.

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN THE PRODUCTION OF COFFEE PLANT (*Coffea arabica* L.)

Reyes-Landa, D.¹; Mercado-Mancera, G.²; Escamilla-Prado, E.^{3*}; Robledo-Martínez, J.D.³

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ²Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, San Sebastián Xhala, Estado de México. C. P. 54740. ³Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Oriente. Carretera Huatusco-Xalapa km 6, Huatusco, Veracruz. C. P. 94100.

*Autor para correspondencia: espreschoca@yahoo.com.mx

RESUMEN

La cafecultura en México tiene gran importancia y es considerada una actividad estratégica. Sin embargo, a partir del 2012 la producción nacional de café fue devastado por la afectación de la roya (*Hemileia vastatrix*). Ante esta situación se requiere propagar cafetos en forma masiva para la renovación de cafetales. Una propuesta innovadora es el establecimiento de viveros con malla sombra de color rojo, que sustituye a la tradicional de color negro. Esta propuesta se fundamenta en que la luz roja ocasiona mayor eficiencia en los cafetos en un rango de los 400 a los 700 nm. Sin embargo, existen resultados controversiales ante la falta de sustento experimental en México. Por tal razón, el objetivo de este trabajo fue analizar la producción de biomasa y su radiación fotosintéticamente activa (PAR) en plantas de café de variedad Geisha en vivero, bajo diferentes condiciones en colores de sombra, siendo éstas gris, azul, aluminizada, negra, perla y roja, en Huatusco, Veracruz. Las variables de respuesta fueron el peso de materia en base fresca y seca, así como la PAR. Los resultados indicaron diferencias significativas para las variables. Las mallas sombra de color perla y roja presentaron los valores más altos, con 12.3 g para peso fresco y 3.3 g en peso seco, tras siete meses de crecimiento. Los valores de PAR fueron de 855.3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 796.24 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para estos tipos de sombra, respectivamente.

Palabras clave: Café, propagación en vivero, malla sombra roja, fotosíntesis.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 4, abril. 2018. pp: 74-79.

Recibido: noviembre, 2017. **Aceptado:** abril, 2018.



ABSTRACT

Coffee growing in Mexico is of great importance and is considered a strategic activity. However, as of 2012, the national production of coffee was devastated by the affectation of rust (*Hemileia vastatrix*). In view of this situation, it is necessary to propagate coffee trees in a massive way for the renewal of coffee plantations. An innovative proposal is the establishment of nursery with red shadow mesh, which replaces the traditional black color. This proposal is based on the fact that red light causes greater efficiency in coffee trees in a range of 400 to 700 nm. However, results are controversial due to the lack of experimental support in Mexico. For this reason, the objective of this work was to analyze the production of biomass and its photosynthetically active radiation (PAR) in coffee plants of Geisha variety in nursery under different conditions in shade colors, being these gray, blue, aluminized, black, pearl and red, in Huatusco, Veracruz. The response variables were the weight of fresh and dry base material, as well as PAR. The results indicated significant differences for the variables. The pearl and red shades had the highest values, with 12.3 g for fresh weight and 3.3 g for dry weight, after seven months of growth. PAR values for plants growing under such shades were $855.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and $796.24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively.

Keywords: Coffee, nursery propagation, red shadow mesh, photosynthesis.

La renovación de cafetales se hace necesaria ante el panorama de cafetales defoliados que dejó esta enfermedad y aunado a esto, la innovación en la producción de plantas de calidad para tener plantaciones sanas, vigorosas, y capaces de producir altos rendimientos.

La calidad de las plantas es reflejo de una óptima producción de biomasa, la cual es resultado de la fotosíntesis. La fotosíntesis depende de una serie de factores externos e internos. Los factores internos son las características de hoja la acumulación de productos asimilados en los cloroplastos, disponibilidad de agua, entre otros. Entre los factores externos destaca la radiación, la cual se compone de tres propiedades: la calidad de luz, intensidad y duración. Solo una fracción de la radiación solar global es empleada en la fotosíntesis, conocida como radiación fotosintéticamente activa o PAR (por sus siglas en inglés) que abarca un rango de los 400 a 700 nm, el cual da esa eficiencia fotosintética (Castilla, 2007).

En este trabajo se buscó comparar el efecto de seis diferentes colores de sombra sobre el peso de materia en base fresca y base seca de plantas de café (*Coffea arabica* L.) variedad Geisha en relación con la radiación fotosintéticamente activa en etapa de vivero en Huatusco, Veracruz, para ofrecer recomendaciones en el manejo de la producción de plántulas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en terrenos experimentales del Centro Regional Universitario de Oriente (CRUO) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), en el municipio de Huatusco, Veracruz, a 96°57'

INTRODUCCIÓN

La cafeticultura en México representa una importante actividad económica, ya que el aromático se comercializa en el mercado internacional y la exportación de café alcanzaba 897 millones de dólares al año, cifra que sólo era superada por el petróleo (Escamilla, 2014). Desde 1998, el sector cafetalero nacional enfrenta una crisis relacionada con la caída de los precios en el mercado internacional por una sobreproducción mundial (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2001). Para 2016, apenas alcanzó los 334 millones de dólares, y un 0.089 % en el valor de las exportaciones (OEC, 2016).

La crisis mundial del café ha repercutido en las regiones cafetaleras mexicanas, donde se observan problemas tanto sociales como pérdida de empleos, aumento de la migración, que traen consigo problemas económicos y ambientales por la tala de cafetales para cambio de cultivo, abandono de las plantaciones y por consiguiente una alta incidencia de plagas y enfermedades que afectan la calidad y rendimiento del grano como la broca (*Hypothenemus hampei*) y roya (*Hemileia vastatrix*) (Aragón, 2006).

En especial, la roya ha tomado una importante relevancia, ya que ocasiona severos daños en las hojas de las plantas, disminuye su capacidad fotosintética y afecta los niveles de producción. Se estima que en América Latina, este hongo puede disminuir en un 30% la producción del aromático (Bonilla, 2018).

longitud oeste, 19°08' latitud norte, a 1,344 msnm. La zona de estudio se caracteriza por tener clima templado húmedo con la fórmula climática C(m)''b(i)'g, con una temperatura media anual de 17.12 °C, el mes más caliente es mayo con 25.8 °C y el mes más frío es enero con 19.2 °C y un rango de precipitación de 1,100 a 1,600 mm anuales (Servicio Meteorológico Nacional, 2010). La variedad utilizada fue Geisha (*Coffea arabica* L.), material seleccionado el siglo pasado en Etiopía (León, 1962). Existe interés por esta variedad debido a sus características de resistencia moderada a la roya anaranjada (*Hemileia vastratix*), productividad y su excelente calidad en taza. Para establecer el experimento, en el mes de agosto del año 2015 se aplanó el terreno con maquinaria pesada y se procedió a la instalación de los módulos, iniciando con el trazado y la preparación de los hoyos donde van los postes que sostienen la estructura de la mallasombra y los hoyos donde se colocaron las mesas que soportan las charolas con las plantas. Luego se colocaron las mallasombras de manera aleatoria (Figura 1). Se prosiguió a la colocación de las mesas, con sus respectivos perfiles. Ya establecidos los módulos experimentales, en septiembre de ese mismo año se realizó la mezcla de sustrato, compuesto con: 22.58% de turba, 11.67% de

agrolita, 63.3% de lombricomposta, 0.97% de micorriza o turba y 1.45% de PSD.

Se utilizó un diseño experimental con distribución completamente al azar, con plantas de variedad Geisha, establecidas en contenedores con 40 cavidades, cada una con una capacidad de 400 mL.

Después de seis meses de establecido el experimento, se midieron las siguientes variables:

- i) Peso de material en base fresca total (g). Esta variable se evaluó al momento de que la planta estuvo en condiciones para trasplante al campo.
- ii) Peso de materia en base seca total (g): Se secaron las plantas que se pesaron en fresco, considerando la parte aérea y el sistema de raíz, en una estufa a 40 °C por 24 horas. Posterior a esto se obtuvo su peso en una balanza digital marca Esnova.
- iii) Se midió Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) en plantas de cinco meses, a las 12 horas del día. Se utilizó un sistema portátil (CID Bio-science Inc.), de peso ligero, que contiene pantalla, teclado, memoria de datos, analizador de gas, sistema de control de fluido y batería (Figura 2).



Figura 1. Plantas de café con cuatro meses de crecimiento en los seis módulos experimentales.



Figura 2. Módulos empleados y medición de PAR en hojas de plantas de café en vivero.

Se realizaron los análisis de varianza y la prueba de separación de medias por el método de Tukey, a una significancia del 0.05, para las variables de estudio. Para ello se utilizó como herramientas una hoja de cálculo de Excel y el programa estadístico R Project versión 3.4.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso de materia en base fresca

Se consideró el peso fresco total de las plantas muestreadas por cada tipo de malla sombra evaluada (Figuras 3 y 4). El Cuadro 1 muestran los resultados del ANOVA, donde se aprecia que el efecto del color de la malla sombra sobre el peso en materia en base fresca es altamente significativa.

Para la prueba de comparación de medias por el método de Tukey (Cuadro 2), los resultados mostraron que las mallas de color perla y roja sobresalieron con respecto a los otros cuatro colores, con valores de 12.34 y 12.33 g, respectivamente. El promedio de peso fresco total de las mallas de color aluminizada, gris, negra y azul fueron de 10.49, 10.05, 9.82 y 9.75, respectivamente. Estos valores están relacionados con la Radiación Fotosintéticamente

Activa, presentada en el Cuadro 4, en el que se observan los valores más altos para las mallas sombras perla, roja y aluminizada, con valores de 855.3, 796.34, y 781.05 en $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente.

Cuadro 1. ANOVA del efecto del color de malla sombra en el peso de materia en base fresca en toda la planta.

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	5	29.66	5.93	10.48**	0.000
Dentro de grupos	18	10.19	0.57		
Total	23	39.85			

Cuadro 2. Comparación de medias por el método de Tukey para el color de malla sombra sobre el peso fresco promedio.

Color de malla	Peso Fresco Promedio (g)	Categoría Estadística
Perla	12.3	a
Roja	12.3	a
Aluminizada	10.5	b
Gris	10.1	b
Negra	9.8	b
Azul	9.7	b

Letras distintas en la columna de categoría estadística indican diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$).



Figura 3. Plantas de café de siete meses utilizadas para evaluar malla sombra, de módulos gris, aluminizado, y negro.



Figura 4. Plantas de café de siete meses utilizadas para evaluar malla sombra de módulos azul, rojo y perla.

Radiación Fotosintéticamente

Activa (PAR)

El ANOVA realizado para los valores de PAR en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ muestra una diferencia significativa en los tratamientos (Cuadro 3), y de acuerdo con la prueba de comparación de medias por el método de Tukey (Cuadro 4), muestra los valores superiores en la malla sombra Perla y posiciona a la roja y aluminizada en el mismo grupo estadístico.

Peso de materia en base seca

Una vez determinado el peso fresco de las plantas se procedió a deshidratarlas y obtener así el peso seco total. Su determinación ayuda a comprender la eficiencia de los factores que influyen en la fotosíntesis. El crecimiento de las plantas está determinado por la fotosíntesis, y debido a esto existe una relación lineal entre la biomasa total acumulada y la cantidad de radiación fotosintéticamente activa. Para este caso, de acuerdo con el tipo de malla sombra evaluada, los resultados mostraron que la hay una diferencia estadística altamente significativa (Cuadro 5) y de acuerdo a la prueba de comparación de medias por el método de Tukey (Cuadro 6), las mallas de color roja y perla sobresalieron con respecto a los otros cuatro colores, con valores de 3.3 y 3.2 g, respectivamente. El promedio de peso fresco total de las mallas de color aluminizada, gris, negra y azul fueron de 2.4, 2.26, 2.41 y 2.31, respectivamente.

CONCLUSIONES

Para las variables respuesta, hay una diferencia estadística significativa en las que las plantas crecidas bajo la malla sombra perla y roja presentan superioridad a los cafetos que crecieron bajo las mallas de otros colores. Ya que la producción de biomasa puede ser explicada a través de la cantidad de radiación interceptada y la eficiencia con la que dicha radiación es transformada en biomasa, se puede concluir que las plantas bajo el color de malla sombra perla y roja presentan una mayor eficiencia fotosintética. Para las condiciones de Huatusco, Veracruz, se recomiendan un color de malla sombra perla o roja, ya que, en estas condiciones de humedad, temperatura, este color presenta mayor eficiencia fotosintética en las plantas de café propagadas en vivero.

Cuadro 3. ANOVA del color de la malla sombra sobre la PAR.

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	5	1181886	236377	1.716*	0.179
Dentro de grupos	19	2616643	137718		
Total	24				

Cuadro 4. Prueba de Comparación de Medias por el método de Tukey para el color de la malla sombra sobre la PAR.

Color de malla	PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Categoría estadística
Perla	855.3	a
Roja	796.34	a
Aluminizada	781.05	a
Gris	702.2	ab
Negra	683.65	ab
Azul	251.26	b

Letras distintas en la columna de categoría estadística indican diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$).

Cuadro 5. ANOVA del color de la malla sombra sobre el peso en materia seca de plantas de café.

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	5	4.11	0.82	25.38**	0.000
Dentro de grupos	18	0.58	0.03		
Total	23	4.7			

Cuadro 6. Prueba de Comparación de Medias por el método de Tukey para el color de la malla sombra sobre la PAR.

Color de malla	Peso Seco Promedio (g)	Categoría Estadística
Perla	3.3	a
Roja	3.2	a
Aluminizada	2.4	b
Gris	2.3	b
Negra	2.3	b
Azul	2.3	b

Letras distintas en la columna de categoría estadística indican diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$).

LITERATURA CITADA

- Aragón G.C. 2006. Cafecultura, inequidad y pobreza. Productores indígenas de café de la sierra nororiente de Puebla. Problemas y alternativas. CONACYT. Colegio de Posgraduados. 25 p.
- Bonilla A. 2018. Desarrollan sistema de vigilancia epidemiológica para cultivo de café. CONACYT. Consulta: 30 de marzo de 2018. <http://conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/19135-sistema-vigilancia-epidemiologica-cafe>

- Castilla P.N. 2007. Invernaderos de plástico. Tecnología y Manejo. 2ª edición. España.
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. 2001. El Mercado del Café en México. En: www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefpcefp0542001.pdf. Fecha de consulta el 14 de julio de 2015.
- Escamilla P.E., Castillo P.G., Díaz C.S. 2014. Veracruz, Agricultura e Historia. Aspectos agroecológicos del café en Veracruz. 172 p.
- León J. 1962. Especies y Cultivares de Café. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. 69 p.
- OECD. 2018. The Observatory of Economic Complexity. En https://atlas.media.mit.edu/es/visualize/tree_map/hs92/export/mex/show/0901/2016/. Fecha de consulta el 10 de febrero de 2018
- Servicio Meteorológico Nacional. 2010. SMN-Veracruz. En: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=164&tmpl=component. Fecha de consulta el 1 de enero de 2018.



CALIDAD DEL CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN DOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO

COFFEE QUALITY (*Coffea arabica* L.) IN TWO AGROFORESTRY SYSTEMS IN CENTRAL VERACRUZ, MEXICO

Sánchez-Hernández, S.¹; Escamilla-Prado, E.^{2*}; Mendoza-Briseño, M.A.¹; Nazario-Lezama, N.¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Carretera Federal Xalapa-Veracruz km 88.5, Manlio F. Altamirano, Veracruz. C. P. 91700. ²Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Oriente. Carretera Huatusco-Jalapa km 6, Huatusco, Veracruz. C. P. 94100.

*Autor para correspondencia: espreschoca@yahoo.com.mx

RESUMEN

Veracruz es el segundo estado productor de café en México, solo después de Chiapas. En el centro de Veracruz el manejo de cafetales de los pequeños productores se realiza con numerosas variedades y bajo un sistema agroforestal usando sombra diversa. En la actualidad, los productores están innovando en sus cafetales buscando incrementar la productividad y calidad. Por un lado, buscan variedades resistentes a roya (*Hemileia vastatrix*) que sustituyen a las variedades tradicionales, las cuales son más apreciadas en el mercado por su alta calidad. También cambian el estrato de sombra del cafetal por especies maderables que generen recursos económicos adicionales. Sin embargo, también preocupa el efecto de estos factores sobre la calidad del grano y la taza. En este sentido el trabajo consistió en determinar el efecto de la sombra en la calidad del café en cafetales con presencia de variedades tradicionales y mejoradas, cultivadas en dos sistemas agroforestales. Se evaluaron seis cafetales con sombra tradicional diversa y de cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*). Se tomaron 12 muestras de café cereza, se procesaron por la vía húmeda y se determinó la calidad del café en el laboratorio de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) en Huatusco, Veracruz, con base a las normas internacionales de la SCAA (Specialty Coffee Association of America). Se encontró que en los dos sistemas agroforestales evaluados no hubo diferencias significativas en relación con la calidad física del grano y en taza, en ambos sistemas se obtuvieron puntajes superiores a 80. Por otro lado, los resultados muestran que es posible combinar árboles de cedro rosado con el cultivo de café sin que la calidad sea afectada.

Palabras clave: *Coffea arabica*, sistemas agroforestales, *Acrocarpus fraxinifolius*, calidad del café.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 4, abril. 2018. pp: 80-86.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** abril, 2018.

ABSTRACT

Veracruz is the second coffee producing state in Mexico, only after Chiapas. In central Veracruz, the management of coffee plantations by small producers is carried out with numerous varieties and under an agroforestry system using diverse shading. At present, producers are innovating in their coffee plantations seeking to increase productivity and quality. On the one hand, they are looking for varieties resistant to rust (*Hemileia vastatrix*) to replace the traditional varieties, which are more appreciated in the market for their high quality. They also change the shade layer of the coffee plantation for timber species that generate additional economic resources. However, the effect of these factors on the quality of the grain and the cup is also concerning. In this sense, the study consisted in determining the effect of shading on coffee quality in coffee plantations with the presence of traditional and improved varieties, grown in two agroforestry systems. Six coffee plantations with diverse traditional shading and pink cedar (*Acrocarpus fraxinifolius*) were evaluated. Twelve samples of cherry coffee were taken, wet processed, and coffee quality was determined in the laboratory of the Autonomous University of Chapingo (UACH) in Huatusco, Veracruz, based on the international standards of the SCAA (Specialty Coffee Association of America). It was found that in the two agroforestry systems evaluated there were no significant differences in relation to the physical quality of the grain and in the cup, since scores higher than 80 were obtained in both systems. On the other hand, the results show that it is possible to combine pink cedar trees with coffee growing without quality being affected.

Keywords: *Coffea arabica*, agroforestry systems, *Acrocarpus fraxinifolius*, coffee quality.

productivas y sociales que mejoran el bienestar de la población rural, al conseguir un mejor nivel de vida mediante la diversificación de sus cultivos y la conservación de los recursos naturales (Krishnamurthy y Ávila, 2001). En Veracruz prevalece el cultivo del café en sistemas agroforestales, entre los pequeños productores y en comunidades indígenas, el sistema denominado policultivo tradicional, se caracteriza por la combinación de café con el aprovechamiento de diversos productos de los árboles de sombra (Escamilla y Díaz, 2016). Por otro lado, bajo el modelo productivista, con medianos y grandes productores, encontramos el sistema de policultivo comercial, que consiste en la intercalación de café con especies comerciales, como frutales, ornamentales y maderables, destinadas a los mercados (Escamilla, 1997).

Con la reciente afectación de la roya y la renovación de cafetales usando variedades resistentes a este hongo fitopatógeno, que requieren menos niveles de cobertura de sombra, se espera una disminución de la sombra en los cafetales veracruzanos con su impacto negativo sobre la biodiversidad y los servicios ambientales, y también la preocupación sobre los efectos sobre la calidad del café (Escamilla, 2016).

La calidad del café se refiere a las características intrínsecas del grano, específicamente a las físicas y organolépticas que inciden principalmente en el precio de venta del café. El perfil de taza es una herramienta de gran importancia en la caracterización de diferentes tipos de café. Uno de los métodos empleados en la evaluación sensorial es la prueba de "cupping" desarrollada por la SCAA (2015), la cual se

INTRODUCCIÓN

Veracruz es el segundo productor del grano, después de Chiapas, con una superficie cercana a las 144 mil hectáreas cultivadas por 86 mil productores, y aportando una cuarta parte del volumen nacional de la producción. El café se distribuye en 10 regiones, en 82 municipios y en 842 comunidades (SAGARPA, 2011; SIAP, 2016). El estado aporta 21.25% de la producción total de café cereza en México con un rendimiento promedio de 2.2 t ha^{-1} (ASERCA, 2010; Escamilla et al., 2005).

En el estado se cultivan dos especies de café: *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* P. De la especie *C. arabica* se cultivan diversas variedades, entre las que se encuentran Typica, Bourbon, Caturra, Garnica, Mundo Novo, Catuai y Pacamara. Sin embargo, con la aparición y la afectación de la roya (*Hemileia vastatrix*), a partir del 2013 se ha incrementado la presencia de variedades con resistencia a este patógeno, como son: Colombia, Oro Azteca, Costa Rica 95 y los Sarchimores. (Escamilla, 2016; López et al., 2016).

Los sistemas agroforestales (que incluyen árboles frutales, maderables y de propósito múltiple con cultivos de perennes) se consideran un sistema de uso sostenible de la tierra, porque abarca condiciones naturales, ecológicas,

basa en un análisis sensorial cuantitativo y descriptivo de la bebida, que se realiza por un equipo de jueces seleccionados y entrenados (Borém *et al.*, 2013). Estudios sobre las características productivas y de calidad en taza de diversas variedades de café se han llevado a cabo en México, pero pocos estudios han sido publicados (Pérez *et al.*, 2011), y mayormente han sido limitados a uno o dos años de producción y con variedades que en un futuro tendrán menos uso por el ataque de la roya (Avelino *et al.*, 2015). Los primeros estudios sobre la calidad del café en México se realizaron en Veracruz. Partida *et al.* (2003), concluyeron que, en la zona central del estado de Veracruz, se encontró que la temperatura media anual influye negativamente en el tamaño del grano, así como en el aroma y la acidez de la bebida. La cobertura arbórea de las plantaciones tiene un efecto positivo en la proporción de granos con forma de planchuela y el contenido de fósforo en el suelo aumenta la acidez.

La tendencia del consumo mundial del aromático hacia los cafés de mejor calidad constituye una excelente oportunidad para la cafeticultura veracruzana, y puede representar una vía para obtener mejores precios (Jaurégui *et al.*, 2016). Se ha confirmado que ciertas regiones tienen extraordinaria calidad, prueba de ello es la serie de los reconocimientos nacionales e internacionales a los que se ha hecho acreedor el estado y los productores veracruzanos. La evidencia más contundente de la calidad del café mexicano lo constituye el evento nacional denominado Taza de Excelencia en México, en donde Veracruz ha ganado todos los eventos: Coatepec (2012 y 2013), Zongolica (2014), Huatusco (2015) y Naolinco (2017).

El objetivo principal del trabajo fue analizar la calidad física y sensorial

del café de seis fincas de la región centro del estado de Veracruz, México. Para ello se estudió si la inserción del cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn.) en el agroecosistema cafetalero afecta las condiciones físicas y sensoriales del grano comparado con el sistema de sombra tradicional (tres fincas).

Cuadro 1. Localización de las fincas. Municipio de Comapa, Veracruz.

Fincas	Coordenadas	Altitud (msnm)
Debernardi	19° 10' 27.7" N 96° 53' 26.8" W	1050
Gómez M.	19° 09' 52.3" N 96° 52' 48.3" W	960
Amox 1	19° 10' 51.2" N 96° 53' 18.9" W	950
Amox 2	19° 10' 51.9" N 96° 53' 18.6" W	930
Amox 3	19° 10' 52.00" N 96° 53' 18.4" W	925
G. Morales	19° 10' 52.2" N 96° 53' 18.5" W	970

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en plantaciones de café del municipio de Comapa, Veracruz en el año 2015 (Cuadro 1). El análisis de la calidad se realizó en el Centro Regional universitario O (CRUO), el cual pertenece a la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), ubicado en Huatusco, Veracruz.

Se evaluaron seis cafetales del área de estudio, en cada cafe-

tal se ubicaron dos sistemas agroforestales: policultivo tradicional y policultivo comercial (con sombra de *Acrocarpus fraxinifolius*) generando 12 unidades de estudio. En base a las unidades establecidas se obtuvieron 12 muestras de café cereza (*Coffea arabica*). La cosecha se llevó a cabo entre diciembre y febrero del ciclo de cosecha 2015-2016. Por cada muestra se seleccionar 10 kg de fruto en su óptimo de madurez, se procesaron por la vía húmeda a través del beneficiado tradicional;

el café cereza (Figura 1) se despulpó con una despulpadora de discos manual. Luego se procedió a la fermentación natural y los granos se pasaron en zarandas de madera, posteriormente el secado se hizo por exposición al sol hasta una humedad máxima de 12% determinada con un higrómetro. El rendimiento industrial por variedad de la conversión de café cereza a café pergamino (Figura 2), se obtuvo con la fórmula: $RCP = (10 \text{ kg cereza} \times 57.5 \text{ kg pergamino}) / \text{peso de café resultante}$. En esta ecuación la cantidad 57.5 kg de café pergamino equivale a un quintal (1 qq) (López *et al.*, 2016).



Figura 1. Muestra de café.

Para determinar el rendimiento de café pergamino a café oro (RPO), de cada muestra de café pergamino se tomaron muestras de 250 g los cuales se beneficiaron a café oro, se pesó el café oro resultante y se calculó el rendimiento con la ecuación de López *et al.* (2016): $RPO = (250 \text{ g en pergamino} \times 46 \text{ kg de oro})$ por kg de café en oro resultante, en donde, 46 kg de oro es el estándar nacional para un quintal de café oro (López *et al.*, 2016).

Del café oro se analizaron muestras de 100 g, en las que se separaron los granos tipo planchuela (normal), caracol, triángulo, concha y gigante (López *et al.*, 2016); y los valores obtenidos se expresaron en porcentaje.

Para medir el tamaño del grano se usaron muestras de 100 g de café oro que se pasaron por las zarandas de los números 18, 17, 16, 15, 14 y del 0 (7.44, 6.75, 6.35, 5.95, 5.56 y 0 mm). La calidad sensorial de la bebida se realizó en el laboratorio del Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) en Huatusco, Veracruz, determinación, tras evaluar los atributos aroma, acidez, cuerpo y sabor, se llevó a cabo con un panel de cuatro cataadores, en base a las normas internacionales de la SCAA (2015).

De las mismas parcelas se realizó un muestreo para estimar producción de cafetales con los dos sistemas de sombra. Éste consistió en una pareja de cuadrantes por cada una de diez fincas, un cuadrante para cafetal con sombra tradicional y otro para cafetal con sombra de cedro rosado. Se muestrearon en cada cuadrante seis cafetos. Se contaron los granos por planta, y como variables explicatoria se registraron: altura del cafeto, distancia entre surco y entre plantas, variedad y altitud de las parcelas.

En relación con los cafetales con sombra de cedro rosado, se obtuvieron muestras de café de las variedades Typica (criollo), Colombia y Costa Rica, estas dos últimas variedades son resistentes a roya y muy productivas. En las plantaciones de café con sombra tradicional, con predominio del chalahuite (*Inga*) cultivan las variedades Garnica, Typica, San Román y Costa Rica.



Figura 2. Muestras de café pergamino.

Al analizar estadísticamente este concepto de desempeño del cedro rosado, y para filtrar el efecto del diseño de muestreo y la dispersión de edades, se recurrió a regresión múltiple como medio para la descomposición de la variabilidad (suma de cuadrados). El modelo general seguido fue:

$$\text{Talla del árbol} = \text{ordenada} + \text{tipo de sombra} + \text{finca} + \text{edad} + \text{variedad} + \text{error}$$

Dónde: Talla del árbol=cualidad modelada; Tipo de sombra=[1 tradicional, 2 cedro]; Finca=predio muestreado (representado por su altitud); Edad=años del cedro rosado; Variedad=variedad del cafeto (cuando pertinente al modelo específico); Error=residuales que no pueden ser explicados por las variables independientes.

De la salida del paquete estadístico (STATISTICA) versión 7.1 (Stat Soft Inc., 2005), se solicitó la tabla de descomposición de varianza y prueba de F para el modelo completo, y la tabla de coeficientes, con sus respectivas estadísticas (grados de libertad, suma de cuadrados, cuadrado medio, estadístico F y su probabilidad, coeficiente estandarizado).

RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 2 resume la composición varietal del cafetal. De las fincas muestreadas la variedad Costa Rica presentó una preponderancia del 66.7% para el sistema de sombra tradicional con un total de cinco productores, mientras tanto para el sistema con sombra de cedro rosado, la variedad Garnica tiene un 21.7%.

Cuadro 2. Variedades de cafeto en porcentaje de la muestra.

Sombra			
Variedades	Tradicional	Cedro rosado	Total
Colombia	1.7	11.7	6.7
Costa Rica	66.7	55	60.8
Criollo	3.3	6.7	5
Garnica	13.3	21.7	17.5
San Román	15	5	10
Todas	100	100	100

Con respecto a los datos de producción promedio de frutos vanos en café cereza fue de 3% y para frutos brocados 1.7%. La eficiencia agroindustrial de café cereza a pergamino fue mayor en Costa Rica con 277.77 kg de cereza para obtener 57.5 kg de pergamino, y en la variedad Garnica se ocupan 288.94 kg de cereza para obtener 57.5 kg de pergamino. Para el caso de la transformación a café oro o verde en sacos de 46 kg, a partir de café pergamino, con la variedad Costa Rica se necesitaron 55.9 kg de pergamino; en la variedad Garnica se utilizaron 56.5 kg.

Calidad física del grano. Los análisis de laboratorio para calidad de café se presentan en el Cuadro 3, en donde se analizaron las variables físicas (calidad del grano, tamaño, forma, daños por insecto) consideradas importantes dentro del proceso de beneficiado húmedo.

Se encontró de que, para el pergamino y oro, principalmente el color de ambas variedades y ambos tipos de sombra presentaron el café oro con un color muy fino para mercados de excelencia y en relación con la humedad, está dentro del rango de la norma, Asociación

Americana de Cafés de Especiales (SCAA), en cafés beneficiados por la vía húmeda y con un proceso de secado adecuado.

Calidad en taza. En relación con la calidad sensorial de la bebida se obtuvieron datos para dos variedades, Costa Rica y Garnica: dentro de los sabores las notas que se percibieron en la bebida son las siguientes: pepino, caramelo, chocolate, café tostado, almendras, nuez, té de rosas, avellanas, maple, grosella, vainilla, mantequilla, limón, flor de café, semillas de cilantro, pimienta y tierra.

El puntaje obtenido para cada muestra, la media es de 78.55 ± 6.76 con N de 72. El Cuadro 4 nos muestra estadísticas de la calidad en la bebida de café bajo sistema de sombra tradicional y sombra de cedro rosado, de la región cafetalera. El puntaje de la media fue mayor en sombra con cedro rosado que en sombra tradicional y la desviación estándar fue menor en sombra con cedro rosado que en sombra tradicional con un total de muestras de la bebida de 72. En donde la calidad de la bebida del café con sombra de cedro rosado fue de 84 comparada con el 83 en la sombra tradicional como lo marca la SCAA (2015).

La sombra de cedro rosado genera un café de igual calidad y producción de grano que la sombra tradicional, es decir que se conservan las características del producto principal que es el grano. A continuación, se detallan las evidencias del caso, la comparación por calidad de café en grano entre cafetales a sombra tradicional respecto a cafetales con sombra de cedro rosado (Figuras 3 y 4).

Cuadro 3. Porcentaje de calidad en varios criterios en la muestra.

Criterio de Calidad	Sombra Tradicional			Sombra de Cedro rosado			Total		
	Media	Desviación e	Total	Media	Desviación e	Total	Media	Desviación e	Total
Sano	93.86	2.04	18	94.81	1.36	18	94.4	1.79	36
Planchuela sana	83.5	5.91	18	86.2	2.77	18	85.03	4.79	36
Total de tamaños	100.07	0.07	18	100.06	0.08	18	100.07	0.08	36
Total de daños por insecto	43.76	23.36	18	33.41	6.58	18	38.02	17.74	36
Total de formas	99.94	0.11	18	100	0.11	18	99.97	0.11	36

Cuadro 4. Estadística descriptiva de calidad de la bebida.

Criterio de Calidad	Sombra Tradicional			Sombra de Cedro rosado			Total		
	Media	Desviación e	Total	Media	Desviación e	Total	Media	Desviación e	Total
Puntaje final de la bebida	77.49	6.67	36	79.49	6.37	36	78.45	6.76	72

La calidad de café se representó como frecuencia del total de daños. Otros conceptos y su agregado total siguen la misma tendencia donde no hay efecto estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) para el predio (altitud), variedad, y sobre todo para el tipo de sombra (tradicional o con cedro rosado). Este resultado es una evidencia parcial que se une a las consideraciones observadas en campo respecto a que la sombra del cedro rosado en el contexto y régimen de cultivo de las fincas en este estudio no es distinguible de los efectos de la sombra tradicional de chalahuite (*Inga*). En relación con la calidad sensorial de la bebida se presenta el siguiente modelo de regresión el cual expresa la calidad de la bebida de las muestras tomadas en cafetales de la región centro de Veracruz: $\text{Puntaje total} = \text{media} + \text{sombra} + \text{variedad} + \text{altitud} + \text{edad} + \text{error}$.

El modelo elaborado para la regresión de la calidad sensorial de café comparando la sombra tradicional y la sombra de cedro rosado Cuadro 6. Se aprecia que hubo una significancia estadísticamente alta, aunque cercana al punto de indiferencia para una que en este estudio se predefinió en valor de ($p \leq 0.05$). Este estadístico corresponde 3.8 % de la suma total de cuadrados (en porcentaje). El coeficiente de la sombra es de 1.54 (positivo), y esto significa que la calidad sensorial de la bebida de café con cedro rosado es estadísticamente superior a la de sombra tradicional, aunque no por mucho. Para una comparación con otros factores explicativos veamos el cuadrado medio del error, donde el tipo de sombra equivale al 12.7% de la capacidad de explicación. Aunque la altitud y variedad también son variables explicatoria sumamente fuertes, el factor que más pesa es la tendencia media (que sería la interceptada al origen para los valores cercanos a cero de los factores), y el componente que menos pesa es



Figura 3. Sombra con cedro rosado.



Figura 4. Sombra tradicional.

el error estadístico. Por otro lado, los datos físicos como es la humedad, el tamaño de grano, el rendimiento, color, frecuencia de planchuela, frecuencia de defectos, el color y olor del grano, están dentro de las normas que maneja la SCAA (2015) internacional para cafetales con granos de calidad que pueden ser exportados. Dicho de otra forma: la sombra de café con cedro rosado en este estudio se observó que cumple con lo necesario para producir café bajo su dosel de sombra, y no es diferente de las cualidades de calidad del café con sombra de *Inga* spp.

CONCLUSIONES

La calidad física y sensorial encontrada en los dos sistemas de producción de café es igual tanto en sombra tradicional como en sombra de cedro rosado, lo que permite que haya más opciones productivas, ya que un sistema agroforestal de policultivo comercial, con especies maderables genera un producto extra para los productores y además no demerita la calidad física y sensorial del grano. Las condiciones geográficas son las relacionadas a la calidad, con ello se logra establecer un fundamento para seguir posicionando a Veracruz como uno de los

principales productores de café de México. El sistema agroforestal café-cedro rosado ofrece una opción de sombra para el cafetal tradicional, y además resultados comparables con sombra tradicional, en cuanto a monto y calidad de la cosecha de café. De igual manera es pertinente mencionar que la región centro de Veracruz es agroecológicamente idónea para el cultivo de café de alta calidad.

LITERATURA CITADA

ASERCA, Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. 2010. Escenario actual del café.

Cuadro 5. Parámetros de la regresión de frecuencia de daños en granos.

