
Ciencia, Tecnología y Salud

Universidad de San Carlos de Guatemala

ISSN: 2409-3459

Volumen 2 Número 2

julio / diciembre 2015

Artículos Científicos

Artículos de Revisión

Ensayos Científicos

Reseñas

Reporte de Casos



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



**Dirección General
de Investigación**
Universidad de San Carlos de Guatemala



Sistema de Estudios de Postgrado

Revista de Investigación y Postgrado
Guatemala, Centroamérica

Ciencia, Tecnología y Salud es una publicación de la Dirección General de Investigación (DIGI), con la colaboración del Sistema de Estudios de Postgrado (SEP), de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). Está orientada a divulgar investigaciones originales en las áreas de ciencias, tecnologías y salud humana y animal. Constituye una publicación en formato digital Open Journal System (OJS) en línea, y semestral en forma impresa. Los manuscritos aceptados para publicación son sometidos a procesos de revisión y arbitraje por pares, lo que garantiza al lector y autores un alto nivel y rigor académico.

500

C569 Ciencia, Tecnología y Salud / Dirección General de Investigación, Sistema de Estudios de Postgrado. - - Vol. 2, no. 2. (jul./dic. 2015).
-- Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, DIGI, SEP, Unidad de Publicaciones y Divulgación, 2015.
v. : il. ; 27 cm.

Semestral

ISSN impreso: 2409-3459

ISSN electrónico: 2410-6356

Disponible en: <http://digi.usac.edu.gt/ojsrevistas>

1. Alimentación 2. Agronomía 3. Biología 4. Conservación de los recursos naturales
5. Física 6. Industrias 7. Matemática 8. Medicina 9. Medio ambiente natural
10. Recursos naturales 11. Salud pública 12. Química I. Dirección General de Investigación II. Sistema de Estudios de Postgrado

Universidad de San Carlos de Guatemala

Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

Rector

Carlos Enrique Camey Rodas

Secretario General

Gerardo Leonel Arroyo Catalán

Director General de Investigación, DIGI

Julio Rufino Salazar Pérez

Coordinador General de Programas, DIGI

Julio César Díaz Argueta

Coordinador General, SEP

La correspondencia debe ser dirigida a:

Armando Cáceres Estrada

Edificio S-11, 3^{er}. Nivel, Ciudad Universitaria, Zona 12

Teléfono: 2418 7950

Correo: cts@digi.usac.edu.gt



Fotografía de portada: Osberth Morales.

Descripción de la fotografía de portada: *Lepista nuda* (Bull.) Cooke, Panq'oq' (idioma Kaqchikel), Xew (idioma Mam), tomada el 19 de julio de 2012.

La reproducción total o parcial del contenido e imágenes de esta publicación se rige de acuerdo a normas internacionales sobre protección a los derechos de autor, con criterio especificados en la licencia Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Vol. 2 Num. 2 jul/dic. 2015

Directorio / Board-Staff

Director de la revista

Gerardo Leonel Arroyo Catalán
Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Editor en jefe

Armando Cáceres Estrada
Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Co-editores y Asistente

Augusto Saúl Guerra Gutiérrez
Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

María del Rosario Godínez y Godínez
Sistema de Estudios de Postgrado, Usac, Guatemala

Andrea Eunice Rodas Morán
Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala
Asistente de Editores

Comité Editorial

Julio Rufino Salazar Pérez
Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Carlos Enrique Acevedo González
Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Liuba María Cabrera Ovalle de Villagrán
Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Sarah Foss
Department of History, Indiana University, United States of America

Dennis Guerra-Centeno
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Usac, Guatemala

Hugo Roberto Muñoz Roldan
Facultad de Odontología, Usac, Guatemala

Oscar Federico Nave
Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Hilda Elena Valencia Marroquín de Abril
Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Patricia Velez-Moller
Facultad de Ciencias Médicas, Usac, Guatemala

Consejo Editorial

Freddy Araya Rodríguez
Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo,
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

Carolina Arévalo Valdéz
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Usac,
Guatemala

Rodolfo Espinosa
R.E. Ingeniería, Guatemala

Heisler Gómez Méndez
Universidad Federal de Lavras, Brasil

Eduardo López Bastida
Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Cuba

María Carlota Monroy
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Usac, Guatemala

Enrique Pazos
Escuela de Física y Matemáticas, Usac, Guatemala

Eduardo Rubio
Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Igor Iván Slowing Umaña
Iowa State University, United States of America

Unidad de Publicaciones y Divulgación

Marlene Pawlova Pérez Muñoz
Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Mynor Alexander Alegria Monterroso
Diseñador gráfico, Guatemala

Asesores de edición

Dara Sucel Higueros Pellecer
Bibliotecóloga (Normalización documental)

José David Marroquín
Asesor filológico, Guatemala

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Vol. 2 Num. 2 jul/dic. 2015

Contenido / Contents

| | |
|--|-----|
| Editorial / Editorial | 93 |
| Artículos Científicos / Scientific Articles | |
| Caracterización <i>in vitro</i> y producción de inóculo de cepas guatemaltecas de <i>Lepista nuda</i> (Bull.: Fr.) Cooke | |
| <i>Characterization and spawn production of Guatemalan strains of <i>Lepista nuda</i> (Bull. : Fr.) Cooke</i> | |
| Maria del Carmen Bran, Roberto Cáceres, Natalia Gurriarán, Osberth Morales, Roberto Flores..... | 95 |
| Características <i>in situ</i> y de propagación de seis especies arbustivas utilizadas como plantas nodrizas en la región occidental de Guatemala | |
| <i>In situ features and propagation of six shrub used as plants nurses in western Guatemala</i> | |
| José V. Martínez-Arévalo | 105 |
| Actividad antioxidante de extractos de diez basidiomicetos comestibles en Guatemala | |
| <i>Antioxidant activity of extracts of ten edible basidiomycetes in Guatemala</i> | |
| Karen Belloso, Ivonne González, Rebeca Suárez, Armando Cáceres..... | 119 |
| Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atitlán | |
| <i>Determination of arsenic and mercury levels in superficial water of Atitlán lake</i> | |
| Francisco Pérez Sabino, Balmore Valladares Jovel, Elisandra Hernández, Bessie Oliva, Marta Del Cid, Pedro Jayes Reyes... | 127 |
| Prevalencia de <i>Helicobacter pylori</i> en un grupo de pacientes pediátricos infectados por el virus de la inmunodeficiencia humana | |
| <i>Prevalence of <i>Helicobacter pylori</i> in a sample of pediatric patients infected by Human Immunodeficiency Virus</i> | |
| Julio Luarca, Fabio Parada, Oscar Osorio, Julio Linares, Franco Pezzarossi, Ana Orantes, Guido Andretta, Andrea Sandoval, Lashly Méndez, Fernando Gutiérrez, Luis Fernández, Wendoly Munguia | 135 |
| Actividad hipotriglicéridémica de un extracto de rosa de Jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) al administrarse antes y durante las comidas | |
| <i>Hypotriglyceridemic activity of <i>Hibiscus</i> (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) extract administered before and after meals</i> | |
| Rodrigo Castañeda, Sully M. Cruz, Armando Cáceres | 141 |
| Ensayos Científicos / Scientific Essay | |
| Los modelos de conservación biológica divergente y convergente: Una mirada desde las perspectivas de la ecología del paisaje y la teoría de metapoblaciones | |
| <i>Land-sparing and land-sharing: A look from the perspectives of landscape ecology and metapopulation theory</i> | |
| Cristian Kraker-Castañeda, Lorena Soto-Pinto..... | 149 |
| Instrucciones para autores | |
| <i>Instructions for authors</i> | 157 |
| Revisores de este número | |
| <i>Reviewers of this issue</i> | 159 |

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Vol. 2 Num. 2 jul/dic. 2015

Editorial / Editorial

Nos complace presentar a la comunidad científica internacional, el segundo número del segundo volumen de la revista arbitrada *Ciencia, Tecnología y Salud* (CTS). En este volumen se incluyen investigaciones originales que aportan datos de interés para la docencia universitaria y el desarrollo social. Nos satisface comunicar a nuestros lectores, que a partir de este número la revista es indexada, pues se encuentra en el catálogo del Sistema Regional de Información en línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, del Centro de Acopio Latindex-Guatemala. Investigar es ir tras la verdad, y aunque la búsqueda de la verdad es infinita, es la ciencia con su riguroso método, la que más se aproxima a ella. La verdad a ciencia cierta, dependerá de la dosis de crítica arbitrada que se aplique a los resultados, previo a su comunicación.

La temática central de este número, es sobre macrohongos. Maria del Carmen Bran y colaboradores, exponen la reproducción *in vitro* de uno de los hongos silvestres comestibles de Guatemala, un alimento ancestral de una etnia indígena guatemalteca. El hongo investigado es un alimento natural de exquisito sabor y muy apreciado en Europa. En este primer artículo de hongos, se valora la biodiversidad alimentaria de Guatemala, y en él los investigadores abordan el método para la reproducción de cepas de *Lepista nuda* (Bull.: Fr.) Cooke, evaluando la producción de biomasa en tres sustratos diferentes. En el tercer artículo, Karen Belloso y colaboradores, evaluaron la actividad antioxidante de extractos de diez basidiomicetos comestibles de Guatemala, y exponen resultados interesantes para prevenir el daño oxidativo en el cuerpo humano, particularmente por *Boletus edulis* Bull.

En el segundo artículo, el investigador José Vicente Martínez-Arévalo aborda el tema de restauración ecológica utilizando plantas nodrizas. El investigador evaluó características reproductivas in situ de seis es-

pecies, como elementos acompañantes para la propagación vegetativa de plantas nodrizas. En este estudio se determinó el comportamiento de las especies con variantes de temperatura y altimetría, y correlacionando la preferencia de hábitat en las cercanías de los parches de bosque de *Abies guatemalensis* Rehder.

En el cuarto artículo, Francisco Pérez-Sabino y colaboradores, determinan la presencia de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atitlán. En este artículo se exponen la correlación entre los elementos estudiados; los afluentes tributarios y la actividad hidrogeológica de la cuenca, demostrándose que en algunos lugares el contenido de arsénico es superior al nivel máximo permitido para agua potable en las normas respectivas.

Julio Luarca y colaboradores, estudiaron la prevalencia de *Helicobacter pylori* en un grupo de pacientes pediátricos infectados por el virus de la inmunodeficiencia humana. Entre sus hallazgos describen la prevalencia de la bacteria por grupo etario y proponen la realización de un estudio metacéntrico para conocer la realidad del problema en esta población específica.

Rodrigo Castañeda y colaboradores, investigaron la actividad hipotrigliceridémica de un extracto acuoso de rosa de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) al administrarse antes y durante las comidas en trabajadores universitarios con niveles elevados de triglicéridos. En los resultados, los investigadores exponen el efecto significativo de la especie en la reducción de triglicéridos y proponen que su consumo óptimo debe ser antes de las comidas.

Finalmente, Cristian Kraker-Castañeda y Lorena Soto-Pinto en un valioso ensayo sobre agrosistemática, aportan elementos importantes de la ecología del paisaje y la teoría de metapoblaciones como una alternativa para un enfoque de ecosistemas dinámicos con implicaciones de conservación.

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Vol. 2 Num. 2 jul/dic. 2015

Editorial / Editorial

Las revistas científicas viven y se nutren por el aporte de los investigadores. Hacer y comunicar ciencia es un proceso de perfeccionamiento continuo, es una cultura permanente; en consecuencia, invitamos a los

investigadores académicos a publicar en nuestra revista para dar difusión y visibilidad a sus investigaciones. Los comentarios al contenido de los artículos o al formato de la revista son bienvenidos.

Caracterización *in vitro* y producción de inóculo de cepas guatemaltecas de *Lepista nuda* (Bull.: Fr.) Cooke

Maria del Carmen Bran*, Roberto Cáceres, Natalia Gurriarán, Osberth Morales, Roberto Flores

Departamento de Microbiología, Escuela de Química Biológica,
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

*Autor al que se dirige la correspondencia: mdcbran@yahoo.com

Recibido: 02 de julio 2015 / Revisión: 01 de septiembre 2015 / Aceptado: 04 de noviembre 2015 / Disponible en línea: 16 de noviembre 2015

Resumen

Lepista nuda es un hongo comestible muy apreciado por su delicado sabor, especialmente en varios países de Europa. En Guatemala, lo consumen personas de las etnias kaqchikel y mam, por lo que constituye un alimento ancestral que puede aprovecharse como una alternativa alimenticia y económica. Por tal razón, en este estudio se investigaron cinco cepas nativas de *L. nuda* y se evaluó su crecimiento *in vitro* en tres medios de cultivo (agar extracto de malta -AEM-, agar papa dextrosa -APD- y agar Sabouraud -SAB-) a dos temperaturas (18 y 26°C), así como la producción de inóculo en granos de trigo, cebada y sorgo. Se determinó que el medio más adecuado para el crecimiento micelial de las cepas fue AEM incubado a 26°C. Todas las cepas presentaron colonias de color blanco a lila, textura algodonosa, bordes irregulares, con hifas de 1 a 4 µm y fibulas en regular cantidad a abundantes en todos los medios evaluados. En la producción de inóculo, las cepas presentaron mayor velocidad de colonización en los granos de trigo. Se recomienda utilizar AEM para la producción de biomasa y granos de trigo para la producción de inóculo de las cepas evaluadas.

Palabras claves: Hongos comestibles, cultivo de hongos comestibles

Abstract

Lepista nuda is an edible mushroom highly appreciated for its delicate flavor particularly in several European countries. In Guatemala is used by people of kaqchikel and mam ethnic groups and constituting an ancient food that can be used for economic and nutritional alternatives for the country. For this reason, five native strains of *L. nuda* were studied *in vitro* in three culture media (malt extract agar -AEM-, potato dextrose agar -APD- and Sabouraud agar -SAB-) at two different temperatures (18 and 26°C). The spawn production where evaluated in wheat, barley and sorghum grains. The most appropriate medium for the mycelial growth of the strains was AEM incubated at 26°C. All strains showed colonies white to lilac, cottony texture, irregular edges, with hyphae of 1 to 4 µm, and moderate to abundant quantity of clamp connections in all media tested. In the spawn production, the strains showed faster colonization in wheat grains. It is recommend the medium AEM for the production of biomass and wheat grain for spawn production for the strains tested.