	Total de daños parámetros	Error estándar	Valor de t	Valor de p	−95.00% Límite de confianza	+95.00% Límite de confianza	Beta (β)
Interceptada	−1322.72	1186.87	−11446	0.273383	−3740.29	1094.857	
Sombra	−9.78	4.875	−2.0057	0.053398	−19.71	0.152	−0.278885
Variedad	12.4	12.607	0.98323	0.332871	−13.28	38.074	0.263516
Altitud	0.12	0.102	1.15097	0.258271	−0.09	0.326	0.308473

Cuadro 6. Regresión de calidad sensorial de la bebida.

	Puntaje total de calidad de parámetros	Error estándar	Valor de t	Valor de P	Límite de confianza −95%	Límite de confianza 95%	Beta (β)
Interceptada	1516.1	315.4106	4.80675	0.000009	886.5383	2145.663	
Tipo de sombra	2.812	0.9639	2.91745	0.004799	0.8882	4.736	0.21574
Altitud	0.216	0.0251	8.61669	0.000000	0.1661	0.266	1.53848
Variedad	−19.328	3.1357	−6.16372	0.000000	−25.5867	−13.069	−1.10522
Edad de la plantación	1.416	0.402	3.52194	0.000776	0.6134	2.218	0.2679

SAGARPA. 16 p. <http://www.aserca.gob.mx/Paginas/default.aspx>.

Avelino J., Cristancho M., Georgiou S., Imbach P., Aguilar L., Bomemann G., Läderach P., Anzueto F., Hruska A.J., Morales C. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): Impacts, plausible causes and proposed solution. *Food Secur.* 7: 313-321.

Borém F.M., Oliveira P.D., Isquierdo E.P., Giomo G.S., Saath R., Cardoso R.A. 2013. Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café submetidos a diferentes formas de processamento e secagem. *Coffee Sci.* 8: 227-237.

Escamilla P.E. 1997. Evaluación técnico-económica de plantaciones de café en el sistema de policultivo comercial en Veracruz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. México. 180 p.

Escamilla P., E. 2016. Las variedades de café en México ante el desafío de la roya. En: Breves de Políticas Públicas. Boletín Informativo. Programa mexicano del carbono. Proyecto Una REDD para Salvar la Sombra-de la Sierra Madre de Chiapas. http://pmcarbono.org/pmc/descargas/proyectos/redd/Breves_de_Politicas_Publicas_No.4-Variedades_de_cafe_en_Mexico.pdf

Escamilla E., Ruiz O., Díaz G., Landeros C., Platas D.E., Zamarripa A., González V. A. 2005. El agroecosistema café orgánico en México. *Man. Integr. Plagas Agroecol.* 76:5-16.

Escamilla P.E., Díaz C.S. 2016. Sistemas de cultivo de café en México. SAGARPA. COFUPRO. CENACAFÉ. Universidad Autónoma Chapingo. Xalapa, Ver. 63 p.

Escamilla P.E., Landeros S.C. 2016. Cafés diferenciados y de Especialidad. SAGARPA. COFUPRO. CENACAFÉ. Universidad Autónoma Chapingo. Xalapa, Ver. 49 p.

Jáuregui-Arenas S., Álvarez-Ávila M.C., Escamilla-Prado E., Olguín-Palacios C. 2016. Agroempresas familiares de café diferenciado y de especialidad de las altas montañas, Veracruz. En: Gallardo-

López, Felipe (Editor). 2016. Innovando el Agro Veracruzano 2016. Frente a los retos de la relación Sociedad-Naturaleza. Colegio de Postgraduados, Veracruz, México. pp: 609-636.

Krishnamurthy L., Ávila M. 1999. Agroforestería Básica. PNUMA-FAO. Red de Información Ambiental. México. 340 p. Kumar, S. R. 1990. Comparison of four diversity indices. *J. Trop. Forest.* 6: 222-232.

López-García F.J., Escamilla-Prado E., Zamarripa-Colmenero A., Cruz-Castillo J.G. 2016. Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 39: 297-304.

Partida S.J.G., Martínez P.D., Pérez P.E. 2003. La calidad del grano en la cadena agroindustrial del café en Veracruz. Proyecto CONACYT-SIGOLFO Clave 00-01-010-V.

Pérez-Portilla E., Bonilla-Cruz S., Hernández-Solabac J.A.M., Partida-Sedas J.G. 2011. Estrategia de mejoramiento de la producción cafetalera de la organización Campesinos Ecológicos de la Sierra Madre de Chiapas: caracterización de la bebida de café. *Rev. Geogr. Agr.* 46-47: 7-18.

SAGARPA. 2011. Plan de innovación en cafeticultura en el estado de Veracruz. Proyecto Estratégico Fomento Productivo 2011. Estrategia de innovación hacia la competitividad en la cafeticultura mexicana. SAGARPA. COFUPRO. UACH. Sistema Producto Café. AMECAFE. INCA Rural. México. 131 p.

SIAP. 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo>

SCAA. 2015. Specialty Coffee Association of America. <http://scaa.org/index.php?goto=home>

StatSoft, Inc. 2005. STATISTICA (data analysis software system) Version 7.1. www.statsoft.com

CARACTERÍSTICAS DEL CONSUMO DEL CAFÉ (*Coffea* sp.) MEXICANO DE ESPECIALIDAD EN TILBURG, PAÍSES BAJOS

CHARACTERISTICS OF THE CONSUMPTION OF MEXICAN SPECIALTY COFFEE (*Coffea* sp.) IN TILBURG, THE NETHERLANDS

Martínez-López, A.¹; Díaz-Cárdenas, S.²; Rodríguez-Padrón, B.^{2*}

¹Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ²Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Oriente. Carretera Huatusco-Xalapa km 6, Huatusco, Veracruz. C. P. 94100.

*Autor para correspondencia: beroopadron_67@hotmail.com.

RESUMEN

El creciente mercado de los cafés diferenciados y de especialidad está siendo una alternativa a la crisis de los bajos precios del aromático. La agregación de valor permite a los productores incursionar en nuevos mercados y obtener mejores precios. Se realizó una investigación acerca de los factores que influyen en el consumo de cafés de especialidad y café mexicano en la ciudad de Tilburg, Países Bajos y se efectuó un análisis para identificar las estrategias aplicables en México para promover el consumo de cafés de mejores calidades.

Palabras clave: Cafés diferenciados, agregación de valor, mercado, consumo, cafés de especialidad.

ABSTRACT

The growing market of differentiated and specialty coffees is an alternative to the crisis of low aromatic prices. Aggregate value allows producers to venture into new markets and obtain better prices. Research was carried out about the factors that influence the consumption of specialty coffees and Mexican coffee in the city of Tilburg, the Netherlands, and an analysis was carried out to identify the strategies applicable in Mexico to promote the consumption of high quality coffees.

Keywords: Differentiated coffees, aggregate value, market, consumption, specialty coffees.



INTRODUCCIÓN

La cafeticultura forma parte de cadenas globales específicas de mercancías, las cuales, son redes de productores, comerciantes y proveedores de servicios que crean y distribuyen el valor agregado. En la cadena del café se recolecta a mano la materia prima agrícola, el café cereza, para luego transformarla en café verde de exportación. Una vez que el café verde se encuentra en los países importadores, los torrefactores proceden a tostarlo y a molerlo para terminar con el empaque final del producto, el cual, llega a la mesa del consumidor que lo toma por taza.

Pelupessy (2001) define a una Cadena Global de Mercancías (CGM) como una red funcionalmente integrada de generación de valor, de actividades de producción, comercio y servicios internacionales, que se origina en la extracción de la materia prima, y que a través de distintas fases intermedias conduce hasta un producto final específico.

Enfocando esta definición a la cadena del café, se traduce en que, desde la plantación hasta el supermercado, se genera una red de actividades involucradas con el cultivo, la cosecha, el acopio, el despulpado, el secado, la venta como materia prima, el tostado, el molido, las mezclas y la venta como producto final, primero a los mayoristas, después a los minoristas y finalmente al gran público consumidor (Salinas, 2004).

El café es uno de los productos que despierta mayor interés cuando se habla de cadenas globales de mercancías, pues además de ser el producto agrícola más relevante en el comercio internacional, vincula de manera directa dos tipos muy diferentes de países: los productores, países en desarrollo en América Latina, Asia y África, y los consumidores, países desarrollados en América del Norte, Europa y Japón. En éstos, la forma y el significado del consumo del grano se han transformado de forma importante en los últimos años, ya sea por razones de salud, por la existencia o no de relaciones equitativas entre los agentes que intervienen en la cadena, por los efectos del cultivo en el medio ambiente, o simplemente por cambios en la moda (Pérez y Echánove, 2006).

En un estudio realizado por Euromonitor International para AMECAFE (2017) en el año 2017 en México, se encontró que la demanda del café molido está creciendo más rápidamente que la del soluble, impulsado por quienes aprecian cada vez más la calidad de bebidas

hechas con café tostado, así como el aspecto natural del café tostado. Este proceso de aprendizaje, se está llevando a cabo, en gran parte, debido a las cadenas de cafeterías que se han expandido rápidamente en el país.

Sin embargo, dado los problemas que aquejan a la cafeticultura mexicana, como los bajos precios, el cambio climático, la disminución de la productividad, el abandono de cafetales, la interminable lucha contra la roya del café, aunado a la edad avanzada de los productores y su condición de pobreza, las alternativas para impulsar el desarrollo económico, social, político y ambiental de las regiones productoras, es a través de la integración vertical de la cadena productiva y la generación de valor agregado, la producción de cafés diferenciados como el orgánico, de comercio justo, de sombra, los sostenibles, el de denominación de origen y el gourmet; así como también mediante la producción de cafés de especialidad mejorando la calidad física y sensorial de la bebida (Escamilla *et al.*, 2015).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es analizar y documentar los tipos de cafés de especialidad, que se consumen en un mercado local de Europa, el caso de la ciudad de Tilburg, Países Bajos, y exponer los factores que determinan este consumo con el fin de aportar elementos a la estrategia de cafés de especialidad como una alternativa para contrarrestar la crisis de los precios en la cafeticultura mexicana e impulsar el consumo de cafés de mejores calidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como primera fase, se realizó una revisión documental de investigaciones publicadas por los expertos en el tema de cafés diferenciados y de especialidad, y la participación de México en el mercado europeo. Posteriormente, se definió una muestra de consumidores a encuestar, y se procedió a identificar de manera estratégica en la ciudad de Tilburg, Países Bajos a los consumidores. Se aplicaron 40 encuestas cerradas a los consumidores de cafés de especialidad, de los cuales 10 se aplicaron específicamente a estudiantes, quienes cuentan con poder adquisitivo por sí mismos para acceder a este tipo de bienes.

También, se recorrieron las cafeterías más emblemáticas y supermercados de la ciudad de Tilburg, con la finalidad de obtener información pertinente a las estrategias de venta y concientización, a fin de que también sirviera para promover el consumo de cafés de calidad

en México. Para cumplir el objetivo de esta última actividad, la obtención de datos fue a través de la observación directa sobre los principales tipos de café consumidos en este mercado local de Europa, realizando anotaciones en relación a diversas características de los supermercados y otras tiendas importantes, así como para hacer la comparación de precios, certificaciones, presentaciones, etc. entre los establecimientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Panorama internacional del café: producción, exportación, importación y consumo

De acuerdo a los reportes de ASERCA (2017), basado en datos de la OIC (2017), la producción mundial de café en el ciclo 2016/2017 se estimó en 156.6 millones de sacos de 60 kilogramos, lo que representa un incremento del 2.4% respecto al ciclo anterior. Por otra parte, el consumo mundial se proyecta en 153.3 millones de sacos, un 0.8% mayor al registrado en el ciclo anterior.

Como es sabido, el primer productor mundial de café es Brasil, cuya producción estimada fue de 56.1 millones de sacos de 60 kg en el ciclo 2016/2017, lo que significó un incremento del 13.6% respecto del ciclo anterior y representó el 35.8% de la producción total mundial en ese ciclo.

En segundo lugar está Vietnam con 17% de la producción, seguido de Colombia, con 9.3%, Indonesia con 6.4%, Etiopía con 4.1% y los países productores restantes representan el 27.3% de la producción mundial. México se sitúa en el noveno lugar a nivel mundial en producción de café y ocupa el segundo lugar

mundial en producción de café orgánico, destacando los estados de Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Puebla, con una producción de 350 mil sacos de 60 kg de café verde por ciclo (CIC, 2015).

En cuanto a las importaciones, la Unión Europea ocupa el primer lugar. Para el ciclo 2016/2017 la región importó 45.5 millones de sacos de 60 kg, lo que representó el 37% del total de las importaciones mundiales. El segundo lugar lo ocupa Estados Unidos con el 20% de las importaciones; y en tercer lugar está Japón, con el 7%, Filipinas con el 4%, Canadá con el 4%, y el 28% restante son importaciones de otros países.

Las exportaciones mundiales de café se estimaron en 127.8 millones de sacos de 60 kg en el mismo ciclo, lo que significa una reducción del 4% respecto a las exportaciones del ciclo anterior. Al igual que en la producción, Brasil está en el primer lugar de exportaciones con el 27% del total mundial, seguido de Vietnam con el 21%, Colombia con el 10%, Indonesia con el 6%, India con 4%, Honduras con 4%, y otros países con 28%.

Referente al consumo de café per cápita, en México, la tasa media anual de crecimiento en la última década fue de 2.4%, en el 2016 el consumo de café por persona fue de 1.4 kg, lo que refleja una reducción en comparación con el año 2014 cuando el consumo per cápita era de 1.7 kg. El principal país consumidor de café es Alemania con 6.5 kg por persona por año, seguido de Brasil con 5.9 kg, Italia con 5.6 kg, Francia con 5.1, Estados Unidos con 4.5 kg, Japón con 3.5 kg. México se encuentra en el onceavo lugar

como consumidor de café (ASERCA, 2017).

El consumo de café en México es bajo en comparación con otros países, sin embargo, durante los años 2005 y 2015, el consumo per cápita mantuvo una ligera tendencia creciente. De acuerdo con la ICO, se estima que haya pasado de 840 gramos en 2005 a 1.17 kg por persona por año en 2015. Cabe destacar que de acuerdo con la estimación de United States Department of Agriculture (USDA), por primera ocasión desde que se tiene registro (1961/1962) la producción de café en México en 2016/2017 sería inferior al consumo nacional, en 50 mil sacos de 60 kg de café verde (FIRA, 2016).

Actualmente se satisface el 100% de los requerimientos de México con producción interna. No obstante, en años recientes los bajos precios en el mercado mundial, aunados a la incidencia de la roya provocaron una reducción de 43.5% de la producción nacional en la última década y ya se identifica un aumento en las importaciones provenientes principalmente de Brasil, Honduras y Vietnam (SAGARPA, 2017). Además de esto, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) estima que la producción de café en México disminuirá a una tasa anual de 8%, y que el consumo se incrementará 1.5% con respecto al ciclo previo (FIRA, 2016), lo que prevé incrementos en las importaciones.

Cafés diferenciados y de especialidad

Es importante definir primero lo que se considera como café de especialidad, y en este intento, puesto que no existe una definición aceptada

en todo el mundo, la que puede aportar elementos para una buena comprensión es, que los cafés de especialidad son aquellos que conservan una consistencia en sus características físicas, sensoriales, en las prácticas culturales y en sus procesos finales, que los distinguen del común de los cafés y por las cuales, los clientes están dispuestos a pagar un precio superior (Escamilla y Landeros, 2016), además de ser cultivados en microclimas geográficos específicos, siguiendo estándares rigurosamente establecidos (Castro *et al.*, 2004).

El café orgánico, el de sombra y el de comercio justo, conocidos como cafés sustentables, pertenecientes al grupo de los llamados cafés diferenciados, ocupan un nicho de mercado que recibe un sobreprecio y puede brindar a los productores beneficios ambientales, económicos y sociales (Giovannucci, 2001). Los cafés sustentables se caracterizan por ser cultivados bajo estrictas normas internacionales que promueven la conservación de la salud, del medio ambiente y un comercio más justo, aunque no implican necesariamente una mejor calidad el producto (Castro *et al.*, 2004). También existen los cafés de origen, como los Cafés colombianos, Blue Mountain de Jamaica, Geisha de Panamá, Kopi Luwak, entre otros (Escamilla y Landeros, 2016).

El sector cafetalero nacional enfrenta desde hace 20 años, una profunda crisis ocasionada por el desplome de los precios en el mercado, y recientemente, una notable caída de la producción causada por la roya del café (Escamilla y Landeros, 2016). Sin embargo, a partir del 2010 el mercado del café comenzó a cambiar, y a la fecha los cafés de alta calidad y de especialidad se cuentan entre los pocos que reciben una remuneración más alta (Giovannucci, 2001), por lo que se vuelve una de las alternativas más viables para superar los bajos precios en el mercado, lo incluye diferenciación, especialización y valor agregado (Escamilla y Landeros, 2016).

La producción de café orgánico en México inició en el año de 1963, como una variante de la agricultura biodinámica europea en la finca "Irlanda", en Tapachula, Chiapas. En 1967 se obtiene la primera cosecha certificada en México por la empresa alemana Demeter Bund. A finales de la década de los ochenta, otras fincas de la región del Soconusco, Chiapas, orientaron también su producción al modo orgánico, motivados por la tendencia ecológica en la producción y por el aumento en el precio del grano (Nájera, 2002).

A la fecha, México cuenta con más de 50 años de experiencia en el cultivo de café orgánico, periodo que garantiza el conocimiento detallado del proceso, manejo de plagas y resolución de problemas de manejo y productividad acorde a las condiciones naturales locales.

El sistema de comercio justo surge, tal como funciona hoy, en 1988 en los Países Bajos, cuando ante la caída de los precios internacionales del café y para ayudar a los pequeños productores del aromático, se creó la primera marca de calidad de comercio justo, "Max Haveelaar", y se establecieron los primeros sellos para certificar la calidad y procedencia de los productos bajo las normas de este tipo de comercio (Torres *et al.*, s/f).

A finales de la década de 1990, el Instituto Smithsonian (IS) comenzó a impulsar el sello de "café amigable con las aves", que certifica aquellas plantaciones de café que presentan sombra diversificada y que están a su vez libres de agroquímicos. El "café de sombra" o "amigable con las aves" ha sido promovido por investigadores especializados en ornitología del IS, interesados en apoyar la conservación y protección de algunas aves migratorias, ya que ha sido documentada la importante relación entre estas y los cafetales diversificados por su sombra en México, Centroamérica y Sudamérica (Anta, 2006).

Sin hacerlo explícito, el "café de sombra" es en realidad una propuesta de pago por los servicios ambientales que prestan los cafetales con sombra diversificada, donde los promotores de este sello pretenden que los consumidores de Norteamérica (Estados Unidos y Canadá) paguen un sobreprecio que les garantice que el café que consumen, se produce bajo una sombra diversificada y libre de agroquímicos.

Giovannucci (2001) hace una breve y puntual definición de estos tipos de certificación: el café orgánico, es aquel que se produce con métodos que conservan el suelo y prohíbe el uso de sustancias químicas sintéticas; el café de comercio justo es el que se compra directamente a las cooperativas de pequeños productores, garantizándoles un precio de contrato mínimo y el café de sombra, es el que se cultiva bajo la bóveda forestal, en entornos de selva y es benéfico para la biodiversidad y las aves.

El comercio de café entre México y Europa

La producción de café cereza en México se ubicó en 835 mil toneladas en el ciclo 2015/2016, volumen que

significa una reducción de 18.6% con respecto a la cosecha del ciclo previo y su nivel más bajo desde 1979/1980 (FIRA, 2016). Las principales industrias que comercializan este café en México son: AMSA, Nestlé, Cafés California y Neumann Kaffe Gruppe, acaparrando el 75% de la producción nacional. El resto está distribuido en un importante número de agroindustrias del sector productivo (CIC, 2015).

México participa en el mercado cafetalero con el 1.5% del volumen de las exportaciones mundiales, por lo cual se ubica en el lugar 12 entre los países exportadores. Así, durante el ciclo comercial 2015/2016 se exportaron 2,025,000 sacos, mientras que las importaciones ascendieron a 1,815,000 sacos de 60 kg, equivalente en café verde. Alrededor del 62% del volumen exportado tiene como destino los Estados Unidos. Otros países de destino para el café mexicano son Alemania, Italia, Japón, Francia, España, Bélgica, Canadá, Federación Rusa, Reino Unido y Países Bajos (FIRA, 2016).

México ocupa un lugar muy pequeño en el mercado europeo del Café, el cual está dominado por el aromático proveniente de Brasil, Vietnam y Colombia. Sin embargo, el valor de sus exportaciones es considerable, debido, principalmente al valor económico que este representa por ser de alta calidad (SCAE, 2010).

El consumo de café en Europa

La Unión Europea ocupa la primera posición en el consumo de café con 28.9% del consumo global en 2015/2016. Le siguen en importancia los Estados Unidos, con una participación del 16.6%, y Brasil con el 13.8% de la demanda mundial. El consumo en estos tres mercados creció a una tasa promedio anual de 0.5, 1.4 y 2.3%, respectivamente, durante la década previa (FIRA, 2016).

Tradicionalmente el aromático se importa en presentación de café verde y se tuesta en el sitio de consumo, lo que trae como consecuencia una pérdida en el margen del precio pagado a los productores, al no llegar los productores al último consumidor. Durante la última década, el mercado europeo del café ha sufrido transformaciones importantes, dando origen a nuevos patrones de consumo y nuevos actores en el comercio del mismo.

Como regla general, en Europa alrededor del 75% del café es vendido al consumidor vía tiendas de autoservicio y de alimentos, mientras que alrededor del 25% restante, es vendido al consumidor final vía hoteles, restaurantes y cafeterías (SCAE, 2010).

Un ejemplo de lo antes mencionado, es la trazabilidad del café importado en los Países Bajos, que realizó Havermans (2010), en el caso del café de Costa Rica que llega a este país, como se muestra en la Figura 1.

Existen dos canales de comercialización. El primero inicia con el importador o comercializador, quien envía el café a los tostadores, y éste último a los expendedores o minoristas, de donde se distribuye a los hoteles, oficinas, cafeterías, tiendas de conveniencia, etc., donde es adquirido por los consumidores finales. El segundo es del importador al tostador y de ahí a los supermercados en donde es adquirido por el consumidor final.

Comercialización y consumo de café en los Países Bajos

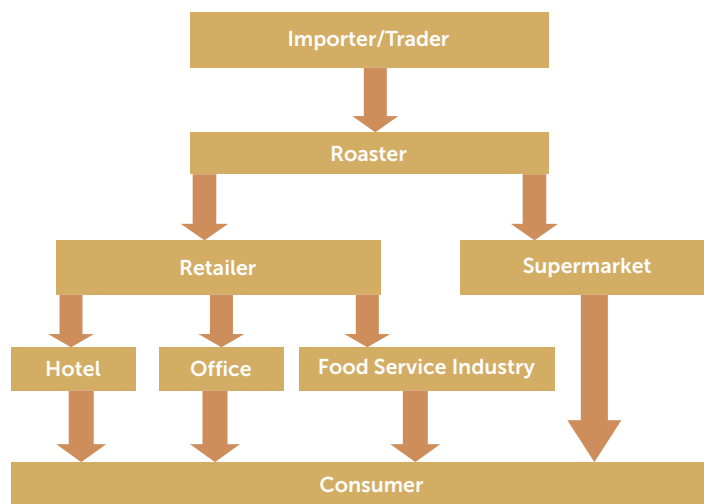


Figura 1. Finalización de la cadena del café para el consumidor neerlandés. Fuente: Havermans, 2010.

Según datos de la OIC (2009), el consumo por habitante en los Países Bajos tuvo un ligero aumento hasta el año 2007, llegando hasta 8 kg. Sin embargo, esta cantidad disminuyó notablemente en el año 2008, llegando a tan sólo 4.8 kg por persona, diez años después el consumo ha vuelto a aumentar.

Como resultado de la investigación de campo, se recopiló una lista de los

principales minoristas, tostadores y comercializadores de café en los Países Bajos, los cuales se muestran en el Cuadro 1.

Como se observa en el Cuadro 1, Simon Levelt es tostador y comercializador a la vez, y ésta es la principal tienda de venta de café de especialidad, con una de ellas ubicada en la ciudad de Tilburg, el cual es un establecimiento muy concurrido todos los días de la semana.

Simon Lévelt es una tienda de franquicia que sólo vende café de especialidad con la marca única de la tienda. La mayor cantidad de sus ventas está dirigida a los clientes que llegan a comprar café para uso personal preparado en los hogares; cuenta con 45 tiendas en los Países Bajos y Bélgica, y la número siete de éstas es la ubicada en la ciudad de Tilburg.

Douwe Egberts

Douwe Egbert es propiedad exclusiva de American Foodconcern Sara Lee, tiene una gran variedad de mezclas de café. La marca roja (aroma rood) es la mezcla más popular en los Países Bajos con una cuota de mer-

cado de 44%. En el reporte anual de Douwe Egberts, la empresa declaró que su intención es comprar directamente a cooperativas de productores, ya que, los precios al consumidor de Douwe Egberts han ido disminuyendo debido a los precios del mercado mundial. Esta situación ha obligado a la empresa a realizar ajustes, de otra manera ellos tendrían problemas con los sindicatos de consumidores, los cuales están comparando constantemente el precio al consumidor con el precio del mercado mundial, la presentación más comercializada es la que se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Douwe Egberts, principal marca de café comercializada en los Países Bajos. Fuente: JDE, 2017.

Cuadro 1. Principales minoristas, tostadores y comercializadores en los Países Bajos.		
Minoristas	Tostadores	Comercializadores
Fascino Coffee B.V.	Ahold Coffee Company	A. van Weely B.V.
IKEA- Neteherlands	Autobar Holland	Alanheri (produkten) B.V.
Magazijns de Bijenkorf B.V.	Beans Coffee	Alessie
	ICS International B.V.	Andira Netherlands
	Koffiebranderij en theehandel Drie Mollen sinds 1818 B.V.	Bud Holland B.V.
	Melangerie	C.T.B.B.V.
	Nestle Professional Nederland	Certifield international BV
	Neuteboom	Daarnhouwer & Co B.V.
	Ongebrand B.V.	European Coffee B.V.
	Sara Lee Int.	Federación nacional de cafeteros de Colombia
	Simon Levelt B.V.	G. Bijdendijk B.V.
	Social Ground Coffee Company	Greencof
	Soyuz	Holland Coffee Group B.V.
	TB Brown B.V.	J. Wolff & Company B.V.
		J. Th. Douques Koffie B.V.
		Mild Coffee Company N.V.
		Nedcoffee
		Nethgrain B.V.
		Princes MC Foods Europe
		Simon Levelt B.V.
		Trabocca B.V.

Fuente: elaboración propia con datos de campo, 2010.

Douwe Egberts también es líder de mercado en Dinamarca, Bélgica y Francia, y tiene un considerable interés en España. La oficina de compra de Douwe Egberts "Decotrade" está, al igual que todos los grandes tostadores en Europa, situado en Suiza.

Albert Heijn/Marvelo

Albert Heijn posee las grandes cadenas de tiendas en los Países Bajos. Por lo tanto, Douwe Egberts debe tratar de mantener la mayor cuota de mercado, de manera que las tiendas de Albert Heijn no pueden prescindir del café Douwe Egberts, y Douwe Egberts velará porque su cuota de mercado no sea reducida (Figura 3).

Después de dominar Van Nelle por Douwe Egberts, Albert Heijn es el único competidor serio para Douwe Egberts, con una cuota de mercado del 11%. En 1989, la gran cadena de tiendas Albert Heijn llegó con una nueva línea de café mediante la adición de variantes como, arábica extra suave y cafés más aromáticos. Albert Heijn sigue la nueva tendencia del consumidor, el cual apunta a que este quiere elegir entre una gran variedad de cafés. Con esta nueva línea, Albert Heijn cubre todo el mercado de café.

Algunas cadenas de tiendas líderes tienen una oficina en Suiza para la compra de café y solo cinco de ellas cuentan con su propio tostador. Éstas son: Marvelo/Albert Heijn (Países Bajos), IKA (Suecia), Cesco (Finlandia), Casino (Francia) y Micro (Suiza). También existen las etiquetas privadas, que son mezclas de café de cadenas de tiendas, las cuales son vendidas bajo su propio nombre. Los precios de esos cafés son me-

nores que los de los grandes tostadores, algunos son importados de Alemania y vendidos en una cadena de tiendas en los Países Bajos. Un ejemplo de tostador de etiqueta privada es la de "Koffiebranderij en Theehandel Drie Mollen".

Pequeños tostadores

Los pequeños tostadores tienen una muy baja cuota de mercado. Algunos tienen como objetivo el mercado institucional y otros cuentan con sus propias tiendas especiales, las cuales están vendiendo principalmente cafés gourmet. Puede que aunque esas tiendas se expandan considerablemente, sigan teniendo únicamente una pequeña cuota del mercado total, debido al gran dinamismo de las cadenas comerciales. El resto de todos los pequeños tostadores, los cuales se encuentran enlistados en el Cuadro 1, están operando en el mercado institucional, restaurantes, bares, oficinas, etc. Dos excepciones son: Koffiebranderij Neuteboom y Koffiebranderij Tiktak, los cuales son productos de Max Havelaar.



Figura 3. Albert Heijn, principal cadena de supermercados en Tilburg, Países Bajos.

crecimiento. La rápida implantación de las cafeteras de cápsulas permite augurar la continua expansión del segmento, su rapidez, facilidad de uso, ahorro de limpieza y posibilidad de elegir entre diferentes variedades, ya que permite "personalizar" cada taza al gusto del consumidor más exigente.

JSenseo, el monodosis de Philips

Dos empresas importantes en sus respectivos sectores: Marcilla (Sara Lee Southern Europe) y Philips, han creado un nuevo tándem en el mercado español, bajo el nombre de Senseo, un sistema que, lanzado en 2001, ha comercializado más de 20 millones de cafeteras y más de 20,000 millones de monodosis en países como Bélgica, Francia, Alemania, Dinamarca, Países Bajos, Estados Unidos, Reino Unido, Australia, China y Japón.

Revolución en el lineal

El consumo de café en los hogares ha sufrido una transformación vertiginosa en los últimos años. Las cafeteras tradicionales dejaron paso a las eléctricas con filtro, y éstas, van cediendo terreno ante los pujantes sistemas cerrados en cápsulas. Una nueva categoría en el lineal, es el coffee shop en casa, que impulsan el mercado desde sus dos vertientes: producto y máquinas. Éstas últimas están siendo el verdadero motor de

A diferencia de otras fórmulas, sus dosis no son cápsulas, sino bolsitas elaboradas con filtro de papel. Se encuentran en cinco variedades de gama clásica que incluye Natural, Mezcla, Descafeinado Intenso, y dos de origen (Kenya y Brasil). Las presentaciones encontradas en los supermercados de Tilburg se muestran en la Figura 4.



Figura 4. Café en monodosis como una nueva tendencia en el mercado mundial.

Ilperespresso de Illy, la perfección

En 2008, la compañía italiana Illy desarrolló un sistema de café denominado Ilperespresso, lanzado en los mercados español e italiano, fruto de una investigación de cuatro años para llevar el expreso a la perfección. Está dirigido a un mercado muy selectivo y sólo se distribuye en tiendas de diseño y en cafeterías especializadas. Illy cuenta también con el I-Espresso System Mitaca o Illy, resultado de la colaboración entre Illycaffé e Itaca, empresa que fabrica máquinas de café y cápsulas expreso para oficinas.

Otro de los ejes del negocio es la red de franquicias Espressoamente Illy, que suma alrededor de 180 cafeterías en 32 países, entre ellos España. En este país, Illy posee una fábrica de cafeteras que reforzará para encargarle la producción de las máquinas del nuevo Ilperespresso. Además de estas instalaciones y de las que Illy tiene en Italia, la firma fabrica máquinas de café para oficinas en China y mantiene acuerdos exclusivos de producción con La Cimbali y Saeco. Simon Lévelt es una tienda de franquicia importante en los Países Bajos donde se pueden encontrar estos productos innovadores.

El café Douwe Egberts sigue siendo líder en el mercado neerlandés, seguido de la cadena de supermercados Albert Heijn. Ambas empresas tienen muy variados tipos de café que se están comercializando en los supermercados, y en mayores cantidades en comparación con las otras marcas.

Se encontró que las certificaciones con mayor presencia son Rainforest Alliance y UTZ kapeh. Éste último ha cambiado su nombre a UTZ Certified. La certificación Fair trade de Max Havelaar tiene igual importancia, pues casi todas las marcas de Albert Heijn cuentan con esta

certificación, así como la de EKO, que quiere decir café ecológico u orgánico. Otro punto importante es que el café Illy es el más caro que se encuentra, que varía de precio según la presentación y la cadena de supermercado.

Cafeterías

De los recorridos realizados en la ciudad de Tilburg, se pudieron observar pocas cafeterías, las cuales están dispersas, pero

son concurridas por consumidores frecuentemente. En ellas se ofrecen tanto el café en taza, como en empaques de 250 g. De las cafeterías especializadas, el café que se ofrece es Illy únicamente. Los nombres de las cafeterías visitadas en la ciudad de Tilburg son: Cafetería Mug & Muffins, Cafetería Kras 2, Lokaal Zeven y Café Karel Viva las Tapas.

Tipos de cafés de especialidad que se consumen en Tilburg

El principal punto de venta de cafés de especialidad es Simon Lévelt, y de acuerdo a la información recabada, el porcentaje de ventas de cada tipo de café es el siguiente: el café gourmet y café sustentable representan más del 50% de las ventas totales, el café de comercio justo, orgánico y convencional representan el 30% y el café Bird Friendly representa sólo el 5% del total. El tipo de café que tiene las ventas más altas, es preferido por los consumidores porque para ellos es de suma importancia que tenga la certificación orgánica, además de que, en esta tienda, tienen la posibilidad de elegir el sabor y precio que más les convenga; una razón más, es que para ellos el sabor de los cafés que venden en los supermercados es inferior al de los cafés de especialidad.

Entre los diferentes tipos de café que se venden en Simon Lévelt el Espresso Roma y Espresso Corazón son los más comercializados, los cuales tienen un precio de €3.95 y €4.95 por 250 g, respectivamente.

Se comercializan tres grupos diferentes de café: las mezclas, expreso y café de origen. De éstos, el grupo de las mezclas ha ido disminuyendo en cuanto a la demanda y los otros dos grupos han ido incrementando sus ventas. Todos los tipos de café expreso son mezclas y tienen un tostado doble, mientras que el café de

filtro y de especialidades tiene un tostado simple. De todos los tipos de café que se exhiben, 11 de 24 cuentan con la certificación orgánica. En la Figura 5 se muestran los tipos de cafés exhibidos en Simon Lévelt.

El café con mayor importancia en términos de calidad del producto es el café orgánico, pues tiene una gran influencia sobre los consumidores en cuanto al cuidado de la salud y la calidad del producto, especialmente el sabor. Los consumidores están conscientes de que el café que se comercializa en los supermercados es de baja calidad y que los cafés de especialidad tienen un precio más elevado, pero son de mejor calidad, además de que el sabor de este tipo de café, importante factor decisivo para los consumidores, es mejor que el sabor de los cafés de los supermercados.

Una de las estrategias que ha utilizado Simon Lévelt para maximizar sus ventas es informar a los consumidores sobre las características de cada tipo de café y sus beneficios, además de contar con una gama de productos adicionales a la venta como: té, chocolate, cafeteras, teteras, tazas, termos, entre otros productos, lo cual constituye una importante estrategia de mercado (Figura 6).

Factores que determinan el consumo de cafés de especialidad en Tilburg

Se realizaron 40 entrevistas a consumidores de cafés de especialidad en la ciudad de Tilburg, Países Bajos, de los cuales el 25% fueron estudiantes, mismos que tuvieron un efecto importante en los resultados. La proporción entre hombres y mujeres entrevistados fue similar, en edades de entre 20 y 30 años, y la mayoría tiene un empleo fijo.

El tipo de café de especialidad que tuvo mayor importancia en consumo entre los encuestados fue el café orgánico (33%) y, en segundo lugar, el café de origen (22%), preferidos por su sabor (55%) y calidad (27%). El café que representa el segundo lugar en ventas es Douwe Egberts (41%), marca reconocida en los Países Bajos por ser una importante cadena en los supermercados. Aunque este café no tiene ninguna certificación, es el más comercializado. Los cafés de especialidad los compran prioritariamente en las pequeñas tiendas o franquicias (75%) y, en segundo lugar, en los supermercados (16%).

En las tiendas especializadas el tipo de café que compran los consumidores es tostado y molido (46%), seguido en importancia del café en grano (37%) y en último lugar el café instantáneo (17%), ya que son los estudiantes los que beben café de una manera más práctica y en lugares en donde esté disponible, sin tomar muy en cuenta la calidad. En cuanto a los compradores de cafés especiales, éstos prefieren consumir su café en el hogar (53%) o en el lugar de trabajo (18%).



Figura 5 Exhibición y venta de café tostado en grano y molido en las tiendas Simon Lévelt en Tilburg, Países Bajos.



Figura 6 Diversidad de productos que además del café se venden en las tiendas Simon Lévelt.

Como la mayor parte de los encuestados (61%) son consumidores de café especializado, el precio que pagan por el café está entre 2.00 y 4.99 euros por cada 250 g, dependiendo de la certificación y origen; la otra parte (24%) paga de 5.00 a 7.99 euros por la misma cantidad; y el resto (15%) paga menos de €2.00, que corresponde al café instantáneo que se expende en las máquinas de autoservicio.

La estrategia de los cafés de especialidad como alternativa para mejorar el consumo en México

Retomando los resultados de lo investigado en Tilburg, Países Bajos, una estrategia que puede adoptarse en México para mejorar la comercialización de cafés de especialidad, es la utilizada por la cadena más grande de supermercados Albert Heijn en los Países Bajos: un folleto de estampas que debe ser rellenado con cupones que vienen en los empaques de café y por cada folleto rellenado se puede intercambiar en el mismo supermercado por otro paquete de café de 250 g, una opción que se puede adaptar a los supermercados más grandes de México.

Otra actividad importante es mejorar la promoción de los cafés de especialidad a través de pruebas de degustación e informando a los consumidores sobre los beneficios de estos tipos de cafés a través de un proceso de concientización, además de proponer un equilibrio entre el precio y producto que no afecte la economía de las familias.

Otras estrategias en beneficio de la cadena de valor es aumentar los centros de distribución, como cafeterías o tiendas especializadas donde se puedan encontrar únicamente cafés diferenciados y de especialidad para colocarlos a la mano de los consumidores, así como realizar demostraciones de las diferentes formas de preparación que llamen la atención de los consumidores, además de la preparación de otras bebidas a base de café.

Así también, concientizar y motivar a los líderes de las organizaciones de cafeticultores a fortalecer sus cooperativas, modificar el proceso productivo con el fin de mejorar la calidad del café que producen, para poder incursionar en el mercado de comercio justo en Europa que es el que más está creciendo a nivel mundial; y seguir aumentando la producción de café orgánico, ya que, según el resultado de las encuestas, es el café de mayor preferencia entre los habitantes de la ciudad de Tilburg, principalmente por el sabor, aroma y calidad.

En el caso de las organizaciones que ya producen cafés con alguna certificación, una buena estrategia sería, informar a los consumidores sobre las características de buena calidad del producto, a través de foros, presentaciones, reuniones, recorridos, etc., y formar un gusto diferente por el café orgánico, de comercio justo y demás certificaciones, con lo que se esperaría que simultáneamente, vaya disminuyendo el consumo de cafés de mala calidad, como el soluble tradicional.

Innovar en productos más prácticos e individuales, como café soluble orgánico en presentaciones pequeñas a manera de sobres de 5 a 10 g, y con variantes en sabores, ya que en los Países Bajos el producto de mayor tendencia actualmente es el uso de los pads, que pueden ser de difícil introducción en México por la necesidad de las máquinas especiales para preparar este tipo de café que pueden ser de un costo muy elevado, y por lo tanto complicado de adquirir debido a la quebrantada economía, pero en su lugar, se puede innovar con productos que estén al alcance del bolsillo del consumidor y que no requieran de utensilios o aparatos sofisticados para su preparación.

Una estrategia más y no muy difícil de aplicar, es adoptar el esquema de información personal a los consumidores sobre las características del café de acuerdo a sus necesidades y de acuerdo al sabor y presentación que buscan en el café, que pueda satisfacer sus necesidades, lo que puede tener un importante efecto para formar clientes constantes de un determinado tipo de café en el lugar en donde se esté distribuyendo.

Se recomienda además tener en el lugar de distribución, ya sea cafetería o tienda especializada una gama de productos diferentes y únicos, como galletas, chocolates, cafeteras, cucharas, tazas, dulces, panecillos, entre otros, y ofrecer servicios especiales en días festivos, como envolturas para regalos, paquetes especiales con precios especiales, que llamen la atención de los consumidores. Por último, es necesario acercar el producto a lugares concurridos o áreas de trabajo para facilitar y hacer más cómodo el consumo a las personas que les resulta difícil visitar las cafeterías por limitaciones de tiempo y distancia, se puede pensar en máquinas de autoservicio o expendedoras de café.

En los Países Bajos, el lugar de mayor preferencia para comprar café de especialidad son tiendas de franquicia o especializadas, y en segundo lugar, los supermerca-

dos; en México, por ser de una cultura diferente, donde las personas están acostumbradas a comprar todo lo necesario para su hogar en supermercados o tiendas de autoservicio, sería recomendable posicionar primero el café en las tiendas de abarrotes y misceláneas, por ser lugares obligatorios en donde las personas realizan sus compras, y en un futuro, después de haber logrado que este tipo de café forme parte de la canasta básica de los consumidores mexicanos, sería más factible buscar una oportunidad en alguna cadena de supermercados.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de nuestro análisis, el café que más se comercializa bajo el sello de Max Havelaar en los Países Bajos son los cafés de Simon Lévelt. Sin embargo, no existen grandes limitaciones para que el café de México expanda su mercado en el esquema de cafés de especialidad, ya que, en los Países Bajos, casi todo el café que se importa de México es orgánico, lo cual puede impactar negativamente el mercado neerlandés, debido a que la mayor parte del café que se comercializa en este país, es de comercio justo. No obstante, una alternativa para tener una mejor participación en el mercado europeo, es que los campesinos se organicen en cooperativas más grandes y fuertes que puedan trabajar conjuntamente para poder exportar y vender más en el mercado de comercio justo.

Derivado de la información obtenida de las entrevistas se puede concluir que para promover el consumo de cafés de mejores calidades en México es necesario innovar en presentaciones más accesibles, económicas y de fácil preparación, aunado a una concientización por el cuidado de la salud y del medio ambiente, con el fin de cambiar la tradición de consumo de cafés bajas calidades.

Aunado a la agregación de valor mediante la formación de cooperativas, la apertura de cafeterías gourmet y barras de café de especialidad ha estimulado notablemente la cultura del café, ofreciendo nuevas mezclas, sabores e incluso ambientes para consumir la bebida. Ofreciendo también en los establecimientos un esquema similar al de las tiendas Simon Lévelt de atención personalizada, haciéndole saber al consumidor de donde proviene el café que compra, de qué manera fue procesado y de qué calidad es, además de una continua concientización por el cuidado de la salud, del medio ambiente y sobre todo un comercio más justo por los pequeños productores en México.

LITERATURA CITADA

- ASERCA. 2017. Panorama Internacional Café. Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. Coordinación General de Administración de Riesgos de Precios. SAGARPA. México. 26 p.
- Anta-Fonseca S. 2006. El café de sombra: un ejemplo de pago de servicio ambientales para proteger la biodiversidad. Gaceta ecológica. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. 80: 19-31.
- AMECAFE. 2017.. 2017. Análisis del mercado de consumo de café en México 2016. Asociación Mexicana del Café. Euromonitor Consulting. Informe. 58 p.
- Castro P., Contreras Y., Laca D., Nakamitsu K. 2004. Café de especialidad: alternativa para el sector cafetalero peruano. Esan Cuadernos de Difusión 17: 62-84.
- CIC. 2015.. 2015. Carpeta de Difusión. SAGARPA. Convención Internacional del Café. Dirección General de Productividad y Desarrollo Tecnológico. México. 27 p.
- Escamilla-Prado E., Robledo-Martínez J.D., Díaz-Cárdenas S. 2015. Problemática y alternativas de la cafecultura en México: Una visión desde la academia. H. Congreso de la Unión, Cámara de Diputados. México, D. F.
- Escamilla-Prado E. Landeros-Sánchez C. 2016. Cafés diferenciados y de especialidad. Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café. Huatusco, Veracruz. 48 p.
- FIRA. 2016. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. 2016. Panorama Agroalimentario. Café 2016. 36 p.
- Giovannucci D. 2001. Encuesta sobre café sustentable en el mercado de especialidad de América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte. 32 p.
- Havermans M. 2010. Cadena del café de Costa Rica a Holanda. Tesis de Maestría, Universidad de Tilburg, Países Bajos.
- JDE. 2017. The business of Beans. Jacobs Douwe Egberts. Consultado abril 2017. Disponible en: <https://www.jacobsdouweegberts.com/CR/>
- Nájera-Elizalde O. 2002. El café orgánico en México. Cuadernos de Desarrollo Rural 48: 59-75.
- OIC. 2017. Estadística, datos históricos, exportación, importación y consumo. Organización Internacional del Café. Consultado marzo 2017. Disponible en: http://www.ico.org/es/new_historical_c.asp
- Pelupessy W. 2001. El enfoque de la cadena global de mercancías como herramienta analítica en las economías en vías de desarrollo. Economía y Sociedad Enero-abril 2001: 11-120.
- Pérez A.P., Echánove H.F. 2006. Cadenas globales y café en México. Cuadernos Geográficos 38: 69-86.
- Salinas-Callejas E. 2004. El impacto de la onda cíclica de los precios del café en los productores de México. Análisis Económico 40: 269-291.
- SAGARPA. 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Café Mexicano. Ciudad de México. 13 p.
- SCAE. 2010. Specialty Coffee Association of Europe. 2010. Programa de ferias institucionales y misiones comerciales 2010-2011.
- Torres M.R., Sánchez A.L.R., Alarcón M.H. s/f. Comercio justo. Una alternativa de desarrollo para los pequeños productores. Facultad de contaduría y administración. Universidad Autónoma de Chihuahua. 4 p.

EFECTO DE LA MICORRIZA ARBUSCULAR EN PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) INFECTADAS POR EL NEMATODO DE LA CORCHOSIS DE LA RAÍZ

EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZA ON COFFEE (*Coffea arabica* L.) PLANTS INFECTED BY THE NEMATODE OF COFFEE CORKY-ROOT DISEASE

Trejo-Aguilar, D.^{1*}; Ferrera-Cerrato, R.²; Sangabriel-Conde, W.¹; Baeza, Y.¹

¹Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, Xalapa, Veracruz. C. P. 91000. México. ²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230.

*Autor para correspondencia: doratrejo@gmail.com

RESUMEN

La micorriza arbuscular puede reducir la susceptibilidad y daños causados por patógenos. El café es un cultivo que presenta un alto grado de micotrofia y ha sido comprobado que la micorriza mejora el desarrollo de la planta. En este trabajo se comparó el efecto de plantas inoculadas con consorcios de hongos micorrízicos y su interacción con nematodos fitopatógenos. Se aislaron siete consorcios de hongos micorrízicos nativos de cafetales y se comparó la interacción de los diferentes inóculos con el nematodo causante de la "corchosis". Para ello se sembraron plantas de café inoculadas con los siete consorcios de HMA y después de siete meses se inocularon con 1500 juveniles y huevecillos y se determinó el peso seco, volumen radical, área foliar y número de hojas, micelio extraradical, cantidad de clorofila, porcentaje de colonización micorrízica, número de esporas y la población de nematodos. El volumen radical de las plantas inoculadas con el patógeno disminuyó hasta en un 70.93%, sin embargo, las plantas se observaban aparentemente sanas y vigorosas en la parte aérea, lo que nos hace suponer que aunque el nematodo penetra en la raíz y la daña, las hifas del hongos permiten el paso de nutrientes y así la planta logra su desarrollo.

Palabras clave: *Coffea arabica*, Hongos micorrízicos, *Meloidogyne incognita*, Fitopatógeno.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizae may reduce the susceptibility and damages caused by pathogens. Coffee is a crop that has a high degree of mycotrophy and it has been proven that mycorrhizas improve plant development. The purpose of this study was to compare the effect of plants inoculated with consortia of mycorrhizal fungi and their interaction with phytopathogenic nematodes. Seven consortia of native coffee plantation mycorrhizae fungi were isolated, and the interaction of the different inoculums was compared with the root-knot nematode that causes coffee corky-root disease, also called corchosis. For this purpose, coffee plants were inoculated with the seven consortia of AMF and after seven months they were inoculated with 1500 juveniles and eggs; the following were defined: dry weight, root volume, leaf area and number of leaves, extraradical mycelium, chlorophyll quantity, percentage of colonization, number of spores, and population of nematodes. The root system volume of plants inoculated with the pathogen decreased by up to 70.93%; however, the plants observed were apparently healthy and vigorous in the aerial part, which leads us to assume that although the nematode penetrates the root and damages it, the fungal hyphae allow the passage of nutrients and therefore the plant attains its development.

Palabras clave: *Coffea arabica*, mycorrhizal fungi, *Meloidogyne incognita*, phytopathogens.

del 35% (INIFAP, 2005). De hecho, López-Lima *et al.*, (2015) realizaron un muestreo en 8 fincas de la zona centro de Veracruz, en gradiente altitudinal de 559 a 1,361 msnm, reportando infestación en todos los sitios muestreados. El presente trabajo tuvo como objetivo conocer el desarrollo de las plantas inoculadas con consorcios de hongos micorrízicos y su interacción con nematodos fitopatógenos en invernadero, con el fin de obtener información básica que permita incorporar el uso de estos hongos como alternativa para reducir los daños causados por nematodos.

METODOLOGÍA

Plántulas de café variedad Garnica se inocularon en etapa de "mariposa" con 7 consorcios de hongos micorrízicos arbusculares colectados en fincas de café con diferente nivel de tecnología descritos por Trejo *et al.* (2011) (MI_{SM}, ES_{SM}, JU_{SM}, PG_{SB}, BE_{SB}, CO_{EDSA} y XI_{EDSA}) (Doscientos diez días después de la inoculación micorrízica (DDIM) se procedió a la inoculación con nematodos aplicando la suspensión con 1,500 del segundo estadio juveniles (J2) en cuatro agujeros en el suelo a 3 cm de la base del tallo (Fernández *et al.*, 1994). En un diseño factorial se estudió el efecto de los factores consorcio (a siete niveles) y nematodo (a dos niveles). Los niveles del consorcio fueron siete complejos nativos de diferente procedencia. Los niveles del factor nematodo fueron presencia y ausencia del patógeno. Además, se consideró un tratamiento fertilizado con fósforo (F) y el testigo sin fertilización (T). Después de 30 días de la inoculación del nematodo (DDIN) y 210 días después de la inoculación micorrízica (DDIM) se evaluaron las variables altura, número de hojas, diámetro, área foliar,

INTRODUCCIÓN

Dentro de la multitud de microorganismos que conforman un agroecosistema, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) destacan de otros componentes debido a su habilidad para formar un enlace entre las plantas y el suelo conocido como micorriza. Entre los beneficios de la micorriza destaca el papel que tiene en la reducción de daños causados por patógenos, entre ellos los nematodos. El café es una planta altamente micotrófica (Trejo *et al.*, 2011), sin embargo este cultivo ha sido fuertemente atacado por el nematodo agallador (*Meloidogyne incognita*) causante de la "corchosis" (López-Lima *et al.*, 2015). Los nematodos son reconocidos como una de las principales enfermedades de algunos cultivos. En café se ha visto que los nematodos destruyen el parénquima cortical de las raíces, causando cavidades y lesiones que predisponen al tejido a infecciones secundarias por hongos y bacterias (Fateh *et al.*, 2016). Los daños afectan seriamente estados tempranos de desarrollo de las plantas de café, cuando las plantas son transplantadas a campo, lo que ocasiona menor producción, frutos pequeños, deficiencias nutricionales y acortamiento de la vida productiva de la plantación (Restrepo *et al.*, 2008). Vaast *et al.* (1997) señala que la infección por el nematodo endoparásito en café disminuye a la mitad la proporción de raíces absorbentes y reduce las tasas de absorción de nitrato y amonio en 63% y 54%, afecta negativamente la producción. Con una superficie de 167,667 ha dedicadas a este cultivo, Veracruz es el segundo estado productor de café en México (INEGI, 2014). Del total de esta superficie, 50,000 ha están infectadas por nematodos, lo que implica reducciones en el potencial productivo del cultivo del orden

peso seco, porcentaje de colonización, población de nematodos, población de esporas, micelio extrarradical, y clorofilas A, B y total.

RESULTADOS

El factor consorcio ejerció efectos significativos ($P \leq 0.0001$) en la medición 180 DDIN, en todas las variables evaluadas. (Cuadro 1).

Por efecto del nematodo se encontró significancia en ausencia del nematodo en peso fresco de la raíz con 18.34 gr y en presencia del nematodo un peso de 13.05 gr. El peso seco de la raíz en ausencia del nematodo fue de 23.65 gr y en presencia de este un peso de 18.34 gr. En la raíz de las plantas con nematodos se puede notar una fuerte destrucción del tejido. Sin embargo, aunque el sistema radical se redujo hasta en un 70% por efecto del nematodo, las plantas lograron mantenerse con un vigor semejante a las que no tenían el patógeno (Figura 1).

Por el contrario, el factor nematodo no afectó la variable altura (Figura 2).

Por efecto de la interacción consorcio-nematodo no se presentaron diferencias significativas en peso fresco de las hojas ($P \leq 0.0002$) entre plantas sin y con nematodos. Sin embargo los valores más altos se encontraron en las plantas libres de nematodo en 6 de los consorcios excepto en el caso del inoculante XI_{EDSA}. En la colonización micorrizica no se observó una tendencia clara entre plantas micorrizadas e infectadas por el nematodo, excepto en los consorcios BE_{SB} y JU_{SM}. Así mismo, la cantidad de clorofilas A, B y total no mostró diferencias significativas (Cuadro 3).

Por efecto del nematodo también se detectó significancia ($P \leq 0.0001$) entre tratamientos, la mayor cantidad de micelio la registró el suelo libre de nematodos con un peso de 863.5 mg* g^{-1} de suelo y con presencia de nematodo con un peso de 350.11 mg* g^{-1} de suelo.

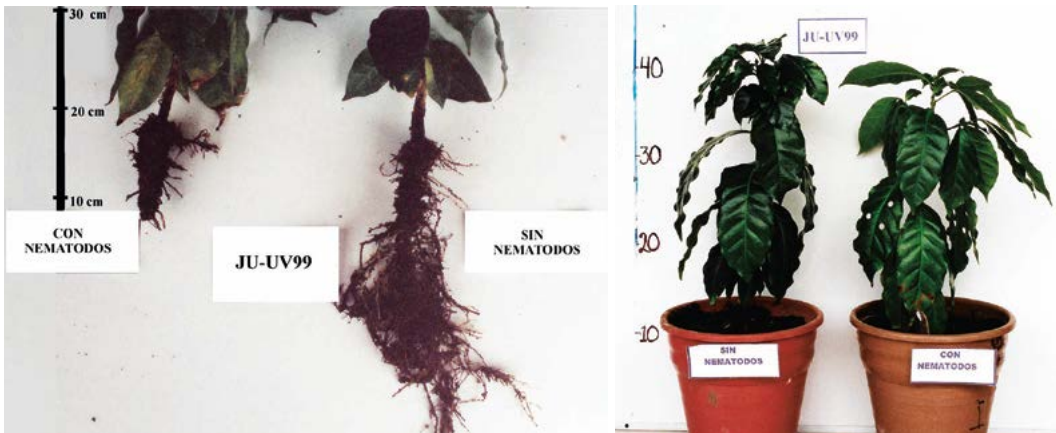


Figura 1. Comparación de plantas micorrizadas con y sin nematodo con el sistema radical dañado pero con una apariencia sana del follaje.

Cuadro 1.								
Factor Consorcio	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Número de hojas	Peso fresco de raíz (g)	Peso fresco del follaje (g)	Peso seco de raíz (g)	Peso seco del follaje (g)	Área foliar (cm ²)
PG _{SB}	29.20b	5.22bcd	25.2b	5.08c	15.99cd	1.34cd	4.81bc	559.92de
BE _{SB}	21.75c	4.64d	20.8b	2.69c	10.13d	0.71cd	3.45cd	623.04cd
MI _{SM}	41.85a	6.75a	55a	32.04a	34.88a	6.39ab	9.87a	1331.79b
ES _{SM}	42.06a	6.67a	56.4a	34.66a	34.57b	9.48a	8.4ab	1470.3ab
JU _{SM}	33.7b	6.13ab	38 b	18.16b	23.68b	4.52ab	6.91abc	551.62de
XI _{EDSA}	22.4c	5.61abcd	21.2b	2.58c	9.25d	0.65cd	4.4cd	419.86e
CO _{EDSA}	31.35b	5.11cd	29.6b	9.8 bc	16cd	2.1cd	5.01cb	758.72c
F	44.7 ^a	6.61ab	60.1a	3.03a	44.5a	7.5ab	9.42a	1610.18a

Letras distintas en la misma columna para cada variable muestran diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$).

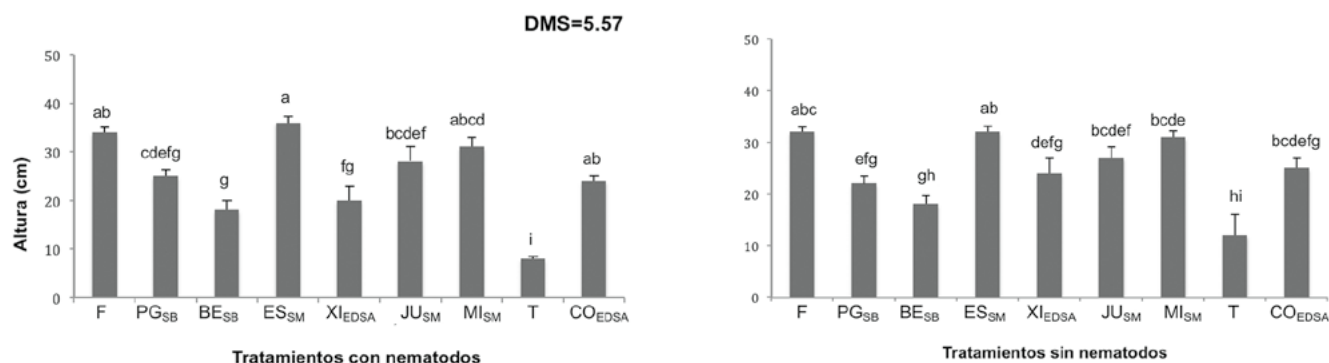


Figura 2. Altura de plantas de café inoculadas con y sin nematodo 30 DDIN. Letras distintas en la misma columna para cada variable muestran diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$).

Cuadro 3. Efecto de la interacción consorcio-nematodo en peso fresco de follaje, colonización micorrizica, clorofila A, B y total en presencia (con nematodo, CN) o ausencia (sin nematodo, SN) del patógeno.

Consorcio	Nematodo	Hifas	Vasiculas	Arbúsculos	Clorofila A (mg/mm ²)	Clorofila B (mg/mm ²)	Clorofila Total (mg/mm ²)	Peso fresco del follaje (g)
PG _{SB}	CN	24.7 _{ef}	4.03 _e	16.5 _a	6.11 _b	3.02 _{abc}	10.35 _{ab}	15.10 _{fgh}
	SN	27 _{ef}	5 _{de}	6 _{abc}	6.88 _a	2.71 _{ab}	9.62 _a	16.88 _{efgh}
BE _{SB}	CN	39.6 _{bcde}	6.23 _{de}	1 _c	9.19 _a	4.20 _a	12.91 _a	7.84 _{ghi}
	SN	19.7 _{ef}	4.81 _e	3.5 _{bc}	5.82 _a	1.93 _b	8.01 _a	12.42 _{ghi}
MI _{SM}	CN	19.4 _f	5.25 _{de}	7.5 _{abc}	6.89 _{ab}	3.45 _{ab}	10.97 _{ab}	29.22 _{bcde}
	SN	35 _{cdef}	7.2 _{cde}	11.7 _{ab}	7.44 _a	2.77 _{ab}	10.34 _a	39.94 _{ab}
ES _{SM}	CN	46.6 _{bcd}	11.4 _{bcde}	3.8 _{bc}	7.39 _{ab}	3.7 _{ab}	11.13 _a	32.16 _{bcd}
	SN	54.06 _a	16.37 _{bc}	7 _{abc}	7.26 _a	2.95 _a	10.21 _a	36.98 _{bc}
JU _{SM}	CN	30 _{ef}	39 _a	16.5 _a	6.85 _{ab}	3.14 _{ab}	8.74 _{bc}	20.78 _{defg}
	SN	65.02 _a	6.3 _{ade}	1 _c	6.8 _a	2.70 _{ab}	9.32 _a	26.58 _{cdef}
CO _{EDSA}	CN	33.2 _{def}	15 _{bcd}	6.2 _{abc}	6.94 _{ab}	1.56 _{cd}	4.87 _{cd}	11.12 _{ghi}
	SN	50.33 _a	18.3 _b	10.6 _{abc}	5.77 _a	2.23 _{ab}	7.96 _a	20.88 _{defg}
XI _{EDSA}	CN	29 _{ef}	6.3 _{abc}	6.3 _{abc}	5.32 _b	2.83 _{abc}	7.7 _{bc}	11.24 _{ghi}
	SN	30.1 _{ef}	4.5 _{bc}	4.5 _{bc}	6.71 _a	2.89 _{ab}	9.69 _a	7.26 _{hi}

Letras distintas en la misma columna para cada variable muestran diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$).

Por efecto de la interacción consorcio-nematodo se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.0001$) en cantidad de micelio externo en el suelo de plantas inoculadas con los consorcios MI_{SM}, ES_{SM}, JU_{SM} y PG_{SB} libre de nematodo, mientras que los valores más bajos se encontraron en los consorcios BE_{SB}, XI_{EDSA}, MI_{SM} y CO_{EDSA} con nematodos (Figura 3).

Después de siete meses de haber inoculado no se descubrieron agallas en las raíces de los tratamientos con nematodos, pero su destrucción fue evidente. Tampoco se observaron huevecillos, no obstante dentro de las raíces se encontraron juveniles y diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.0001$) en la cantidad de nematodos por gramo de raíz. Las plantas inoculadas con el

consorcio JU_{SM} presentaron las más altas poblaciones de nematodos. Las poblaciones más bajas se detectaron en las plantas testigo y en las inoculadas con el consorcio XI_{EDSA} (Figura 4). El efecto principal del consorcio se encontraron diferencias significativas en el número de esporas. En la Figura 5 se observa que el valor más alto se mostró en el consorcio ES_{SM}. No se encontraron

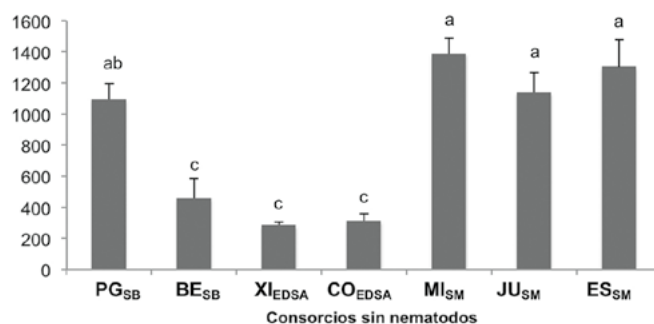
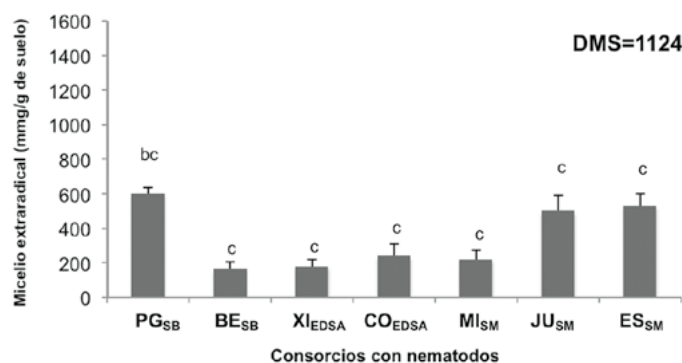


Figura 3. Cantidad de micelio extraradical en suelo con y sin nematodos. Letras distintas en la misma columna para cada variable muestran diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$).

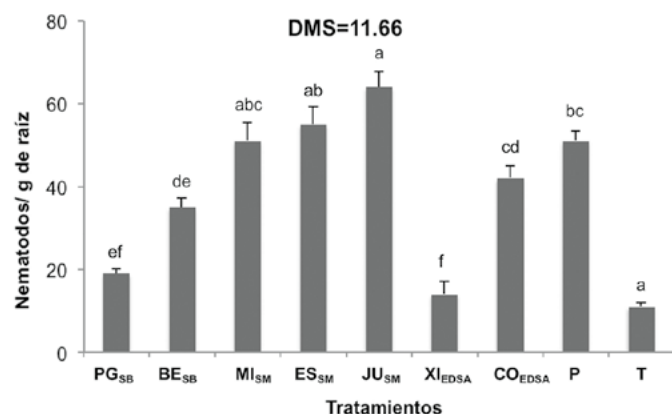


Figura 4. Población de nematodos por gramo de raíz después de siete meses de inoculadas. Letras distintas en la misma columna para cada variable muestran diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$).

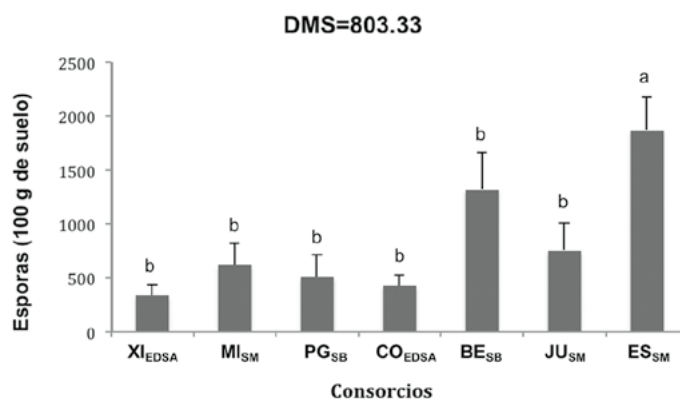


Figura 5. Cantidad de esporas en la rizósfera de las plantas inoculadas con siete consorcios micorrízicos. Letras distintas en la misma columna para cada variable muestran diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$).

diferencias por efecto del nematodo ($P < 0.15$) ni por la interacción consorcio-nematodo ($P < 0.09$).

DISCUSIÓN

Las plantas inoculadas con HMA siguieron una tendencia por efecto del consorcio, lo cual podría sugerir que la eficiencia no es la misma en todas las especies de hongos, por lo que resultados obtenidos muestran que los inoculantes micorrízicos no pueden ser generalizados. Así mismo, se observó que la presencia de nematodos no afectó la biomasa y el desarrollo aéreo de las plantas, posiblemente debido a que, cuando el nematodo se incorporó a sus raíces, la asociación micorrízica ya estaba establecida y no permitió una alta población de estos dentro del tejido radical, ya que la presencia de los HMA mejoran el estado nutricional de la planta y desencadenan mecanismos de defensa (Kolawole *et al.*, 2018, Sharma *et al.*, 2017). Las plantas de café micorrizadas en presencia de nematodos tuvieron desarrollo similar a las plantas sanas, el peso seco de las plantas

fue incrementado por los HMA tanto en suelo infestado por nematodos como en suelo libre de ellos, tal y como lo reportan en otros cultivos Forge *et al.* (2001). Vaast *et al.* (1997) reportaron que la inoculación simultánea de HMA y *Pratylenchus coffeae* en plantas de café no promovían ninguna tolerancia a *P. coffeae*, pues las plantas presentaron deficiencias de fósforo y después de 7.5 meses los nematodos disminuyeron la colonización micorrízica. En contraste una inoculación temprana (4 meses antes de la introducción del nematodo) mejoró la tolerancia de la planta y las lesiones de la raíz fueron menos numerosas y más localizadas. Por otro lado, Villenave y Duponnois (2002) encontraron que cuando los hongos HMA fueron inoculados junto con los nematodos su presencia no redujo la biomasa de las plantas. Con base en los resultados obtenidos planteamos un hipótesis que consiste en el valor sustitutivo de la raíz por las hifas y podría ser considerada como un "by pass". Debido a la habilidad del micelio fúngico para absorber nutrientes minerales del suelo, especialmente fósforo,

y transferirlos a las raíces micorrizadas que permite un desarrollo de las plantas sin indicios de daño en la parte aérea, una condición atribuible a los HMA, aún si las raíces colonizables son insuficientes, toda vez que las hifas externas penetran su tejido cortical en varios puntos y favorecen la nutrición de su hospedero (Brussaard *et al.*, 2001). Además las estructuras fúngicas dentro de la raíz parecen estar especializadas en la absorción de azúcares (Smith *et al.*, 2001) lo que de alguna manera permitió a los hongos HMA seguir viviendo porque la planta era capaz de continuar produciendo fotosintatos. En cuanto a la importancia del micelio externo de los HMA, cabe resaltar que una red hifal es capaz de desarrollarse y funcionar a modo de sistema radical complementario y altamente eficaz (Pfeffer *et al.*, 1999), de tal modo que incrementa el volumen total de suelo explorado (Bentivenga *et al.*, 1997). De acuerdo con Miller *et al.*, (1995) la longitud del micelio externo se estima en 111 m/cm^3 en suelos de pradera. Así es posible que antes de la destrucción masiva del tejido radicular de las plantas, los HMA promovieron un ingreso de nutrimentos a las plantas infestadas por nematodos, de tal suerte que la producción de hifas externas fue capaz de proveer activamente de agua (Ruiz-Lozano y Azcón, 1995), fósforo y otros macro y microelementos a las interfaces simbióticas (Tobar *et al.*, 1994; Clark y Zeto, 2000). En este estudio se muestra que en algunos casos la presencia de los nematodos, si afectó la colonización micorrízica, sin embargo resultados de otros trabajos indican que la presencia de ellos no afectó la colonización, condición reportada previamente por diversos autores (Forge *et al.*, 2001,

Tchabi *et al.*, 2016). En plantas de café Vaast *et al.*, (1997) reportan que cuando se ha efectuado una inoculación micorrízica anticipada al nematodo, este no influyó sobre la colonización, pero cuando la inoculación es simultánea la colonización de los HMA se reduce hasta en un 50%. El daño del micelio causado por los nematodos puede limitar su desarrollo externo con efectos negativos como son la desconexión del micelio interno con el externo. Con lo que respecta al contenido de Clorofila A, las plantas inoculadas con los complejos Xl_{EDSA} y CO_{EDSA} tuvieron un desarrollo raquítico contrastado con las inoculadas con los consorcios Ml_{SM} y ES_{SM} que fueron estadísticamente similares, es evidente que los HMA juegan un papel fundamental en la apropiación de Fe y Mg, los cuales son importantes en la formación de clorofila (Curtis *et al.*, 2001). Los resultados obtenidos en este experimento revelan que el nematodo no tuvo ningún efecto sobre la población final de esporas, lo cual coincide con los trabajos de Pinochet *et al.*, (1993). Vaast *et al.*, (1997) y Bakhtiar *et al.*, (2001). Por otra parte De Souza (1979) observó que el efecto de la *M. exigua* en la esporulación de *Gi. margarita* fue dependiente del cultivar y de la nutrición de las plantas de café, encontrando que la más baja esporulación se presentó en un cultivar susceptible al patógeno y con bajo nivel de fósforo, mientras que la más alta en cultivares resistentes infestados con nematodos y altos niveles de fósforo. Las plantas inoculadas con los complejos JU_{SM} , ES_{SM} y Ml_{SM} presentaron la mejor respuesta a la colonización micorrízica y mayor biomasa radical que posiblemente favoreció la presencia del patógeno. La disminución de la población de nematodos en nuestro trabajo pudiera relacionarse con el mecanismo de inhibición por la presencia de los HMA, hipótesis aún no confirmada debido a que no se ha encontrado infección patogénica por nematodos en sitios cercanos donde hay estructuras micorrízicas (Harley y Smith, 1983). Debido a que las plantas de café pasan por una etapa de vivero, la aplicación de los HMA se facilita y permite que las plantas vayan a campo con este sistema biológico que les permite establecerse en sitios infestados por nematodos.