Keywords: Edible mushrooms, edible mushrooms culture



Introducción

Lepista nuda (Bull.: Fr.) Cooke es un hongo comestible que presenta importantes cualidades organolépticas que incluyen un delicado sabor, lo cual lo hace una especie muy apreciada en Europa (Pinto, Barros, Sousa, & Ferreira, 2013). En Guatemala es una especie comestible utilizada por personas de la etnia kaqchikel que habitan los municipios de Comalapa, San Martín Jilotepeque y Tecpán, Chimaltenango, donde se le conoce como *Panq'oq'* (Bran, Morales, Cáceres, & Flores, 2003; Bran et al., 2003; Morales, Bran, & Cáceres, 2010). También se le conoce en el municipio de Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, donde los habitantes de la etnia mam se refieren a ella como *Xew* (Flores et al., 2002).

El origen del cultivo de este hongo proviene de Francia y Holanda y aunque se ha realizado una gran labor para cultivarla, se han presentado algunas complicaciones debido a su largo y lento ciclo de vida (Castro, Moreno, García, & Ortiz, 2014). Se han realizado diversos estudios para conocer las características de su cultivo. En México se evaluó el crecimiento micelial de cuatro cepas de *L. nuda* en diferentes medios de cultivo y suplementos orgánicos (Gaitán-Hernández & Baéz, 2008).

En Guatemala se han aislado varias cepas de *L. nuda*, sin embargo es necesario conocer los parámetros de crecimiento *in vitro* de las cepas recolectadas en diversas localidades donde tradicionalmente se utiliza como alimento. Por tal motivo, en esta investigación se estudiaron cinco cepas nativas de *L. nuda* para evaluar su crecimiento *in vitro* en diferentes medios de cultivo a dos temperaturas, así como la producción de inóculo sobre tres granos de cereales, con el fin de iniciar el estudio del cultivo de este hongo utilizando residuos generados por las actividades madereras y agrícolas del país (Bran et al., 2004).

Materiales y métodos

Cepas de *L. nuda*

Las cepas utilizadas fueron aisladas de especímenes silvestres recolectados entre los años 2001 a 2010 y se encuentran depositadas en el Cepario de Hongos Saprobios y Micorrícicos del Departamento de Microbiología, Escuela de Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Los códigos y procedencia de las cepas son: 17.01, 54.02 y 21.10 (Tecpán,

Chimaltenango), 50.09 (Comalapa, Chimaltenango) y 4.10 (San Jorge Muxbal, Santa Catarina Pinula, Guatemala)

Revitalización y producción de biomasa de las cepas

Las cepas se sembraron en el medio APD y se incubaron a 26°C por 30 días. Posteriormente se resembraron en agar AEM y se incubaron a 26°C por dos semanas.

Crecimiento micelial de las colonias en diferentes medios de cultivo y temperaturas de incubación

El procedimiento se realizó de acuerdo con lo recomendado por Mier, Toriello y Ulloa (2002) y Stamets (1993). Se prepararon los medios de cultivo AEM, APD y SAB en cajas de Petri de poliestireno desechables estériles de 9 cm de diámetro. Después cada medio se inoculó con un círculo de aproximadamente 0.5 cm de diámetro que contenía medio AEM con el micelio de la cepa respectiva. Se inocularon 40 cajas de cada medio y cepa, para un total de 600 unidades experimentales (300 para cada temperatura de incubación). Posteriormente se incubaron a 18 y 26°C, durante 17 días. Se midió el diámetro (cm) de las colonias, cada 3 días.

Al finalizar el tiempo de incubación, las colonias se caracterizaron macro y microscópicamente de acuerdo con lo recomendado por Nobles (1965). Se observó el color del anverso y reverso de las colonias, la textura, la forma y la producción de exudado. También se describió microscópicamente el micelio y se realizaron preparaciones con azul de lactofenol, para observar las características hifales y fíbulas, así como para medir el diámetro de las hifas (μm).

Inóculo

El inóculo se preparó utilizando granos de trigo, sorgo y cebada según lo recomendado por Quimio, Chang y Royse (1990). Los granos se hidrataron por 18 h hasta alcanzar aproximadamente el 80% de humedad. Luego se colocaron 20 g de cada uno de los granos en bolsas de polipapel y se añadió carbonato de calcio (CaCO_3) (1 % p/p) como regulador de pH. Se realizaron 20 repeticiones por cada grano y cepa y se obtuvieron un total de 300 unidades experimentales. Las bolsas con los granos se esterilizaron durante 0.5 h a 121°C y 1.0 kg/cm² de presión. Posteriormente a este tratamiento se

dejaron enfriar. Después en condiciones de esterilidad, los granos contenidos en las bolsas de polipapel se colocaron en cajas de Petri estériles y se inocularon en el centro de cada caja con un fragmento de 0.5 cm² que contenía medio AEM y micelio de la cepa respectiva. Posteriormente se incubaron a 26°C.

El diámetro de las colonias se midió cada 3 días, de acuerdo con lo recomendado por Coello-Castillo, Sánchez y Royse (2009), hasta que el micelio creció en toda el área de la caja. Posteriormente se estimó la Tasa de Extensión Radial (RER) expresada en mm/día, con la siguiente fórmula: $RER = (X2 - X1) / (T2 - T1)$, donde X1 es el diámetro inicial (mm) de la colonia, X2 el diámetro final (mm), T1 el tiempo inicial (0) y T2 el tiempo final de incubación (días).

Diseño del estudio y análisis de la información

Para el estudio del crecimiento micelial de las colonias se utilizó un diseño factorial 5 x 3 x 2 (cinco cepas, tres medios de cultivo y dos temperaturas de incubación). En la producción de inóculo se utilizó un diseño factorial 5 x 3 (cinco cepas y tres granos de cereales). Al final de cada período de incubación se calcularon la media aritmética del diámetro de las colonias y RER y su respectiva desviación estándar.

Posteriormente se realizaron análisis de varianza de una vía (ANOVA) y prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0.05$) para evidenciar las diferencias significativas de la interacción de los factores: cepas, medios de cultivo y temperaturas de incubación. De igual forma, se evaluó la interacción del valor RER obtenido por las cepas en función de los granos evaluados para la producción del inóculo. Además se elaboraron gráficas del tipo barras de error.

Resultados

Los resultados indicaron que la cepa 4.10 obtuvo los mayores crecimientos en el medio AEM en las dos temperaturas evaluadas, los cuales a su vez fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) a las demás cepas, medios y temperaturas ensayadas. Por otra parte, la cepa 54.02 obtuvo los menores diámetros a ambas temperaturas (Tabla 1).

Al observar el efecto de la temperatura y medios de cultivo sobre cada una de las cepas evaluadas, se determinó que el diámetro de crecimiento micelial obtenido por la cepa 4.10 a 26°C fue estadísticamente significativo comparado con las demás ($p < 0.05$). Asimismo, la cepa 54.02 a 26°C obtuvo el crecimiento micelial más bajo (Figura 1).

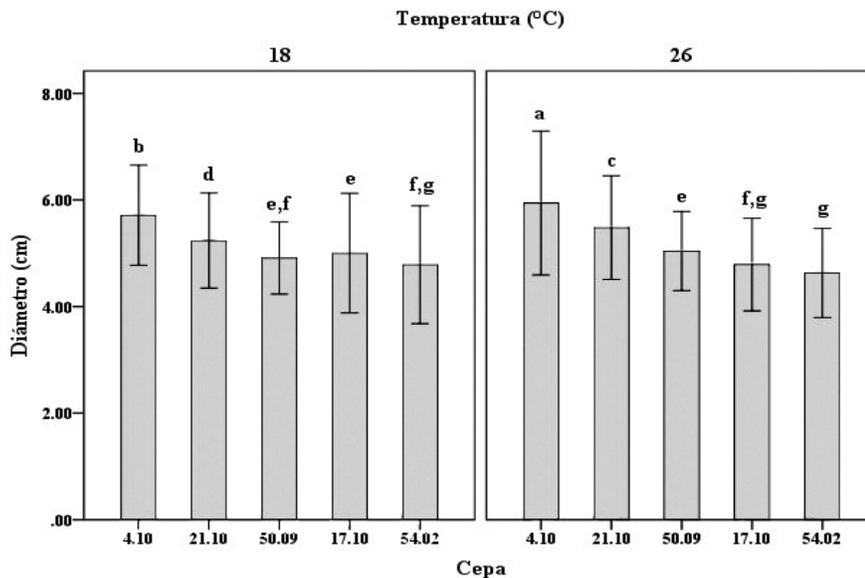


Figura 1. Efecto de las cepas y temperaturas de incubación sobre el diámetro del crecimiento micelial de todos los medios evaluados. Las barras de error indican la media ± la desviación estándar. Letras distintas indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Tabla 1
Crecimiento miceliar de cepas de *L. nuda* en diferentes medios de cultivo y temperaturas

| Temperatura (°C) | Cepa | Medio | Diámetro de las colonias (cm) | |
|------------------|-------|-------|-------------------------------|----------------|
| 18 | 4.10 | AEM | 6.81 ± 0.43 | b ¹ |
| | | APD | 5.50 ± 0.44 | f,g |
| | | SAB | 4.83 ± 0.45 | i,j,k,l |
| | 17.01 | AEM | 4.91 ± 0.29 | i,j |
| | | APD | 6.38 ± 0.23 | c,d |
| | | SAB | 3.72 ± 0.18 | o |
| | 21.10 | AEM | 6.11 ± 0.42 | d,e |
| | | APD | 5.39 ± 0.58 | g,h |
| | | SAB | 4.22 ± 0.18 | n |
| | 50.09 | AEM | 5.77 ± 0.38 | e,f |
| | | APD | 4.46 ± 0.30 | l,m,n |
| | | SAB | 4.50 ± 0.20 | k,l,m,n |
| | 54.02 | AEM | 5.11 ± 0.33 | h,i |
| | | APD | 5.90 ± 0.24 | e |
| | | SAB | 3.34 ± 0.08 | p |
| 26 | 4.10 | AEM | 7.78 ± 0.37 | a |
| | | APD | 5.20 ± 0.23 | g,h,i |
| | | SAB | 4.85 ± 0.23 | i,j,k |
| | 17.01 | AEM | 5.33 ± 0.34 | g,h |
| | | APD | 5.42 ± 0.11 | f,g,h |
| | | SAB | 3.61 ± 0.20 | o,p |
| | 21.10 | AEM | 6.61 ± 0.43 | b,c |
| | | APD | 5.40 ± 0.44 | f,g,h |
| | | SAB | 4.43 ± 0.15 | m,n |
| | 50.09 | AEM | 5.97 ± 0.42 | e |
| | | APD | 4.46 ± 0.18 | l,m,n |
| | | SAB | 4.70 ± 0.33 | j,k,l,m |
| | 54.02 | AEM | 4.94 ± 0.30 | i,j |
| | | APD | 5.41 ± 0.28 | f,g,h |
| | | SAB | 3.54 ± 0.10 | o,p |

Nota. ¹Letras distintas en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa, de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0.05$).

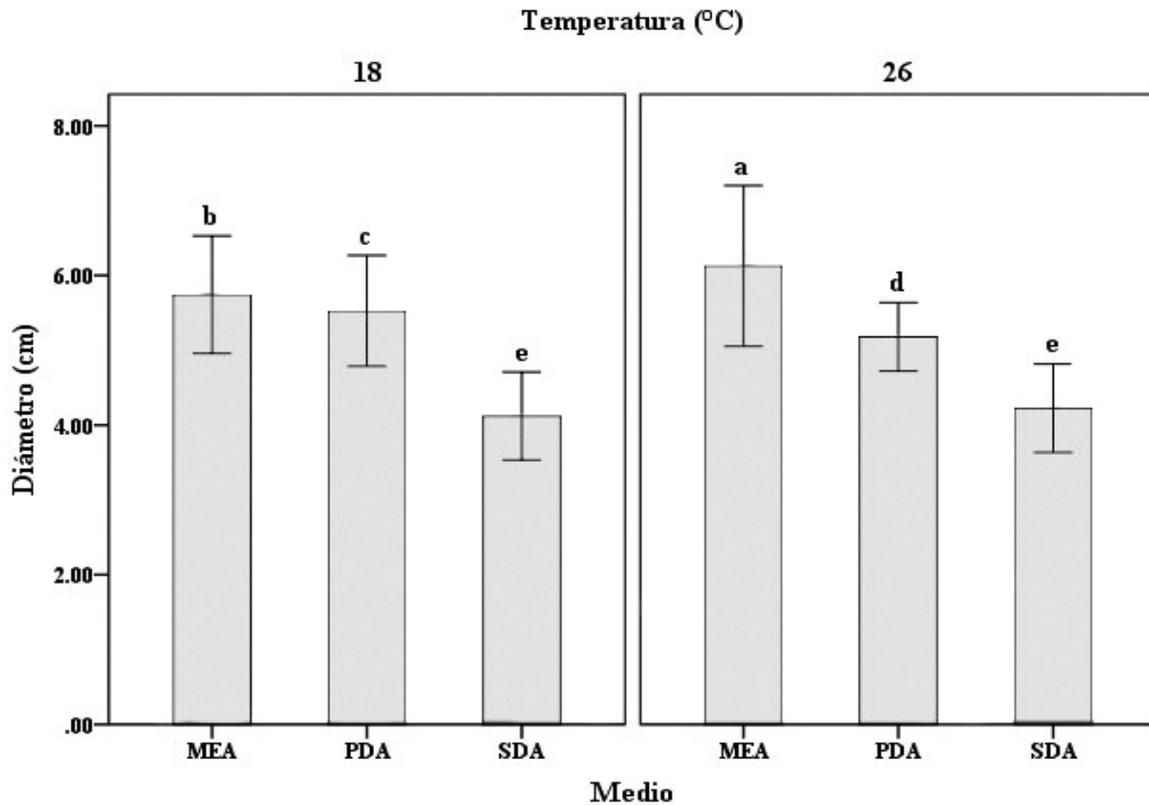


Figura 2. Efecto de los medios de cultivo y temperaturas de incubación sobre el diámetro del crecimiento micelial de todas las cepas evaluadas. Las barras de error indican la media \pm la desviación estándar. Letras distintas indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Al comparar el efecto de la temperatura y cepas en los medios de cultivo evaluados, se determinó que el crecimiento micelial fue mayor en el medio AEM a 26°C, el cual evidenció diferencia significativa con respecto a los demás ($p < 0.05$). Además, el crecimiento en el medio SAB a ambas temperaturas fue menor y estadísticamente diferente ($p < 0.05$) a los otros medios de cultivo evaluados (Figura 2).