LITERATURA CITADA

- Bakhtiar Y., Miller D., Cavagnaro T., Smith S. 2001. Interactions between two arbuscular mycorrhizal fungi and fungivorous nematodes and control of the nematode with fenamifos. *Appl. Soil Ecol.* 17:107-117.
- Bentivenga S.P., Bever J.D., Morton, J.B. 1997. Genetic variation of morphological characters within a single isolate of the endomycorrhizal fungus *Glomus clarum* (Glomaceae). *Am. J. Bot.* 84: 1211-1216.
- Brussaard L., Kuyper T.W., Goede R.G.M. 2001. On the relationships between nematodes, mycorrhizal fungi and plants: functional composition of species and plant performance. *Plant Soil* 232: 155-165.
- Clark R.B., Zeto S.K. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *J. Plant Nutr.* 23: 867-902.
- Curtis H., Barnes N.S., Schneck A., Flores G. 2001. *Biología*. (6ª. ed.). España: Editorial Médica Panamericana. p. 776-781.
- De Souza P.V.D. 1979. Interactions of *Gigaspora margarita* and *Meloidogyne exigua* on coffee grow at three levels of phosphorus. Abstracts of North American Conference on Mycorrhizae. p. 103. USA: Colorado State University Press.
- Fateh F.S., Mukhtar, T., Kazmi, M.R., Abbassi, N.A. and Arif, A.M., 2016. Prevalence of citrus decline in district Sargodha. *Pakist. J. Agr. Sci.* 54: 9-13.
- Fernández C., Pinochet J., Esmerjoud D., Saleses G., Felipe, A. 1994. Resistance among new *Prunus* rootstocks and selections to root-knot nematodes in Spain and France. *HortScience* 29: 1064-1067.

- Fitter A.H., Sanders J.R. 1992. Interactions with the soil fauna. En M.F. Allen (Ed.). Mycorrhizal functioning an integrated plant-fungal process. pp. 333-354. London: Chapman and Hall.
- Forge T., Muehlchen A., Hackenberg C., Neilsen G., Vrain T. 2001. Effects of preplant inoculation of apple (*Malus domestica* Borkh.) with arbuscular mycorrhizal fungi on population growth of the root-lesion nematode *Pratylenchus penetrans*. Plant Soil 236: 185-196.
- Gange A.C., Bower E., Brown V.K. 2002. Differential effects of insect herbivory on arbuscular mycorrhizal colonization. Oecologia 131: 103-112.
- Harley J.L., Smith S.E. 1983. Mycorrhizal symbiosis. London: Academic Press. 483 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Encuesta Nacional Agropecuaria 2014. Consultado: 19 de noviembre 2015. <http://www.inegi.org.mx/>.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias 2005). Clones de *Coffea canephora* como patrones para injertos con tolerancia a la corchosis de la raíz del café. Folleto técnico no. 3. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado 1 April 2018. http://www.inifap.gob.mx/Documents/reportes/reporte_anual2004.pdf.
- Kolawole G.O., Haastrup T.M., Olabiya, T.I. 2018. Can arbuscular mycorrhiza fungi and NPK fertilizer suppress nematodes and improve tuber yield of yam (*Dioscorea rotundata* 'cv'ewuru)? Euras. J. Soil Sci. 7:181-186.
- López-Lima D., Sánchez-Nava P., Carrion G., Espinosa de los Monteros A., Villain L. 2015. Corky-root symptoms for coffee in central Veracruz are linked to the root-knot nematode *Meloidogyne paranaensis*, a new report for Mexico. Europ. J. Plant Pathol. 141: 623-629.
- Miller R.M., Reinhardt D.R., Jastrow J.D. 1995. External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. Oecologia 103: 17-23.
- Pfeffer P.E., Douds D.D., Bécard G., Shachar-Hill Y. 1999. Carbon uptake and the metabolism and transport of lipids in an arbuscular mycorrhiza. Plant Physiol. 120: 587-598.
- Pinochet J., Camprubí A., Calvet, C. 1993. Effects of the root-lesion nematode *Pratylenchus vulnus* and the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on the growth of EMLA-26 Apple rootstock. Mycorrhiza 4: 79-83.
- Restrepo Y.C., Osorno L.F., Patiño-Hoyos D., Castañeda Sánchez A. 2008. Efecto de los nematodos en la cantidad y calidad de raíces y métodos de evaluación. Politécnica 7: 47-57.
- Ruiz-Lozano J.M., Azcón, R. 1995. Contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. Physiol. Plant. 95: 472-478.
- Sharma I.P., Sharma, A.K. 2017. Physiological and biochemical changes in tomato cultivar PT-3 with dual inoculation of mycorrhiza and PGPR against root-knot nematode. Symbiosis 7: 175-183.
- Smith S.E., Dickson S., Smith, F.A. 2001. Nutrient transfer in arbuscular mycorrhizas: How are fungal and plant processes integrated. Austr. J. Plant Physiol. 28: 683-694.
- Tchabi A., Hountondji C.C., Ogunsola B., Lawouin L., Coyne D., Wiemken A., Oehl F. 2016. The influence of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on micro-propagated hybrid yam (*Dioscorea* spp.) growth and root knot nematode (*Meloidogyne* spp.) Suppression. Int. J. Current Microbiol. Appl. Sci. 10: 267-281.
- Tobar R.M., Azcón R., Barea J.M. 1994. The improvement of plant N acquisition from an ammonium-treated, drought-stressed soil by the fungal symbiont in arbuscular mycorrhizae. Mycorrhiza 4: 105-108.
- Trejo D., Ferrera-Cerrato R., García R., Varela L., Lara L., Alarcón A. 2011. Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. Rev. Chil. Hist. Nat. 84: 23-31.
- Vaast P., Caswell-Chen, E.P., Zasoski, R.J. 1997. Effects of two endoparasitic nematodes (*Pratylenchus coffeae* and *Meloidogyne konaensis*) on ammonium and nitrate uptake by Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). Appl. Soil Ecol. 10: 171-178.
- Villénave C., Duponnois R. 2002. Interactions between ectomycorrhizal fungi, plant-parasitic and free-living nematodes and their effects on seedlings of the hardwood *Azela africana* Sm. Pedobiologia 46: 176-187.



DETERMINACIÓN DE CL50 Y CE50 DE ENDOSULFÁN LACTONA Y DIAZINÓN EN LOMBRIZ DE TIERRA (*Eisenia foetida*)

DETERMINATION OF LC50 AND EC50 FROM ENDOSULFAN LACTONE AND DIAZINON IN EARTHWORM (*Eisenia foetida*)

Vázquez-Villegas, P.T.¹; Meza-Gordillo, R.^{1*}; Gutiérrez-Miceli, F.A.¹; Ruíz-Valdiviezo, V.M.¹; Villalobos-Maldonado, J.J.¹; Montes-Molina, J.A.¹; Fernández-Toledo, A.A.J.¹

¹Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Carretera Panamericana km 1080, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

*Autor de correspondencia: rociomezagordillo@gmail.com

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la toxicidad aguda como concentración letal media (CL50) y concentración efectiva media (CE50) de endosulfán lactona y diazinón en lombriz de tierra (*Eisenia foetida*), así como sus efectos fisiológicos visibles. La metodología a seguir fue la establecida por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE 207) haciendo uso de las técnicas de papel filtro (PPF) a 48 horas y de sustrato artificial (PSA) a 14 días, teniendo como resultado valores de CL50=7.1 $\mu\text{g cm}^{-2}$; 0.60 mg kg^{-1} y CE50=9.6 $\mu\text{g cm}^{-2}$; 0.41 mg kg^{-1} de endosulfán lactona para PPF y PSA, respectivamente; y CL50=14.9 $\mu\text{g cm}^{-2}$; 139 mg kg^{-1} y CE50=11.77 $\mu\text{g cm}^{-2}$; 187 mg kg^{-1} de diazinón, para PPF y PSA respectivamente, evaluado mediante análisis Probit. Los efectos fisiológicos principales en la lombriz fueron inhibición del crecimiento, adelgazamiento, seccionamiento, sangrado, hinchamiento en parte superior e inferior y la muerte. Los resultados demuestran que endosulfán lactona es más tóxico que diazinón para *Eisenia foetida*.

Palabras clave: Toxicidad, bioensayo, análisis Probit, *Eisenia foetida*, plaguicidas.

ABSTRACT

This study evaluates acute toxicity as the mean lethal concentration (LC50) and the mean effective concentration (EC50) of endosulfan lactone and diazinon in *Eisenia foetida* earthworm, as well as its visible physiological effects. The methodology followed was established by the OECD (207) using the techniques of filter paper (FPT) at 48 hours and artificial substrate (AST) at 14 days, resulting in CL50=7.1 $\mu\text{g cm}^{-2}$; 0.60 mg kg^{-1} and CE50=9.6 $\mu\text{g cm}^{-2}$; 0.41 mg kg^{-1} of endosulfan lactone, in FPT and AST respectively; and CL50=14.9 $\mu\text{g cm}^{-2}$; 139 mg kg^{-1} y CE50=11.77 $\mu\text{g cm}^{-2}$; 187 mg kg^{-1} of diazinon, in FPT and AST respectively, evaluated by Probit analysis. The main physiological effects on the worm were growth inhibition, thinning, sectioning, bleeding, upper and lower swelling and death. The results show that endosulfan lactone is more toxic than diazinon for *Eisenia foetida*.

Key words: Toxicity, bioassay, Probit analysis, *Eisenia foetida*, pesticides.

INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas son sustancias químicas empleadas principalmente en la agricultura para combatir parásitos de ganado y de cultivos. Algunos plaguicidas tienen funciones acorde al tipo de organismo que atacan, pueden ser fungicidas, herbicidas, insecticidas, entre otros, como es el caso del diazinón y el endosulfán (Ortíz-Hernández *et al.*, 2014).

El diazinón es un plaguicida organofosforado de amplio espectro, que bloquea la actividad de la enzima acetil colinesterasa que inhibe la acetilcolina ligada a la transmisión de impulsos nerviosos, causando convulsiones, parálisis y muerte en insectos y algunos mamíferos (Cáceres *et al.*, 2010; Cycon *et al.*, 2013). Este compuesto tiene una vida media en suelo de 40 días, lo que significa que es degradada de manera relativamente rápida comparada con otros plaguicidas de similar estructura como el coumafós o el isofenfos que permanecen hasta 150 días en el suelo (Cáceres *et al.*, 2010), pero que no son tan comúnmente usados.

Por otro lado, el endosulfán es un plaguicida organoclorado que se encuentra en mezcla de isómeros (α y β) y se transforma en condiciones aeróbicas biológicas de oxidación en endosulfán sulfato, el cual es degradado en metabolitos polares tóxicos y peligrosos para el medio ambiente (Silva *et al.*, 2010) como endosulfán diol, endosulfán éter y endosulfán lactona (Tiwari y Guha, 2013), permaneciendo en suelo como residuos peligrosos y más tóxicos que el propio endosulfán (Odukkathil y Vasudevan, 2016). De ellos, el endosulfán lactona ha sido el menos estudiado y reportado.

La concentración letal media (CL50) es una medida para evaluar el efecto tóxico de sustancias peligrosas al medio ambiente, que significa la concentración de la sustancia medida a la cual el 50% de los organismos mueren en un periodo de exposición determinado. La concentración efectiva media (CE50) es la concentración a la cual el 50% de los organismos presentan algún efecto ante la exposición de un compuesto (Repetto *et al.*, 1995; Díaz *et al.*, 2012).

Los organismos modelo más utilizados en este tipo de ensayos toxicológicos son peces o lombrices (*Eisenia foetida* o *Eisenia andrei*), debido a la interacción de ambos con el agua y el suelo y a su gran capacidad de metabolizar compuestos halogenados y organofosforados tales como plaguicidas (Dendooven *et al.*, 2011).

Las lombrices de tierra junto con macro y microorganismos, forman la fauna más importante del suelo, ayudando a degradar la materia orgánica, formar y poner a disposición nutrientes esenciales para el crecimiento de plantas (Domínguez *et al.*, 2010; Gaete *et al.*, 2010). Son utilizadas de manera habitual en el proceso de vermicompostaje de residuos orgánicos sólidos generando abono para remediar suelos contaminados (Blouin *et al.*, 2013), para remover compuestos orgánicos persistentes (Villalobos-Maldonado *et al.*, 2015), remover algunos derivados de petróleo (Coutiño-González *et al.*, 2010) y como bioindicador de toxicidad (Ávila *et al.*, 2007).

Uno de los estudios más actuales relacionado con la determinación de CL50 y CE50 de plaguicidas en diversos organismos es el de Gupta *et al.* (2011). En él, se expuso a la lombriz *Eisenia foetida* a endosulfán y otros insecticidas, determinándose el valor de CL50 para endosulfán de 0.002 mg kg⁻¹ en 96 h, y concluyeron que los insecticidas organoclorados son más peligrosos para los organismos del suelo que los piretroides. Por lo anterior, el objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto toxicológico de un plaguicida organofosforado (diazinón) y un producto derivado de un plaguicida organoclorado (endosulfán lactona) en la lombriz *Eisenia foetida* mediante ensayos toxicológicos en papel filtro y sustrato artificial.

MATERIALES Y MÉTODOS

La lombriz *Eisenia foetida* fue obtenida del rancho Luanda, localizado en el municipio de Ocozocoautla de Espinoza, Chiapas, México. Los individuos fueron mantenidos en excreta de conejo y turba (1:1) durante 2 meses antes de la prueba. El endosulfán lactona (Pestanal[®] grado HPLC) fue adquirido de Sigma Aldrich (USA) con el 99.1% de pureza. El diazinón (Delta[®]), usado en la agricultura como plaguicida concentrado emulsionable a una concentración del 25%. La solución patrón de endosulfán lactona fue preparada en acetonitrilo a una concentración final de 100 mg L⁻¹ y la solución patrón de diazinón fue preparada en agua destilada a una concentración final de 56 g L⁻¹.

Análisis de toxicidad aguda (OCDE-207, 1984)

Prueba en papel filtro (PPF)

Para diazinón y endosulfán lactona las concentraciones utilizadas fueron 0.1, 1, 10, 100 y 1000 mg L⁻¹.

como primer ensayo. Posteriormente se utilizaron concentraciones de 100, 400, 700, 1000, 1300 y 1600 mg L⁻¹. El volumen adecuado de cada solución fue agregado a cajas Petri de vidrio de 8.5 cm de diámetro y área de contacto de 56.74 cm² que contenían papel filtro de poro medio; como controles se tuvieron cajas Petri con papel filtro impregnado con acetonitrilo para endosulfán lactona y con agua destilada para diazinón. El disolvente utilizado se dejó evaporar por una hora en una campana de extracción y posteriormente se rehidrató el papel filtro agregando 1 mL de agua destilada a cada caja Petri junto con una lombriz con clitelo desarrollado que previamente se lavó con agua destilada, se secó con papel absorbente y se dejó en contenedores de plástico por 3 horas para vaciar su tracto gastrointestinal. Cada tratamiento se hizo con 10 repeticiones. Todas las cajas Petri se mantuvieron en una incubadora marca Novatech a 25°C en completa oscuridad durante 48 horas. Pasado este tiempo, se evaluó la mortalidad (%) en la lombriz para determinar la CL50 y la inhibición de crecimiento (%) para CE50, además de los daños físicos observados. Las lombrices fueron consideradas muertas si presentaban poco movimiento y no respondían a un estímulo mecánico definido.

Prueba en sustrato artificial (PSA)

El sustrato artificial se preparó mezclando los ingredientes: 10% de turba, 20% de arcilla, 70% de arena industrial y 1 g de CaCO₃ para ajustar el pH a 7.0. Las concentraciones evaluadas fueron 0 (control), 0.1, 1 y 10 mg de endosulfán lactona por kg de sustrato y 10, 100, 500 y 1000 g de diazinón por kg de sustrato. Las unidades experimentales fueron frascos de vidrio color ámbar con capacidad de 1 L adicionados con 500 g de sustrato artificial y adicionado con el volumen correspondiente de la solución de cada plaguicida para alcanzar la concentración deseada, mezclando perfectamente y ajustando al 35% de humedad. Diez lombrices adultas y con clitelo desarrollado, previamente lavadas con agua destilada, secadas con papel absorbente y pesadas, se colocaron en los frascos de vidrio y se taparon con una tela de algodón para permitir el flujo de aire, ajustando la humedad a 35% cada 7 días. Todos los frascos estuvieron sometidos a periodos de luz/oscuridad de 12/12 horas a temperatura de 25-28°C. Cada concentración tuvo cuatro réplicas. Se evaluó mortalidad (%) (para CL50) e inhibición del crecimiento (%) (para CE50) a los 14 días, sin adición de alimento, como lo reporta Shi *et al.* (2015) y Li *et al.* (2015).

Cálculo de inhibición de crecimiento (%)

La inhibición del crecimiento es un parámetro que se calcula haciendo uso de los pesos iniciales y finales de la lombriz (Jovana *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2015; Shi *et al.*, 2015), considerando la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{Po - Pt}{Po} * 100 \quad (1)$$

Donde:

IC=Inhibición del crecimiento; Po=Peso inicial (g); Pt=Peso final total (g).

Análisis estadístico

Los resultados de ambas pruebas se evaluaron mediante el análisis Probit (Gupta *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2012; Shi *et al.*, 2015; García *et al.*, 2016; Rico *et al.*, 2016) utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, teniendo como variable de respuesta la mortalidad de las lombrices para la CL50 e inhibición del crecimiento (%) para la CE50.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de CL50 y CE50 por PPF

La CL50 fue evaluada por el análisis estadístico Probit, que es un tipo de regresión utilizado para analizar las variables de respuesta binomial. La medida probó la respuesta de un organismo alterado por varias concentraciones del producto químico en cuestión y comparó las concentraciones en las que se encontró una respuesta. La relación entre la respuesta y las concentraciones produce una forma sigmoide, aunque el análisis Probit permite transformar el sigmoide a una forma lineal y evaluar su regresión, obteniendo así un valor cuantitativo que representa la CL50 en un rango de confiabilidad estadística de 95% (Vincent 2010), lo cual se aprecia en la Figura 1.

Derivado de la Figura 1, se obtuvo el Cuadro 1, en donde se colocan valores máximos y mínimos de cada determinación.

Según los valores de CL50 de Roberts y Dorough (1984) obtenidos de PPF, los plaguicidas se clasifican como supertóxicos (<1.0 µg cm⁻²), extremadamente tóxicos (1-10 µg cm⁻²), muy tóxicos (10-100 µg cm⁻²), moderadamente tóxicos (100-1000 µg cm⁻²) y relativamente no tóxicos (>1000 µg cm⁻²). Tras esta clasificación, el diazinón se clasifica como muy tóxico (14.9 µg cm⁻²),

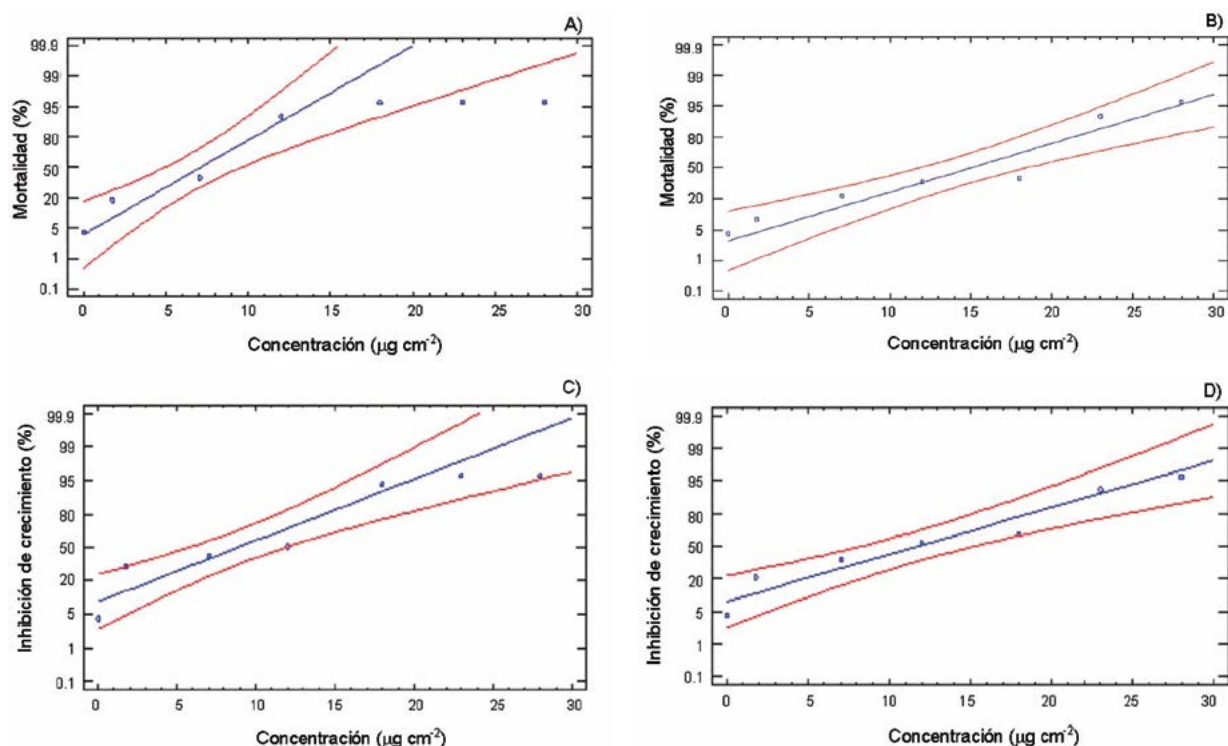


Figura 1. Análisis Probit de CL50 para endosulfán lactona (A) y diazinón (B) y de CE50 para endosulfán lactona (C) y diazinón (D), ambas en papel filtro a 48 h. Intervalo de confianza del 95%.

Cuadro 1. CL50 y CE50 de endosulfán lactona y diazinón en *Eisenia foetida* por PPF a 48 horas ($P \leq 0.05$).

Compuesto	CL50 (µg cm ⁻²)	CE50 (µg cm ⁻²)
Endosulfán lactona	7.10 (4.90 – 9.60)	9.60 (7.00 – 12.30)
Diazinón	14.90 (11.80 – 18.40)	11.77 (8.29 – 15.27)

mientras que el endosulfan lactona es extremadamente tóxico ($7.1 \mu\text{g cm}^{-2}$, equivalente a 402.85 mg L^{-1}).

La CE50 es la concentración en donde se empieza a observar algún efecto sobre la lombriz; se puede evaluar con respecto a la inhibición del crecimiento, reproducción (De Silva *et al.*, 2010) o formación de huevecillos (Brown *et al.*, 2004; García *et al.*, 2016). Para este caso se realizó con la inhibición del crecimiento (%) y como se aprecia en los resultados para endosulfán lactona, según el límite inferior ($7.0 \mu\text{g cm}^{-2}$), a esta concentración comienza a haber un efecto físico notable en *Eisenia foetida*, lo cual también se puede apreciar en la Figura 2, así como los efectos agudos ocasionados por contacto a través de la piel de *Eisenia foetida* debido a las diferentes concentraciones de los compuestos. En la Figura 2 (a y b), la lombriz está viva, con alargamiento de la parte posterior al clitelo, presenta además cortes segmentados y excesivo movimiento al menor contacto. Contracción del músculo, rigidez e hinchazón del cuerpo, se observan cuando *Eisenia foetida* es sometida a toxicidad aguda de plaguicidas (Katagi *et al.*, 2015). Daños similares encontraron Babic *et al.*, (2016) evaluando por contacto a *Eisenia foetida* expuesta durante 48 h con lodos de depuración con alta carga de compuestos orgánicos.

Según Roberts y Dorough (1984), conforme pasa el tiempo de exposición, aumentan los efectos de manera significativa, de tal manera que éstos comienzan con enrollamiento y liberación del fluido celómico, siguiendo con rigidez y contractura, que aumentan conforme pasan las horas de exposición, seguido de encogimiento por segmentos, que van de 1 a 5 segmentos a lo largo del cuerpo de la lombriz, finalizando con ablandamiento, poco tono muscular y muerte.

Según Lin *et al.* (2012), las alteraciones que sufre la lombriz al contacto con cualquier contaminante o compuesto orgánico dañino es debido al estrés, sobre todo del tipo oxidativo, liberando enzimas para su protección como la catalasa o la superóxido dismutasa, como lo demostraron al evaluar los efectos bioquímicos del triclosan sobre la lombriz detectando el aumento de

la concentración de estas enzimas. Al haber un exceso de plaguicida en la prueba por contacto, el estrés que sufre la lombriz se observa además, con inflamación, sangrado y hasta la muerte. Resultados similares se observan en este trabajo en la Figura 2 (c, d y e). A baja toxicidad apenas se puede ver afectada la supervivencia de la lombriz, sin embargo una alta toxicidad puede causar efectos crónicos debido a la acumulación de estas sustancias en el organismo de la lombriz (Li et al., 2015). Para estudios posteriores se propone evaluar las respuestas bioquímicas de endosulfán lactona y diazinón en *Eisenia foetida* mediante la cuantificación de enzimas involucradas en el estrés oxidativo.

Determinación de CL50 y CE50 por PSA

Los compuestos tóxicos afectan a la lombriz por contacto a través de la piel (Díaz et al., 2012), incluso si este compuesto está en un sustrato. El Cuadro 3 muestra los resultados de PSA, donde existe una diferencia estadística entre las concentraciones de cada compuesto, incluso en controles de disolventes (agua y acetonitrilo). La inhibición del crecimiento sugiere que pocos nutrientes del sustrato eran suficientes para la supervivencia de las lombrices,

Cuadro 3. Inhibición del crecimiento (%) de *Eisenia foetida* a 14 días expuesta a endosulfán lactona y diazinón en sustrato artificial ($P \leq 0.05$).

Concentración del plaguicida (mg kg^{-1})	Inhibición del crecimiento (%)
Endosulfán lactona 0 (agua)	11.59 $\pm$ 0.27 b
Endosulfán lactona 0 (acetonitrilo)	15.75 $\pm$ 0.15 a
Endosulfán lactona 0.1	6.64 $\pm$ 0.14 c
Endosulfán lactona 1	98.88 $\pm$ 0.08 d
Endosulfán lactona 10	100 $\pm$ 0 e
Diazinón 10	9.35 $\pm$ 0.53 a
Diazinón 100	18.21 $\pm$ 0.36 b
Diazinón 500	100 $\pm$ 0 c
Diazinón 1000	100 $\pm$ 0 c

pero insuficientes para su crecimiento y desarrollo (Wu et al., 2011). Es notable que cuanto mayor sea la concentración del contaminante, mayor es la inhibición del crecimiento, lo que indica que este parámetro puede ser un buen indicador del estrés químico. El valor del 100% de inhibición ocurre en una concentración más alta de endosulfán lactona en comparación con el diazinón.

Brown et al. (2004) observaron una reducción significativa en el crecimiento del lombriz de tierra *Lumbricus rubellus*, expuesto al pireno. Por otra parte, Wu et al. (2011), reportaron características de crecimiento similares usando fenantreno en *Eisenia foetida*, y encontraron que dicho compuesto inhibe el crecimiento de la lombriz, posiblemente relacionado con su estrategia para sobrevivir de manera natural, minimizando el consumo de alimentos para prevenir los contaminantes.

La CL50 y CE50 evaluada para la prueba en sustrato artificial, se pueden apreciar en el Cuadro 4 y en la Figura 3. Las concentraciones reportadas se podrían usar como referencia para procesos de remoción en sustrato, haciendo uso de *Eisenia foetida*. Gupta et al. (2011) sometieron a *Eisenia foetida* a endosulfán por 96 horas y encontraron una CL50 de 0.002 mg kg^{-1} . Por otro lado Wang et al. (2012) sometieron a *Eisenia foetida* al plaguicida acetoclor por 14 días encontrando una CL50 de 283 mg kg^{-1} .



Figura 2. Efectos fisiológicos en *Eisenia foetida*. Alargamiento de la parte posterior al clitelo (100 mg L^{-1} en diazinón) (A). Cortes segmentados en la parte posterior de la lombriz (400 mg L^{-1} en diazinón y endosulfán lactona) (B). Formación de protuberancias después del clitelo y desangrado (700 mg L^{-1} en endosulfán lactona). Aplanamiento total (1000 mg L^{-1} en diazinón y endosulfán lactona) (D). Degeneración de la lombriz dejando solo su piel (1600 mg L^{-1} en diazinón y endosulfán lactona) (E).

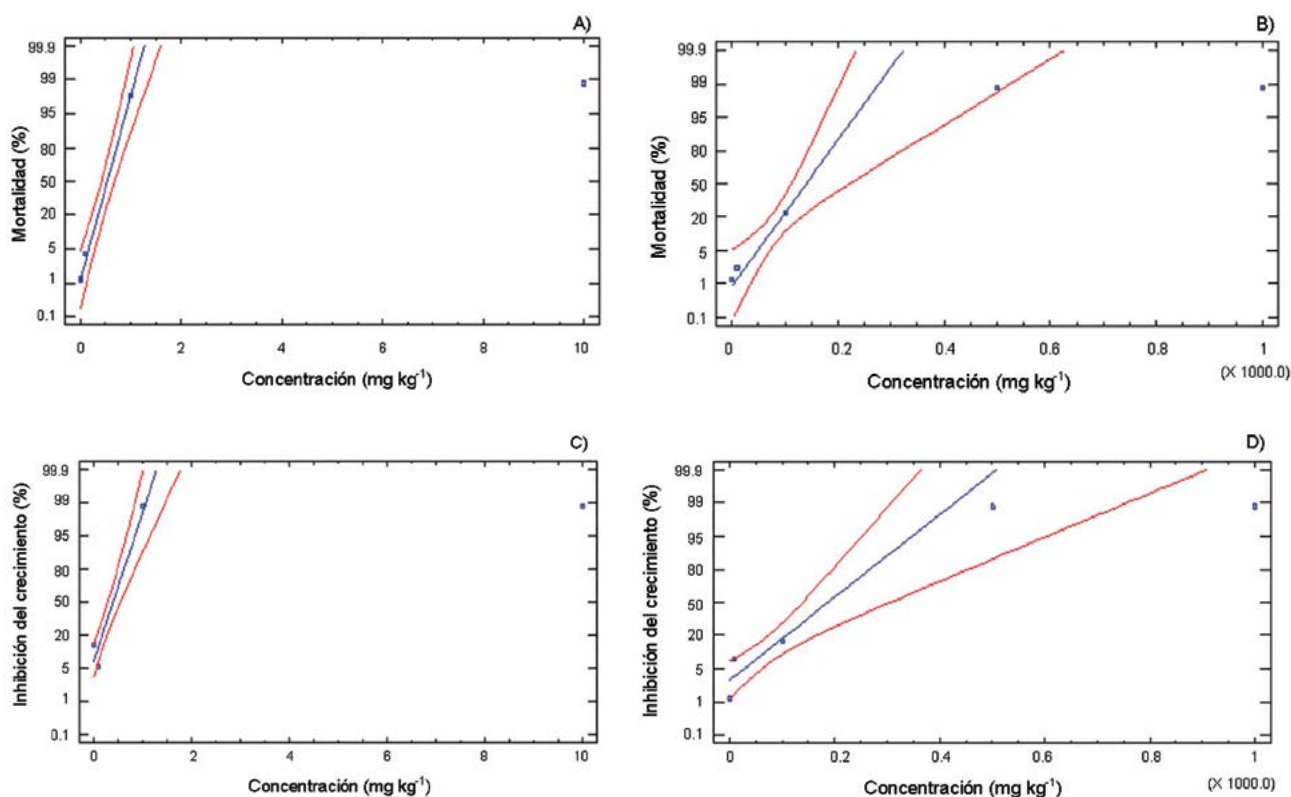


Figura 3. Análisis Probit de CL50 para endosulfán lactona (A) y diazinón (B) y de CE50 para endosulfán lactona (C) y diazinón (D), ambas en sustrato artificial a 14 días. Intervalo de confianza del 95%.

Cuadro 4. CL50 y CE50 de endosulfán lactona y diazinón en *Eisenia foetida* por PSA a 14 días ($P \leq 0.05$).

Compuesto	CL50 (mg kg^{-1})	CE50 (mg kg^{-1})
Endosulfán lactona	0.60 (0.48-0.73)	0.41 (0.30-0.56)
Diazinón	139 (111-222)	187 (138-306)

En la Figura 3, se puede apreciar el gráfico derivado del análisis Probit, que contiene una gráfica lineal para la obtención de la CL50 y CE50.

Este tipo de gráficos son útiles para conocer las relaciones concentración-respuesta de organismos expuestos a sustancias peligrosas y dan una relación cuantificable de concentración.

Como se puede observar, para endosulfán lactona la CL50 y CE50 son menores en PSA que en PPF indicando que la exposición dérmica y oral provocó mayor toxicidad aguda, observándose lo contrario para diazinón. Esto se puede explicar por los diferentes mecanismos con los que los compuestos organoclorados (endosulfán lactona) y los organofosforados (diazinón) actúan en la lombriz (Savolainen, 2001).

CONCLUSIONES

La determinación de la CL50 da una aproximación a la concentración máxima a utilizar en los cultivos donde se hace uso de plaguicidas. Sin embargo al ser *Eisenia foetida* un organismo modelo para las cuestiones ambientales de

biorremediación y biodegradación de xenobióticos, se sugiere hacer uso de ésta para poder remover los compuestos estudiados que junto con el antecedente presentado de la CL50 se tiene una aproximación del efecto dañino que le causará así como de la concentración máxima soportable.

Por lo tanto la prueba con papel filtro y la prueba con sustrato artificial, da una aproximación de los índices tempranos de contaminación en el ambiente de muchos compuestos orgánicos y xenobióticos que estuvieron, están y persistirán en la naturaleza.

De acuerdo con los resultados, el endosulfán lactona es más tóxico que el diazinón, tanto por PPF como por PSA ya que a menores concentraciones genera toxicidad aguda en *Eisenia foetida*.

Hasta el momento, no existen reportes de determinación de CL50 y CE50 de diazinón ni de endosulfán lactona con *Eisenia foetida* en pruebas de contacto (papel filtro) ni por ingestión (sustrato), por lo que los resultados obtenidos son de relevancia para estudios posteriores.