La morfología macroscópica de las cepas mostró colonias, algodonosas, con micelio aéreo de escaso a abundante y bordes irregulares, color blanco a liliáceo sin coloración en el reverso y microscópicamente presentaron hifas hialinas, no ramificadas, con diámetro entre 1.0-4.0 μm , así como fibulas abundantes, en los medios y temperaturas evaluados.

En la producción de inóculo, se determinó que las cepas 4.10, 17.01, 50.09 y 54.02 colonizaron con mayor velocidad los granos de trigo, con excepción de la cepa 21.10 que lo hizo en cebada, sin embargo, no mostraron diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$). Se resalta que el menor tiempo de colonización en trigo lo mostró la cepa 4.10 (Tabla 2).

Al comparar el efecto de los granos evaluados sobre las cepas, se encontró que la cepa 54.02 mostró la mayor RER; sin embargo, no presentó diferencia estadísticamente significativa con la cepa 17.01 ($p > 0.05$). La menor RER se observó en la cepa 21.10, la cual no fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$) con respecto a la cepa 4.10 (Figura 3).

Tabla 2
Producción de inóculo de cepas de *L. nuda* en diferentes sustratos

| Cepa | Sustrato | RER (mm/día) | |
|-------|----------|--------------|-----|
| 4.10 | Cebada | 3.32 ± 1.03 | e |
| | Sorgo | 4.89 ± 0.64 | b,c |
| | Trigo | 5.54 ± 0.16 | a |
| 17.01 | Cebada | 5.25 ± 0.61 | a,b |
| | Sorgo | 4.23 ± 0.43 | d |
| | Trigo | 5.58 ± 0.15 | a |
| 21.10 | Cebada | 5.27 ± 0.33 | a,b |
| | Sorgo | 2.63 ± 0.41 | f |
| | Trigo | 5.04 ± 0.55 | a,b |
| 50.09 | Cebada | 3.85 ± 0.44 | d,e |
| | Sorgo | 4.40 ± 0.49 | c,d |
| | Trigo | 5.55 ± 0.11 | a |
| 54.02 | Cebada | 4.03 ± 0.53 | d |
| | Sorgo | 5.41 ± 0.89 | a,b |
| | Trigo | 5.58 ± 0.15 | a |

Nota. Letras distintas en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa, de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0.05$).

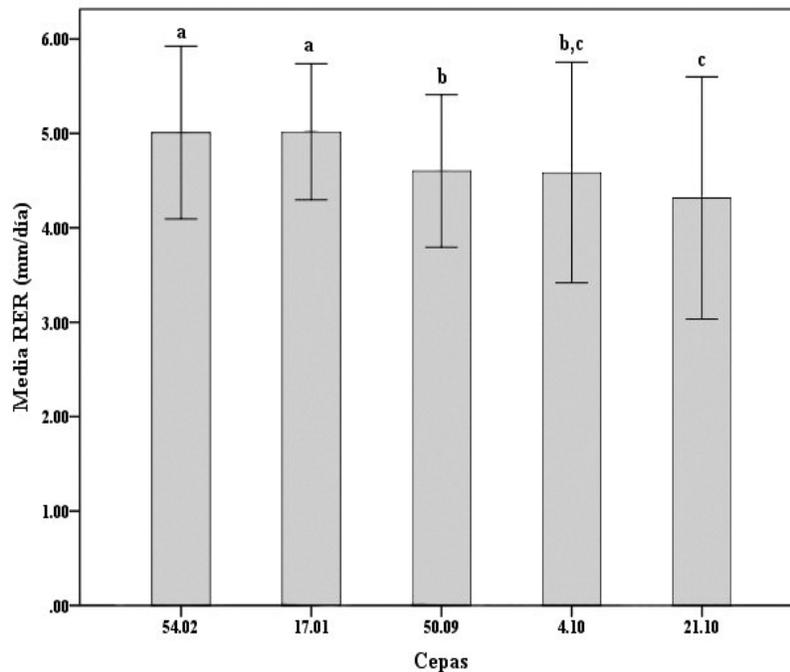


Figura 3. Efecto de las cepas sobre el RER obtenido en diferentes sustratos. Las barras de error indican la media ± la desviación estándar. Letras distintas indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Al contrastar el efecto de las cepas sobre los granos evaluados, se comprobó que la mayor RER fue observada en granos de trigo y mostró diferencia sig-

nificativa con respecto a cebada y sorgo ($p < 0.05$), sin embargo, no existió diferencia ($p > 0.05$) entre éstos dos últimos (Figura 4).

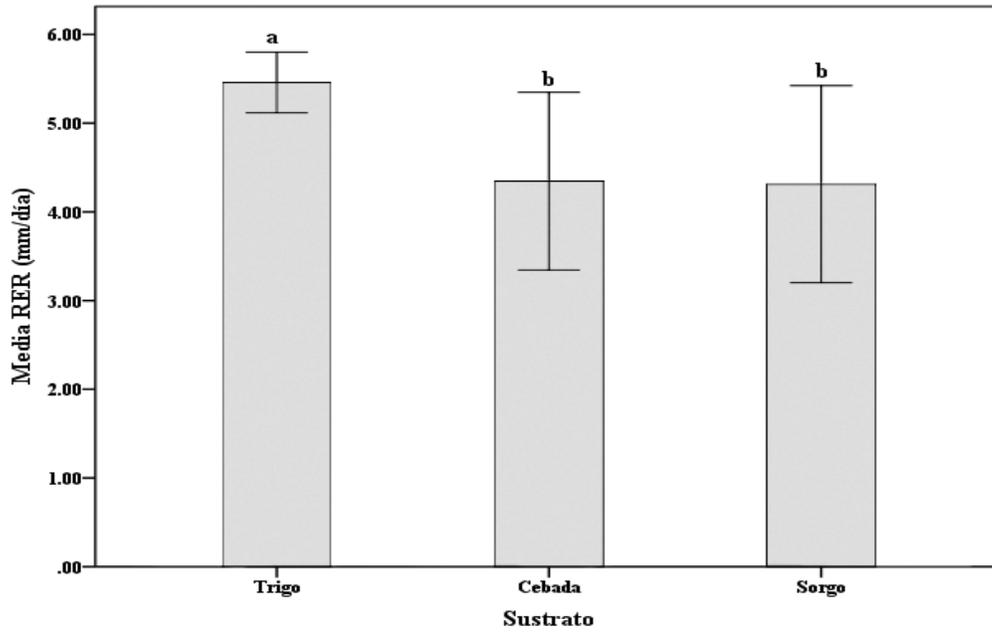


Figura 4. Efecto general observado en los sustratos, con respecto al RER obtenido por las cepas evaluadas. Las barras de error indican la media \pm la desviación estándar. Letras distintas indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Discusión

En este estudio se comprobó que las cepas de *L. nuda* presentaron en general mayor velocidad de crecimiento a 26°C en AEM, de manera que este medio y temperatura favorecieron el desarrollo del micelio. Este comportamiento puede deberse a que éstas necesitan un medio enriquecido para su desarrollo. El medio de cultivo que reúne esta característica es el AEM, ya que entre sus ingredientes se encuentran el extracto de malta y peptona de harina de soja que proveen de nutrientes de calidad (Bridson, 2002).

En otros trabajos se ha recomendado el uso del medio AEM sin suplementos o adicionado con 2% de lavadura (Stott, Broderick, & Nair, 1996), con polvo de encino, caseína hidrolizada o con peptonas (Gaitán-Hernández & Báez, 2008). En particular, puede ser que las cepas silves-

tres de *Lepista* necesiten sustratos degradados previamente, lo que apoyaría la necesidad de las cepas de crecer en un medio enriquecido y con fácil disponibilidad de nutrientes como los contenidos en el medio AEM (Boddy, Frankland, & van West, 2007).

El hecho que la cepa 4.10 presentara el mayor crecimiento micelial a ambas temperaturas en el medio de AEM, indica su estabilidad y adaptabilidad a diferentes condiciones de crecimiento. Además, dado que la mayoría de las cepas obtuvieron el mayor diámetro de crecimiento micelial en ese medio de cultivo a ambas temperaturas, se recomienda su uso.

Se considera que las cepas 17.01 y 54.02 podrían poseer enzimas capaces de degradar el almidón de forma más eficiente que las demás cepas evaluadas, debido a que crecieron mejor en el medio APD a ambas temperaturas. Sin embargo es necesario realizar estudios

adicionales sobre la producción de amilasas en cada una de las cepas.

En este estudio, la temperatura de incubación 26°C permitió la mejor selección de la cepas de más rápido crecimiento, no así a 18°C, debido a que la temperatura es un factor que influye en la velocidad del crecimiento micelial ya que las bajas temperaturas disminuyen el metabolismo celular (Sánchez, 2004). Estos resultados son semejantes a los obtenidos en otros trabajos realizados con hongos nativos en el país, debido a que cepas de *Schizophyllum commune* y *Neolentinus ponderosus* crecieron mejor a 26°C. En contraste, cepas de *Agrocybe cylindracea* crecieron mejor a una temperatura de 18°C (Bran, Morales, Flores, & Cáceres, 2008; Bran, Morales, Flores, Cáceres, & Blanco, 2007; Bran, Morales, Flores, Cáceres, & Gurriarán, 2009).

En un estudio del crecimiento micelial de cepas silvestres de *L. nuda* procedentes de México y Francia, cultivadas en medios con diferentes suplementos orgánicos, se encontró que las cepas crecieron a una temperatura de 20 y 25°C con resultados muy variables (Gaitán-Hernández & Báez, 2008). Stott (1998) informó de una temperatura de 25°C como la óptima para el crecimiento de *L. nuda* en diferentes medios de cultivo, resultados muy cercanos a los encontrados en esta investigación.

En conclusión debido a su rápido crecimiento, adaptabilidad y estabilidad, la cepa 4.10 es promisoría para la producción de micelio en AEM y la producción de inóculo en granos de trigo a 26°C. La selección de cepas que se deben usar en el cultivo de hongos es importante debido a que una cepa con alta habilidad de colonización, puede disminuir los tiempos de producción de micelio en caja de Petri y en granos de cereales e incluso incrementar la productividad (Sánchez, 2004).

En cuanto a las características macro y microscópicas de las colonias, el color blanco a lila y textura algodonosa así como hifas hialinas con fibulas abundantes, fueron similares a lo reportado para *L. nuda* en otros estudios (Arias, 1977; Sánchez, Honrubia, & Torres, 2000). La presencia de fibulas en todas las cepas es una garantía del estado dicariótico del micelio y aseguran el mantenimiento de éste estado, como un paso previo a la fructificación en los basidiomicetes (Chang & Miles, 2004).

La producción de inóculo en granos de trigo, también ha sido utilizada con buenos resultados para *A. cylindracea* (Philippoussis, Zevarkis, & Diamantopoulou, 2001; Stamets, 1993), *Pleurotus ostreatus*, *P. pulmonarius*, *N. ponderosus* y *N. lepideus* (Martínez-Ca-

rrera, Morales, & Sobal, 1988; Martínez-Carrera, Soto, & Guzmán, 1985; Palacios, 2000). En Guatemala se ha reportado para la producción de inóculo de cepas nativas de *A. cylindracea* (Bran et al., 2009) y de *S. commune* (Bran et al., 2008)

Es importante señalar que el mejor sustrato o vehículo es aquel que es colonizado en menor tiempo (con mayor RER) por una cepa determinada, ya que una prolongación en el tiempo de incubación promueve la contaminación y alarga los ciclos del cultivo (Stamets, 1993).

A pesar que en esta investigación solamente se estudiaron las características de cultivo *in vitro* y producción de inóculo, pasos previos e importantes para la producción de cuerpos fructíferos se provee de información para el cultivo en Guatemala de *L. nuda*, un hongo nativo muy apreciado por su agradable sabor y textura y que a nivel mundial es considerado un “hongo exótico” de potencial comercial e industrial (Stott et al., 1996).

Agradecimientos

A la Dirección General de Investigación (DIGI) y a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala por el financiamiento otorgado (proyecto 4.8.63.6.53). A la Inga. Liuba Cabrera, Coordinadora del Programa Universitario de Investigación en Alimentación y Nutrición, por la asistencia técnica y administrativa, así como a todas las personas que colaboraron con la ejecución de la presente investigación.

Referencias

- Arias, R. (1977). *Interacciones entre cuatro hongos ectomicorrícicos y dos especies de coníferas del cerro del Potosí, Geleana, N.L. México* (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, México.
- Bran, M. C., Morales, O., Cáceres, R. A., & Flores, R. E. (2003). Contribución al conocimiento de los hongos comestibles en Guatemala. Guatemala.
- Bran, M. C., Morales, O., Flores, R., & Cáceres, R. (2008). *Caracterización y producción de cuerpos fructíferos de cepas nativas del hongo comestible Asam (Schizophyllum commune Fr.) (Inf-2008-084)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de

- Guatemala, Dirección General de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Bran, M. C., Morales, O., Flores, R., Cáceres, R., & Blanco, R. (2007). *Caracterización y producción de cuerpos fructíferos de cepas nativas de Neolentinus ponderosus y N. lepideus* (Inf-2007-019). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Bran, M. C., Morales, O., Flores, R., Cáceres, R., & Gurriarán, N. (2009). *Cultivo de cepas guatemaltecas del hongo comestible Tx'yol B'aqman (Agrocybe cylindracea (DC.: Fr.) Maire): Caracterización y producción de cuerpos fructíferos* (Inf-2009-045). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Bran, M. C., Morales, O., Flores, R., Rodríguez, E., Salazar, J., Cáceres, R., ... Arriola, H. (2003). *Hongos comestibles de Guatemala: Diversidad, cultivo y nomenclatura vernácula. (Fase III)* (Inf-2003-30). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Bran, M. C., Morales, O., Flores, R., Salazar, J., Alarcón, D., Cáceres, R., ... Carranza, C. (2004). *Hongos comestibles de Guatemala: Diversidad, cultivo y nomenclatura vernácula. (Fase IV)* (Inf-2004-14). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Bridson, E. (2002). *Oxoid Manual*. England: Wade Road.
- Boddy, L., Frankland, J., & van West, P. (Eds.). (2007). *Ecology of saprotrophic basidiomycetes*. Amsterdam: Academic Press.
- Castro, F. J., Moreno, A., García, A., & Ortiz, F. (2014). El cultivo de *Lepista nuda* en sustrato con hojas de olivo para el aprovechamiento de subproductos agroindustriales en almazaras. *Anales de Biología*, 36, 11-17.
- Chang S., & Miles P. G. (2004). *Mushrooms cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact* (2nd. ed). Boca Raton: CRC Press.
- Coello-Castillo, M. M., Sánchez, J. E., & Royse, D. J. (2009). Production of *Agaricus bisporus* on substrates pre-colonized by *Scytalidium thermophilum* and supplemented at casing with protein-rich supplements. *Bioresource Technology*, 100(19), 4488-4492.
- Flores, R., Bran, M., Rodríguez, E., Morales, O., Berdúo, E., & Montes, L. (2002). *Hongos micorrízicos de bosques de pino y pinabete* (P-2003-03). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Gaitán-Hernández, R., & Baéz, I. (2008). Crecimiento micelial de cepas silvestres nativas de *Lepista nuda* en medios de cultivo con diferentes suplementos orgánicos. *Revista Mexicana de Micología*, 26, 41-49.
- Martínez-Carrera, D., Morales, P., & Sobal, M. (1988). Cultivo de diversas cepas mexicanas de *Pleurotus ostreatus* sobre pulpa de café y paja de cebada. *Revista Mexicana de Micología*, 4, 153-160.
- Martínez-Carrera, D., Soto, C., & Guzmán, G. (1985). Cultivo de *Pleurotus ostreatus* en pulpa de café como sustrato. *Revista Mexicana de Micología*, 1, 101-108.
- Mier, T., Toriello, C., & Ulloa, M. (2002). *Hongos microscópicos saprobios y parásitos: Métodos de Laboratorio*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Morales, O., Bran, M. C., & Cáceres, R. (2010). Los hongos comestibles de uso tradicional en Guatemala. En D. Martínez-Carrera, N. Curvetto, M. Sobal, P. Morales & V. M. Mora. (Eds.), *Hacia un desarrollo sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI* (pp. 237-464). Puebla: Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales.
- Nobles, M. K. (1965). Identification of cultures of wood-inhabiting Hymenomycetes. *Canadian Journal of Botany*, 43(9), 1097-1139.
- Palacios, A. (2000). Investigación sobre la potencialidad del cultivo de dos cepas silvestres de *Neolentinus*

- lepideus* y *N. ponderosus*. En *Memorias de VII Congreso Nacional de Micología* (pp. 53-54). Querétaro, México.
- Philippoussis, A., Zevarkis, G. I., & Diamantopoulou, P. (2001). Bioconversion of agricultural lignocellulosic wastes through the cultivation of the edible mushrooms *Agrocybe aegerita*, *Volvariella volvacea* and *Pleurotus* spp. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *17*, 191-200.
- Pinto, S., Barros, L., Sousa, M. J., & Ferreira, I. C. F. R. (2013). Chemical characterization and antioxidant properties of *Lepista nuda* fruiting bodies and mycelia obtained by *in vitro* cultures: Effects of collection habitat and culture media. *Food Research International*, *51*(2), 496-502.
- Quimio, T. H., Chang, S. T., & Royse, D. J. (1990). *Technical guidelines for mushroom growing in the tropics*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Sánchez, C. (2004). Modern aspects of mushrooms culture technology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *64*, 756-762.
- Sánchez, F., Honrubia, M., & Torres, P. (2000). Características culturales de algunos hongos ectomicorrícicos en cultivo puro. *Revista Iberoamericana de Micología*, *17*, 127-134.
- Stamets, P. (1993). *Growing gourmet & medicinal mushrooms*. Berkeley, C.A. : Ten Speed Press & Mycomedea.
- Stott, K. (1998). Characteristics of Australian edible fungi in the genus *Lepista* and investigation into factors affecting cultivation (Tesis de doctorado), University of Western Sydney Hawkesbury, Sydney.
- Stott, K., Broderick, A., & Nair, T. (1996). Investigation to cultivation parameters for Australian species of *Lepista*. En D. Royse (Ed.), *Mushroom Biology and Mushroom Products* (pp. 285-291). Pennsylvania: Penn State University.

Características in situ y de propagación de seis especies arbustivas utilizadas como plantas nodrizas en la región occidental de Guatemala

José V. Martínez-Arévalo*

Subárea de Ciencias Biológicas, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: josevm2000@yahoo.com

Recibido: 24 de abril 2015 / Revisión: 30 de julio 2015 / Aceptado: 24 de Agosto 2015 / Disponible en línea: 16 de noviembre 2015

Resumen

En la restauración de ecosistemas, una técnica es utilizar arbustos de la sucesión como nodriza. En la parte alta de San Marcos, Guatemala, se ha recurrido al menos a seis de ellos en el establecimiento de pino y pinabete: arrayán (*Baccharis vaccinioides* Kunth), salvia (*Buddleia megalcephala* Donn. Sm.), mozote (*Acaena elongata* L.), chicajol (*Stevia polycephala* Bertol), mora (*Rubus trilobus* Ser.) y malacate (*Symphoricarpos microphyllus* Kunth). Se carece de la documentación de su comportamiento y características que puedan servir para utilizarlas ampliamente como plantas protectoras. En esta investigación se estudiaron características in situ y reproductivas de estas especies. Entre los principales resultados está que la altura de plantas es de 1.17 a 2.64 m y cobertura de 0.34 a 2.77 m², con una amplia variación entre y dentro de especies. La cantidad de frutos/planta va desde 90 en *S. microphyllus* a 59,400 en *B. vaccinioides*. La propagación vegetativa en campo estuvo entre 48 a 92%, mayor que cuando se realizó en vivero, donde *B. vaccinioides*, *S. microphyllus* y *R. trilobus* tuvieron mejor respuesta. La propagación por semilla muestra que las seis especies pueden reproducirse adecuadamente. Estos resultados permiten su reproducción en viveros para su uso en restauración ecológica.

Palabras claves: Arrayán, restauración, *Abies guatemalensis*, propagación vegetativa, propagación por semilla

Abstract

In the restoration of ecosystems, one technique is to use shrubs of succession as nurse plants. In the highlands of San Marcos, Guatemala, at least six of these shrubs have been used in the establishment of pine and fir: arrayán (*Baccharis vaccinioides* Kunth), salvia (*Buddleia megalcephala* Donn Sm.), mozote (*Acaena elongata* L.) chicajol (*Stevia polycephala* Bertol), mora (*Rubus trilobus* Ser.) and malacate (*Symphoricarpos microphyllus* Kunth). There is a lack of documentation about their behavior and their characteristics that may make them useful to serve as protective plants. In this research *in situ* and reproductive characteristics of these species was studied. The main results reveal that the plants' height is 1.17 to 2.64 m and have a coverage of 0.34 to 2.77 m², with a wide variation between and within species. The amount of fruit per plant ranges from 90 in *S. microphyllus* to 59,400 in *B. vaccinioides*. Vegetative propagation in the field was 48-92% higher than when it was performed in a nursery, where *B. vaccinioides*, *S. microphyllus* and *R. trilobus* had better responses. Seed propagation shows that the six species can adequately reproduce. These results may allow for reproduction in nurseries to be used in ecological restoration.

Keywords: Myrtle, restoration, *Abies guatemalensis*, vegetative propagation, propagation by seed



Introducción

En ambientes poco favorables, el establecimiento de especies de árboles está supeditado en un alto porcentaje a plantas arbustivas que actúan como protectoras. Esta relación se produce cuando hay plantas que sirven de resguardo llamadas nodrizas y otras que reciben los beneficios llamadas protegidas o facilitadas (Valladares, Aranda, & Sánchez-Gómez, 2004; Valladares & Gianoli, 2007). De una manera amplia, el nodricismo es una combinación de competencia y facilitación, en función de las condiciones climáticas y bióticas (Eränen & Kozlov, 2007), o bien que al menos al inicio existe facilitación, que posteriormente puede convertirse en competencia, según indican Dong-Liang, Gen-Xuan, Bao-Ming y Xiao-Ping (2006). Complementando estas ideas Maestre y Cortina (2004) mostraron que cuando hay niveles elevados de estrés el efecto negativo de la competencia supera al efecto positivo, esto puede interpretarse como que las plantas nodrizas no son capaces de mejorar suficientemente el entorno ambiental bajo condiciones tan extremas. Es importante señalar que varios estudios exponen que el resultado de las interacciones dependerá del efecto de la nodriza sobre la disponibilidad de recursos, por ejemplo luz o temperatura y las tolerancias relativas de las especies facilitadas, es decir tolerancia a la sombra, sequía o al frío, lo que hace reflexionar que la respuesta nodriza-protégida no es lineal y que en realidad, la relación es producto de la facilitación y competencia (Malkinson & Tielbörger, 2010).

En la parte alta de San Marcos, el establecimiento del pinabete *Abies guatemalensis* Rehder y varias especies de pinos, ha fracasado por medio de reforestaciones convencionales, ya que la ocurrencia de heladas entre los meses de noviembre a marzo provocan la muerte de la mayor cantidad de plantas, lo cual puede notarse visualmente y se estima un 20% de prendimiento después de un año; por lo que ahora se busca aprovechar las etapas tempranas de sucesión, donde hay establecidas especies arbustivas como el arrayán (*Baccharis vaccinioides* Kunth), salvia (*Buddleia megaloccephala* Donn. Sm.), mozote (*Acaena elongata* L.), chicajol (*Stevia polycephala* Bertol.), mora (*Rubus trilobus* Ser.), malacate o escobillo (*Symphoricarpos microphyllus* Kunth) y otras que ayudan al establecimiento de especies arbóreas (Martínez, 2011). De estas especies el arrayán (*B. heterophylla* y *B. vaccinioides*) es el más reconocido por su papel como nodriza (Cornejo-Tenorio, Casas, Farfán, Villaseñor, & Ibarra-Manríquez, 2003; Ramírez-Marcial, González-Espinoza, & García-Moya, 1996).

Al respecto, Martínez (2011) notó que varios silvicultores de San Marcos, tienen la experiencia de utilizar especies arbustivas como nodrizas en el establecimiento de especies forestales. En el caso de *A. guatemalensis*, para su aprovechamiento como árboles de navidad, se documentaron cinco casos distribuidos en San José Ojetenam, Tacana y San Marcos del departamento de San Marcos, en extensiones de 500 a 2,400 m², con distancia de siembra aproximada de 2 x 2 m, ubicados en promedio a 1 m de distancia de la planta nodriza. Las principales especies utilizadas fueron, *B. megaloccephala*, *B. vaccinioides*, *A. elongata*, *S. polycephala* y *S. microphyllus*. Las plantas de pinabete se establecieron con una altura de 0.3 a 0.4 m y luego de tres años en el campo tenían en promedio 1.10 m de altura con un porcentaje de prendimiento de 80 a 90%.

Considerando que en la práctica ya se tiene el conocimiento del papel positivo de las plantas arbustivas como nodrizas en el establecimiento de plantaciones forestales en bosques templados, es necesario conocer su biología y silvicultura para proponer un adecuado aprovechamiento en su papel dentro del ecosistema. El objetivo de esta investigación es presentar los avances en el conocimiento del comportamiento in situ y de propagación vegetativa y por semilla de seis especies de plantas arbustivas de clima frío-templado utilizadas como nodrizas en el establecimiento de árboles forestales; las especies son *B. vaccinioides*, *B. megaloccephala*, *A. elongata*, *S. polycephala*, *R. trilobus* y *S. microphyllus*.

Materiales y métodos

Área de estudio

En la Figura 1 se presenta el área donde se realizó la investigación durante 2013 y 2014, ubicada en la parte alta de San Marcos entre 3,000 a 3,400 m de altitud, que incluyó tres bosques: (a) Los Cuervos, Ixchigüan; (b) Canatzaj, Tacana y (c) Las Nubes, San José Ojetenam y en el cerro Cotzic, Ixchigüan. Localizados entre 15° 10' 03" - 15° 14' 53" N y 91° 18' 18" - 91° 39' 23" O. Están en las zonas de vida Bosque muy húmedo montano bajo subtropical (Bmh-MB) y Bosque húmedo montano bajo subtropical (Bh-MB). El clima es de templado a frío con temperatura media anual de 15°C, que llega a descender por la noche por debajo de los 0°C, con ocurrencia de heladas, frecuentemente de noviembre a marzo. La humedad relativa es del 75%, precipitación promedio de 1,300 mm anuales. Fisiográficamente son montañas cubiertas

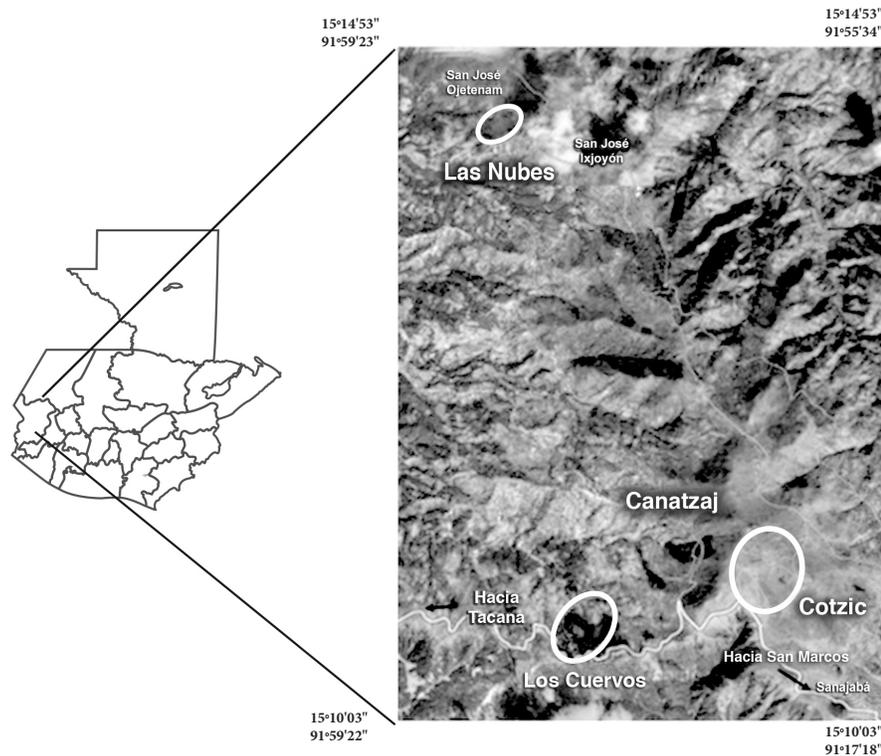


Figura 1. Mapa representando en círculos blancos, las áreas donde se realizó la investigación. Adaptado de [San Marcos: municipios de Ixchiguan, San José Ojetenam y Tacana] [earth] por Google Maps, 2014.

de rocas y cenizas volcánicas recientes, provenientes de los volcanes que rodean el área, como el Tacaná con 4,093 m de altitud y poca actividad volcánica y el Tajumulco con 4,220 m de altitud sin actividad volcánica actual. El área es quebrada con pendientes pronunciadas en su mayoría, el uso de la tierra es para pastoreo de ovejas, cultivos (maíz y papa) y áreas de bosque (Martínez, 2011). Desde el punto de vista de la conservación de bosques y suelos, esta área es importante ya que aquí se inician las cuencas de los ríos Suchiate, Coatán y Grijalva, que son compartidas con México.