LITERATURA CITADA

- Ávila G., Gaete H., Morales M., Neaman A. 2007. Reproducción de *Eisenia foetida* en suelos agrícolas de áreas mineras contaminadas por cobre y arsénico. *Pesquisa Agropec. Bras.* 42: 435-441. doi: 10.1590/S0100-204X2007000300018
- Babić S., Barišić J., Malev O., Klobučar G., Popović N.T., Strunjak-Perović I., Klobučar R. S. 2016. Sewage sludge toxicity assessment using earthworm *Eisenia fetida*: can biochemical and histopathological analysis provide fast and accurate insight? *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 23: 12150-12163.
- Blouin M., Hodson M. E., Delgado E., Baker G., Brussaard L., Butt K. R., Tondoh J.E. 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *Eur. J. Soil Sci.* 64: 161-182.
- Brown P. J., Long S. M., Spurgeon D. J., Svendsen C., Hankard P. K. 2004. Toxicological and biochemical responses of the earthworm *Lumbricus rubellus* to pyrene, a non-carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbon. *Chemosphere* 57: 1675-1681.
- Cáceres T., Megharaj M., Venkateswarlu K., Sethunathan N., Naidu R. 2010. Fenamiphos and related organophosphorus pesticides: environmental fate and toxicology. Springer New York. pp. 117-162.
- Coutiño-González E., Hernández-Carlos B., Gutiérrez-Ortiz R., Dendooven L. 2010. The earthworm *Eisenia fetida* accelerates the removal of anthracene and 9, 10-anthraquinone, the most abundant degradation product, in soil. *Int. Biodeter Biodegrad.* 64: 525-529.
- Cycoń M., Żmijowska A., Wójcik M., Piotrowska-Seget Z. 2013. Biodegradation and bioremediation potential of diazinon-degrading *Serratia marcescens* to remove other organophosphorus pesticides from soils. *J. Environ. Manag.* 117: 7-16.
- Dendooven L., Alvarez-Bernal D., Contreras-Ramos S. M. 2011. Earthworms, a means to accelerate removal of hydrocarbons (PAHs) from soil? A mini-review. *Pedobiol.* 54: S187-S192.
- De Silva P., Mangala C.S., Pathiratne A., van Gestel C.A.M. 2010. Toxicity of chlorpyrifos, carbofuran, mancozeb and their formulations to the tropical earthworm *Perionyx excavatus*. *Appl. Soil Ecol.* 44: 56-60.
- Díaz M. D. C. C., Domínguez F. A. S., Toledo Á. M. 2012. Monitoreo De Suelos Contaminados Mediante Pruebas Ecotoxicológicas. *Tlatemoani* 11. <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/11/suelos-contaminados-pruebas-ecotoxicologicas.html>
- Domínguez J., Pérez-Losada M. 2010. *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) y *Eisenia andrei* Bouché, 1972 son dos especies diferentes de lombrices de tierra. *Acta Zool. Mex.* 26: 321-331.
- Gaete H., Hidalgo M. E., Neaman A., Ávila G. 2010. Evaluación de la toxicidad de cobre en suelos a través de biomarcadores de estrés oxidativo en *Eisenia foetida*. *Quim. Nova* 33: 566-570.
- García-Velasco N., Gandariasbeitia M., Irizar A., Soto M. 2016. Uptake route and resulting toxicity of silver nanoparticles in *Eisenia fetida* earthworm exposed through Standard OECD Tests. *Ecotoxicol.* 25: 1543-1555.
- Gupta R. D., Chakravorty P. P., Kaviraj A. 2011. Susceptibility of epigeic earthworm *Eisenia fetida* to agricultural application of six insecticides. *Chemosphere* 84: 724-726.
- Jovana M., Tanja M., Mirjana S. 2014. Effects of three pesticides on the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny 1826) under laboratory conditions: Assessment of mortality, biomass and growth inhibition. *Eur. J. Soil Biol.* 62: 127-131.
- Katagi T., & Ose K. 2015. Toxicity, bioaccumulation and metabolism of pesticides in the earthworm. *J. Pest. Sci.* 40: 69-81.
- Li J., Zhang W., Chen L., Liang J., Lin K. 2015. Biological effects of decabromodiphenyl ether (BDE209) and Pb on earthworm (*Eisenia fetida*) in a soil system. *Environ. Pollut.* 207: 220-225.
- Lin D., Xie X., Zhou Q., Liu Y. 2012. Biochemical and genotoxic effect of triclosan on earthworms (*Eisenia fetida*) using contact and soil tests. *Environ. Toxicol.* 27: 385-392.
- Odukkathil G., Vasudevan N. 2016. Residues of endosulfan in surface and subsurface agricultural soil and its bioremediation. *J. Environ. Manag.* 165: 72-80.
- OECD. 1984. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Earthworm, Acute Toxicity Tests. Paris, France.
- Ortiz-Hernández M.L., Rodríguez A., Sánchez-Salinas E., Castrejón-Godínez M.L. 2014. Bioremediation of Soils Contaminated with Pesticides: Experiences in Mexico. *In: Bioremediation in Latin America*. Springer New York. pp. 69-99.
- Repetto M., Sanz P., Jurado C., López-Artíguez M., Menéndez M., de la Peña E. 1995. Glosario de términos toxicológicos. Asociación Española de Toxicología. Madrid., España.
- Rico A., Sabater C., Castillo M. Á. 2016. Lethal and sub-lethal effects of five pesticides used in rice farming on the earthworm *Eisenia fetida*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 127: 222-229.
- Roberts B. L., & Dorough H. 1984. Relative toxicities of chemicals to the earthworm *Eisenia foetida*. *Environ. Toxicol. Chem.* 3: 67-78.
- Savolainen, K. 2001. Understanding the toxic actions of organophosphorus. *In: Krieger, R. (Ed.), Handbook of Pesticide Toxicology*. Agents. Academic Press, San Diego. 2. pp. 1013-1041.
- Shi Y., Zhang Q., Huang D., Zheng X., Shi Y. 2016. Survival, growth, detoxifying and antioxidative responses of earthworms (*Eisenia fetida*) exposed to soils with industrial DDT contamination. *Pest. Biochem. Physiol.* 128: 22-29.
- Silva M. H., & Beauvais S. L. 2010. Human health risk assessment of endosulfan. I: Toxicology and hazard identification. *Reg. Toxicol. Pharmacol.* 56: 4-17.
- Tiwari M. K., Guha S. 2013. Kinetics of the biodegradation pathway of endosulfan in the aerobic and anaerobic environments. *Chemosphere* 93: 567-573.
- Villalobos-Maldonado J. J., Meza-Gordillo R., Mancilla-Margalli N.A., Ayora-Talavera T. R., Rodríguez-Mendiola M. A., Arias-Castro C., Vázquez-Villegas P.T., Ruiz-Valdiviezo V.M. 2015. Removal of Decachlorobiphenyl in Vermicomposting Process Amended with Rabbit Manure and Peat Moss. *Water Air Soil Pollut.* 226: 1-11.
- Vincent K. 2010. Probit analysis. The San Francisco State University. Department of Biology Document Repository.
- Wang Y., Wu S., Chen L., Wu C., Yu R., Wang Q., Zhao X. 2012. Toxicity assessment of 45 pesticides to the epigeic earthworm *Eisenia fetida*. *Chemosphere* 88: 484-491.
- Wu S., Wu E., Qiu L., Zhong W., Chen J. 2011. Effects of phenanthrene on the mortality, growth, and anti-oxidant system of earthworms (*Eisenia fetida*) under laboratory conditions. *Chemosphere* 83: 429-434.

USO DEL GLIFOSATO Y LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS RESISTENTES

USE OF GLYPHOSATE AND RESISTANT TRANSGENIC CROPS

Hernández-Ríos, I.¹; Vasco-Leal, J.F.²; Mosquera-Artamonov, J.D.³; Acosta-Osorio, A.A.⁴; Torres-Aquino, M.¹; García-Herrera E.J.^{1*}

¹Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí. Iturbide No. 73, Salinas de Hidalgo, SLP. C. P. 78600. ²Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas s/n, Querétaro, Querétaro. C. P. 76010. ³Universidad Autónoma de Nuevo León. Ciudad Universitaria. San Nicolás de los Garza, Nuevo León. C. P. 66450. ⁴Cátedra CONACYT. Instituto Tecnológico de Veracruz. Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos. Calz. Miguel Ángel de Quevedo No. 2779, Veracruz, Veracruz. C.P. 91897.

*Autor de correspondencia: garciae@colpos.mx

RESUMEN

El glifosato es un herbicida sistémico no selectivo de amplio espectro, utilizado para eliminar pastos anuales y perennes, malezas anuales de hoja ancha y especies leñosas en sistemas agrícolas, pecuarios, forestales y otros. En plantas susceptibles se afecta la síntesis de diversos intermediarios metabólicos, entre ellos los aminoácidos (AA) aromáticos, limitando la síntesis de proteínas. Se trata del herbicida con los más altos volúmenes de venta a nivel mundial, especialmente en países desarrollados, donde su uso se ha potenciado por el empleo de cultivos resistentes conocidos como Roundup Ready o RR. En este tipo de cultivos el control de malezas depende de manera casi exclusiva del glifosato, con lo que se ha creado resistencia en algunas malezas, lo que ha aumentado las dosis de aplicación. La mayor aplicación de glifosato a las malezas somete a las plantas a una mayor presión de selección y eventualmente resulta en la creación de poblaciones con mayor resistencia al herbicida. Aunque solo las plantas poseen la ruta metabólica del ácido shikímico para la síntesis de los AA aromáticos, se han reportado daños en microorganismos y animales, lo que se ha atribuido al ingrediente activo, sus metabolitos o el consumo de productos o derivados de los cultivos resistentes. Minimizar los daños y los riesgos por el empleo del glifosato depende, como con otros herbicidas, de su manejo, incluyendo seguir las indicaciones de uso y emplear otros herbicidas con diferentes modos de acción; también es importante utilizar otros métodos de control, considerando incluso la rotación de cultivos.

Palabras clave: Herbicidas, glifosato, resistencia a herbicidas, cultivos RR.

ABSTRACT

Glyphosate is a non-selective broad-spectrum systemic herbicide used to eliminate annual and perennial grasses, annual broadleaf weeds and woody species in agricultural, livestock, forestry and other systems. In susceptible plants, the synthesis of various metabolic intermediaries is affected, among them aromatic amino acids (AA), limiting protein synthesis. It is the herbicide with the highest sales volume worldwide, especially in developed countries, where its use has been enhanced by the use of resistant crops known as Roundup Ready or RR. In this type of crops, weed control depends almost exclusively on glyphosate, which has created resistance in some weeds, increasing the application rates. The higher application of glyphosate to weeds subjects plants to a higher selection pressure and eventually results in the creation of populations with greater resistance to the herbicide. Although only plants have the metabolic pathway of shikimic acid for the synthesis of aromatic AA, damage to microorganisms and animals has been reported, which has been attributed to the active ingredient, its metabolites or the consumption of products or derivatives of resistant crops. Minimizing the damage and risks from the use of glyphosate depends, as with other herbicides, on its management, including following the indications for use and using other herbicides with different modes of action; it is also important to use other control methods, even considering crop rotation.

Keywords: Herbicides, glyphosate, herbicide resistance, Roundup Ready (RR) crops.

vez aplicado, transporte dentro de la planta, entre otros.

Los herbicidas hasta ahora desarrollados se han clasificado en varios grupos, de acuerdo a la composición química del ingrediente activo y el modo de acción en las plantas. Solo a manera de ejemplo, existen herbicidas inhibidores de la acetil coenzima-A carboxilasa, de la enzima acetolactato sintetasa, de la mitosis, del fotosistema I, del fotosistema II, de la enzima protoporfirinógeno oxidasa, de la síntesis de carotenoides, lípidos y celulosa, del transporte de auxinas, de la enzima glutamino sintetasa, inhibidores de la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa y desacopladores de la fosforilación oxidativa, tipo hormonal, etc. Además, existen diversos herbicidas que no se clasifican en alguno de los grupos anteriores o que aún no han sido descritos de manera fehaciente. Esta información es la que provee la Sociedad Americana de Ciencia de las Malezas (WSSA, 2017), basada en el trabajo científico de muchos especialistas en disciplinas relacionados con el manejo de malezas.

El glifosato: química y efectos

Dentro del grupo de herbicidas inhibidores de la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS) se encuentra el glifosato, que por diversas razones resulta de particular interés y cuyo nombre químico de acuerdo a la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) es: N-(fosfonometil)-glicina, con fórmula molecular $C_3H_8NO_5P$ (Figura 1). Los derechos de patente del glifosato como herbicida fueron otorgados a Monsanto a principios de la década de 1970, y ya con el nombre comercial Roundup® en 1974. Se trata de una de las

INTRODUCCIÓN

La productividad de los cultivos es determinada por una diversidad de factores relacionados con el clima, los suelos, el manejo cultural, la disponibilidad y calidad de agua, las características propias de la especie o genotipo, las condiciones ecológicas y la protección contra factores bióticos y abióticos, entre otros. En el caso particular de los factores bióticos, los cultivos deben ser protegidos principalmente contra plagas, enfermedades y malezas, siendo el uso de los pesticidas, o control químico, una de las formas más comúnmente utilizadas para tal fin.

El control químico de malezas se popularizó a partir del descubrimiento y uso del 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético) en la época de la Segunda Guerra Mundial. A raíz de la eficacia de este herbicida en el control de ciertos tipos de malezas, la industria de los herbicidas creció desde entonces de una manera extraordinaria. La inversión en investigación en este sector, particularmente la privada, ha permitido el desarrollo de numerosas moléculas químicas con efectos herbicidas, con muy diversos modos de acción y con efectos diferenciales en las especies vegetales; es decir, con efectos muy variados en las plantas, dependiendo de factores como la fisiología, constitución genética y fenología de la planta, y de factores relacionados con el herbicida mismo, como sus características físico-químicas, su concentración, forma de aplicación, dispersión y disponibilidad en el medio una

compañías que por la amplia comercialización de sus productos químicos y semillas han tenido sin duda más influencia en el sector agrícola mundial. La patente del producto caducó en el año 2000 y ahora es comercializado por más de 40 compañías a nivel mundial, siendo el herbicida más vendido en términos globales. En países como Alemania y en el Reino Unido, se usa para el manejo de las malezas en hasta el 40% de la superficie agrícola total (Glyphosate Task Force, 2013). El amplio uso que se hace del glifosato para el manejo de plantas no deseadas ha llevado a colocar a este herbicida como el más vendido a nivel mundial. De acuerdo a datos disponibles en The Statistics Portal (2017), de 1994 a 2014 el empleo de glifosato aumentó en 1,466%, al pasar de 56,296 a 825,804 toneladas usadas en el mundo. Esto se atribuye en gran medida a las grandes superficies de sembradas con cultivos Roundup Ready® (o cultivos RR) (Benbrook, 2016).

El glifosato se coloca en el mercado bajo muy diversos nombres comerciales registrados, entre los cuales se pueden mencionar: Roundup, Faena, Novasato, Glyfos, Glissan, Lazer, Yierbasato, Keptor, Sanfosato, Glyfan, Glifobest, Unifosato, Shadow, Suprim, Lafam, Takle, Arraza, Yerbimat, Mamba, Sankill, Aquamaster, Ramrod, Velfosato, etc.; se expende en presentaciones solubles, principalmente como concentrado, gránulos, líquido y polvo (Figura 2). Las concentraciones comerciales van comúnmente de 360 a 720 gramos de ingrediente activo (i.a.) por litro o por kilogramo, e incluso se comercializa como producto grado técnico al 95% (COFEPRIS, 2009).

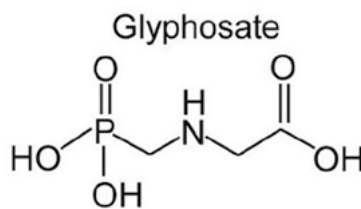


Figura 1. Estructura química del glifosato (Imagen adaptada de Munira *et al.*, 2018).

Como se señala en el grupo de herbicidas al que pertenece, el glifosato actúa en la planta inhibiendo la actividad de la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), en la ruta metabólica del ácido shikímico (Figura 3), la cual está presente en plantas, hongos y bacterias, pero no en los animales (Owagboriaye *et al.*, 2017). La función de la EPSPS es combinar el sustrato shikimato-3-fosfato (S3P) con fosfoenolpiruvato (PEP) para formar 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato (EPSP). Así, el ácido shikímico es precursor de diversos intermediarios metabólicos, entre ellos los aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina y triptófano (Nissen *et al.*, 2018).

A diferencia de otros organismos, las plantas deben sintetizar continuamente la totalidad de aminoácidos (AA) que conforman sus proteínas, por lo que al ser incapaz de pro-

ducir uno o más de ellos, tampoco podrá sintetizar las proteínas requeridas para su normal crecimiento y desarrollo. En este caso, al inhibirse la síntesis de los tres AA antes mencionados, la síntesis de proteínas se ve limitada y ante esa carencia la planta tiende a colapsar metabólicamente y morir.

El glifosato es un herbicida sistémico no selectivo de amplio espectro, utilizado para eliminar pastos anuales y perennes, malezas anuales de hoja ancha y especies leñosas en sistemas agrícolas, pecuarios, forestales y otros. Es un herbicida altamente soluble en agua que por lo regular es aplicado al follaje. Para reducir el arrastre fuera del sitio tratado y para facilitar el ingreso a las células y su transporte dentro de la planta, las formulaciones normalmente incluyen coadyuvantes y otros aditivos, a veces no especificados. Una vez absorbido, el producto es transportado vía el floema hacia el resto de la planta, incluidas las raíces, lo que tiene que ver con su efectividad.

Este herbicida también puede ser aplicado al suelo, como tratamiento presembrado en cultivos sensibles como trigo, girasol, maíz y otros. El suelo puede servir entonces como reservorio del herbicida, lo que a su vez puede afectar el metabolismo de las plantas en periodos posteriores; tal situación se relacionaría principalmente con el tipo de suelo y el contenido de materia orgánica, que retienen o liberan el herbicida, según ciertas propiedades físico-químicas. La vida media del herbicida en el suelo es de entre un mes y medio a dos meses, siendo degradado principalmente por efectos microbianos (Bortagaray-Galluzzo, 2013).



Figura 2. Una de las presentaciones comerciales de glifosato (Imagen tomada de: <https://www.roundup.com.au/>)

Al tratarse de un herbicida no selectivo de amplio espectro, se utiliza para eliminar cualquier tipo de maleza, sin distinción de especies, géneros o familias a las que pertenezcan, pues matan a la mayoría de las plantas con las que entran en contacto, una vez que el ingrediente activo alcanza el sitio de acción en una concentración suficiente. Por eso es un herbicida al que se da un uso extendido en condiciones en las que se desee eliminar malezas en forma generalizada. Por supuesto, existen formulaciones que se pueden utilizar para el control de malezas en cultivos específicos, pero eso tiene mucho que ver con la concentración que se maneje, la mezcla con otros herbicidas, la forma de aplicación y los cuidados que se tomen.

Cultivos resistentes al glifosato

Un avance en el control químico de malezas ha sido la creación de cultivos genéticamente modificados (GM) resistentes a ciertos herbicidas. Destaca la resistencia inducida al glifosato, la cual se debe a la inserción de genes de resistencia en el genoma de la planta, los cuales provienen de una cepa bacteriana del suelo que codifican la enzima CP4-EPSPS, que posee una secuencia de AA ligeramente diferente a la EPSPS natural de las plantas. Esta diferencia en la secuencia de los aminoácidos evita que el glifosato pueda unirse al complejo EPSPS-S3P formado durante la ruta metabólica del shikimato, aunque permite que la enzima catalice normalmente las reacciones de síntesis de aminoácidos aromáticos. Por lo tanto, aquellas plantas que contienen la enzima CP4-EPSPS de origen bacteriano pueden ser asperjadas con glifosato a las dosis recomendadas de uso sin que su absorción afecte la actividad de esta enzima resistente y sin daños aparentes en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Hasta ahora, estos genes de resistencia a glifosato han sido incorporados a la secuencia genética de diversos cultivos, principalmente algodón, soya, maíz, canola, alfalfa y sorgo; con otros en desarrollo, como el trigo. A las semillas de estos cultivos se les agrega el nombre Roundup Ready® (RR), para distinguirlos de aquellos que no cuentan con esta característica de resistencia al glifosato. Así podemos encontrar algodón RR o maíz RR, por ejemplo.

El uso de los cultivos RR, y en general de los cultivos genéticamente modificados, ha tenido amplia aceptación en países desarrollados como los Estados Unidos,

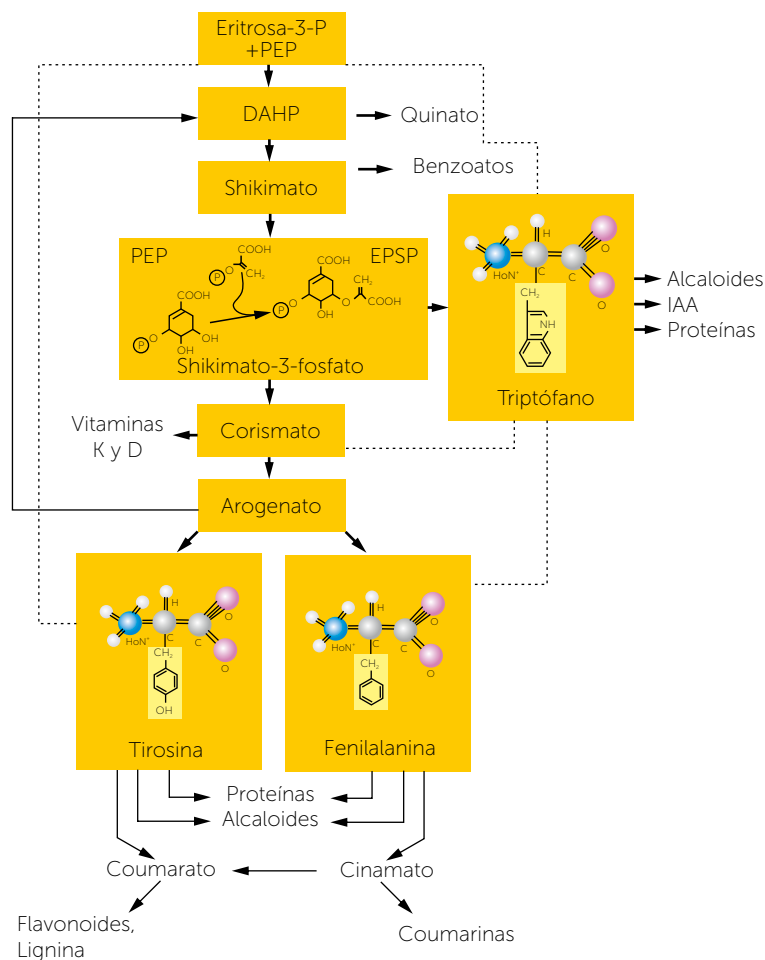


Figura 3. Ruta metabólica del ácido shikímico (Esquema basado en Nissen *et al.*, 2018).

Canadá, Australia y algunos países de la Unión Europea, así como en países emergentes y en desarrollo como China, Sudáfrica, India, Argentina, Brasil, Uruguay, y Paraguay, entre otros. En otros países, las superficies reportadas son relativamente pequeñas, y en el caso de México se reportó para 2010 la siembra de unas 100 hectáreas de cultivos GM, particularmente de algodón y soya (Monsanto, 2010). El uso de cultivos RR conlleva implicaciones de tipo legal que obligan al agricultor a comprar semilla de siembra nueva para cada ciclo de cultivo; es decir, los contratos de uso de la tecnología prohíben usar para la siembra semilla obtenida de la producción de ciclos anteriores, a diferencia de lo que sucede en los sistemas de producción tradicionales en nuestro país y otros países en desarrollo.

En los cultivos RR, el control de prácticamente la totalidad de las malezas se fundamenta en el uso del glifosato, a dosis recomendadas que van de 1.0 a 1.5 y en algunos casos de hasta 2.0 kg i.a. ha⁻¹ (Cooperative Extension Service, University of Arkansas, 2017). A pesar de parecer

una forma práctica para el control de las malezas en los cultivos RR, depender de un solo herbicida ha llevado consecuentemente a la selección de individuos de malezas resistentes, que sobreviven a las dosis recomendadas de uso y que en el mediano o largo plazos dan lugar a poblaciones resistentes (Powles, 2008).

La creación de poblaciones resistentes ha sido registrada en diversas especies, entre las que destacan quelite (*Amaranthus palmeri*), coniza (*Coniza canadensis*), ballico (*Lolium perenne*), zacate Johnson (*Sorghum halepense*) y especies de los géneros *Euphorbia* y *Ambrosia*, entre muchos otros (Nandula et al., 2005); en México ya hay la confirmación del desarrollo de malezas resistentes al glifosato (Domínguez-Valenzuela et al., 2017). Al no ser suficiente la dosis recomendada, la cantidad de i.a. ha⁻¹ se ha ido incrementando a fin de controlar las malezas que sobreviven a la aplicación del herbicida. Esto somete a las malezas a una mayor presión de selección, llevando a lo que ha dado en llamarse la creación de supermalezas (Adler, 2011). De hecho, ya en el 2008 la Sociedad Americana de la Ciencia de la Maleza (WSSA, 2018) emitía una alerta sobre el creciente problema de creación de resistencia al glifosato, recomendando el uso de diferentes métodos de control; incluyendo los no químicos en rotación o combinados con este herbicida. Hasta el año 2017, Heap reportó 40 especies de malezas resistentes a glifosato (<http://weedscience.com/Summary/MOA.aspx?MOAID=12>). Desde luego, este problema no es exclusivo del caso del glifosato, pero se ha acentuado por su aplicación continua en los cultivos RR. A partir de la sobrevi-

vencia de malezas, es ahora común que se agreguen otros herbicidas tanto en mezcla como en forma individual a lo largo de los ciclos de cultivo; aunque la base de control sigue siendo el glifosato.

Riesgos del uso del glifosato para animales y el ambiente

En cuanto a riesgos para la salud humana y de contaminación ambiental que dañe a especies de animales en los ecosistemas, el hecho de que la ruta metabólica del shikimato no se encuentre en los animales, la fuerte retención del herbicida en el suelo y la baja vida media del mismo en el ambiente han sido un argumentos de peso para discutir sobre la toxicidad del glifosato para estos organismos. No obstante, diversos estudios han mostrado que ciertos daños pueden ser atribuibles al glifosato, sea por entrada directa del herbicida o sus metabolitos al organismo, o a través del consumo de productos obtenidos de cultivos RR. Ejemplos de lo anterior son los resultados reportados, por ejemplo, para peces como *Jenynsia multidentata* (Sánchez et al., 2017), *Danio rerio* (Bortagaray-Galluzo, V. 2013), *Rhamdia quelen* (Sobjak et al., 2017) y *Ictalurus punctatus*, *Lepomis microchirus* y *Procambarus* spp. (Abdelghani et al., 1997). Otros estudios han reportado daños también en el funcionamiento orgánico del intestino de ratas (Chlopecka et al., 2017), interfiriendo también en la espermatogénesis y por tanto en su capacidad reproductiva (Owagboriaye et al., 2017). Van Bruggen et al. (2018) hacen una compilación de los efectos que el glifosato provoca en aislamientos de células y en animales vivos; acuáticos y terrestres. Por otra parte, se ha mostrado que residuos de glifosato y productos de su degradación, como el ácido aminometilfosfónico, el principal metabolito de este herbicida, pueden estar frecuentemente presentes en suelos, agua superficial y subterránea, e incluso en agua de lluvia (Battaglin et al., 2014).

CONCLUSIÓN

El glifosato es un herbicida no selectivo de amplio espectro, altamente efectivo y el más utilizado a nivel mundial; los cultivos Roundup Ready® (cultivos RR) han potenciado ampliamente su uso. Este hecho ha conducido a la ocurrencia cada vez más frecuente de genotipos resistentes de malezas de importancia mundial, que potencialmente pueden transmitir esta característica a otros genotipos. Esto puede ocurrir tanto por la dispersión de semillas como de polen con la característica de resistencia.

El uso continuado y exclusivo de este herbicida somete a las poblaciones de malezas a una alta presión de selección, que puede llevar a la creación de plantas resistentes. Como con cualquier otro herbicida, el glifosato puede resultar tóxico para los cultivos en los que se aplica, los microorganismos y los animales. Esto depende de las características y propiedades físico-químicas de la molécula herbicida, las moléculas que la acompañan en las formulaciones comerciales a manera de coadyuvantes en la absorción y transporte, así como de los metabolitos de la degradación que ocurre dentro de la planta y en el ambiente donde se aplica o a donde es acarreado. Estos riesgos son acentuados por el mal manejo y las aplicaciones de cantidades por encima de las dosis recomendadas.

Minimizar los riesgos inherentes al uso del glifosato en la agricultura depende en gran medida de su adecuado manejo, considerando las dosis recomendadas, los cultivos y las condiciones para los que ha sido registrado. No se debe depender solamente de un herbicida; siempre es recomendable la rotación de herbicidas dentro de un mismo grupo, pero mejor aún entre grupos o modos de acción, así como las mezclas de herbicidas. También es importante la rotación de cultivos, necesaria para romper las condiciones creadas por un monocultivo ciclo tras ciclo durante muchos años. La aplicación misma debe ser cuidadosa para minimizar la dispersión de moléculas a cultivos y sitios no objetivos.

LITERATURA CITADA

- Abdelghani A.A., Tchounwou P.B., Anderson A.C., Sujono H., Heyer L.R., Monkiedje A. 1997. Toxicity evaluation of single and chemical mixtures of roundup, Garlon-3A, 2,4-D, and syndets surfactant to channel catfish (*Ictalurus punctatus*), bluegill sunfish (*Lepomis microchirus*), and crawfish (*Procambarus* spp.). *Environ. Toxicol.* 12: 237-243.
- Adler J. 2011. The growing menace of superweeds. *Scient. Am.* 304: 74-79.
- Battaglin W.A., Meyer M.T., Kuivila K.M., Dietze J.E. 2014. Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in U.S. soils, surface water, groundwater, and precipitation. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 50: 275-290.
- Benbrook C.M. 2016. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environ. Sci. Eur.* 28: 1-15.
- Bortagaray-Galluzo V. 2013. Evaluación de las propiedades embrióticas y teratogénicas de herbicidas a base de glifosato mediante el bioensayo de toxicidad embrio-larval en pez cebra (*Danio rerio*). Tesis de grado; Universidad de la República; Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable. Montevideo, Uruguay.
- Chotopceka M., Mendel M., Dziekan N., Karlik W. 2017. The effect of glyphosate-based herbicide Roundup and its co-formulant, POEA, on the motoric activity of rat intestine - In vitro study. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 49: 156-162.
- COFEPRIS. 2009. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos sanitarios. Registro sanitario de plaguicidas y nutrientes vegetales. Página web: <http://www.cofepris.gob.mx/AS/Paginas/Registros%20Sanitarios/Registro%20Sanitario%20de%20Plaguicidas%20y%20Nutrientes%20Vegetales/RegistroSanitarioPlaguicidasYNutrientes.aspx>. Consultada el 10 de Junio de 2017.
- Cooperative Extension Service, Division of Agriculture, Research and Extension, University of Arkansas. 2017. Recommended chemical for brush and weed control. Bulletin MP44. 200 pp.
- Domínguez-Valenzuela J.A., Gherekhloo J., Fernández-Moreno P.T., Cruz-Hipólito H.E., Alcántara-de la Cruz R., Sánchez-González E., De Prado R. 2017. First confirmation and characterization of target and non-target site resistance to glyphosate in Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) from Mexico. *Plant Physiol. Biochem.* 115: 212-218.
- Glyphosate Task Force. 2013. Historia del glifosato. Página web: <http://www.glifosato.es/historia-del-glifosato-0>. Consultada el 11 de Junio de 2017.
- Heap I. 2017. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online available: <http://weedsociety.com/Summary/MOA.aspx?MOAID=12>. Consultada el 09 de Enero de 2018.
- Monsanto. 2010. Cultivos genéticamente modificados en el mundo. Página web: <http://www.monsanto.com/global/ar/productos/pages/cultivos-gm.aspx>. Consultada el 10 de Junio de 2017.
- Munira S., Farenhorst A., Akinremi W. 2018. Phosphate and glyphosate sorption in soils following long-term phosphate applications. *Geoderma* 313: 146-153.
- Nissen S., Namuth D., y Hernández-Ríos I. 2018. Inhibidores de la síntesis de aminoácidos aromáticos. Página web: <https://passel.unl.edu/pages/printinformationmodule.php?idinformati onmodule=1008088419>. Consultada el 09 de Enero de 2018.
- Nandula V.K., Reddy K.N., Duke S.O., Poston D.H. 2005. Glyphosate-resistant weeds: current status and future outlook. *Outl. Pest Manag.* 16: 183-187.
- Owagboriaye F.O., Dedeke G.A., Ademolu K.O., Olujimi O.O., Ashidi J.S., Adeyinka A.A. 2017. Reproductive toxicity of Roundup herbicide exposure in male albino rat. *Experimental and Toxicologic Pathology*; online available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0940299316302585>.
- Powles S.B. 2008. Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest Manag. Sci.* 64: 360-365.
- Sánchez J.A.A., Varela, A.S. Jr., Corcini C.D., da Silva J.C., Primel E.G., Caldas S., Klein R.D., Martins C.D.M.G. 2017. Effects of Roundup formulations on biochemical biomarkers and male sperm quality of the livebearing *Jenynsia multidentata*. *Chemosphere* 177: 200-210.
- Sobjak T.M., Romão S., do Nascimento C.Z., Dos Santos A.F.P., Vogel L., Guimarães A.T.B. 2017. Assessment of the oxidative and neurotoxic effects of glyphosate pesticide on the larvae of *Rhamdia quelen* fish. *Chemosphere* 182: 267-275.
- The Statistics Portal. 2017. Glyphosate use worldwide from 1994 to 2014. Página web: <https://www.statista.com/statistics/567250/glyphosate-use-worldwide/>. Consultada el 11 de Junio de 2017.
- Van Bruggen A.H.C., He M.M., Shin K., Mai V., Jeong K.C., Finckh M.R., Morris J.G. J. 2018. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Sci. Total Environ.* 616-617: 255-268.
- Weed Science Society of America. 2017. Página web: <http://wssa.net/2008/05/weed-science-society-of-america-warns-glyphosate-resistance-increasing/>. Consultada el 10 de Junio de 2018.
- Weed Science Society of America. 2017. Página web: <http://wssa.net/wp-content/uploads/WSSA-Herbicide-SOA-20170403.pdf>. Consultada el 09 de Enero de 2018.



AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE UNA CEPA DE *Serratia marcescens* DEGRADADORA DE ÁCIDO 2,4-DICLOROFENOXIACÉTICO (2,4-D)

ISOLATION AND IDENTIFICATION OF A STRAIN OF *Serratia marcescens* CAPABLE
OF DEGRADING 2,4-DICHLOROPHENOXYACETIC ACID (2,4-D)

Gómez de Jesús, A.^{1*}; Rosales-Esquinca, M.A.²; Lizardi-Jiménez, M.³; Treviño-Quintanilla, G.⁴;
Reyes-Reyes, C.⁵; Castañón-González, H.⁶; Barrales-Cureño, H.⁷

¹CONACYT-Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad Autónoma de Chiapas. Villaflores, Chiapas. ²Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad Autónoma de Chiapas. Villaflores, Chiapas. ³CONACYT-Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca. Tierra Blanca, Veracruz. ⁴Departamento de Tecnología Ambiental, Universidad Politécnica del Estado de Morelos. Jiutepec, Morelos. ⁵División de Informática. Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso. San Felipe del Progreso, Estado de México. ⁶Departamento de Química y Bioquímica. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. ⁷División de Procesos Naturales. Ingeniería Forestal Comunitaria. Universidad Intercultural del Estado de Puebla. Puebla, Puebla.

*Autor para correspondencia: agomezdj@conacyt.mx

RESUMEN

El ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) ha sido uno de los herbicidas más empleados globalmente desde hace más de 60 años, con el impacto ambiental que esto supone. En este trabajo se aisló una cepa bacteriana capaz de degradar el herbicida y con potencial para ser empleada en procesos de bioenriquecimiento de sitios impactados por este contaminante. Mediante la secuenciación del gen 16S rRNA se logró la identificación del género y la especie de la cepa bacteriana. Este es el primer reporte de aislamiento en México de una cepa de *Serratia marcescens* con esta característica.

Palabras clave: Agroquímicos como contaminantes, biorremediación, cultivo de enriquecimiento.

ABSTRACT

2,4-dichlorophenoxyacetic acid has been one of the most globally used herbicides for more than 60 years, with the environmental impact that this implies. In this work, a strain capable of degrading the herbicide and with potential to be employed in bioenrichment processes of impacted sites by this pollutant was isolated. 16s rRNA gene sequencing allowed identification of the genus and species of the bacterial strain. This is the first report of isolation in Mexico of a strain of *Serratia marcescens* with this capability.