Caracterización in situ de plantas nodrizas

Se establecieron parcelas de 10 x 10 m, en áreas donde las especies en estudio crecen silvestres, y se llevó registro de 10 plantas de cada especie escogidas al azar. De cada especie se estimó altura y cobertura, las cuales se presentan con los valores de media, desviación estándar y coeficiente de variación. En cinco

plantas de cada especie se llevó el registro de número de ramas y número de frutos, datos que se presentan como moda y el rango.

De acuerdo con la metodología propuesta por Montenegro y Vargas (2008), para cada bosque estudiado se realizaron tres caminatas lineales ubicadas al azar, cada una de 100 m de longitud, donde se hizo el recuento del número de plantas presentes de las seis especies arbustivas. Una caminata se hizo hacia fuera del bosque a una distancia aproximada de 25 m, la otra sobre el borde del bosque (donde hay mezcla de arbustos y árboles) y la tercera hacia el interior del bosque a una distancia aproximada de 25 m. La información se presenta con una descripción de las variables categóricas.

Elementos para la propagación vegetativa de seis especies de plantas nodrizas

Propagación en el campo. Se establecieron parcelas en el bosque Canatzaj y en el cerro Cotzic.

En las áreas abiertas alrededor del bosque Canatzaj se ubicaron tres parcelas de 1,500 m² cada una, dos con el sistema de propagación en escoba (plantas pequeñas que se obtienen de áreas cercanas, y que son arrancadas con todo el sistema radical) y una con el sistema de propagación por estacas. Esta última consistió en ramas de plantas con hojas y con el tallo principal en un corte en diagonal al final del mismo, que fueron preparadas por las personas de las comunidades que colaboraron con las actividades de siembra. Las especies sembradas fueron *B. vaccinoides*, *A. elongata*, *S. polycephala* y *B. megalcephala*. En otro caso, en el cerro Cotzic se establecieron 11 parcelas de 440 m² cada una, con las cuatro especies mencionadas, en cada parcela la proporción de cada especie varió, debido a que no se llevó control sobre esto, dado que fueron las personas de las comunidades las que establecieron las mismas. Las estacas para este caso tuvieron las mismas características que se mencionaron en el caso anterior. La información se resume por medio del porcentaje de enraizamiento o pegue después de un año de establecidas las parcelas.

Propagación por estacas en vivero. Se realizó un experimento en San Antonio Sacatepéquez a una altitud de 2,400 msnm. Las especies incluidas fueron: *B. vaccinoides*, *A. elongata*, *S. polycephala*, *B. megalcephala*, *R. trilobus* y *S. microphyllus*. Inicialmente se hizo una prueba de enraizamiento donde se determinó que se requería de enraizador, por lo que se utilizó Rotex® al 3% de ácido indolbutírico, que es un producto ampliamente utilizado para este fin.

Se sembraron en tabloncillos en el suelo y rellenados de los materiales a evaluar. Se estableció en un diseño estadístico de bloques al azar y arreglo en parcelas subdivididas; sin embargo, debido a las variaciones en el número de estacas enraizadas, se decidió hacer únicamente un análisis cualitativo de los resultados. Las estacas tuvieron un largo de 30-35 cm, preparadas a partir de plantas que están creciendo en el campo, a las cuales se les eliminaron todas las hojas, dejando nada más los brotes tiernos. Se sembraron cinco estacas de cada especie, con una inclinación de 45°. Se realizó lectura de una estaca a los 30, 45, 60 y 75 días, la cual se extrajo del sustrato, se contó el número de raíces y se midió el largo de cada una. La información se presenta en una tabla a partir de la cual se hace una interpretación cualitativa.

Los factores estudiados fueron: (1) Tipo de estaca: joven (J), intermedia (I), adulta (A); (2) Sustratos: arena blanca (P), broza (B), suelo del lugar (T) y mezcla en

iguales cantidades de los tres (M); (3) Cobertura del vivero: sin cobertura; sombra de sarán al 60%; sombra de saco de polipropileno; y plástico transparente.

El enraizamiento se calificó de la siguiente manera:

Ambientes: Mejor, cuando hubo enraizamiento a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra; mediano, cuando hubo enraizamiento a los 30 y 45 días; 30 y 60 días, 30 y 75 días; y 30, 45 y 60 días después de la siembra; regular, cuando hubo enraizamiento en solo una de las fechas de lectura; no adecuado, cuando no hubo enraizamiento.

Calidad de estaca: Alta, si hubo enraizamiento de estaca joven, media y adulta; mediana, si hubo solo de estaca joven y media, o de media y adulta; baja, si hubo enraizamiento solo en estacas de una de las edades.

Sustrato: En todos, cuando enraiza en todos los sustratos (arena blanca, broza, suelo del lugar y mezcla); para los otros casos se menciona el o los sustratos donde enraizó.

Vigor del enraizamiento: Alto, más de tres raíces y al menos de 2 cm de largo; mediano, dos raíces y de 1-3 cm de largo; bajo, una raíz sin importar el largo.

Descripción de aspectos reproductivos: Se llevó registro de las fechas de floración y fructificación, se realizó una descripción del proceso de floración, fructificación, obtención de semilla y germinación.

Resultados

Información de comportamiento in situ de plantas nodrizas

Para *B. vaccinoides* la altura promedio es 2.55 ± 0.566 m y diámetro de 2.25 ± 1.186 m² (Tabla 1), según información de campo tienen un rango de edad de 8 a 10 años, por lo que se esperaría que estas son las características máximas que puede alcanzar. Es una especie que tiene cinco ramas primarias, de donde se derivan la cantidad de ramas secundarias y terciarias, característica de una especie arbustiva de la familia Asteraceae, con un rango de producción de frutos de 13,500-59,400 (Tabla 2) que muestra una alta variabilidad en número.

Para *S. polycephala* (Tabla 1) la altura promedio es de 1.85 ± 0.740 m y una cobertura de 0.83 ± 0.790 m² con el mayor coeficiente de variación de las seis especies, en ambas medidas. Con un rango de 8 a 14 ramas primarias, con inflorescencias/infrutescencias en cabezuelas que producen un rango de 13,500-23,040 achenios.

La altura promedio que presenta *A. elongata* es de 1.17 ± 0.420 m y cobertura de 0.337 ± 1.17 m² (Tabla 1). En relación a las otras cinco especies, es una planta de bajo porte, que tiene su mayor valor como nodriza en la regeneración natural, ya que por su arquitectura ofrece un sitio seguro para las semillas que caen bajo la planta. Tiene 11 ramas primarias con un rango de 10 a 13. La cantidad de frutos va de 1,650-2,366, en comparación con las dos especies anteriores tiene entre de 88 a 96% menos semilla (Tabla 2).

En el caso de *R. trilobus* presenta una altura promedio de planta de 2.64 ± 0.867 m (Tabla 1), si se mide el largo de cada rama extendida, puede tener hasta 4 m, sin embargo, a cierta altura tienden a ser decumbentes, forman una maraña de ramas que es lo que da la fisonomía que presentan, con lo que la cobertura de 3.77 ± 1.664 m² y a la vez explica la cantidad de ramas (20 para este caso) que presenta (Tabla 2). En cuanto a la infrutescencia, son pseu-

do-drupas, que contienen de 14 a 16 frutillos cada uno con una semilla, una planta produce un rango de 448-960 frutos.

Para *B. megaloccephala*, la altura promedio es de 2.53 ± 0.602 m y su cobertura de 3.92 ± 2.390 m² (Tabla 1). El número de ramas primarias es de siete. La cantidad estimada de frutos es de 1,458-1,656 (Tabla 2) y un coeficiente de variación menor de seis lo que da certeza de la estimación de esta medida. Cada cápsula contiene miles de semillas que son dispersadas por el viento.

En el caso de *S. microphyllus* se puede indicar que la altura promedio es de 1.30 ± 0.294 m y su cobertura de 0.72 ± 0.536 m² (Tabla 1). Tiene una arquitectura compuesta por seis ramas primarias, de donde se derivan cerca de 32 ramas secundarias por planta, que crecen en general casi verticales. La cantidad de frutos tiene un rango entre 90-216; cada fruto tiene de dos a tres semillas.

Tabla 1

Datos de altura y cobertura de seis especies de plantas nodrizas en condiciones in situ

| Nombre común | Especie | Altura en m | | Cobertura en m ² | |
|--------------|------------------------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | | Media \pm DM | % coeficiente variación | Media \pm DM | % coeficiente variación |
| Arrayán | <i>Baccharis vaccinioides</i> | 2.55 ± 0.566 | 22.24 | 2.25 ± 1.186 | 52.70 |
| Chicajol | <i>Stevia polycephala</i> | 1.85 ± 0.740 | 40.22 | 0.83 ± 0.790 | 95.32 |
| Mozote | <i>Acaena elongata</i> | 1.17 ± 0.420 | 36.06 | 0.34 ± 0.310 | 92.10 |
| Mora | <i>Rubus trilobus</i> | 2.64 ± 0.867 | 32.82 | 3.77 ± 1.664 | 44.16 |
| Salvia | <i>Buddleia megaloccephala</i> | 2.53 ± 0.602 | 23.84 | 3.92 ± 2.390 | 61.11 |
| Malacate | <i>Symphoricarpos microphyllus</i> | 1.30 ± 0.294 | 22.65 | 0.72 ± 0.536 | 74.44 |

Tabla 2

Datos de ramificación y producción de frutos de seis especies de plantas nodrizas

| Especie | No. de ramas primarias | | No. estimado de frutos |
|--------------------------|------------------------|-------|------------------------|
| | Moda | Rango | Rango |
| <i>B. vaccinioides</i> | 5 | 4-5 | 13,500-59,400 |
| <i>S. polycephala</i> | 10 | 8-14 | 13,500-23,040 |
| <i>A. elongata</i> | 11 | 10-13 | 1,650-2,366 |
| <i>R. trilobus</i> | 20 | 16-25 | 448-960 |
| <i>B. megaloccephala</i> | 8 | 7-10 | 1,458-1,656 |
| <i>S. microphyllus</i> | 7 | 6-11 | 90-216 |

En la [Tabla 3](#), se muestra que las especies *R. trilobus* y *A. elongata* presentan la mayor densidad de plantas en los tres ambientes donde se hizo el recuento. En la parte externa del bosque tienen 27 y 52 plantas respectivamente, en tanto que en las otras especies la densidad en esta parte está entre dos a nueve plantas. En el borde intermedio la densidad es de 11 y 35 plantas respectivamente, en tanto que las otras especies tienen de una a cuatro plantas presentes. En la parte interna del bosque hay siete y 26 plantas respectivamente, tres especies no presentan plantas en este ambiente, y *S. microphyllus* que tiene en promedio una planta.

Establecimiento de plantas nodrizas por medio vegetativo en el campo

El establecimiento de las cuatro especies por medios vegetativos, en áreas abiertas del bosque Canatzaj, tuvo porcentajes iguales y superiores al 50%. En el

sistema de propagación por escoba, se tuvo mayores porcentajes en las cuatro especies en comparación a cuando se realizó por estaca. Así los resultados muestran que el rango de establecimiento vegetativo estuvo de 50 al 67% en estaca y de 64 a 92% en escoba. El enraizamiento más alto y consistente se obtuvo en *B. vaccinioides* ([Tabla 4](#)).