Keywords: Agrochemicals as pollutants, bioremediation, enrichment culture technique.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 4, abril. 2018. pp: 118-123.

Recibido: marzo, 2018. **Aceptado:** abril, 2018.

INTRODUCCIÓN

El estado de Chiapas tiene una superficie de 7.4 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente el 50% están destinada a la agricultura. De los cultivos estatales, el del maíz ocupa el mayor porcentaje de la superficie sembrada (75%) y por el valor económico de su producción, tiene el primer lugar dentro del sector (SAGARPA, 2010). En su cultivo se emplean diversos agroquímicos, algunos destinados al combate de insectos plaga y otros para el combate de malezas indeseables, como el paraquat, el glifosato y el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D). Este último es uno de los herbicidas más ampliamente usados no sólo en Chiapas sino en el mundo (Marouani *et al.*, 2017) y ha sido empleado globalmente desde hace más de 60 años. La aplicación extensiva del 2,4-D y su alta hidrosolubilidad han causado contaminación en cuerpos de agua (superficiales y subterráneos), suelos y aire (Kumar *et al.*, 2016); no solo en las regiones donde ha sido aplicado intencionalmente, sino, por efecto de arrastre del viento y desplazamiento del agua, en sitios ajenos a los destinados al acondicionamiento con el agente defoliante. Se ha demostrado que el 2,4-D es un agente teratogénico, tóxico para los riñones e hígado, supresor del sistema inmunológico (Tuschl y Schwab, 2003) y está clasificado por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer como posible carcinogénico a humanos (Samir *et al.*, 2015); también se conoce su efecto como disruptor endócrino (Marouani *et al.*, 2017). Aunado a los riesgos a la salud humana, el herbicida también representa un riesgo para la diversidad biológica, pues tiene efectos sobre poblaciones que no son el objetivo de su aplicación. Entre las poblaciones no objetivo sobresale la microbiota del suelo, pues desempeña un papel trascendental en la preservación de la calidad del mismo (mantiene la disponibilidad de nutrientes y el ciclo de elementos mediante la descomposición de la materia orgánica), lo que se refleja directamente en su fertilidad (Zhang *et al.*, 2010). Esta comunidad microbiana responde a los cambios ambientales asociados a la aplicación de los herbicidas y se han reportado ya reducción de su biodiversidad en general (Gonod *et al.*, 2006), disminución de bacterias heterotróficas incluyendo bacterias desnitrificantes y alteración del equilibrio entre sus diversas poblaciones; lo que en conjunto afecta a las tasas de descomposición de materia orgánica (Singh y Singh, 2016).

Con el objetivo de eliminar los residuos indeseables del 2,4-D del ambiente, se han desarrollado diversos proce-

sos tecnológicos, siendo la biorremediación uno ellos. Un factor necesario para desarrollar un proceso de biorremediación exitoso es contar con el microorganismo adecuado para condiciones ambientales particulares (Boopathy, 2000), y aunque ya se han aislado múltiples cepas capaces de biodegradar *ex situ* el 2,4-D, también muchos de esos mismos estudios reportaron que una vez introducida la cepa en un ambiente ajeno no mantuvo ni su viabilidad ni actividad, resultando en procesos de bioenriquecimiento no funcionales a lo largo del tiempo (Dai *et al.*, 2015; Xia *et al.*, 2016). Por ende, el empleo de una cepa nativa competente puede ser el factor determinante del buen funcionamiento de un proceso *in situ* de biorremediación. El objetivo de este trabajo fue aislar, de muestras de suelo agrícola con largo historial de aplicación del 2,4-D, mediante la técnica de cultivo de enriquecimiento, una cepa nativa capaz de degradar el 2,4-D y con potencial para ser empleada en procesos de bioenriquecimiento de los suelos y cuerpos de agua de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Compuestos químicos

Se usó el reactivo analítico ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EUA), con 98% de pureza, para preparar las soluciones de concentración conocida de las curvas de calibración. La solución acuosa comercial de la sal dimetilamina del ácido 2, 4-diclorofenoxiacético, empleada en los medios de cultivo, fue de la marca UNIAMINA 480 de la compañía United Phosphorus de México (Álvaro Obregón, Ciudad de México, México) El resto de los reactivos fueron de grado analítico y el agua empleada fue destilada. Los solventes empleados para preparar la fase móvil de los análisis por HPLC fueron del correspondiente grado de pureza.

Medios de cultivo

Los ensayos de biodegradación fueron desarrollados empleando medio líquido mineral (MLM), adicionado con diferentes volúmenes de la solución acuosa comercial del 2,4-D como única fuente de carbono y energía. La composición del MLM fue, en g L⁻¹, de 3 de K₂HPO₄ y de KH₂PO₄, 1 de (NH₄)₂SO₄, 0.0005 de CaCl₂ y de MgSO₄ y 0.000125 de CuSO₄, MnSO₄, CoCl₂, (NH₄)₆Mo₇O₂, H₃BO₃, ZnSO₄, y FeSO₄. El pH final del medio fue de 7±0.1 unidades.

Aislamiento de la cepa por cultivo de enriquecimiento

Se colectaron muestras de 1 kg de suelo agrícola (de

0 a 10 cm de profundidad) de 10 sitios históricamente tratados con el agente defoliante. De cada muestra homogeneizada se colocaron 10 g en matraces Erlenmeyer de 1 L de capacidad con 250 mL de MLM estéril con una concentración de 100 mg L^{-1} de 2,4-D. Los cultivos se mantuvieron a temperatura constante ($35 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) en un agitador orbital a 150 rpm por 72 h. Transcurrido esa primera etapa, se transfirieron frente a mechero 10 mL de sobrenadante de cada matraz a nuevos matraces con la misma cantidad y composición del MLM original. Se continuó el proceso de enriquecimiento (resiembra del cultivo anterior en medio fresco cada 72 horas) hasta que se apreció incremento en la turbiedad asociada a crecimiento microbiano en los matraces; de ellos, sus microorganismos fueron cultivados (por estría cruzada) sobre placas de agar con 2,4-D como única fuente de carbono y se observó si había colonización. Cuando ocurrió así, las placas con crecimiento se refrigeraron para usar esos microorganismos en los experimentos siguientes de identificación y biodegradación.

Identificación de la cepa degradadora de 2,4-D

La cepa degradadora fue identificada mediante la secuenciación del gen 16S rRNA, el cual se amplificó mediante PCR utilizando los cebadores eubacterianos: 8F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') y 142R (5'-ACGGC-TACCTTGTTACGACTT-30) y una DreamTaq Green PCR Master Mix (Thermo Fisher Scientific; Waltham, MA, EUA). La secuenciación de ADN se realizó en la Unidad de Síntesis y Secuenciación de ADN del Instituto de Biotecnología de la UNAM, y se realizó una búsqueda a través de BLAST para identificar género y especie del microorganismo (Altschul *et al.*, 1997).

Acondicionamiento del inóculo para las cinéticas

Con una asada de una colonia de la cepa mantenida en refrigeración, se inocularon frente a mechero 100 mL de MLM estéril con 100 mg L^{-1} de 2,4-D en matraces de 500 mL y se incubaron a $35 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, con una agitación orbital de 150 rpm por 24 h. Transcurrido ese tiempo se cuantificó por espectrofotometría la concentración de biomasa y de 2,4-D.

Cuantificación espectrofotométrica de biomasa formada y de 2,4-D residual

La concentración de biomasa se estimó por la absorbancia de luz, de 600 nm de longitud de onda, de la suspensión celular (Péquignot *et al.*, 1998). El 2,4-D residual se cuantificó por la absorbancia de luz, de 285 nm de longitud de onda, del sobrenadante clarificado de

las suspensiones celulares centrifugadas a 10000 rpm por 10 min (González *et al.*, 2012). Se utilizó para estas pruebas un espectrofotómetro marca Thermo Scientific, modelo GENESYS 10S UV-Vis (Waltham, MA, EUA). La curva de calibración se realizó con soluciones de concentración conocida de 2,4-D.

Cinética por lote de degradación del 2,4-D y de formación de biomasa

En un matraz Erlenmeyer de 1 L, se colocaron 250 mL de MLM estéril con una concentración aproximada de 90 o 140 mg L^{-1} de 2,4-D. A este sistema se adicionaron frente a mechero 10 mL del cultivo previamente acondicionado como inóculo y se mantuvo a temperatura constante de $35 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ con agitación orbital de 150 rpm. Inmediatamente después de la adición y cada 90 minutos se colectaron frente a mechero 7 mL de muestra para cuantificar biomasa formada, 2,4-D residual y DQO.

Cuantificación de la demanda química de oxígeno (DQO)

Una medida indirecta de la degradación de todos los compuestos orgánicos provenientes de la formulación comercial del 2,4-D es la disminución en la demanda química de oxígeno (DQO) de las muestras (González-Cuna *et al.*, 2016). La DQO se midió aplicando el método de oxidación por dicromato en medio ácido, establecido en la NMX-AA-030/2-SCFI-2011 (SE, 2011), usando para los análisis los sobrenadantes clarificados de las muestras centrifugadas. La curva de calibración se realizó con soluciones de concentración conocida de biftalato de potasio.

Cuantificación por HPLC del 2,4-D residual

La cuantificación del herbicida se realizó con un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) marca Shimadzu, modelo SPD-10A (Columbia, MD, EUA), equipado con un detector UV ajustado a 280 nm y con una columna marca LiChrospher modelo 100 RP-18, bajo las condiciones descritas por González-Cuna *et al.* (2016). La fase móvil estaba compuesta de dos soluciones; agua con 1% de ácido acético y metanol también con un 1% de ácido acético, en proporción 40:60, respectivamente. La curva de calibración se realizó con soluciones de concentración conocida de 2,4-D.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento de una cepa bacteriana capaz de usar el 2,4-D como fuente de carbono y energía.

Tras 5 resiembras del cultivo de enriquecimiento sólo una de las muestras mostró crecimiento bacteriano y simultánea disminución de la concentración de 2,4-D. Tras una octava reinoculación en MLM, ese cultivo fue sembrado en cajas Petri con 2% de agar y la misma concentración de nutrientes y 2,4-D que el MLM, por estría cruzada y por dilución, dejándose propagar por 48 horas a 35 ± 2 °C. La uniformidad de la morfología colonial del crecimiento sugirió la existencia de una sola cepa, la cual se conservó en las cajas para los experimentos posteriores de identificación y biodegradación.

Identificación de la cepa degradadora de 2,4-D

La cepa degradadora de 2,4-D fue sembrada por dilución y por estría cruzada en placas con agar medio mínimo mineral, con 100 mg L^{-1} de 2,4-D y se incubaron a 30 ± 2 °C. Se apreció el crecimiento de una colonia rojiza que se empleó para la secuenciación del gen *16S rRNA*. La secuencia presentó un 99% de identidad con cepas del género *Serratia*, en cuanto a la especie tuvo mayor identidad con *marcescens*. Se han reportado cepas degradadoras de los géneros *Achromobacter*, *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Cupriavidus*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Enterobacter*, *Variovorax*, *Delftia*, *Burkholderia*, *Sphingomonas*, *Comamonas*, *Acinetobacter*, *Klebsiella*, *Bradyrhizobium* (Dai et al., 2015; Kumar et al., 2016; Singh y Singh, 2016; Xia et al., 2016). Silva et al. (2007) aisló e identificó una cepa de *Serratia marcescens* capaz de degradar el herbicida. Hasta la fecha de elaboración de este escrito, a nivel mundial, el de Silva et al. (2007) era el único reporte de una cepa de *Serratia marcescens* capaz de degradar el ácido 2,4-diclorofenoxiacético.

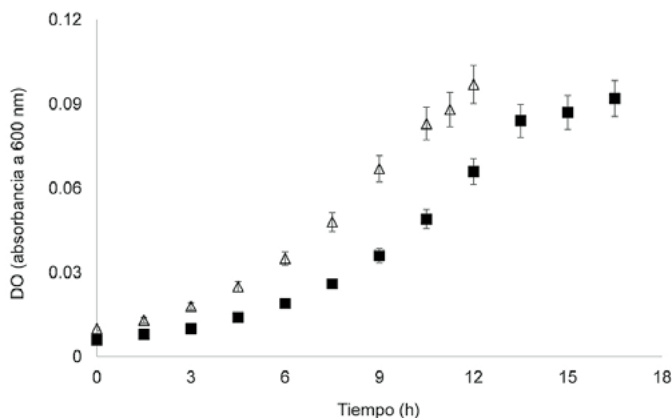


Figura 1. Cinéticas de crecimiento microbiano en cultivo por lote a 90 (Δ) y 140 ($\blacksquare$) mg L^{-1} de concentración inicial de 2,4-D. Las barras de error representan el 7% de variación máxima que se presentó entre los triplicados de los ensayos.

Biodegradación del 2,4-D en cultivo por lote usando MLM

Para corroborar y evaluar parcialmente la capacidad de la cepa aislada, se desarrollaron por triplicado, dos cinéticas de formación de biomasa y de remoción de 2,4-D y de DQO bajo las condiciones previamente descritas. En la Figura 1 se muestra el perfil de ambas cinéticas de formación de biomasa. No se presentaron cambios significativos en el valor del pH al cabo de las cinéticas. Se observó que ambas curvas describen un perfil sigmoideo típico del crecimiento bacteriano en cultivo por lote con un solo sustrato limitante. Los datos experimentales fueron ajustados al modelo logístico de crecimiento (Zwietering et al., 1990) para calcular el valor máximo de velocidad específica de crecimiento (μ_{max}) para cada concentración inicial de sustrato. Las curvas experimentales tuvieron un R^2 de 0.9965 para la desarrollada inicialmente con 140 mg L^{-1} de 2,4-D y de 0.9956 para la de 90 mg L^{-1} con respecto a los valores correspondientes calculados con el modelo matemático (Figura 2). Los valores de μ_{max} fueron de 0.260 y 0.290 h^{-1} (tiempos de duplicación de 2.67 y 2.42 h, correspondientemente) para la de 140 mg L^{-1} y la de 90 mg L^{-1} , respectivamente.

En la Figura 3 se presentan las cinéticas de remoción de 2,4-D correspondientes a las cinéticas de síntesis de biomasa que se han discutido. En cuanto a la eficiencia de remoción de 2,4-D, ésta fue de 91.07% y de 92.10% para las cinéticas de 90 y 140 mg L^{-1} de 2,4-D inicial, respectivamente. No se observó diferencia estadísticamente significativa entre los valores de eficiencia de ambas cinéticas, también se observó que aunque es un

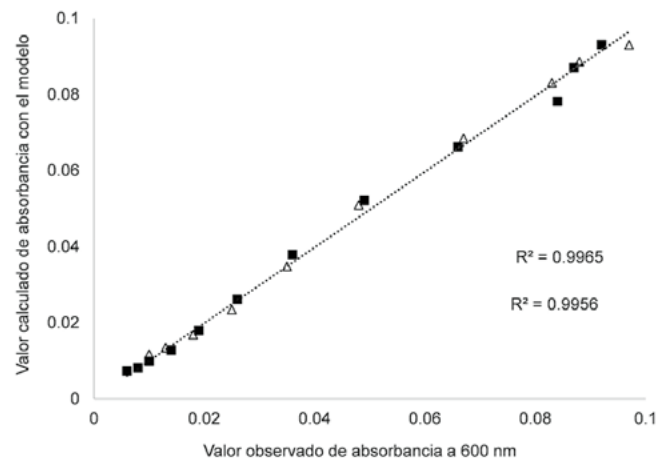


Figura 2. Correlación entre los valores experimentales (de absorbancia a 600 nm) y los calculados usando el modelo logístico de crecimiento, a 90 (Δ) y 140 ($\blacksquare$) mg L^{-1} de concentración inicial.

valor alto, es inferior a los reportados por González et al. (2012), Xia et al. (2016) y Zabaloy y Gómez (2014), que fueron de 99.9%, 100% y 100%, para cinéticas desarrolladas a 100, 200 y 250 mg L⁻¹ de 2,4-D, por 24, 32 y 72 horas, con cepas de *Delftia* sp., *Achromobacter* sp. y 10 cepas nativas de *Cupriavidus necator*, respectivamente. Con esta comparación, sobresale que la cepa de *Serratia marcescens* aislada en este trabajo logró eficiencias de eliminación superiores al 90% en menos de 24 horas. Para la velocidad volumétrica global de remoción de 2,4-D, ésta tuvo valores de 7.55 y 8.25 mg L⁻¹ h⁻¹ para las cinéticas de 90 y 140 mg L⁻¹ de 2,4-D inicial, respectivamente. En la Figura 4 se presentan las cinéticas de remoción de DQO correspondientes a las cinéticas de síntesis de biomasa que se han analizado. Los perfiles de ambas cinéticas de remoción son prácticamente iguales a los que se presentaron cuando se analizó 2,4-D exclusivamente. Tal comportamiento sincronizado indicó que la presencia de los aditivos de la formulación comercial del herbicida no inhibió la biodegradación de la molécula de 2,4-D.

CONCLUSIONES

Se aisló una cepa bacteriana nativa de suelo agrícola, capaz de utilizar como única fuente de carbono y energía el 2,4-D, y se logró también su identificación por secuenciación del gen *16S rRNA*. Este es el primer reporte de aislamiento en México de una cepa de la bacteria *Serratia marcescens* nativa con esta característica. En las concentraciones ensayadas, la cepa incrementó su tiempo de duplicación de 2.42 h (a baja concentración) a 2.67 h (para la

concentración alta). La cepa degradó hasta 8.25 mg L⁻¹ h⁻¹ de 2,4-D con una eficiencia del de 92.1% tras 16 horas de cultivo. Las curvas de reducción de la DQO mostraron que la cepa fue capaz de degradar el herbicida en presencia de los otros componentes de la formulación comercial usada, con una eficiencia de remoción de DQO del 88.81% después de 16 horas de cultivo. Se trata de una cepa con potencial para ser utilizada en procesos de biorremediación *in situ* de suelos y cuerpos de agua y *ex situ* de aguas residuales de riego contaminadas con el herbicida, por lo que se debe estudiar su desempeño en cultivos continuo y por lote alimentado, así como su capacidad para formar biopelículas útiles para biorreactores de lecho empacado.

LITERATURA CITADA

- Altschul S. F., Madden T.L., Schäffer A.A., Zhang J., Zhang Z., Miller W., Lipman D.J. 1997. Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. Nucl. Acids Res. 25: 3389–3402. doi: 10.1093/nar/25.17.3389
- Boopathy R. 2000. Factors limiting bioremediation technologies. Bioresour. Technol. 74: 63–67. doi: 10.1016/S0960-8524(99)00144-3
- Dai Y., Li N., Zhao Q., Xie S. 2015. Bioremediation using *Novosphingobium* strain DY4 for 2,4-dichlorophenoxyacetic acid-contaminated soil and impact on microbial community structure. Biodegradation 26: 161–170. doi: 10.1007/s10532-015-9724-7
- Gonod L.V., Martin-Laurent F., Chenu C. 2006. 2,4-D impact on bacterial communities, and the activity and genetic potential of 2, 4-D degrading communities in soil. FEMS Microbiol. Ecol. 58: 529–537. doi: 10.1111/j.1574-6941.2006.00159.x
- González-Cuna S., Galíndez-Mayer J., Ruiz-Ordaz N., Murugesan S., Piña-Escobedo A., García-Mena J., Santoyo-Tepole F. 2016. Aerobic biofilm reactor for treating a commercial formulation of the herbicides 2, 4-D and dicamba: Biodegradation kinetics and

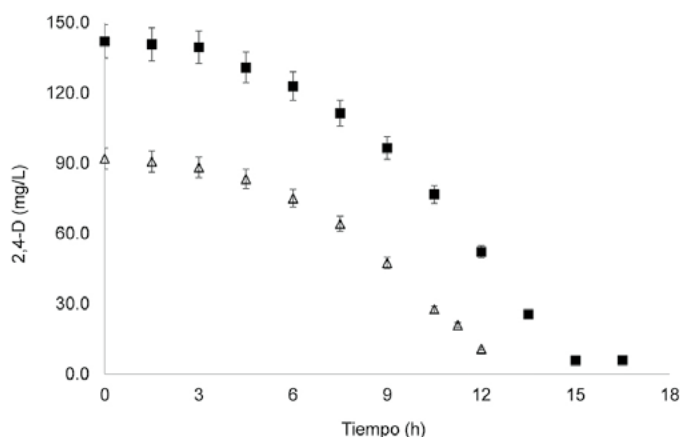


Figura 3. Cinéticas de degradación de 2,4-D en cultivo por lote, a 90 (Δ) y 40 (■) mg L⁻¹ de concentración inicial. Las barras de error representan el 5% de variación máxima que se presentó entre los triplicados de los ensayos.

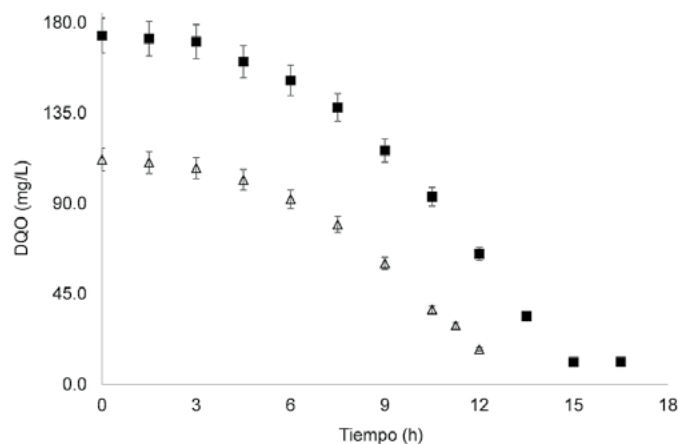


Figura 4. Cinéticas de remoción de DQO en cultivo por lote, a 90 (Δ) y 140 (■) mg L⁻¹ de concentración inicial de 2,4-D. Las barras de error representan el 5% de variación máxima que se presentó entre los triplicados de los ensayos.

- biofilm bacterial diversity. Int. Biodeterior. Biodegradation 107: 123-131. doi: 10.1016/j.ibiod.2015.11.014
- González A.J., Gallego A., Gemini V.L., Papalia M., Radice M., Gutkind, G., Korol S.E. 2012. Degradation and detoxification of the herbicide 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid (2, 4-D) by an indigenous *Delftia* sp. strain in batch and continuous systems. Int. Biodeterior. Biodegradation 66: 8-13. doi: 10.1016/j.ibiod.2011.09.010
- Kumar A., Trefault N., Olufolahan A. 2016. Microbial degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid: Insight into the enzymes and catabolic genes involved, their regulation and biotechnological implications. Crit. Rev. Microbiol. 42: 194-208. doi: 10.3109/1040841X.2014.917068
- Marouani N., Tebourbi O., Cherif D., Hallegue D., Tahar Y., Sakly M., Benkhalifa M., Ben R. 2017. Effects of oral administration of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) on reproductive parameters in male Wistar rats. Environ. Sci. Pollut. Res. 24: 519-526. doi: 10.1007/s11356-016-7656-3
- Péquignot C., Larroche C., Gros J. B. 1998. A spectrophotometric method for determination of bacterial biomass in the presence of a polymer. Biotechnol. Tech. 12: 899-903. doi: 10.1023/A:1008865512272
- SAGARPA. 2010. Diagnóstico sectorial del Estado de Chiapas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 120 pp.
- Samir R., Essam T., Ragab Y., Hashem A. 2015. Enhanced photocatalytic-biological degradation of 2,4 dichlorophenoxyacetic acid. Bull. Fac. Pharm. 53: 77-82. doi: 10.1016/j.bfopcu.2015.03.002
- SE. 2011. Norma mexicana NMX-AA-030/2-SCFI-2011. Análisis de agua-determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. Secretaría de Economía. Dirección General de Normas. 27 de mayo del 2013.
- Silva T.M., Stets M.I., Mazzetto A.M., Andrade F.D., Pileggi S.A.V., Fávero P.R., Cantú M.D., Carrilho E., Carneiro P.I.B., Pileggi M. 2007. Degradation of 2,4-D herbicide by microorganisms isolated from brazilian contaminated soil. Braz. J. Microbiol. 38: 522-525. doi: 10.1590/S1517-83822007000300026
- Singh B., Singh K. 2016. Microbial degradation of herbicides. Crit. Rev. Microbiol. 42: 245-261. doi: 10.3109/1040841X.2014.929564
- Tuschl H., Schwab C. 2003. Cytotoxic effects of the herbicide 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid in HepG2 cells. Food Chem. Toxicol. 41: 385-393. doi: 10.1016/S0278-6915(02)00238-7
- Xia Z. Y., Zhang L., Zhao Y., Yan X., Li S. P., Gu T., Jiang J. D. 2016. Biodegradation of the herbicide 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid by a new isolated strain of *Achromobacter* sp. LZ35. Curr. Microbiol. 74: 193-202. doi: 10.1007/s00284-016-1173-y
- Zabaloy M.C., Gómez M.A. 2014. Isolation and characterization of indigenous 2,4-D herbicide degrading bacteria from an agricultural soil in proximity of Sauce Grande River, Argentina. Ann. Microbiol. 64: 969-974. doi: 10.1007/s13213-013-0731-9
- Zhang C., Liu X., Dong F., Xu J., Zheng Y., Li J. 2010. Soil microbial communities response to herbicide 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid butyl ester. Eur. J. Soil Biol. 46: 175-180. doi: 10.1016/j.ejsobi.2009.12.005
- Zwietering M. H., Jongenburger I., Rombouts F. M., Van't Riet K. 1990. Modeling of the bacterial growth curve. Appl. Environ. Microbiol. 56: 1875-1881.



REMOCIÓN DE CADMIO MEDIANTE ADSORBENTES CERÁMICOS EMPACADOS EN COLUMNAS DE LECHO FIJO

REMOVAL OF CADMIUM THROUGH CERAMIC ADSORBENTS PACKED IN FIXED BED COLUMNS

Ponce-Lira, B.^{1*}; Hernández-Aguilar, S.N.¹; Otazo Sánchez, E.M.²

¹Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Departamento de Ingeniería en Agrotecnología. Carretera Tepatepec-San Juan Tepa km 2, Tepatepec, Francisco I. Madero, Hidalgo. C. P. 42660.

²Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Área Académica de Química. Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, Pachuca, Hidalgo. C. P. 42184.

*Autor de correspondencia: bponce@upfim.edu.mx

RESUMEN

Se evaluó la remoción de iones de cadmio (Cd^{2+}) a partir de una disolución acuosa sobre cantera Blanco Cancún y Tezontle rojo, utilizando una fracción $>2000 \mu\text{m}$, a 23°C bajo condiciones dinámicas en un lecho empacado. Se investigó el porcentaje de extracción de cadmio mediante cinéticas de adsorción, y con ello se calculó la capacidad de adsorción total y el tiempo de vida útil de la columna de sorción. Se utilizó un flujo volumétrico de 0.3 ml s^{-1} y una concentración inicial de 861.75 mg L^{-1} , a un pH de 7.5. La cantera Blanco Cancún reporta un porcentaje máximo de extracción (%E) de 99.59 al primer minuto de contacto, en comparación con el tezontle que reporta %E=83.78 al mismo tiempo. Sin embargo, la capacidad de adsorción total fue de 3.60 mg y 6.62 mg respectivamente. El tiempo de vida útil de la columna sugiere usar al tezontle como adsorbente.

Palabras clave: Cadmio, cerámicos, cinéticas, columnas de sorción.

ABSTRACT

The removal of cadmium ions (Cd^{2+}) was evaluated from an aqueous solution on White Cancun and Red Tezontle quarry, using a fraction $>2000 \mu\text{m}$, at 23°C under dynamic conditions in a packed bed. The percentage of cadmium extraction was studied through adsorption kinetics, and with this the total adsorption capacity and the shelf life of the sorption column were calculated. A volumetric flow rate of 0.3 ml s^{-1} and an initial concentration of 861.75 mg L^{-1} were used, and an initial concentration of 83.2 mg L^{-1} , at pH of 7.5. The White Cancun quarry reports a maximum extraction percentage (% E) of 99.59 at the first minute of contact, compared to the tezontle that reports %E=83.78 at the same time. However, the total adsorption capacity was 3.60 mg and 6.62 mg, respectively. The period of service life of the column suggests using tezontle as adsorbent.

Keywords: Cadmium, ceramics, kinetics, sorption columns.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 4, abril. 2018. pp: 124-128.

Recibido: marzo, 2018. **Aceptado:** abril, 2018.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas del siglo XXI ha sido la contaminación ambiental por metales pesados generada a partir de residuos industriales que son liberados al ambiente y que por consecuencia se acumulan en distintas partes de plantas comestibles, animales, microorganismos, suelo, agua y el propio ser humano.

Puesto que las concentraciones de metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As), mercurio (Hg), cobre (Cu) y níquel (Ni) en el agua, han excedido los límites permitidos, la situación se ha convertido en el mayor problema de contaminación en todo el mundo (Ghasemi *et al.*, 2014).

Debido a esto, es necesario remover dichos metales antes de ingresar al ambiente, por lo que hoy en día existen diversos procesos para el tratamiento de aguas como precipitación química, intercambio iónico, filtración por membranas, filtración electroquímica, etc. Se han empleado metodologías para la adsorción de contaminantes y metales pesados utilizando materiales de origen biológico como bacterias y hongos, entre otros materiales como cascaras de fruta, algas y residuos naturales. Sin embargo, el tratamiento biológico de las aguas a pesar de ser ampliamente aplicado, constituye un tratamiento lento y limitado debido a la presencia de contaminantes no biodegradables y toxicidad de los microorganismos (Anjum *et al.*, 2016), además de que es necesario que el material deba ser modificado químicamente, lo cual implica elevados costos para su utilización.

En los últimos años, se han investigado métodos más eficientes. Por ello, se han desarrollado y buscado nuevos adsorbentes como alternativas eficientes y económicas para el tratamiento de residuos de procesos industriales y agrícolas (Fen y Guo, 2012). Entre los materiales más utilizados se encuentran el carbón activado y las zeolitas, empleadas principalmente para la remoción de metales como Cd, Pb, hierro (Fe) y cromo (Cr), entre otros (Kirbiyik *et al.*, 2016; Akhigbe *et al.*, 2016). Sin embargo, la funcionalidad de algunos materiales y su potencialidad de absorción dependerá de la activación química que se aplique debido a las características específicas del adsorbente (Nayak *et al.*, 2017), además de limitar su reutilización.

Aunado a lo anterior, surge la necesidad de buscar alternativas para la remoción de metales pesados principalmente en agua, a través de la utilización de materiales

viabiles de bajo costo y con alta capacidad de adsorción y/o recuperación. De ahí que el objetivo de esta investigación es evaluar en la cantera Blanco Cancún y Tezontle rojo, el porcentaje de extracción de cadmio mediante cinéticas de adsorción, y con ello, calcular la capacidad de adsorción total y el tiempo de vida útil de la columna de sorción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo y preparación del mineral (cerámico)

Se realizó un muestreo aleatorio de Tezontle en el "Cerro de la Cruz", ubicado en el municipio de Tlahuelilpan, Hidalgo, México, ubicado a 117° 13' 33" longitud oeste y 20° 08' 57" latitud norte, a 2,060 m de altitud. La cantera se muestreo al azar en forma "zig-zag" en una de las minas de cantera en el municipio de Huichapan, Hidalgo, México, ubicado a 99° 39' 33" longitud oeste y 20° 22' 41" latitud norte, a 2,109 msnm. Se tomaron 14 muestras de cada mineral, aproximadamente de 5 kg cada una para obtener una muestra compuesta por el método de cuarteo.

Las muestras fueron molidas y tamizadas a diferentes granulometrías. El tamaño promedio de partícula utilizado para los ensayos fue de $>2000 \mu\text{m}$. Las muestras fueron previamente lavadas con agua desionizada y secadas a temperatura ambiente.

Columna de lecho fijo para las cinéticas de adsorción de cadmio

La columna de lecho fijo de flujo ascendente se construyó manualmente en el laboratorio utilizando un cilindro de diámetro 3.8 cm y 11.35 cm de longitud. La columna fue empacada con 120 g de cada material cerámico pre-hidratado. Las cinéticas de sorción se efectuaron con el apoyo de una bomba peristáltica de precisión de velocidad de 6 a 600 rpm Masterflex. Se utilizó azul de bromotimol para determinar los tiempos de residencia experimental.

Para evaluar el proceso de remoción de cadmio se realizó un muestreo periódico cada minuto por 1 hora; en ensayos por triplicado se determinaron las concentraciones de Cd en el efluente mediante el Absorción Atómica con llama (AAS) a una $\lambda=326 \text{ nm}$, en un equipo marca Sens AA GBC Scientific Equipment Dual.

Estimación de parámetros hidrodinámicos

El cálculo del tiempo de residencia (θ) promedio teórico es realizado mediante el uso de la ecuación 1.

$$\theta = V/Q \quad \text{ec. (1)}$$

Donde: V es el volumen interno (ml) ocupado por la columna y Q es el flujo volumétrico (ml s^{-1}) de entrada por la columna.

La determinación experimental de la función del tiempo de residencia real promedio, se llevó a cabo mediante el método de Simpson compuesto (Canchoa, 2009).

Una vez efectuadas las cinéticas de sorción se calculó el porcentaje de extracción %E, para el tiempo de saturación total se calculó para %E=0 y se despejó t en cada ecuación. Finalmente se estimó la capacidad de adsorción total de la columna Q_T , (Rentería Villalobos *et al.* 2014, Penedo Medina *et al.* 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Tiempos de residencia teóricos y experimentales para la columna de adsorción

Los tiempos de residencia teórico y experimental fueron calculados por las ecuaciones 1 y 2 respectivamente presentadas en el capítulo de Materiales y Métodos. Los datos obtenidos permiten estimar el tiempo necesario de contacto entre la solución y material al interior de las columnas.

Para el tezontle y la cantera Blanco Cancún el tiempo de residencia teórico resultó de 4.3 min ante el flujo experimental de 0.3 ml s^{-1} . Este valor representa un tiempo aproximado de contacto entre los minerales de estudio la solución de Cd^{2+} a inyectar en la columna. Sin embargo, en muchos casos es completamente diferente, debido a diversos factores como son: las caídas de presión de la columna, espacios muertos y turbulencias que influyen en el tiempo de recorrido de la solución al interior de la columna.

Los tiempos de residencia experimentales resultaron mayores al tiempo de residencia teórico, tal como se muestra en la Figura 1. Para la cantera Blanco se obtiene un tiempo de contacto real de 11.41 min; en cambio, para el tezontle se reporta un tiempo de residencia de 8.3 min, llegando al equilibrio en este tiempo.

Es pertinente inyectar la solución por la boquilla de manera ascendente, debido a que se mantiene una concentración más homogénea en todo el

empaquete de la columna; y el tiempo de contacto entre el adsorbente y la solución es mayor. Dichos tiempos de residencia reales son mayores a los calculados teóricamente debido a las interacciones que ocurren entre el trazador y el empaque. Los flujos ascendentes van en contra de la gravedad y además cada empaque impone una resistencia a la entrada del flujo hacia la columna y es por eso que, como se observa en la gráfica (Figura 1), el flujo requiere de mayor tiempo para poder recorrer el empaque.

Modelamiento termodinámico de las cinéticas de adsorción y porcentaje de extracción de cadmio

Las determinaciones experimentales para la extracción de cadmio por los materiales cerámicos se presentan en la Figura 2. Los valores demuestran que la cantera Blanco Cancún tiene mayor homogeneización al interior de la columna, al llegar al equilibrio con mayor concentración de cadmio (722 mg L^{-1}) a los 20 min, en cambio; la gráfica de tezontle evidencia tener menos estabilidad al interior de la columna, por lo que el sistema de sorción podría verse afectado por espacios muertos, turbulencias internas y caídas de presión. Estudios previos han reportado el uso de tezontle como material adsorbente (Yáñez-Ocampo *et al.*, 2011, Alamillo López y Morales Luckie, 2013) sin embargo, para el presente estudio, el tezontle llega al equilibrio con una concentración final de 409.69 mg L^{-1} a los 10 min.