En la [Tabla 5](#) se presenta la información de establecimiento por estacas realizada en 11 parcelas, en el cerro Cotzic, utilizando la técnica de nucleación ([Reis, Bechara, & Tres, 2010](#)). Para las cuatro especies hay tres columnas, la primera presenta los datos del establecimiento en 2013, donde puede notarse que las proporciones de cada especie fueron diferentes en cada parcela, en general se sembraron más de *B. vaccinioides*, ya que es la especie que las personas de las comunidades identifican mejor como planta nodriza. En la segunda columna está la información del recuento realizado en 2014 y la tercera es el porcentaje de enraizamiento

Tabla 3
Comparación de especies arbustivas fuera y dentro del bosque

| Especie | Parte externa | | | | | Borde intermedio | | | | | Parte interna | | | | |
|------------------------------------|---------------|----|----|----|----|------------------|----|----|----|----|---------------|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | M | 1 | 2 | 3 | 4 | M | 1 | 2 | 3 | 4 | M |
| <i>Rubus trilobus</i> | 48 | 29 | 14 | 15 | 27 | 19 | 17 | 5 | 3 | 11 | 18 | 9 | 0 | 0 | 7 |
| <i>Symphoricarpos microphyllus</i> | 7 | 7 | 7 | 0 | 5 | 5 | 6 | 0 | 3 | 4 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Acaena elongata</i> | 131 | 31 | 29 | 16 | 52 | 71 | 32 | 23 | 15 | 35 | 57 | 18 | 16 | 12 | 26 |
| <i>Buddleia megalcephala</i> | 0 | 0 | 3 | 6 | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Baccharis vaccinioides</i> | 0 | 0 | 18 | 9 | 7 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Stevia polycephala</i> | 0 | 0 | 31 | 4 | 9 | 0 | 0 | 6 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Nota. M: Media; 1: Bosque Los Cuervos; 2: Bosque Las Nubes; 3: Bosque Canatzaj 1 (Abajo camino terracería); 4: Bosque Cantatzaj2 (Camino al cerro).

Tabla 4
Porcentaje de establecimiento (pegue) de plantas nodrizas por medio vegetativo, recuento después de un año, Canatzaj, San Marcos

| Tipo de siembra | 2013 | 2014 | % | 2013 | 2014 | % | 2013 | 2014 | % | 2013 | 2014 | % |
|-----------------|-------------------------------|------|----|------------------------|------|----|---------------------------|------|----|------------------------------|------|----|
| | <i>Baccharis vaccinioides</i> | | | <i>Acaena elongata</i> | | | <i>Stevia polycephala</i> | | | <i>Buddleia megalcephala</i> | | |
| En escoba | 286 | 224 | 78 | 163 | 125 | 77 | 146 | 120 | 82 | 22 | 15 | 68 |
| En escoba | 116 | 93 | 80 | 38 | 35 | 92 | 62 | 40 | 64 | 21 | 12 | 57 |
| En estacas | 25 | 15 | 60 | 30 | 15 | 50 | 15 | 10 | 67 | 18 | 10 | 56 |

(pegue) después de un año. En promedio la especie *B. vaccinioides* tiene mayor porcentaje ($76 \pm 13.47\%$), seguida de *A. elongata* ($58 \pm 21.10\%$), *S. polycephala* ($48 \pm 23.33\%$) y *B. megalcephala* ($35 \pm 17.53\%$); estos resultados son similares a la localidad de Canatzaj.

Propagación por estacas de plantas nodrizas en vivero

En la **Tabla 6** se hace un resumen cualitativo de los resultados del enraizamiento de las estacas de seis especies de plantas nodrizas, con tres tipos de sombra y sin ninguna cobertura. La calificación del enraizamiento se hace a través del ambiente (tipo de sombra), calidad de estaca que mejor respondió, sustrato(s) que mejor funcionaron y la calidad del enraizamiento. Para *B. vaccinioides* puede notarse que se tiene regular a mediana calidad de enraizamiento en tres ambientes, el mejor enraizamiento se observa cuando se propagó bajo sombra de plástico transparente. En tanto que en *S. polycephala* solo bajo la sombra de polipropileno logró tener un enraizamiento con alto vigor de las raíces, cuando fue sembrada en suelo del lugar. En el caso de *S. microphyllus* respondió adecuadamente a la propagación en todos los ambientes experimentados;

sin embargo, en condiciones abiertas y con sombra de polipropileno se obtuvieron resultados más satisfactorios. El mejor de los casos se tiene con las estacas de *R. trilobus* que respondieron adecuadamente a todos los ambientes en donde se propagaron. El comportamiento de *A. elongata* fue medio, en el sustrato de polipropileno y en sarán, similar a cuando no se tuvo sombra; pero se obtuvieron resultados negativos en la sombra de plástico transparente. Finalmente, *B. megalcephala* tuvo un comportamiento regular solo bajo la sombra de polipropileno y en los otros ambientes no hubo estacas enraizadas.

La **Tabla 7** presenta los principales datos reproductivos de las seis especies en estudio. Las fechas principales de fructificación son a finales de la época lluviosa para *S. polycephala*, *R. trilobus* y *S. microphyllus* y en los meses de la estación seca para *B. vaccinioides*, *S. microphyllus*, *A. elongata* y *B. megalcephala*, aunque en el caso de *S. polycephala* y *A. elongata*, es posible obtener semilla casi en todo el año, los mayores picos de producción son como se mencionaron. La información obtenida de las pruebas preliminares de germinación muestra que la reproducción sexual es posible en las seis especies y que las dificultades son mínimas.

Tabla 5
Porcentajes de establecimiento (pegue) de parcelas de siembra plantas nodrizas por medio vegetativo en el Cerro Cotzic

| No. Parcela | 2013 | | | 2014 | | | 2013 | | | 2014 | | |
|---------------------|-------------------------------|---------|-------------|------------------------|---------|------------|---------------------------|---------|-------------|------------------------------|---------|-------------|
| | <i>Baccharis vaccinioides</i> | % pegue | | <i>Acaena elongata</i> | % pegue | | <i>Stevia polycephala</i> | % pegue | | <i>Buddleia megalcephala</i> | % pegue | |
| 1 | 304 | 248 | 82 | 28 | 15 | 54 | 22 | 10 | 45 | 20 | 7 | 35 |
| 2 | 110 | 60 | 55 | 32 | 10 | 31 | 27 | 6 | 22 | 33 | 5 | 15 |
| 3 | 189 | 150 | 79 | 33 | 28 | 85 | 31 | 18 | 58 | 21 | 3 | 14 |
| 4 | 137 | 91 | 66 | 105 | 89 | 85 | 134 | 114 | 85 | 55 | 38 | 69 |
| 5 | 60 | 55 | 92 | 35 | 20 | 57 | 17 | 8 | 47 | 7 | 3 | 43 |
| 6 | 296 | 280 | 95 | 13 | 11 | 85 | 118 | 80 | 68 | 23 | 13 | 57 |
| 7 | 166 | 100 | 60 | 55 | 20 | 36 | 20 | 5 | 25 | 8 | 3 | 38 |
| 8 | 205 | 152 | 74 | 37 | 20 | 54 | 39 | 11 | 28 | 28 | 7 | 25 |
| 9 | 143 | 120 | 84 | 55 | 25 | 45 | 48 | 15 | 31 | 39 | 10 | 26 |
| 10 | 185 | 120 | 65 | 43 | 15 | 35 | 36 | 12 | 33 | 27 | 5 | 19 |
| 11 | 175 | 155 | 89 | 83 | 63 | 76 | 192 | 166 | 86 | 45 | 20 | 44 |
| Promedio | | | 76 | | | 58 | | | 48 | | | 35 |
| Desviación estándar | | | ± 13.47 | | | ± 21.1 | | | ± 23.33 | | | ± 17.53 |

Tabla 6

Resultados del enraizamiento de estacas de plantas nodrizas, en San Antonio Sacatepéquez, San Marcos

| Especie / Factor | Tipo de sombra | | | |
|------------------------|----------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| | Sin sombra | Tela de polipropileno | Sarán 60% | Plástico transparente |
| <i>B. vaccinioides</i> | | | | |
| Ambiente | ++ | + | ++ | +++ |
| Calidad de estaca | ** | * | ** | *** |
| Sustrato | 3 | 4 | 6 | 1 |
| Vigor de enraizamiento | oo | oo | oo | oo |
| <i>S. polycephala</i> | | | | |
| Ambiente | - | + | - | - |
| Calidad de estaca | - | * | - | - |
| Sustrato | - | 7 | - | - |
| Vigor de enraizamiento | - | ooo | - | - |
| <i>S. microphyllus</i> | | | | |
| Ambiente | +++ | +++ | ++ | + |
| Calidad de estaca | ** | ** | *** | * |
| Sustrato | 3 | 5 | 3 | 4 |
| Vigor de enraizamiento | ooo | ooo | ooo | ooo |
| <i>R. trilobus</i> | | | | |
| Ambiente | +++ | +++ | +++ | +++ |
| Calidad de estaca | ** | *** | *** | *** |
| Sustrato | 5 | 1 | 1 | 1 |
| Vigor de enraizamiento | ooo | ooo | ooo | oo |
| <i>A. elongata</i> | | | | |
| Ambiente | ++ | + | ++ | - |
| Calidad de estaca | ** | * | ** | - |
| Sustrato | 5 | 2 | 3 | - |
| Vigor de enraizamiento | o | oo | ooo | - |
| <i>B. megalcephala</i> | | | | |
| Ambiente | - | + | - | - |
| Calidad de estaca | - | * | - | - |
| Sustrato | - | 2 | - | - |
| Vigor de enraizamiento | - | o | - | - |

Nota. Ambientes: Mejor: +++ Mediano: ++; Regular: +; No adecuado: -. Calidad de estaca: Alta:***; Mediana: **; Baja: *; Nula: -. Sustrato: 1: Broza, arena blanca y suelo del lugar y/o mezcla; 2: Mezcla de broza, arena blanca y suelo del lugar; 3: Arena blanca y suelo del lugar; 4: Arena blanca; 5: Mezcla y otro sustrato; 6: Broza y suelo del lugar; 7: Suelo del lugar; Ninguno -. Vigor del enraizamiento: Alto: ooo; Mediano:oo; Bajo: o; Niguno: -.

Tabla 7
 Datos reproductivos de seis especies de plantas nodrizas

| Especie | Floración | Tipo de fruto | Semilla | Obtención de semilla | Tratamiento | Germinación |
|------------------------|--|---|--|--|--|---|
| <i>B. vaccinioides</i> | Noviembre a enero | Infrutescencia en cabezuelas | Aquenos de 2 mm de largo x 1 mm de ancho | Marzo a abril | Secado y limpieza para eliminar el vilano | La emergencia inicia a los 22 dds y continúa por seis más, hay 75% de germinación |
| <i>S. polycephala</i> | Mayo-junio y octubre a diciembre | Infrutescencias en corimbos redondeados | Aquenos de 4 a 6 mm, color negro | Agosto-septiembre y febrero a mayo | Secado y limpieza | La emergencia inicia a los 9 dds y continúa por 5 más, hay 90% de germinación |
| <i>A. elongata</i> | Casi todo el año, principal abril-mayo y octubre-diciembre | Espigas con hipantos globosos (1 x 0.5 cm) con muchas espinas rojizas | Una por hipanto, fuertemente apresas a él | Casi todo el año, principal junio y marzo a mayo | Difícil de extraer la semilla, mejor sembrar los hipantos | Emergencia de 5 a 15 días, porcentaje de germinación 80-85% |
| <i>R. trilobus</i> | Julio-septiembre | Hemisféricos de color púrpura-negro, de 1.5 cm de ancho, con 12 a 16 drupelas | De 12 a 16 semillas por infrutescencia, duras de 0.5x0.3 cm | Agosto-noviembre | Los frutos se estrujan, se dejan en agua por 3 días, lavar y secar | Se inicia a los 15 dds hasta los 54 días, germinación de 45-55% |
| <i>B. megalcephala</i> | Noviembre a enero | Infrutescencias globosas marrón. Contiene capsulas con gran cantidad de semillas color café | Cada capsula tiene miles de semillas de 2 mm de largo cada una | Marzo-abril | Cosechar las infrutescencias, ponerlas a secar y aporrear para obtener semilla | La emergencia inicia a los 5 dds, con un 90% de germinación |
| <i>S. microphyllus</i> | Agosto-septiembre | Frutos en pequeños grupos, blancos, redondos de 4 a 9 mm | 1 a 3 por fruto, aplanadas de 3 a 7 mm de ancho | Octubre-noviembre | Estrujar los frutos en agua, dejar por tres días, limpiar y secar | Inicia a los 19 dds y hasta por 12 más, 70% de germinación |

Nota. dds: días después de siembra.

Discusión

En la parte alta del departamento de San Marcos hay áreas que fueron sobrepastoreadas, pero desde hace casi 15 años, la cantidad de ganado ovino ha disminuido drásticamente, además muchos rebaños se manejan en estabulación, por lo que hay tierras abandonadas, donde se ha iniciado la sucesión vegetal. Esta condición ya ha sido aprovechada por varios silvicultores (Martínez, Pérez, Rivera, & Velásquez, 2013), para establecer árboles forestales, especialmente pinabete con fines de producción de árboles navideños, en áreas no mayores de 2,500 m², donde hay establecidas plantas arbustivas (Martínez, 2013). Asimismo, los bosques de pinabete y su área de influencia son lugares protegidos y supervisados por los comités de las comunidades y municipalidades para que no se dé más pastoreo, lo cual también está ayudando a la recuperación natural. Sin embargo, cabe señalar que en estos ecosistemas el proceso de sucesión vegetal es lento y en muchas ocasiones se debe tener intervención humana para acelerarlo por medio de la restauración ecológica (Martínez, 2014), precisamente una de las técnicas es aprovechar los estadíos intermedios con arbustos o bien el enriquecimiento de terrenos con estas especies, previo a establecer árboles. Así, el conocimiento del comportamiento *in situ* de las plantas nodrizas ayuda a comprender las condiciones en que se encuentran actualmente y así planificar el establecimiento de especies forestales en aquellas áreas donde ya están creciendo plantas arbustivas.

Además motiva estudiar estas especies, pues en el futuro se espera que sean parte de las que ofrezcan los viveros, ya que su utilización, como estados previos a establecer árboles forestales, puede ampliarse con el otorgamiento de incentivos a la restauración, que están contemplados en la propuesta de ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala (PRO-BOSQUE) (Instituto Nacional de Bosques, s.f.). De tal manera que previendo esto y para hacer un uso exitoso de estas especies nativas en programas de restauración ecológica, trabajos como el presente procuran profundizar en el conocimiento sobre la biología, la ecología, la propagación y el manejo de las especies disponibles, a fin de posibilitar su domesticación y desarrollar técnicas eficientes de reproducción (Batis, Alcocer, Gual, Sánchez, & Vázquez, 1999). El conocimiento de ellas a la fecha es escaso ya que tanto en programas de reforestación estatal, municipal y de organizaciones no gubernamentales, no se ha contemplado su uso más

amplio, a pesar de su potencial para favorecer la recuperación de áreas degradadas, situación similar señala Niembro (2001) para México.