La cantera Blanco Cancún tarda en llegar al equilibrio, sin embargo, es notorio que casi adsorbe el 100% de la concentración inicial inyectada (861.75 mg L^{-1}). La Figura 3 compara el porcentaje de extracción de cadmio con la masa retenida en el empaque; el tezontle reporta un elevado %E ($\geq 50 \%$) en los primeros 20 min. Cabe señalar que conforme el tiempo transcurre, la cantidad

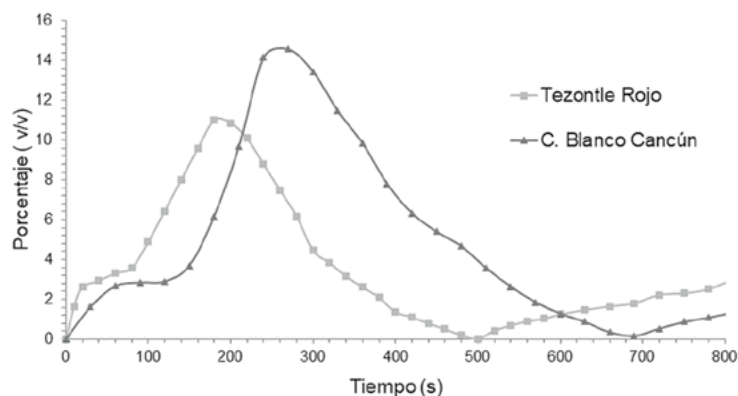


Figura 1. Tiempo de residencia real promedio de la columna de adsorción, a partir de la inyección de azul de bromotimol.

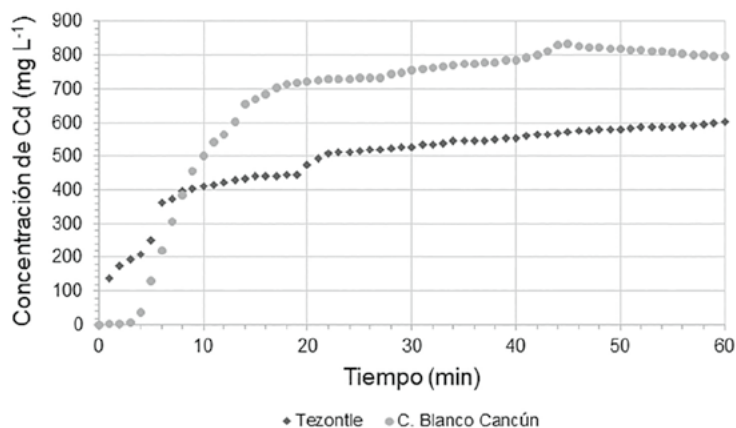


Figura 2. Cinéticas de adsorción de Cd^{2+} a un flujo de 0.3 ml s^{-1} a 23°C .

de masa retenida en el empaque es mayor (4.65 mg h^{-1} de Cd), lo cual es lógico debido a que el material llegará a un punto de saturación; por otra parte, la masa retenida en la cantera Blanco Cancún no supera los 2 mg h^{-1} de Cd, ya que aunque el proceso de sorción sea más rápido, al llegar a los 10 min el porcentaje de extracción es menor al 50%, lo cual le coloca en desventaja ante el tezontle.

La información anterior sugiere efectuar estudios posteriores sobre las propiedades físico-químicas de cada uno

de los minerales evaluados, para poder comprender el proceso de sorción y el comportamiento de cada sorbente ante el analito evaluado.

El tiempo de vida útil y capacidad de adsorción total de la columna de adsorción

El tiempo de vida útil es el tiempo que tarda en saturarse los sitios activos de cada cerámico. Éste depende de la concentración final que se requiera en el efluente. Fue así como el tiempo de saturación se calculó para obtener una concentración final de $\text{Cd}^{2+} = 0 \text{ mg L}^{-1}$.

En el Cuadro 1 se muestra el tiempo de vida útil de la columna de adsorción bajo las condiciones experimentales descritas anteriormente así como la capacidad de adsorción útil para cada mineral.

El tiempo de vida útil de la columna de adsorción con el tezontle es mayor al obtenido con la cantera Blanco Cancún. Sin embargo, se debe considerar que las concentraciones experimentales son demasiado altas, ya que a mayores concentraciones del metal, la columna se satura más rápidamente. Las propiedades físico-químicas del tezontle favorecen el proceso de adsorción de cadmio debido a su alta capacidad de adsorción total, esto explica porque dicho mineral es comúnmente utilizado en hidroponía o como sustratos (Díaz *et al.*, 2013; Flores-Morales, 2014; Cruz-Crespo *et al.*, 2016; Pozo *et al.*, 2014), pese a las últimas investigaciones en las que se le ha dado otro tipo de uso como lo ha sido una matriz adsorbente (Rosales Landeros y Barrera Díaz, 2014; Alamillo López y Morales Luckie, 2013; Muñoz *et al.*, 2013; Amábilis-Sosa *et al.*, 2015).

Cuadro 1. Tiempo de vida útil (t) y capacidad de adsorción total (Q_T) para cada cerámico.

Tipo de cerámico	t (min)	Q_T (mg)
Tezontle rojo	115.42	6.62
Cantera Blanco Cancún	51.38	3.60

Q_T es la capacidad de adsorción total y t es el tiempo de vida útil de la columna. A un flujo de 0.3 ml s^{-1} ; calculado desde una concentración inicial de 861.75 mg L^{-1} a pH de 7.5.

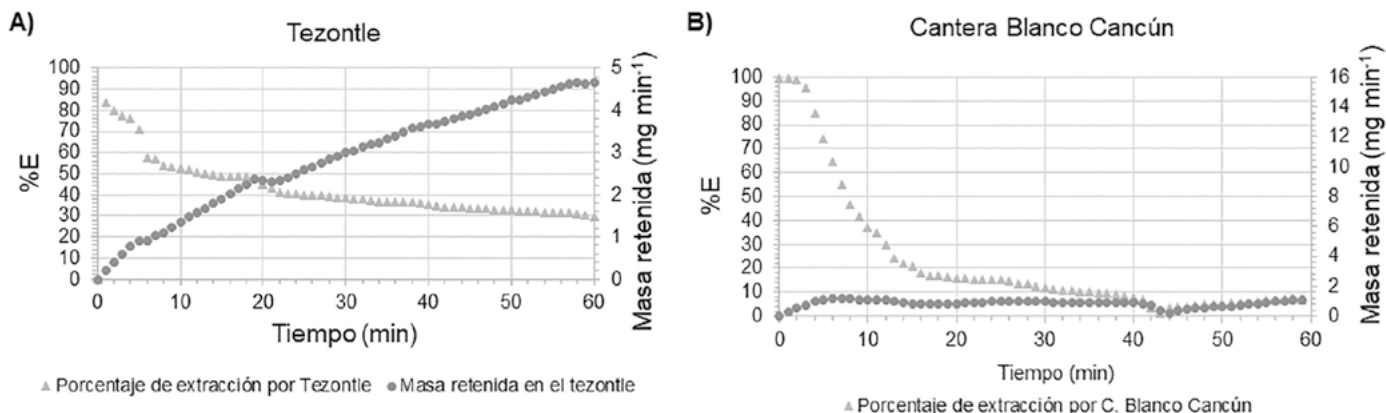


Figura 3. Porcentaje de extracción de Cd^{2+} y masa retenida en el empaque de tezontle (A) y Porcentaje de extracción de Cd^{2+} y masa retenida en el empaque de la cantera Blanco Cancún (B).

En la literatura existen abundantes reportes sobre el uso de la cantera para construcción (Chávez *et al.*, 2015), y muy pocos reportes sobre el uso de la misma como material adsorbente (Simón *et al.*, 2015a; Simón *et al.*, 2015b). Lo anterior deja un área de oportunidad a futuras investigaciones, por ello, se reitera la invitación a posteriores estudios y evaluaciones que permitan relacionar las propiedades físico-químicas de cada mineral con el fenómeno de adsorción.

CONCLUSIONES

Se propone el uso de tezontle rojo como material adsorbente para la remoción de cadmio. Por otra parte, es conveniente evaluar el uso de columnas de lecho fijo en serie, o bien la recirculación del efluente de tal manera que permita tener un sistema de mayor duración. Conviene resaltar que los materiales seleccionados en el presente proyecto han sido utilizados en su forma natural lo que los hace ser económicamente factibles.

Así mismo, se invita a la comunidad universitaria, científicos y al público en general a evaluar nuevos materiales para su posterior aplicación a la depuración de efluentes que contengan metales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección General de Educación Superior Universitaria, PRODEP por el apoyo financiero al proyecto con folio UPFIM-PTC-038. Así mismo a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por las facilidades para el fortalecimiento de dicho proyecto.

LITERATURA CITADA

Akhigbe L., Ouki S., Saroj D. 2016. Disinfection and removal performance for *Escherichia coli* and heavy metals by silver-modified zeolite in a fixed bed column. *Chem. Engin. J.* 295: 92-98.

Alamillo López V.M., Morales Luckie R.A. 2013. Remoción de colorantes orgánicos azul índigo y tartrazina, en solución acuosa, empleando nanopartículas de hierro aportadas en piedra volcánica de óxido de hierro (Tezontle). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México. 55 p.

Amábilis-Sosa L.E., Siebe C., Moeller-Chávez G., Durán-Domínguez-de-Bazúa M.D. 2015. Remoción de mercurio, cromo y plomo por humedales artificiales inoculados con cepas tolerantes. *Tecnol. Cienc. Agua* 6: 21-34.

Anjum M., Miandad R., Waqas M., Gehany F., Barakat M. 2016. Remediation of wastewater using various nano-materials. *Arab. J. Chem.* doi: 10.1016/j.arabjc.2016.10.004

Canchoa A. 2009. Métodos de integración numérica para particiones no uniformes del intervalo de integración. *Anal. Cientif.* 2009. 52-65.

Chávez J.R.B., Mendiola L.G.L., Narayanasamy R., Coca F.J.O., López A.S. 2015. Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción. *Rev. Arquitect. Ingen.* 9: 1-12.

Cruz-Crespo E., Sumaya-Martínez M. T., Can-Chulim Á., Pineda-Pineda J., Bugarín-Montoya R., Aguilar-Benítez G. 2016. Quality,

bioactive compounds, and antioxidant activity of serrano chili peppers cultivated in volcanic rock-vermicompost and nutrient solutions. *Cien. Invest. Agr.* 42: 375-384.

Díaz E.R., Pérez E.S., Macías R.R., Eguarte D.R.G., Munguía S.M. 2013. Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latin.* 31: 275-284.

Feng N.C., Guo, X.Y. 2012. Characterization of adsorptive capacity and mechanisms on adsorption of copper, lead and zinc by modified orange peel. *Trans. Nonferrous Metals Soc. China* 22: 1224-1231.

Flores-Morales, D.S. 2014. Mezcla de suelo y tezontle con compost y bocashi como fuente nutrimental para la producción casera de hortalizas de porte bajo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Mornatecillo, Estado de México. 70 p.

Ghasemi M., Naushad M., Ghasemi N., Khosravi-Fard Y. 2014. A novel agricultural waste based adsorbent for the removal of Pb(II) from aqueous solution: Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 20: 454-461.

Kirbiyik Ç., Pütün A.E., Pütün E. 2016. Comparative studies on adsorptive removal of heavy metal ions by biosorbent, bio-char and activated carbon obtained from low cost agro-residue. *Water Sci. Technol.* 73: 423-436.

Muñoz Á., Alcántara D., Pat F.N., Sandoval I., Cremades I. 2013. Determinación del valor de sorción de azul de metileno para "fillers" mediante espectrofotometría visible. http://www.amaac.org.mx/archivos/eventos/8cma_2013/agregados01.pdf

Nayak A., Bhushan B., Gupta V., Sharma P. 2017. Chemically activated carbon from lignocellulosic wastes for heavy metal wastewater remediation: effect of activation conditions. *J. Colloid Interface Sci.* 493: 228-240.

Penedo Medina, M., Cutiño, M., Michel, E., Vendrell Calzadilla, F., & Salas Tort, D. 2015. Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco. *Tecnología Química*, 35, 110-124.

Pozo J., García I.M., Requena J., La Malfa T., Martínez-Carrasco J.E.A., Gavilán M.U. 2014. Roca volcánica, un nuevo sustrato alternativo sostenible para los cultivos sin suelo en España. *Vida Rural* 15-10-2014: 14-21.

Rentería Villalobos, M., Ramírez Marfil, L., Aguilar Palma, N. Rubio Arias, H., Pinedo Álvarez, C. & Sánchez Ve´rin, C. V. 2014. 2014. Remoción de plomo en solución acuosa por la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*). *Investigación y Ciencia*, 22.

Rosales Landeros C., Barrera Díaz C. E. 2014. Estudio de la remoción de Cr (VI) presente en soluciones acuosas empleando un Silicato Natural y Modificado. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México. 89 p.

Simón M., Campillo F., García I., del Moral F. 2015a. Inmovilización de arsénico por lodo de mármol y biochar. VII Simposio Nacional sobre Control de la Degradación y Restauración de suelos. Bilbao, España. 23 l 26 de junio de 2015.

Simón M., García I., González V., Sánchez J., Salvador M. 2015b. Efecto del tamaño de los fragmentos del mármol en la fijación de contaminantes. VII Simposio Nacional sobre Control de la Degradación y Restauración de suelos. Bilbao, España. 23 l 26 de junio de 2015.

Yáñez-Ocampo G., Sánchez-Salinas E., Ortiz-Hernández, M.L. 2011. Removal of methyl parathion and tetrachlorvinphos by a bacterial consortium immobilized on tezontle-packed up-flow reactor. *Biodegradation* 22: 1203-1213.

IMPORTANCIA DE LA EDUCACIÓN DEL CAMPO Y DEL SABER CAMPESINO EN FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL

IMPORTANCE OF FIELD EDUCATION AND PEASANT KNOWLEDGE IN FORTALEZA, CEARÁ, BRAZIL

de Brito A.S.L.^{1*}; Junior, A.C.¹; Morais M.A.¹; Sampaio J.L.F.¹; Hernandez-Romero, O.²

¹Universidade Federal do Ceara. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Campus do Pici, Bloco 902. Fortaleza, CE, Brasil. CEP 60455-970. ²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230.

***Autor de correspondencia:** adriana_saleite@hotmail.com

RESUMEN

La agricultura es la actividad que permitió el asentamiento de los pueblos nómadas y contribuyó determinantemente al desarrollo de la civilización. Actualmente el campo tiene una participación sustancial en el desarrollo y el flujo de recursos entre el campo y la ciudad. Las familias asentadas en el campo adquieren y transmiten sus conocimientos gracias a sus experiencias empíricas y emprenden diferentes estrategias de gestión del desarrollo. En Fortaleza, estado de Ceará, Brasil, la agricultura y los campesinos enfrentan adversidades ambientales como precipitaciones irregulares y sequía. Para mitigar el impacto de estas condiciones, los campesinos emprenden diferentes estrategias de desarrollo sustentable, teniendo en cuenta sus dimensiones ambientales, económicas, políticas, sociales y culturales. El objetivo de este estudio fue conocer las condiciones de la educación campesina y la importancia del conocimiento de tradicional en el fortalecimiento de la identidad, que pudiera contribuir a garantizar la permanencia de los jóvenes en el campo, asegurar la producción agrícola y el sostenimiento de las zonas rurales en las zonas rurales campesinas de Fortaleza. Se implementó un estudio exploratorio descriptivo, especialmente en relación con cuestiones de manejo de la tierra y el conocimiento de los campesinos. Se concluye que existe una necesidad de reconocer la importancia de la educación y el conocimiento tradicional campesino. La educación es un elemento determinante para el mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores rurales.

Palabras clave: Educación, conocimiento tradicional campesino, agricultura.



ABSTRACT

Agriculture is the activity that allowed the settlement of nomadic people and contributed decisively to the development of civilization. Currently the field has a substantial participation in the development and flow of resources between the countryside and the city. The families settled in the countryside acquire and transmit their knowledge thanks to their empirical experiences and undertake different strategies of development management. In Fortaleza, state of Ceará, Brazil, agriculture and peasants face environmental adversities such as irregular rainfall and drought. To mitigate the impact of these conditions, farmers implement different strategies of sustainable development, taking into account their environmental, economic, political, social and cultural dimensions. The objective of this study was to understand the conditions of peasant education and the importance of traditional knowledge in the strengthening of identity, which could contribute to guarantee the permanence of young people in the countryside, ensure agricultural production and the conservation of rural areas in Fortaleza. An exploratory descriptive study was carried out, particularly in relation to questions of land management and traditional peasant knowledge. It is concluded that there is a need to recognize the importance of traditional peasant education and knowledge. Education is a defining factor for the improvement of the quality of life of rural inhabitants.

Keywords: Education, traditional peasant knowledge, agriculture.

INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola se inició por antiguos pueblos en períodos anteriores a la historia escrita. El desarrollo de la agricultura proporcionó cambios sociales, económicos y ambientales que permitieron la existencia de aglomerados humanos e influenciaron el desarrollo del sistema capitalista y del colonialismo (Friedmann y McMichael, 1987). Como uno de los sectores más antiguos de la economía, la agricultura tiene un valor histórico, cultural y de las tradiciones siendo, por lo tanto, un patrimonio de los pueblos y de los países (Tilman, 2012).

El desarrollo rural está establecido entre las temáticas de vasta producción bibliográfica y de asiduidad en las agendas de debate en diversas esferas académicas, gubernamentales y públicas. La imprescindible participación del medio rural en la formación de las sociedades es referente al contenido implícito al tema del desarrollo rural, que se encuentra la cuestión central del "desarrollo" y de cómo gestionar apropiadamente los recursos entre campo y ciudad. Este tema de reflexión constante requiere una perspectiva a largo plazo, capaz de percibir las transformaciones y permanencias que coexisten en el medio rural tanto en el ámbito local como internacional, así como su relación con otros sectores de la sociedad (Petersen *et al.*, 2013). La agricultura presenta un papel multifuncional que va más allá de la producción de alimentos y de fibras. La agricultura desempeña varias otras funciones a nivel ambiental, económico y social, proporcionando beneficios ambientales y contribuyendo a la viabilidad socioeconómica de muchas áreas rurales (Tilman, 2012).

Dentro del contexto agrícola, las unidades de producción familiar desempeñan un papel fundamental en el desarrollo y la sostenibilidad rural. Se entiende por agricultura familiar, la categoría social que cultiva plantas, cría animales y o aprovecha algunos otros recursos del campo para subsistencia, siendo la familia la que proporciona la mano de obra y los recursos para la producción. La agricultura familiar consiste en un medio de organización de las producciones agrícola, forestal, pesquera, pastoril y acuícola, que son manejadas y operadas por una familia.

Además, la agricultura familiar proporciona la sucesión de conocimientos sobre el ambiente y las prácticas de manejo agrícola por generaciones. Es una actividad rica en saberes y en manifestaciones culturales lo que refleja la percepción aguda del ser humano en entender la naturaleza e integrarse a ella, siendo un agente activo y modificador de las características ambientales. Es decir, las familias que practican históricamente la agricultura poseen diversos conocimientos y estrategias adaptativas con relación a cuestiones de manejo agronómico en general, incluyendo tanto selección de semillas, establecimiento de épocas de siembra y cosecha y programación de toda la actividad productiva con base a las variaciones climáticas de acuerdo a las estaciones del año (Petersen, 1997).

Las condiciones climáticas presentan gran relevancia en la agricultura. La agricultura familiar en las regiones semiáridas está sujeta a las problemáticas vinculadas a uno de los más relevantes procesos de degradación ambiental, denomina-

do desertificación, que afecta a más de 1,000 millones de personas en el mundo, especialmente a las familias campesinas y comunidades rurales más vulnerables (Grisa y Schneider, 2015). Estas condiciones vinculan a las regiones semiáridas con condiciones inhóspitas para el asentamiento humano, lo que evita que se conozca la verdadera riqueza y abundancia de esas regiones.

Las características del clima y del suelo integradas con el contexto cultural, social y económico, son, por lo tanto, fundamentales para la determinación de los productos cultivados y de las prácticas y estrategias empleadas en el desarrollo de la actividad.

El objetivo que nos planteamos en este trabajo es conocer la educación del campo y la importancia de los saberes campesinos en el fortalecimiento de la identidad de las zonas rurales de Fortaleza, Ceará, Brasil, a fin de establecer algunas estrategias que permitan garantizar la permanencia de los jóvenes en el campo, a través de una producción agrícola sostenible.

REFERENCIA TEÓRICA

Los saberes campesinos son de extrema relevancia para la producción de conocimiento del territorio rural, su identidad y la participación de la sociedad campesina. Para que podamos comprender mejor la atmósfera en torno a las explicaciones sobre territorio rural, admitimos como concepto la siguiente aclaración de Santos (2007):

El territorio no es sólo el conjunto de los sistemas naturales y de sistemas de cosas superpuestas. El territorio tiene que ser entendido como el territorio usado, no el territorio en sí. El territorio usado es el suelo más la identidad. La identidad es el sentimiento de pertenecer a lo que nos pertenece. El territorio es el fundamento del trabajo, el lugar de la residencia, de los intercambios materiales y espirituales y del ejercicio de la vida.

El territorio rural, escenario de la actuación, movimiento a la construcción de los saberes campesinos, no puede ser considerado un lugar inmóvil, inmutable (Wanderley, 2010). Existe la producción de resistencias, de lucha contra la exclusión científica, posibilitando la permanencia de los saberes y prácticas tradicionales. Las relaciones se establecen, las técnicas se amplían y aprovechan tanto en el territorio material y en el territorio inmaterial.

Según el concepto de Fernandes (2012), territorios materiales son construidos en el espacio físico, siendo formado por diversos aspectos regionales, geográficos, poblacionales y económicos. En la otra cara del enfoque, territorios inmateriales se forman dentro del espacio social, a través de las relaciones con la cultura de la población, sus pensamientos teorías e ideales. Este territorio es poblado por los saberes y tradiciones, y la constante dialéctica de transformaciones de los mismos.

La reflexión sobre el campo y su lugar de expresión en la producción de contenido fue bastante beneficiada por los diversos Movimientos Sociales Campesinos, donde podemos observar, especialmente en el estado de Ceará, Brasil, la importancia de la valorización y solidificación de la cultura local y sus implicaciones, tanto en la vida de los campesinos y su modo de producción y trabajo diario. Así, se promovió un intenso rescate a los conceptos campesinos, defendiendo el espacio rural como su lugar de permanencia en vida, donde todas las personas pueden vivir trabajar y calificarse con todas las cualidades y derechos equivalentes a cualesquiera otras partes del Estado. Con ello, la identidad sociocultural del campesino podrá ser preservada (Fernandes y Molina, 2005).

En la propia educación escolar para los campesinos es necesario comprender las particularidades de vivencias y saberes e incluir de forma pedagógica los conceptos de identidades de los pueblos, así como también promover posibilidades de diálogo con otras culturas, formando así ciudadanos capaces de respetar y comprender diferentes los contextos sociales.

Así, al tratar de los saberes de los pueblos en la educación campesina, debemos tomar como referencia los presupuestos de Kuhn (1994), donde el mismo afirma que la educación popular en los espacios educativos debe ser reconocida como fuente para las formulaciones de cuestiones para la comunidad académica, así como reconocida como un territorio de soluciones. Estos procesos de construcción del conocimiento sufren diversas transformaciones y posibilitan las futuras revoluciones científicas.

Actualmente, la cultura y vida campesina están atrayendo la atención de la academia. La antigua visión de un espacio atrasado y que necesitaba apoyo para su desarrollo y urbanización, está sufriendo un proceso de revaloración.

A largo de los años los saberes locales se convirtieron, y coexistieron muchas veces con los saberes científicos antes admitidos como única verdad. Sin embargo, todavía encontramos algunas restricciones en cuanto a la inclusión de estos saberes en otras esferas sociales, muchas veces en virtud de nuestro pensamiento volcado hacia la cultura de la urbanización y de los saberes preestablecidos (Quijano, 2005). Es necesario una reflexión mayor sobre la importancia de estos saberes populares, admitiendo su validez e insertándolos en un contexto más universal de educación, minimizando el pensamiento de monocultura existente en el pensamiento preestablecido, como subraya Arroyo (2009) en su análisis de cultura hegemónica:

La cultura hegemónica trata los valores, las creencias, los saberes del campo de manera romántica o de manera despectiva, como valores superados, como saberes tradicionales, precientíficos, premodernos. De ahí que el modelo de educación básica quiera imponer para el campo currículos de la escuela urbana, saberes y valores urbanos, como si el campo y su cultura pertenecieran a un pasado a ser olvidado y superado. Como si los valores, la cultura, el modo de vida, el hombre y la mujer del campo fueran una especie en extinción.

Los modos, las tradiciones y el estilo de vida de los campesinos están repletos de simbologías y significados. Sus valores, sus ideas, las peculiaridades de su comportamiento fueron construidas a través de sus vivencias. Las relaciones culturales y políticas están repletas de envolvimientos y de construcciones a través de sus saberes sobre el campo. El proceso de producción cultural no es uniforme. A través de esa diversidad es que nos reconocemos como seres humanos diferenciados. Cada grupo está marcado por especificidades, que se determinaron a través de experiencias e interacciones con el medio ambiente y sus participantes sociales.

Los saberes colectivos en movimiento, las prácticas sociales, las relaciones con el mundo, el modo de producir saberes con las cuestiones sociales y naturales es denominada cultura. Con eso, podemos admitir que los saberes campesinos, la manera de ser de esta población, su interacción social y sus objetivos de vida es una manifestación cultural. Es la producción de saberes, es su subjetividad y la construcción de su historia de soberanía y de lucha (Barroso, 2005).

Con la ilusión de tener mejores condiciones de vida, los hijos de campesinos migran del campo a la ciudad en busca de fuentes de empleo. A su vez, las ciudades no cuentan con la estructura para albergar las migraciones masivas y constantes, lo que ocasiona problemas urbanos como enfermedades, indigencia, y criminalidad. El éxodo rural fue estimulado por la lógica del capitalismo, para que los hijos de los campesinos en lugar de anhelar mejores condiciones de producción agrícola, opten por nuevos empleos y salarios en la industria (Stedile, 2011).

La educación del campo nace “[...] como crítica a la realidad de la educación brasileña, particularmente a la situación educativa del pueblo brasileño que trabaja y vive en el campo” (Caldart, 2009) y se fortalece por medio

de las luchas establecidas por los sujetos del campo en su colectividad. Estas luchas emergieron de los Movimientos Sociales Campesinos, en favor del acceso al conocimiento ya la escolarización, entre otros factores.

En ese sentido, la concepción de educación discutida y reivindicada por los movimientos sociales del campo para las comunidades campesinas se diferencia del modelo anteriormente propuesto por la Educación Rural (Batista, 2014), en que su único destinatario era la población agrícola. Es decir, aquellos que tenían la agricultura como principal medio de sustento, sin considerar la diversidad de sujetos que constituyen el campo.

La falta de valorización de la historia y cultura del campo promovió la diseminación de una oferta educativa descontextualizada de los valores culturales propios y específicos del entorno rural. En esta dirección, los movimientos sociales en articulación con los pueblos campesinos evidenciaron la necesidad de una Educación Básica del Campo, atendiendo a sus diferencias históricas y culturales (Kolling et al., 1999).

Así, la Educación del Campo emerge con el propósito de concebir a los sujetos del campo una identidad cultural propia, evidenciada, entre otras, en la especificidad de la manera de vivir y trabajar.

Actualmente la política de educación brasileña desconoce la necesidad de una didáctica orientada a las necesidades y conocimientos del hombre en el campo y de los libros pedagógicos que abarca sus conocimientos y reflexiones sobre

su trabajo como principio educativo. La política educativa vigente inferioriza el campo, presentándolo como un entorno atrasado, carente de modernidad y dependiente de medio urbano.

En este sentido, Wizniewsky (2010) establece que: [...] La escuela en el medio rural es mucho más que un espacio de escolarización, es, en muchos casos, la referencia para la comunidad. Debe, entonces, contar con profesores que entiendan y valoren ese espacio.

El campo no es retraso, es historia vivida. La escuela del campo debe ser pensada para que sea viva, e interactúe con el lugar y sus sujetos. Para que la escuela del campo sea viva, debe ser construida por su comunidad, pensada para ayudar en el proceso de desarrollo social, para mantener la cultura, la raíz y la historia de aquel lugar. Esta escuela debe formar sujetos participantes y capaces de construir su propio camino, buscando sus derechos y luchando para ser ciudadanos del campo (Wizniewsky, 2010).

La educación del campo debe contribuir a la mejora constante de la vida y de la realidad de los pueblos del campo. Para ello es fundamental la aplicación de una educación basada en esta realidad. Es decir, se trata de construir una educación en la realidad de los pueblos del campo, comprometida con la transformación de las personas y del espacio en que están insertadas para satisfacer las necesidades de la comunidad.

La reflexión sobre la producción y el trabajo como principios educativos tiene en cuenta la discusión acerca de la reproducción del campesinado en el seno de la sociedad capitalista. En el proceso de lucha por la tierra, la posesión parcelaria es determinante en la territorialización de las relaciones sociales del campesinado. Día a día, la vida en el campo se va territorializando a partir de la reproducción de saberes y prácticas propias de la vida campesina.

La construcción de una lectura sobre el campesinado brasileño y la lucha por una educación que contemple los saberes, las prácticas y las experiencias de vida y luchas en el campo ha sido desarrollada por Arroyo y Fernandes (1999), Brandão (2002), Caldart (2004) y Souza (2006) entre otros. El mantenimiento de diferentes formas de producción y trabajo en la tierra campesina, la lucha por derechos y, aún, por una educación en el campo es parte constitutiva de la lucha por la

reforma agraria dinamizada en el seno de los movimientos sociales.

De acuerdo con Barrera (1992), en el estado de Ceará la acción de los movimientos sociales en el campo tuvo tradicionalmente el objetivo de luchar por derechos. El agravamiento de las condiciones de vida en el campo, trajo al interior de la lucha campesina la posibilidad de la organización social basada en la conciencia política y en la búsqueda de mejores condiciones de vida en el campo. Los asentamientos rurales están produciendo un nuevo perfil productivo en los municipios, en la organización social de la producción y de la familia, en las condiciones de vida y en la participación política local y regional. En este contexto no hay como negar la importancia de los movimientos sociales en la lucha por la tierra, agua, derechos, educación del campo, constituyéndose en un nuevo momento de la lucha política de los campesinos cearenses por la reforma agraria.

Para Caldart (2004), la educación es vista como un proceso de construcción de un proyecto de educación de los trabajadores y de las trabajadoras del campo, gestado desde el punto de vista de los campesinos y de la trayectoria de lucha de sus organizaciones. En la reflexión sobre la educación del campo Caldart (2004) llama la atención sobre las prácticas pedagógicas desarrolladas por el Movimiento de los Trabajadores Rurales Sin Tierra (MST) denominada Pedagogía del Movimiento. Ésta tiene por finalidad despertar en los hombres y mujeres del campo su identidad campesina y, también, mirar el campo como lugar de derechos sociales, civiles y políticos, reconociéndose como sujetos sociales capaces de construir sus propios destinos.

Souza (2006) destacó la importancia del MST en la lucha por una educación de respeto a los sujetos sociales del campo y de valorización sus saberes y luchas sociales, lo cual representó una acción educativa hecha con los campesinos y no para ellos.

De acuerdo con Fernandes *et al.* (2009), la educación del campo necesita ser una educación específica y diferenciada, es decir, alternativa. Pero sobre todo debe ser educación, en el sentido amplio de proceso de formación del hombre del campo, que fortalezca sus identidades culturales y políticas para la intervención de las personas y de los sujetos sociales, trayendo una educación más cercana a su realidad.

En la misma línea de pensamiento, Souza (2008) afirma que los movimientos sociales, sobre todo el MST “demandan del Estado iniciativas en el marco de la oferta de educación pública y de la formación de profesionales para trabajar en las escuelas localizadas en el campo”, así como políticas públicas para la población del campo. La valorización de las prácticas cotidianas y de trabajo en la escuela es el punto para el que converge parte de los textos analizados, especialmente cuando se investigó escuelas en campamentos y asentamientos del MST.

Estudio de caso en fortaleza, Ceará, Brasil

El área del estudio está situada en el municipio de Fortaleza, estado de Ceará, Brasil. El municipio se ubica en la Mesorregión Metropolitana de Fortaleza y en la Microrregión de Fortaleza. Tiene como límites el Océano Atlántico al norte; Maracanaú, Itaitinga y Pacatuba al sur; Caucaia al Oeste y Eusebio y Aquiraz al este. Con 314,930 km², Fortaleza es una de las menores capitales del país en área territorial. Es, además, la capital estatal brasileña más cercana al continente europeo y africano. El medio ambiente de Fortaleza tiene características similares a las de otras ciudades de litoral de Brasil. El clima es cálido, con una temperatura media anual de 26 °C.

La vegetación predominante de la región es de manglar y catinga. Su relieve es de llanura costera y de tableros pre-costeros. El territorio tiene una altitud media de 16 m. La metodología analizada en este estudio de la importancia de la educación del campo y los saberes campesinos cearenses, es de carácter ex-

ploratorio descriptivo, con estudios a partir de investigación documental, bibliográfica, análisis de contenido en internet para la búsqueda de datos, sobre la base de materias publicadas, consultas, investigación del campo y los artículos científicos, especialmente relacionados con la cuestión agraria y los saberes de los campesinos.

Principales resultados e implicaciones

La estrategia de los estudios de desarrollo local integrado reside en la integración de las oportunidades de trabajo y de renta no agrícola aliadas a las actividades agrícolas con el fin de fortalecer la agricultura familiar y contribuir a la mejora de la vida de la población, a través del modelo alternativo de la Vía Campesina. Para Desmarais (2007), el modelo alternativo de la Vía Campesina no es, por lo tanto, un rechazo de la modernidad o de la tecnología. Es una propuesta que une los aspectos tradicionales, locales, del saber campesino con el conocimiento de la tecnología donde y cuando las poblaciones consideren apropiado. La Vía Campesina busca un modelo que pueda unir la ciencia al conocimiento tradicional y mejorar las condiciones de vida de la población. El municipio de Fortaleza enfrenta adversidades ambientales como las sequías y lluvias erráticas, que están dificultando más las conducciones de producción agrícola. Para que haya un desarrollo sostenible de actividad es necesario que las concepciones y las prácticas sean contextualizadas ante la realidad en que incidirá el proceso de desarrollo sustentable, considerando sus diversas dimensiones: ambiental, económica, política, social y cultural.

CONCLUSIÓN

Con este estudio de caso en el municipio de Fortaleza, se destaca la necesidad de reconocer la importancia de la educación del campo y saberes de los campesinos, incluso practicando la agricultura tradicional con precario acceso a la tierra. Se denota la necesidad de un cambio asociado a las nuevas prácticas con los saberes tradicionales y cuidado con la tierra. La agricultura campesina se basa en el núcleo familiar, que se manifiesta en la toma de decisiones y en la construcción de nuevas prácticas como la economía solidaria, los patios productivos y ferias en las comunidades. El hombre del campo no necesita seguir un patrón de mercado sino satisfacer sus necesidades y crear nuevas posturas, prácticas, cambios que involucren sostenibilidad y saberes familiares que se reflejen en prácticas más exitosas en la comunidad local e incluso fuera de la comunidad. La educación contribuirá como elemento indispensable para el aumento de la calidad de vida de las poblaciones campesinas. Es necesario promover continuamente el debate, elemento necesario para el desarrollo de habilidades indispensables en la construcción del conocimiento. Tal debate debe ser capaz de integrar el saber científico con vivencias y experiencias elaboradas en el cotidiano de los pueblos del campo. Este desafío también debe considerarse para lograr un mejor entendimiento de los flujos de conocimientos, de las nuevas formas de abordaje y de las innovaciones relacionadas con la educación en el campo. La educación del campo constituye un instrumento fundamental para el desarrollo económico, social, cultural y político de sus protagonistas, y para la garantía de

los derechos básicos de ciudadanía y de libertad personal. La educación del campo es un instrumento de formación amplia, de lucha por los derechos de la ciudadanía y de la emancipación social, preparando a las personas y la sociedad campesinas a la responsabilidad de construir colectivamente, un nuevo proyecto de inclusión e igualdad social para un país y para el mundo. La educación campesina va dirigiendo al ser humano integral, englobando todas las dimensiones de su relación con el entorno.

LITERATURA CITADA

- Arroyo M.G.A. 2009. Educação Básica e o Movimento Social do Campo. *In*: Arroyo M.G., Caldart R.S., Molina M.C. (Org). Por uma educação do Campo. Petrópolis, RJ: Vozes.
- Barroso O. 2005. A arte e a cultura na construção da reforma agrária. Fortaleza: INCRA.
- Brandão M.L.P. 2002. Pelos caminhos rurais: cenários curriculares. Fortaleza: Imprensa Universitária. Fortaleza, Brasil.
- Caldart R.S. 2004. Pedagogia do Movimento Sem Terra. São Paulo: Expressão Popular.
- Caldart R.S. 2009. Educação do Campo: Notas para uma análise de percurso. *In*: Trabalho, Educação e Saúde. Vol. 7, No. 1. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Brasil.
- Desmarais A. 2007. La Via Campesina: globalization and the power of peasants. London: Pluto Press.
- Fernandes B.M., Cerioli P.R., Caldart R.S. 2009. Primeira Conferencia Nacional "Por uma educação básica do campo". Texto Preparatório Arroyo M.G., Caldart R.S., Molina M.C. (Org). Por uma Educação do Campo. 4 edição. Petrópolis, RJ: Vozes.
- Fernandes B.M., Molina M.C.O. 2005. Campo da Educação do Campo. *In*: Molina M.C., Jesus S.M.S.A. (Org.). Por uma educação do campo. Contribuições para a construção de um projeto de Educação do Campo. 2. Ed. Brasília: Articulação Nacional Por uma Educação do Campo. Brasília, Brasil.
- Fernandes B.M. 2012. Territórios da Educação do Campo. *In*: Antunes-Rocha M.I., Martins M.F.A., Martins A.A. (Org.). Territórios Educativos na Educação do Campo: Escola, comunidade e movimentos sociais. Coleção Caminhos da Educação do Campo. Vol. 5. Belo Horizonte: Autêntica.
- Friedmann H., McMichael P. 1987. Agriculture and the state system: the rise and fall of national agricultures, 1870 to the presente. *Sociologia Ruralis* 29: 93-117.
- Grisa C., Schneider S. 2015. Três gerações de políticas públicas para a agricultura familiar e formas de interação entre sociedade e Estado no Brasil. *In*: Políticas públicas de desenvolvimento rural no Brasil. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- Ickowitz A. 2006. Shifting cultivation and deforestation in tropical Africa: Critical reflections. *Development and Change* 37: 599-626.
- Kuhn T.S.A. 1987. Estrutura das revoluções científicas. São Paulo: Perspectiva.
- Kolling E.J., Nery I.J., Molina M.C. 1999. A Educação Básica e o Movimento Social do Campo, Coleção Por Uma Educação Básica do Campo No. 1, Brasília: UnB.
- Núñez I. 2006. Conocimiento Tecnoproductivo Campesino. Innovación y convivencia intercultural. *In*: Barrio Á.B.E. (Org.). Conocimiento Local, Comunicación e Interculturalidad. Recife: Massangana.
- Petersen P. 1997. Diagnóstico rápido e participativo da água na parcela: Algumas sugestões de caráter metodológico. Rio de Janeiro: AS-PTA
- Petersen P., Mussoi E.M., Soglio F. 2013. Institucionalización del enfoque agroecológico em Brasil: Avances y Desafios. *Agroecología* 8: 73-79.
- Quijano A. 2005. Colonialidade do Poder, Eurocentrismo e América Latina. *In*: Lander E. (Org.). A Colonialidade do Saber: Eurocentrismo e Ciências Sociais. 3. Ed. Buenos Aires: CLACSO.
- Santos M., Becker B.K. 2007. Território, Territórios: Ensaio sobre o ordenamento territorial. Rio de Janeiro: Lamparina.
- Souza M.A. 2006. Educação do campo: propostas e práticas pedagógicas do MST. Petrópolis, RJ: Vozes.
- Stedile J.P. 2011. A questão agrária no Brasil: O debate tradicional 1500-1960. São Paulo: Expressão Popular.
- Tilman V.M.A. 2012. Multifuncionalidade da Agricultura Familiar no contexto do desenvolvimento socioeconômico no Distrito de Bobonaro, em Timor-Leste. Dissertação de mestrado, Universidade de Évora.
- Wanderley M.N.B. 2010. A sociologia rural na América Latina: Produção de conhecimento e compromisso com a sociedade. *ALASRU Nueva Época* 5: 17-44.



FOTOGRAMETRÍA UAS DE LA DEGRADACIÓN ANTRÓPICA DE SUELO DE LA NANOCUENCA 9 LA MESA, ACAXOCHITLÁN, HIDALGO, MÉXICO

UAS PHOTOGRAMMETRY OF HUMAN-INDUCED SOIL DEGRADATION IN THE NANO-BASIN 9 LA MESA, ACAXOCHITLÁN, HIDALGO, MEXICO

Martínez-Torres, I.L.¹; Ojeda-Trejo, E.^{1*}; Martínez-Menes, M.R.¹; Cajuste-Bontemps, L.¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230.

*Autor de correspondencia: enriqueot@colpos.mx

RESUMEN

A diferencia de la fotogrametría tradicional, la técnica de fotogrametría a través de sistemas aéreos no tripulados (UAS), permite la generación rápida de información y su procesamiento. Debido a que en México una parte importante de la superficie presenta relieve irregular, la tecnología UAS cobra importancia para la cuantificación rápida y eficiente de zonas degradadas. En este trabajo se generó el ortomosaico y Modelo Digital de Superficie (MDS) con el objetivo de zonificar los tipos de degradación de suelo causada por el hombre modificada para la nanocuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán perteneciente a la subcuenca del Río San Marcos (RH27Cb) a través de fotogrametría UAS. Se encontró que la mayor superficie con degradación se ubica en uso de suelo agrícola y pastizal. También se comprobó que es posible definir con mayor detalle zonas con degradación, así como identificar procesos de cambio de uso de suelo a través de fotointerpretación de ortomosaicos georreferenciados.

Palabras clave: Erosión hídrica, fotointerpretación, sistemas aéreos no tripulados, dron, nanocuenca.

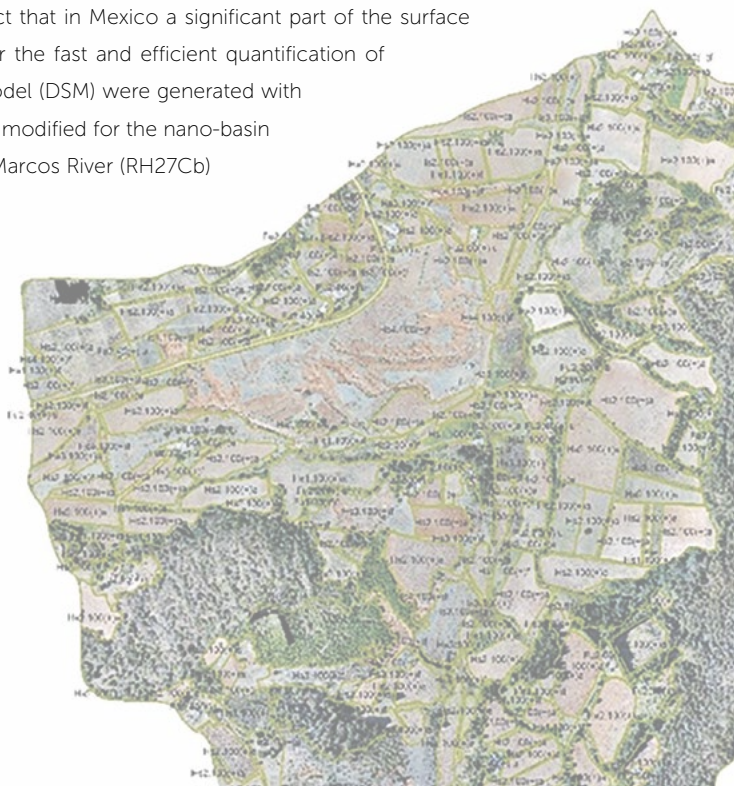
ABSTRACT

Unlike traditional photogrammetry, the technique of photogrammetry through unmanned aerial systems (UAS) allows the fast generation of information and its processing. Due to the fact that in Mexico a significant part of the surface presents irregular relief, the UAS technology becomes important for the fast and efficient quantification of degraded areas. In this study the orthomosaic and Digital Surface Model (DSM) were generated with the objective of zoning the types of human-induced soil degradation modified for the nano-basin 9 La Mesa, Acaxochitlán, which belongs to the sub-basin of the San Marcos River (RH27Cb) through UAS photogrammetry. It was found that the largest surface area with degradation is located in agricultural and grassland land use. It was also found that it is possible to define areas with degradation in greater detail, as well as to identify processes of land use change through photointerpretation of geo-referenced orthomosaics.

Keywords: Water erosion, photointerpretation, unmanned aerial systems, drone, nano-basin.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 4, abril. 2018. pp: 136-142.

Recibido: marzo, 2018. **Aceptado:** abril, 2018.



INTRODUCCIÓN

En temas de degradación de suelos y manejo integral del agua, se han realizado estudios en temas como monitoreo de erosión costera por medio de un sistema de control remoto de aviones (Casella *et al.*, 2016); monitoreo de la erosión de suelo de barrancas y tierras baldías en 2D y 3D en Marruecos (D' Oleire-Oltmanns *et al.*, 2012); estudios que prueban el impacto negativo de las medidas de nivelación de terrenos en el desarrollo de cárcavas (Peter *et al.*, 2014); o para determinar contenido de humedad superficial del suelo de la zona de raíces a través de tecnología de detección remota con imágenes multiespectrales de alta resolución (Hassan-Esfahani *et al.*, 2017), o para cuantificar los cambios en el paisaje resultante de los procesos de erosión y deposición de una cuenca a partir de la evaluación de una serie temporal de modelos de elevación digital (Schneider *et al.*, 2012), entre otros.

Los sistemas aéreos no tripulados (UAS) o comúnmente llamados drones se han utilizado en diversos estudios ambientales y agrícolas, entre otras aplicaciones de la ciencia y desarrollo tecnológico. El desarrollo de aviones de bajo peso, que normalmente están equipados con sistema de posicionamiento global (GPS) y unidad de medición inercial (IMU), permite la planificación de vuelo organizada. Por tanto, el monitoreo autónomo y frecuente del área es factible (Eltner *et al.*, 2015).

La utilización de estas tecnologías ayuda al monitoreo, vigilancia y cartografía de suelos debido a la resolución espacial y temporal que pueden alcanzar. Por ejemplo, la derivación de los Modelos Digitales del Terreno de alta resolución de fotografías aéreas de pequeño formato se considera un método valioso para la cuantificación de erosión (Betts *et al.*, 2003). Quédraogo *et al.* (2014) fueron los primeros en utilizar UAS en estudios de suelos, y observaron una cuenca hidrográfica bajo uso agrícola con una resolución de 1 m² y compararon los resultados con los datos de la exploración láser terrestre; la foto-

grametría UAS representa oportunidades prometedoras para la recogida de datos topográficos de alta densidad, de resolución fina, teniendo en cuenta la variabilidad micro-topográfico. De ahí que los parámetros hidrológicos que se derivan de los DEM de alta resolución podría permitir el análisis de micro topografía a nivel de cuenca. En este estudio se realizó una fotointerpretación de las zonas de erosión como medio para determinar con precisión las zonas más degradadas en la nanocuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, subcuenca del Río San Marcos (RH27Cb) generando con imágenes de alta resolución del UAS el orto mosaico y Modelo Digital de Superficie (MDS). Con estos datos se llevó a cabo una clasificación de la degradación del suelo causada por el hombre.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

La zona de estudio contempla la nanocuenca 9 la cual se ubica en los municipios de Cuauhtepic de Hinojosa y Acaxochitlán, estado de Hidalgo. Esta zona se extiende de los 20° 03' 40.84" a 20° 04' 47.56" de latitud norte y de 98° 13' 00.43" a 98° 13' 57.29" longitud oeste, cubre una superficie de 216.24 hectáreas, y cuyos suelos predominantes son Luvisol Húmico con Andosol Dístico (75.6%) y Regosol Éutrico con Leptosol Lítico (24.4%).

Levantamiento fotogramétrico

Para la realización del levantamiento fotogramétrico se ubicaron puntos de control terrestre con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de precisión, la cual se realizó con el GPS Promark 3 con la modalidad de medición estático con post-proceso, cuyo rastreo de satélites es de 14 canales independientes, código L1 y rastreo satelital WASS/EGNOS. Se colocaron 10 pun-

tos de control terrestre para ser utilizados en los softwares con el fin de georreferenciar las fotografías aéreas (Cuadro 1).

Se trazaron las rutas de vuelo mediante la aplicación Pix 4Dcapture versión 3.7.1, se elaboró el proyecto tipo malla de misión (Grid Mission), para mapas 2D, con 13 misiones para

Cuadro 1. Datos de puntos de control terrestre tomados en la Nanocuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

Número	X	Y	Z	Tipo
1	580776.97	2219921.3	2465.927	Fijo
2	580845.34	2220197.3	2446.997	movil
3	581215.08	2220215.2	2393.699	movil
4	581525.1	2220050.2	2465.071	movil
5	581355.8	2219722	2447.114	movil
6	581313.47	2219491.7	2439.723	movil
7	580404.75	2219708.5	2456.82	movil
8	580338.52	2219810.3	2484.906	movil
9	580698.74	2219096	2508.354	movil
10	581254.19	2219187.3	2463.334	movil

cubrir la zona de estudio, cada una a una altura de vuelo de 100 m, sobreposición entre líneas de vuelo de 75%, velocidad vertical de 5 m s^{-1} y velocidad horizontal de 9 m s^{-1} .

Para la adquisición de fotografías aéreas se utilizó un dron modelo Phantom 4 Pro de la marca DJI, el cual cuenta con un sistema de posicionamiento por satélite GPS/GLONASS, rótula de estabilización en 3 ejes (movimiento horizontal, vertical y rotación), un sistema de detección de obstáculos (0.2-7.0 m), portó una cámara con sensor 1" CMOS con una lente con campo de visión (FOV) 84° 8.8 mm (equivalente al formato 35 mm), el formato de las imágenes fue JPEG. Los vuelos se realizaron el día 21 de marzo de 2017 bajo condiciones atmosféricas adecuadas, esto es cielo despejado (sin nubosidad), velocidad de viento de 5.55 m s^{-1} (resistencia del dron a velocidad del viento máxima 10 m s^{-1}) y dentro del intervalo de temperatura de funcionamiento (0 a 40°C) (Cuadro 2).

Generación de ortomosaico y modelo digital de superficie

Las fotografías aéreas se procesaron con el software Pix4Dmapper Pro para generar el ortomosaico georreferenciado y modelo digital de superficie. El procedimiento fue: 1) Crear un nuevo proyecto, cargar fotografías, definir propiedades de imágenes (geolocalización y orientación) y de la cámara; 2) Definir plantilla de opciones de procesamiento (Mapas 3D); 3) Realizar proceso inicial: definir resolución de MDS y ortomosaico; 4) Introducir puntos de control terrestre (GCP) y reoptimizar; 5) Crear nube de puntos: definir escala de la imagen, densidad de puntos, número mínimo de emparejamiento, resolución de la

mall 3D con textura; 6) Ejecutar la clasificación de la nube de punto en terreno/objetos (Beta); y 7) Generar Modelo Digital de Superficie y ortomosaico.

De igual manera se realizó el procesamiento en el software Agisoft PhotoScan versión 1.2.6 para generar ortomosaico y modelo digital de superficie. El procedimiento fue: 1) Añadir fotografías al programa; 2) Orientar fotografías, alineación máxima y pre-emparejamiento: referencia (puntos de apoyo); 3) Crear nube de puntos densa, con filtración de mapas de profundidad: medio y agresivo; 4) Crear malla, bajo relieve/terreno, nube de puntos densa y resolución alta; 5) Agregar puntos de control, renombrar puntos e importar tabla (.CVS), calibrar mosaico y nube de puntos; 6) Definir sistema de coordenadas; 7) Optimizar; 8) Crear nube de puntos densa, con filtración de mapas de profundidad: media y agresivo; y 9) Clasificar nube de puntos densa.

Fotointerpretación y digitalización de zonas erosionadas

Para la fotointerpretación de zonas erosionadas se utilizó el ortomosaico georreferenciado generado por el software Pix 4Dmapper Pro, y se cargó al software Arc Gis 10.3 para su visualización y digitalización. Lo primero fue delimitar el uso de suelo, posteriormente para cada unidad se determinó el tipo de degradación de suelo causada por el hombre (SEMARNAT-COLPOS, 2012) mediante fotointerpretación del ortomosaico y apoyado en la información de recorridos de campo. La tasa de degradación tiene la siguiente estructura (cada elemento ejemplifica un parámetro):

$$Qd\ 2.50(+)\ a$$

Dónde: Q=tipo de degradación, d=subtipo, 2=grado, 50=porcentaje, (+)=tasa, a=causa

El tipo de degradación de suelo se determinó con base en el uso de suelo omitiendo el levantamiento fisiográfico, esto debido a la escala, dado que cada unidad de uso de suelo representa el 100% de determinado tipo de degradación, en la estructura de la fórmula de degradación el apartado

Cuadro 2. Variables climáticas de la estación Acaxochitlán, Hidalgo del día 21 de marzo de 2017.

Indicador	Valor
Precipitación (mm)	0
Temperatura máxima ($^\circ\text{C}$)	19.5
Temperatura mínima ($^\circ\text{C}$)	9.6
Temperatura media ($^\circ\text{C}$)	14.87
Velocidad del viento máxima (km h^{-1})	0.2
Dirección de velocidad del viento máxima (grados azimut)	348.1 (N)
Velocidad del viento (km h^{-1})	0.03
Dirección del viento (grados azimut)	43.00 (SE)
Radiación Global (w/m^2)	458.09
Humedad relativa (%)	36.44

Fuente: Red de estaciones climáticas Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP, 2017.

correspondiente a porcentaje se colocó "000". Para el resto de la fórmula se utilizaron los parámetros establecidos (Cuadro 3 y Cuadro 4).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se generaron dos ortomosaico con los softwares Pix 4Dmapper Pro y Agisoft PhotoScan encontrándose di-

ferencias en resolución, lo cual fue notario visualmente. La calidad del producto generado con el software Pix 4D resultó ser de mejor calidad que Agisoft al aumentar el zoom de la imagen en el software Arc Gis 10.3, lo que facilitó digitalización de usos de suelo y tipos de degradación, por lo que se trabajó con este último producto generado.

Cuadro 3. Grado de clasificación de degradación de suelo causada por el hombre.

Grado	Nombre	Descripción	Grado	Nombre	Descripción
1	Ligero	Presentan alguna reducción apenas perceptible en su productividad	3	Fuerte	Se requieren grandes trabajos de ingeniería para su restauración
2	Moderado	Con una marcada en su productividad	4	Extremo	Terrenos irrecuperables

Cuadro 4. Parámetros de clasificación de degradación de suelo causada por el hombre.

Tipo		Causa	
H	Erosión hídrica	a	Actividades agrícolas
E	Erosión eólica	f	Deforestación
Q	Degradación química	e	Sobreexplotación de la vegetación para consumo
F	Degradación física	g	Sobrepastoreo
Grado		i	Actividades industriales
1	Ligero	u	urbanización
2	Moderado	Tasa	
3	Fuerte	+	Activa
4	Extremo	0	Sin cambios
0 - 100%	Extensión de la degradación	-	Recuperación
Subtipo		Otros tipos	
Hs	Pérdida de suelo superficial	Terrenos estables	
Hc	Deformación del terreno (lineal o movimientos en masa)	SN	Natural
Ha	Efectos fuera de sitio	SH	Por el hombre (áreas reforestadas, terrazas etc.)
Es	Pérdida de suelo superficial		
Ed	Deformación del terreno		
Et	Efectos fuera de sitio		
Qd	Declinación de la fertilidad	NUd	Terrenos sin uso
Qp	Polución		
Qs	Salinización/alcalinización	Nud	Desiertos
Qa	Acidificación	NUm	Regiones áridas montañosas
Qe	Eutroficación		
Fc	Compactación		
Fe	Encostramientos	NUr	Afloramientos rocosos
Fa	Anegamientos		
Fu	Pérdida de la función productiva		
Fh	Hundimiento de suelos	NUc	Dunas costeras
Fd	Disponibilidad de agua	NUz	Planicies salinas

Se encontró error en ambos ortomosaicos generados, gracias al Software Pix 4Dmapper Pro donde al procesar la nube de puntos de las 4996 fotografías obtenidas de los vuelos 88 fotografías no fueron geo posicionadas (cámaras no calibradas) por lo que el software extrapoló información automáticamente para generar el modelo digital de superficie y para el ortomosaico no generó información en esta zona. Estas fotografías correspondieron a zonas boscosas por lo que se perdió información georreferenciada en campo y el correcto emparejamiento de imágenes. Lo anterior se intentó corregir con calibración manual, lo que implicó realizar el emparejamiento con imágenes vecinas, por medio de la ubicación de puntos de georreferencia en imágenes contiguas, lo que resultó imposible debido a que correspondían a zonas boscosas (fotografías relativamente homogéneas). Debido a que el objetivo del proyecto fue tener como unidad de estudio los usos de suelo, el problema de georreferencia y pérdida de información en un solo tipo de uso (bosque) no fue relevante.

El uso de suelo predominante en la microcuenca fue agrícola (32.7%), seguido del forestal con bosque de pino y encino (31.3%). Este primer uso de suelo es el que presenta mayor fragmentación y dispersión con 165 polígonos del total de la nanocuenca (318 unidades). Por otra parte, se observaron transiciones de cambio de uso de suelo y vegetación de pastizal a otro tipo de uso de suelo (5.5%), sobre todo para uso forestal (4.8% para reforestación) (Cuadro 5 y Figura 1).

El tipo de degradación de suelo causada por el hombre se interpretó de manera distinta, para lo cual no se consideró el porcentaje de degradación (superficie del polígono), sino el uso de suelo del mismo, con lo que se obtuvo: degradación física por pérdida de la función productiva (Fu1) en zonas de vegetación secundaria, con grado ligero (1), moderado (2) y fuerte (3), donde las cau-

sas fueron deforestación y urbanización (f, u respectivamente); erosión hídrica con efectos fuera de sitio (Ha) (2.35 ha) en pastizal; erosión hídrica con deformación del terreno (Hc) (2.51 ha); erosión hídrica con pérdida de suelo superficial (Hs1) (6.51 ha) en terrenos con pastizal y pastizal – agrícola con grado ligero, que presentan una reducción apenas perceptible en su productividad; erosión hídrica con pérdida de suelo superficial (Hs2) que presenta las mismas características a excepción de que el grado de afectación es moderado con una marcada reducción en su productividad (79.75 ha), donde la causa principal es debido a actividades agrícolas (a) con uso agrícola en mayor proporción, en este mismo

tipo (Hs3); erosión hídrica con pérdida de suelo superficial con grado fuerte, con zonas que requieren grandes trabajos de ingeniería para su restauración y mismo tipo de degradación pero con grado extremo (Hs4) que consiste en terrenos irrecuperables (11.37 ha); finalmente terrenos estables con vegetación natural (SN) (67.58 ha) y terrenos estables por el hombre esto es zonas reforestadas (SH) (0.13 ha) (Cuadro 6).

La metodología Degradación de Suelo Causada por el Hombre utiliza

como base las unidades de tierra (sistema terrestre) definidas por el levantamiento fisiográfico (Ortiz y Cuatrecasas, 1978), las cuales no siempre corresponden con el uso de suelo. Si bien el método fue diseñado para abarcar grandes zonas a pequeñas escalas (SEMARNAT – CP, 2002), con un análisis de lo general a lo particular, se ve limitado al trabajar en zonas pequeñas a escala grande, donde observar las transiciones de uso es fundamental para conocer la dinámica tendencial del territorio en términos de degradación de suelo. Finalmente ubicar el tipo de degradación de manera precisa permite plantear prácticas de manejo u obras adecuadas al uso de suelo o bien en situaciones de interés proponer el cambio de uso de suelo de acuerdo a la aptitud del mismo.

Cuadro 5. Uso de suelo y vegetación de la nanocuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

Uso de suelo y vegetación	Superficie	
	ha	%
Agrícola	70.73	32.7
Agrícola - pastizal	2.16	1.0
Agrícola - vegetación secundaria	0.36	0.2
Bosque pino - encino	67.58	31.3
Bosque (reforestación)	0.13	0.1
Cárcava	13.74	6.4
Pastizal	20.27	9.4
Pastizal - agrícola	0.36	0.2
Pastizal - reforestación	10.44	4.8
Pastizal - Urbano	0.45	0.2
Pastizal - vegetación secundaria	0.66	0.3
Urbano	9.56	4.4
Vegetación secundaria	2.53	1.2
Otro (caminos y linderos)	17.20	8.0
Total	216.24	100.0

Cuadro 6. Tipo de degradación de suelo causada por el hombre de la nanocuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

Tipo de degradación		Superficie (ha)	Tipo de vegetación o uso de suelo
Clave	Descripción		
Fu1.000(+) f	Degradación física por pérdida de la función productiva con grado ligero, tasa activa causada por deforestación	0.29	Vegetación secundaria
Fu2.000(+) u	Degradación física por pérdida de la función productiva con grado moderado, tasa activa por causa de urbanización	9.57	Urbano
Fu2.000(+) f	Degradación física por pérdida de la función productiva con grado moderado, tasa activa por causada por deforestación	2.11	Vegetación secundaria
Fu3.000(+) f	Degradación física por pérdida de la función productiva con grado fuerte, tasa activa, causado por deforestación	0.14	Vegetación secundaria
Ha2.000(+) f	Erosión hídrica con efectos fuera de sitio con grado moderado, tasa activa, causada por deforestación	0.41	Pastizal
Ha3.000(+) f	Erosión hídrica con efectos fuera de sitio con grado moderado, tasa activa, causada por deforestación	1.95	Pastizal
Hc4.000(+) f	Erosión hídrica con deformación del terreno con grado extremo, tasa activa, causada por deforestación	2.51	Cárcava
Hs1.000(+) a	Erosión hídrica con deformación del terreno con grado ligero, tasa activa, causada por actividades agrícolas	2.38	Pastizal - agrícola
Hs1.000(+) f	Erosión hídrica con deformación del terreno con grado ligero, tasa activa, causada por deforestación	4.13	Pastizal
Hs2.000(+) a	Erosión hídrica con deformación del terreno con grado moderado, tasa activa, causada por actividades agrícolas	72.03	Agrícola
Hs2.000(+) u	Erosión hídrica con deformación del terreno con grado moderado, tasa activa, causada por urbanización	0.45	Pastizal - urbano
Hs2.000(+) f	Erosión hídrica con deformación del terreno con grado moderado, tasa activa, causada por deforestación	7.27	Pastizal, pastizal - reforestación y pastizal - vegetación secundaria
Hs3.000(+) a	Erosión hídrica con deformación del terreno con grado fuerte, tasa activa, causada por actividades agrícolas	1.96	Agrícola, Agrícola - pastizal
Hs3.000(+) f	Erosión hídrica con deformación del terreno con grado fuerte, tasa activa, causada por deforestación	14.74	Pastizal, Pastizal - reforestación
Hs4.000(+) f	Erosión hídrica con deformación del terreno con grado extremo, tasa activa, causada por deforestación	11.37	Pastizal, cárcava
SH	Terreno estable por reforestación	0.13	Reforestación
SN	Terreno estable por vegetación natural	67.59	Bosque pino - encino
		17.21	Otro (caminos y linderos)
Total		216.24	

**Figura 1.** Ortofoto y resultados de uso de suelo (izquierda) y degradación de suelo (derecha) de la nanocuenca 9 La Mesa, Acaxochitlán, Hidalgo.

CONCLUSIONES

La metodología de degradación de suelo causada por el hombre permite de manera rápida hacer una valoración sobre las condiciones de degradación de un determinado ecosistema, uso de suelo o vegetación, lo que se traduce en la obtención de información de calidad para realizar toma de decisiones sobre que prácticas u obras realizar en determinado sitio. Por otra parte, la obtención de imágenes georreferenciadas con dron para realizar esta valoración de degradación con la metodología permitió la obtención de información rápida y detallada sobre todo a zonas de difícil acceso y prácticamente a toda la microcuenca en un lapso de tiempo máximo de 4 a 5 horas (tiempo de vuelo incluido en traslado a sitios). En esta investigación el trabajo de campo fue de un día (horas luz), que abarcó la toma de puntos de control con GPS de precisión y el vuelo con dron, aunque la digitalización de información fue la etapa más tardada del proceso (debido al detalle de trabajo). Si bien el uso del dron solo trata de una herramienta tecnológica para acelerar y facilitar el trabajo, su manejo permite el monitoreo continuo de la zona de estudio.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo para la realización de estudios de maestría y a IGA Ingeniería Geoespacial Aplicada S.A. de C.V. por facilitar el uso del Vehículo Aéreo No Tripulado y equipo para el procesamiento de información.

LITERATURA CITADA

- Betts H.D, Trustrum N.A., De Rose R.C. 2003. Geomorphic changes in a complex gully system measured from sequential digital elevation models, and implications for management. *Earth Surf. Proc. Land*. 28: 1043-1058.
- Casella E., Rovere A., Pedrocini A., Stark C.P., Casella M., Ferrarl M., Firpo M. 2016. Drones as tools for monitoring beach topography changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Geo-Mar. Lett.* 36: 152-163.
- D´Oleire-Oltmanns S., Marzolf I., Peter K.D., Ries J.B. 2012. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco. *Remote Sens.* 4: 3390-3416.
- Eltner A., Schneider D. 2015. Analysis of Different Methods for 3D Reconstruction of Natural Surfaces from Parallel-Axes UAV Images. *Photogram. Rec.* 30: 279-299.
- Hassan-Esfahani L., Torres-Rua A., Jensen A., Mckee, M. 2017. Spatil Root Zone Soil Water Content Estimation in Agriculture Visual, NIR, and Thermal Imagery. *Irrig. Drain.* 66: 273-288.
- INIFAP. 2017. Red de estaciones climáticas. Datos diarios de Estación Acaxochitlán. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Disponible en línea: <http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/Estaciones>
- Peter K.D., d'Oleire – Oltmanns S., Ries J.B., Marzolf I., Hssaine A.A. 2014. Soil erosion in gully catchments affected by land-levelling measures in the Souss Basin, Morocco, analysed by rainfall simulation and UAV remote sensing data. *CATENA*. 113: 24-40.
- Schneider A., Gerke H.H., Maurer T., Seifert S., Nenov R., Hüttl R.F. 2012. Evaluation of remotely-sensed DEMs and modification base on plausibility rules and initial sediment budgets of an artificially – created catchment. *Earth Surf. Proc. Land*. 37: 708-725.
- SEMARNAT-Colegio de Posgraduados. 2002. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional, SEMARNAT-Colegio de Posgraduados.
- Ortiz S.A., Cuanalo C.E. 1978. Metodología del levantamiento fisiográfico. Un sistema de clasificación de tierras. Colegio de Posgraduados de Chapingo, México.
- Quédraogo M.M., Degré A., Debouche C., Lisein J. 2014. The evaluation of unmanned aerial System- based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds. *Geomorphol.* 214: 339-355.



CURSO INTERNACIONAL

AUTOMATIZACIÓN Y USO DE **BIORREACTORES** PARA LA **MICROPROPAGACIÓN COMERCIAL DE PLANTAS**

Embriogénesis somática: desafíos y oportunidades

DEL 11 AL 14 DE SEPTIEMBRE DE 2018

DURACIÓN: 30 horas • TIPO: Teórico-Práctico

SEDE:

Colegio de Postgraduados | Campus Córdoba

**Costo por participante
\$ 7,000.00 M.N.**

**Estudiantes
\$3,500.00 M.N.**



INFORMES:

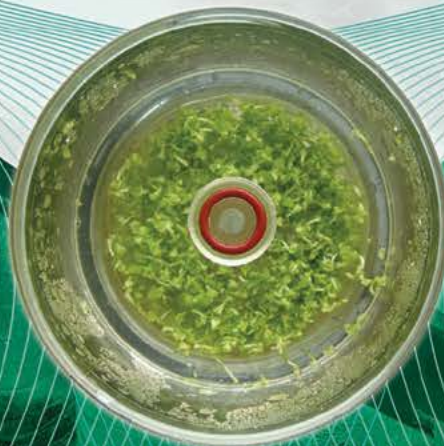
Dr. Fernando C. Gómez Merino • Dr. Jericó J. Bello Bello

**Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba
Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348,
Amatlán de los Reyes, Veracruz, C.P. 94946, México**

Correo: cursobiorreactores@gmail.com

Tel: (+52) 01 271 71 6 60 55 y 00

Móvil: 271 105 85 06



**Laboratorio de Cultivo
de Tejidos Vegetales**

1ª. CONFERENCIA NACIONAL SOBRE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE FAUNA SILVESTRE

ANFIBIOS / REPTILES / AVES / MAMÍFEROS
AMENAZAS Y OPORTUNIDADES PARA LA BIODIVERSIDAD

Encuentro de Profesionistas, Manejadores,
Estudiantes y Público en General interesados en
el Manejo y Conservación de la Fauna Silvestre

**13-16
noviembre
de 2018**

Centro de Convenciones
San Luis Potosí

Unidad de Posgrados e
investigación
Universidad
Autónoma de
San Luis Potosí

INFORMES:

<http://www.conferenciafaunasilvestre.com>
informacion@conferenciafaunasilvestre.com



COMITÉ EJECUTIVO

Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula - Presidente
(Colegio de Postgraduados, Campus SLP)

Dr. Raúl Valdez - Vicepresidente
(New Mexico State University)

Dr. César Posadas Leal - Secretario
(Universidad Autónoma de San Luis Potosí)



INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

PROGRAMA DE MAETRÍA EN CIENCIAS

Objetivo

Formar talento humano con conocimiento de vanguardia en los procesos de producción, transformación y comercialización, que cuenten con habilidades y actitudes pertinentes, que les permitan contribuir al desarrollo e innovación tecnológica, socioeconómica y ambiental de los sistemas agroalimentarios, bajo una perspectiva sustentable.

Perfil de ingreso

El aspirante a la Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable debe tener estudios concluidos de licenciatura o ingeniería en las áreas de agronomía, biología, veterinaria, agroindustria, alimentos, química, maquinaria, estadística, economía, psicología, sociología, administración y carreras afines.



Lineas del Conocimiento (LGAC)

Las líneas de investigación del programa de Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable se dividen en tres ejes principales:

1 Eficiencia y sustentabilidad en la producción primaria en sistemas agroalimentarios

2 Innovación y desarrollo de procesos agroalimentarios para el bienestar social

3 Comercialización y competitividad agroalimentaria con responsabilidad social y ambiental



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Programa Nacional de
Posgrados de Calidad (PNPC)

Becas

Contamos con becas del Programa Nacional de Posgrado de Calidad (PNPC) del CONACYT

Informes

Subdirección de Educación del
Campus Córdoba
☎ 01(271) 716 60 00 / 57 / 55 Ext. 114
✉ admission_cordoba@colpos.mx

Los requisitos de ingreso y formatos de admisión pueden ser obtenidos en la página web oficial
www.colpos.mx/posgrado/ias/index.php
www.colpos.mx

📘 Colegio de Postgraduados Campus Córdoba
📌 Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable
✉ mcinnovaciones@colpos.mx
📍 Colegio de Postgraduados / Campus Córdoba
km 348 / Carr. Federal Córdoba-Veracruz
Amatlán de Los Reyes, Ver. / CP 94946