Las características de arquitectura de las seis especies arbustivas tienen ventajas y desventajas que pueden darle su valor como planta nodriza. Por ejemplo, *R. trilobus*, forma una maraña de ramas que produce exceso de sombra en la época lluviosa, por lo que es recomendable realizar podas que permitan mayor penetración de luz y aireación hacia las partes bajas donde se establezcan árboles, pero en la época seca tiene la desventaja de que defolia completamente y la protección a los árboles, se da solo por la maraña de ramas, de tal forma que en la poda que se realice se debe cuidar de dejar la suficiente cantidad de tallos que sirvan para contrarrestar la época seca y las heladas.

Por su parte *A. elongata*, tiene la menor altura de las plantas nodrizas, y su protección a árboles que se establezcan va a depender de la posición donde este y de la pendiente del lugar. Sin embargo, la planta forma un arbusto compacto, que asegura el lugar para la germinación de semillas forestales de regeneración natural, por esto se puede considerar que su mayor valor está en brindar un sitio seguro a semillas forestales.

A la especie *B. vaccinioides* se le menciona como una de las mejores nodrizas (Cornejo-Tenorio et al., 2003; Ramírez-Marcial et al., 1996), pero esto es cierto para áreas totalmente abiertas, como se demostró en la información presentada, ya que su establecimiento cerca de los bosques es escasa. Funciona bien fuera de bosque o en áreas muy deterioradas que están en proceso de sucesión vegetal. En la mayoría de áreas abandonadas esta especie es dominante y además de ser nodriza para forestales, también lo es para otros arbustos.

Por su parte, *B. megalcephala*, es una planta selectiva en su hábitat natural, ya que no se desarrolla en todos los lugares, a pesar de que produce una cantidad alta de semillas por cápsula. Lo que se observa son arbustos dispersos, y sus poblaciones se pueden notar en manchones. En el área de estudio la mayor población encontrada está a orillas del cerro Cotzic en la carretera de Ixhigüan a San José Ojetenam, donde crecen mezcladas dos especies *B. megalcephala* y *B. skutchii* C.V. Morton que son muy similares. Las observaciones que se han realizado de esta planta como nodriza, es en lotes manejados con *A. guatemalensis* para producción de árboles navideños (Martínez, 2011), no así en campos abiertos.

La especie *S. polycephala* tiene como característica que casi en todas las áreas abiertas se va estable-

ciendo, aunque no en altas densidades. Debido a que mantiene follaje todo el año, da protección a árboles de regeneración natural o aquellos que se establezcan por reforestación bajo su área de influencia.

La situación para *S. microphyllus* como planta nodriza consiste en que debido a que crece muy compacta y con muchas de sus ramas con crecimiento casi vertical, el área de influencia para protección, puede ser más reducida que para otras especies, además se puede considerar como desventaja que defolia en época seca.

Cabe señalar que en varias áreas, las especies estudiadas y algunos otros arbustos, crecen asociados, por lo que en realidad el efecto nodriza pocas veces es responsabilidad de una sola especie, sino más bien es producto de la interacción de varias especies, a la vez debe considerarse la dirección y porcentaje de pendiente de donde está ubicada, así como la posición del arbolito que se quiere proteger con relación a la o las plantas protectoras (Castro, Zamora, Hódar, Gómez, & Gómez-Aparicio, 2004).

En este estudio se determinó la preferencia de hábitat de las especies arbustivas en las cercanías de los parches de bosque de *A. guatemalensis*. Se muestra un desempeño diferencial de ellas, similar a lo encontrado por Montenegro y Vargas (2008) que puede contribuir a decidir cómo manejarlas cuando sean plantadas. Por ejemplo, cercano a los bosques se puede enriquecer con *R. trilobus* y *A. elongata*, en tanto que *B. vaccinioides*, *S. microphyllus*, *S. polycephala* y *B. megaloccephala* no funcionan bien cerca de los bordes de bosque, por lo que es más adecuado manejarlas en áreas totalmente abiertas.

La cantidad de frutos estimado, en las seis especies van en rangos de 90 a 216 en *S. microphyllus* que relativamente es bajo, pero en las otras especies la cantidad estimada es relativamente alta como el caso de *B. vaccinioides* con un rango de 13,500-59,400 aqueños, lo que está acorde a las estrategias reproductivas de los arbustos que son parte de estadios iniciales e intermedios de sucesión (Badii et al., 2013), que conducen a producir una gran cantidad de progenie para asegurar su reproducción, pues su función es colonizar áreas abiertas para facilitar el establecimiento posterior de árboles (Vázquez-Yanes & Orozco-Segovia, 1994). A pesar de la alta producción de semillas, se pudo observar que la regeneración natural es baja en la mayoría de tierras abiertas, posiblemente porque muchas de las semillas no encuentran el sitio seguro para su germinación (Harper, 1977).

El establecimiento vegetativo en el campo de cuatro de las seis especies arbustivas de este estudio

muestran una adecuada respuesta durante el primer año de evaluación. Es importante señalar que la porción vegetativa que se utilizó fue manejada por los agricultores de las comunidades que participaron en la siembra, ellos llevaron ramas, las que seccionaron y sembraron con todo y hojas. Por otra parte la siembra en el sistema de escoba, que puede considerarse no sostenible ya que son plantas pequeñas arrancadas de otros lugares, donde también son necesarias para la recuperación de cobertura vegetal. Sin embargo, lo importante en ambos casos es que se tomó en cuenta el criterio de los pobladores, lo cual permitió una mejor colaboración en los trabajos de siembra.

En contraste, los porcentajes de enraizamiento o pegue de estacas que se prepararon técnicamente, como se describe en la metodología, son relativamente bajos, incluso hay especies donde no hubo ninguna estaca enraizada. Debe considerarse que en las condiciones del área de estudio, posiblemente es mejor sembrar de acuerdo a como lo hacen los agricultores, que consiste en obtener ramas adultas y sembrarla sin quitar las hojas. Es importante reconocer el papel del conocimiento tradicional que puede ayudar a disminuir el tiempo de investigación, y que lo que se debe hacer es darle forma a este conocimiento para su verificación científica. Las especies *R. trilobus* y *S. microphyllus* fueron las que tuvieron mejor enraizamiento seguido de *B. vaccinioides*. En tanto que *A. elongata* tiene una respuesta media, *B. megaloccephala* y *S. polycephala* son las que menos respuesta tuvieron. A partir de esto puede indicarse que hay que profundizar más en los estudios de propagación asexual. Sin embargo, por lo observado se deduce que en vivero es más práctico el manejo de propagación por semilla, pues las seis especies responden adecuadamente.

Los resultados obtenidos en esta investigación son los primeros en la biología reproductiva de estas especies, que pueden permitir desarrollar la práctica de su reproducción sexual. En primer lugar debe ponerse importancia en el manejo de frutos y semillas que es imprescindible para el éxito de los procesos de investigación para incluir estas especies en vivero, el cual es clave en el proceso de restauración de ecosistemas (Vargas & Lozano, 2008).

Para la propagación por semilla se requiere únicamente de los cuidados convencionales, y con esto se puede producir suficiente cantidad de plantas, que los viveristas deberán ir produciendo y tenerlas entre las especies que ofertan. La producción de plántulas en cantidad y calidad es una parte importante para el éxito inicial de la restauración (Ceccon, 2013).

Agradecimientos

Se agradece al personal de la Oficina Forestal de la Municipalidad de Ixchiguán, por la colaboración en esta investigación. A los comunitarios de Ixchiguán y Canatzaj, por su colaboración en el campo. A Sergio Osorio del proyecto de Pinabete del INAB, por el acompañamiento en los trabajos de campo. Se agradece al Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT) de Guatemala, por el apoyo económico brindado para la obtención de la información a través del proyecto FODECYT 046-2012.

Referencias

- Badii, M. H., Landeros, J., Valenzuela, J., Rodríguez, R., Ochoa, Y., & Cerna, E. (2013). Patrones Reproductivos. *International Journal of Good Conscience*, 8(1), 55-63.
- Batis, A. I., Alcocer, M. I., Gual, M., Sánchez, C. & Vázquez, C. (1999). *Árboles mexicanos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. (SNIB-CONABIO proyecto No. J084). México D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología.
- Castro, J., Zamora R., Hódar, J. A., Gómez, J. M., & Gómez-Aparicio, L. (2004). Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains: A 4-year study. *Restoration Ecology*, 12(3), 352-358. doi: 10.1111/j.1061-2971.2004.0316.x
- Ceccon, E. (2013). *Restauración en bosques tropicales: Fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. México: Ediciones Díaz de Santos.
- Cornejo-Tenorio, G., Casas, A., Farfán, B., Villaseñor, J. L., & Ibarra-Manríquez, G. (2003). Flora y vegetación de la zonas núcleo de la reserva Biosfera Mariposa Monarca, México. *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana*, 73, 43-62.
- Dong-Liang, C., Gen-Xuan, W., Bao-Ming, C., & Xiao-Ping, W. (2006). Positive interactions: crucial organizers in a plant community. *Journal of Integrative Plant Biology*, 48(2), 128-136. doi: 10.1111/j.1744-7909.2006.00128.x
- Eränen, J. K., & Kozlov, M. V. (2007). Competition and facilitation in industrial barrens: Variation in performance of mountain birch seedlings with distance from nurse plants. *Chemosphere*, 67, 1088-1095.
- Google Maps. (2014). San Marcos: Municipios de Ixchiguan, San José Ojetenam y Tacana. Recuperado de [http://maps.google.com/maps?f=q&source=s_q&hl=en&geocode=&q=300+Summit+St,+Hartford,+CT+06106+\(trinity+college\)&sll=41.746566,-72.688723&ssp-n=0.017963,0.038581&ie=UTF8&hq=&hnear=300+Summit+St,+Hartford,+Connecticut+06106&ll=41.747334,-72.688916&sp-n=0.008981,0.01929&z=16](http://maps.google.com/maps?f=q&source=s_q&hl=en&geocode=&q=300+Summit+St,+Hartford,+CT+06106+(trinity+college)&sll=41.746566,-72.688723&ssp-n=0.017963,0.038581&ie=UTF8&hq=&hnear=300+Summit+St,+Hartford,+Connecticut+06106&ll=41.747334,-72.688916&sp-n=0.008981,0.01929&z=16)
- Harper, J. L. (1977). *Population biology of plants*. New York: Academic Press.
- Instituto Nacional de Bosques. (s.f). *Iniciativa de ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala –PROBOSQUE–*. Guatemala. Recuperado de <http://www.mam.gov.gt/Multimedios/574.pdf>
- Maestre, F. T., & Cortina, J. (2004). Do positive interactions increase with abiotic stress? A test from a semi-arid steppe. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B (Supplement)*, 271, 331-333. doi: 10.1098/rsbl.2004.0181
- Malkinson, D., & Tielbörger, K. (2010). What does the stress-gradient hypothesis predict? Resolving the discrepancies. *Oikos*, 119(10), 1546-1552. doi:10.1111/i.1600-0706.2010.18375.x
- Martínez, J. V. (2011). *Evaluación y caracterización de la sucesión vegetal secundaria y propuestas para la restauración ecológica alrededor de áreas con pinabete (Abies guatemalensis Rehder) en San Marcos (FODECYT No. 055-2009)*. Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Centro Universitario de San Marcos, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
- Martínez, J. V. (2013). *Sucesión ecológica secundaria alrededor de parches de bosque con pinabete (Abies guatemalensis Rehder) en San Marcos, Guatemala* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia. Programa DOCINADE, San José, Costa Rica.

- Martínez, J. V. (2014). Sucesión vegetal en bordes de bosques de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) del occidente de Guatemala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(23), 64-77.
- Martínez, J. V., Pérez, M., Rivera M., C. O., & Velásquez, M. M. (2013). Integración del conocimiento científico y el tradicional en los procesos de restauración de los bosques de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), San Marcos, Guatemala. *Tikalía*, 31(1), 73-91.
- Montenegro, A. L., & Vargas, O. (2008). Atributos vitales de especies leñosas en bordes de bosque altoandino de la reserva forestal de Cogua (Colombia). *Revista Biología Tropical*, 56(2), 705-720.
- Niembro, A. (2001). Las diásporas de los árboles y arbustos nativos de México: Posibilidades y limitaciones de uso. *Madera y Bosques*, 7(2), 3-11.
- Ramírez-Marcial, N., González-Espinoza, M., & García-Moya, E. (1996). Establecimiento de *Pinus* sp. y *Quercus* sp. en matorrales y pastizales de los altos de Chiapas, México. *Agrociencia*, 30(2), 249-257.
- Reis, A., Bechara, F. C., & Tres, D. R. (2010). Nucleation in tropical ecological restoration. *Scientia Agricola*, 67(2), 244-250. doi: [10.1590/S0103-90162010000200018](https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000200018)
- Valladares, F., Aranda, I., & Sánchez-Gómez, D. (2004). La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. En F. Valladares (Ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (pp. 335-369). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Organismo Autónomo de Parques Nacionales.
- Valladares, F., & Gianoli, E. (2007). How much Ecology do we need to know to restore Mediterranean ecosystems?. *Restoration Ecology*, 15(3), 363-368. doi: [10.1111/j.1526-100X.2007.00230.x](https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00230.x)
- Vargas, W., & Lozano, F. H. (2008). El papel del vivero en un proyecto de restauración en paisajes rurales andinos. Establecimiento del corredor Barbas-Bremen. En J. I. Barrera-Cataño, M. Aguilar-Garavito, & D. C. Rondón-Camacho (Eds.), *Experiencias de restauración ecológica en Colombia* (pp. 67-82). Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Vázquez-Yanes, C., & Orozco-Segovia, A. (1994). Signals for seeds to sense and respond to gaps. En A. Caldwell, M. Marlyn, & R. W. Pearcy (Eds.), *Exploitation of environmental heterogeneity by plants* (pp. 209-235). London, UK: Academic Press.

Actividad antioxidante de extractos de diez basidiomicetos comestibles en Guatemala

Karen Belloso, Ivonne González, Rebeca Suárez, Armando Cáceres*

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

*Autor al que se dirige la correspondencia: acaceres46@gmail.com

Recibido: 01 de julio 2015 / Revisión: 20 de agosto 2015 / Aceptado: 30 de septiembre 2015 / Disponible en línea: 16 de noviembre 2015

Resumen

Los antioxidantes son esenciales en el cuerpo humano para prevenir el daño oxidativo. Estas sustancias pueden obtenerse de diferentes fuentes como frutas, plantas y hongos. En Guatemala, diversas especies de hongos comestibles son comercializadas y consumidas, sin embargo su actividad antioxidante no ha sido documentada en el país. El objetivo de este estudio fue determinar la actividad antioxidante de extractos acuosos y etanólicos obtenidos de diez especies de basidiomicetos comestibles (*Agaricus* aff. *bisporus*, *A. brunnescens*, *Armillariella polymyces*, *Amanita garabitoana*, *Boletus edulis*, *Cantharellus lateritius*, *Laccaria amethystina*, *Lactarius deliciosus*, *Neolentinus ponderosus* y *Pleurotus ostreatus*). Se utilizó un método cualitativo por cromatografía en capa fina (CCF) y tres ensayos macrométricos *in vitro* de cuantificación de fenoles totales, reducción del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH) y decoloración del radical catiónico del reactivo ácido 2,2'-azinobis-(ácido-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS). Los extractos acuosos mostraron mayor actividad antioxidante que los extractos etanólicos en todas las técnicas cuantitativas realizadas. La especie que mostró mayor actividad antioxidante en ambos extractos fue *B. edulis*, cuyos resultados en el extracto acuoso fueron: fenoles totales 93.46 ± 18.17 mg/g, DPPH IC_{50} 0.93 mg/mL (IC_{95%} 0.65-1.28) y en ABTS IC_{50} 0.96 mg/mL (IC_{95%} 0.63-1.35); los resultados en el extracto etanólico fueron: Fenoles totales 42.70 ± 3.48 mg/g, DPPH IC_{50} 2.75 mg/mL (IC_{95%} 2.46-3.07) y 4.13 mg/mL (IC_{95%} 2.67-5.88). Se evidencia de esta forma que las especies de basidiomicetos estudiadas presentan actividad antioxidante por lo cual pueden ser una fuente potencial de antioxidantes naturales.

Palabras claves: *Agaricus brunnescens*, *Amanita garabitoana*, *Boletus edulis*, alimentos funcionales, hongos comestibles

Abstract

Antioxidants are essential in the body to prevent oxidative damage. These antioxidant substances are obtained from different sources such as fruits, plants and mushrooms. In Guatemala, diverse species of mushrooms are commercialized and consumed, however their antioxidant activity has not been documented in Guatemala. The goal of this study aimed to determine the antioxidant activity of aqueous and ethanolic extracts obtained from edible basidiomycete's species: *Agaricus* aff. *bisporus*, *A. brunnescens*, *Armillariella polymyces*, *Amanita garabitoana*, *Boletus edulis*, *Cantharellus lateritius*, *Laccaria amethystina*, *Lactarius deliciosus*, *Neolentinus ponderosus* and *Pleurotus ostreatus*. Thin layer chromatography (TLC) was used as a qualitative method to determine the presence of antioxidant activity, subsequently, three *in vitro* macrometric assays were used: the quantification of total phenolics, reduction of 1,1-diphenyl-2-picrilhidrazil (DPPH) radical, and discoloration of the acid reagent 2,2'-azinobis-(acid-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical cation. Aqueous extracts exhibited higher antioxidant activity than ethanolic in all the quantitative techniques used. The specie that showed greater antioxidant activity in both extracts was *B. edulis*, whose results of aqueous extract were as follows: Total phenolics 93.46 ± 18.17 mg/g, DPPH IC_{50} 0.93 mg/mL (CI_{95%} 0.65-1.28) and ABTS IC_{50} 0.96 mg/mL (CI_{95%} 0.63-1.35); results of ethanolic extract were: Total phenolics 42.70 ± 3.48 mg/g, DPPH IC_{50} 2.75 mg/mL (CI_{95%} 2.46-3.07) and ABTS IC_{50} 4.13 mg/mL (CI_{95%} 2.67-5.88). Based in the result of the study all the basidiomycete's species that were evaluated have antioxidant activity, therefore, are potential sources of natural antioxidants.

Keywords: *Agaricus brunnescens*, *Amanita garabitoana*, *Boletus edulis*, functional foods, edible mushrooms



Introducción

En los últimos años se ha determinado que muchas enfermedades crónicas son provocadas por radicales libres, sustancias que tienen la capacidad de causar reacciones oxidativas en el organismo y desencadenar enfermedades metabólicas, neurodegenerativas y cardiovasculares. Debido a esto, se hace necesaria la investigación de las propiedades antioxidantes de productos naturales, los cuales presentan menor toxicidad en relación con los compuestos sintéticos utilizados actualmente como aditivos alimenticios (Imark, Kneubühl, & Bodmer, 2001).

En muchos países el consumo de hongos es utilizado tradicionalmente como una alternativa alimenticia, ya que estos poseen diversas propiedades nutricionales y se pueden cultivar mediante técnicas sencillas de bajo costo; además sus diferentes componentes han mostrado actividad inmunomoduladora, antimicrobiana, antitumoral, antiinflamatoria y antioxidante (Paz, 2011; Rodríguez, Ramírez, González, Oliva, & Sánchez, 2009; Sommerkamp, 1990).

La selección de las especies se hizo en base a su disponibilidad, ya que todas poseen un elevado potencial de comercialización en los mercados nacionales y su consumo puede contribuir a la economía del campesino (Bran, Flores, Morales, & Cáceres, 2003; Sommerkamp, 1990).

Estudios previos realizados en otros países han comprobado la actividad antioxidante que presentan diversas especies de basidiomicetos comestibles (Elmastas, Isildak, Turkecul, & Temur, 2007; Ferreira Baptista, Villas-Boas, & Barros, 2007; Heleno, Barros, Sousa, Martins, & Ferreira, 2010; Jayakumar, Ramesh, & Geraldine, 2006; Tsai, Tsai, & Mau, 2006), incluyendo investigaciones donde se han aislado e investigado los polisacáridos de *Agaricus* aff. *bisporus*, mostrando interesantes propiedades antioxidantes que confieren protección ante el daño oxidativo (He, Ru, Dong, & Sun, 2012).

En Guatemala no se han documentado estudios que evalúen la actividad antioxidante de basidiomicetos comestibles, por lo que el principal objetivo de este estudio fue evaluar la actividad antioxidante *in vitro* de los extractos etanólicos y acuosos de diez especies de basidiomicetos por medio de cuatro métodos, uno cualitativo y tres cuantitativos.

Materiales y métodos

Obtención del material fúngico

Las especies de basidiomicetos *A. bisporus*, *A. brunnescens* y *Pleurotus ostreatus* fueron adquiridos comercialmente en La Central de Mayoreo (CENMA) del departamento de Guatemala, y se identificaron taxonómicamente en la Micoteca de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Las especies *Armillariella polymyces*, *Amanita garabitoana*, *Boletus edulis*, *Cantharellus lateritius*, *Laccaria amethystina*, *Lactarius deliciosus* y *Neolentinus ponderosus* fueron obtenidas en los mercados municipales de Tecpán, Guatemala y Alta Verapaz, dichas especies fueron proporcionadas por la Unidad de Bioensayos del Departamento de Citohistología de la Escuela de Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, al igual que los extractos con etanol al 95% de *A. garabitoana*, *A. polymyces*, *B. edulis*, *L. deliciosus* y *N. ponderosus*.

Preparación de los extractos

Los extractos etanólicos fueron obtenidos de acuerdo a la técnica de extracción continua por percolación descrita por Cáceres y colaboradores (2012), utilizando como disolvente etanol al 95%, percolación continua y concentrados en un evaporador rotatorio a temperatura controlada (< 45°C). Los extractos acuosos se obtuvieron según Carmona, López, González y Muñoz (2006), preparando una infusión, suspensión de una sustancia orgánica en un líquido caliente a manera que se disuelvan sus partes solubles; se agregó 1 g de material seco a 100 mL de agua desmineralizada hirviendo, se dejó reposar por 10 min y por último se filtró utilizando papel filtro.

Evaluación de la actividad antioxidante

Los extractos se evaluaron por procedimientos que miden la actividad antioxidante *in vitro* establecidos en el Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT), originalmente establecidos para evaluar la actividad antioxidante de extractos vegetales (Cáceres et al., 2012), que a continuación se describen.

Cromatografía en capa fina (CCF). Se aplicaron 10 µL de muestra de cada extracto y 5 µL de los estándares antioxidantes, quercetina, rutina y terbutil-

hidroquinona (TBHQ) en una cromatoplaque de silica gel 60F₂₅₄ (Merck). Se colocó la placa en la cámara de vidrio saturada con acetato de etilo, ácido acético, ácido fórmico y agua (100:11:11:26). Luego de secar y asperjar con DPPH (1 mg/mL en metanol) se determinó la actividad antioxidante observándose decoloración del DPPH en las bandas respectivas, cuya intensidad fue medida por cruces.

Cuantificación de fenoles totales. Se realizó según la metodología de Lima (2003) y Lock (1994), utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu. Se preparó una curva de calibración utilizando ácido gálico (0.1 mg/mL) de la cual se tomaron volúmenes de 0 µL a 250 µL en intervalos de 50 µL y se completó el volumen de cada uno con agua desmineralizada para llegar a un volumen de 4 mL adicionando también 0.4 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu y 0.8 mL de Na₂CO₃ al 10%. Del extracto se prepararon dos muestras; la primera con 3.95 mL de agua, 0.4 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu, 0.8 mL de Na₂CO₃ al 10% y 50 µL de extracto; la segunda muestra con 3.90 mL de agua, 0.4 mL de reactivo Folin-Ciocalteu, 0.8 mL de carbonato de sodio (Na₂CO₃) al 10% y 100 µL de extracto. Los tubos de reacción se agitaron en un vortex durante 30 seg, se calentaron de 90-100 °C por 1 min y se dejaron enfriar. Se realizó la lectura de absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 765 nm. La cantidad de fenoles totales fue expresada como µg equivalentes de ácido gálico por mg de extracto.

Reducción del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH). Según la metodología de Sharma y Bhat (2009) y Lima (2003). Se preparó una serie de cuatro tubos de reacción por ensayo. Al primer tubo (blanco del control) se le agregó 1 mL de una solución tampón de acetato y 2 mL de metanol; al segundo tubo (control), se le agregó 1 mL de tampón de acetato, 1.5 mL de metanol y 0.5 mL de solución metanólica de DPPH 500 µM; al tercer tubo (blanco del ensayo), se le agregó 1 mL de tampón de acetato, 1.9 mL de metanol, 0.1 mL de extracto; al cuarto tubo (ensayo), se le agregó 1 mL de tampón de acetato, 1.4 mL de metanol, 0.1 mL del extracto y 0.5 mL de solución de DPPH 500µM. Se agitó en vortex por 30 seg e incubó a temperatura ambiente por 30 min protegido de la luz. Se realizó la lectura de la absorbancia (Abs) en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 517 nm contra el blanco respectivo. Se calculó el porcentaje de Inhibición (%Inh) de la Abs por medio de la Ecuación

[1], que se interpreta según el valor de CI₅₀, es decir, la concentración del extracto requerida para disminuir un 50% la absorbancia de DPPH.

(Ecuación 1)

$$\frac{\text{Abs del control} - \text{Abs de la dilución} * 100}{\text{Abs del control}} = \% \text{ Inh}$$

Decoloración del radical catiónico del reactivo ácido 2,2'-azinobis-(ácido-3- etilbenzotiazolina-6-sulfónico, ABTS). El procedimiento se basó en lo descrito por Re y colaboradores (1999) y Vasco, Ruales y Kamal-Eldin (2008). Se preparó el catión ABTS⁺ con la mezcla de la solución ABTS (7 mM) y la solución de persulfato de potasio (2.45 mM) con 18 h previas de incubación. Se diluyó en etanol al 95% (1:30) para obtener una absorbancia (Abs) de (0.70 ± 0.2) en una lectura de absorbancia en el espectrofotómetro a 734 nm. La solución de trabajo se incubó durante 30 min a 30 °C. La dilución del extracto (3 µL) se mezcló con 3 mL de la solución de trabajo de ABTS. Se leyó la Abs en el espectrofotómetro a 734 nm en los minutos 1, 4 y 6. Se calculó el % Inh de la Abs por medio de la ecuación 1. Esta se interpreta según el valor de CI₅₀, es decir, la concentración del extracto requerida para disminuir un 50% la absorbancia de ABTS. Los resultados se expresan como Actividad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC), que representa la concentración de solución de Trolox que tiene la misma capacidad antioxidante que el extracto.

Diseño y análisis de datos

Se realizó un estudio experimental inferencial de tipo dosis-respuesta, utilizándose las siguientes variables. Independientes: (1) Las diez especies de basidiomicetos comestibles. (2) Extractos acuosos y etanólicos de los basidiomicetos comestibles. (3) Concentraciones de cada extracto. Dependientes: Actividad antioxidante detectada por medio de los ensayos macrométricos DPPH, ABTS, y Cuantificación de fenoles.

Los resultados obtenidos en CCF únicamente se describieron al observar la cromatoplaque. Asimismo, se realizaron tres réplicas por extracto obtenido de cada especie (10 extractos etanólicos y 10 extractos acuosos) así como de los estándares utilizando los siguientes ensayos: cuantificación de fenoles totales, determinación de actividad antioxidante por DPPH y ABTS. Para la cuantificación de fenoles totales se reporta la media de las tres cuantificaciones y su respectiva desviación estándar.

Para las técnicas de DPPH y ABTS se calculó la ecuación de la recta y se evaluó estadísticamente con el coeficiente de determinación (r^2). Todas las mediciones se representaron en diagramas de dispersión para determinar gráficamente la tendencia de los datos. Se obtuvo un comportamiento lineal con el que se realizó un análisis de regresión lineal simple. Para cada extracto se calculó el valor de concentración Inhibitoria media (CI₅₀) empleando la ecuación de la recta (CI₅₀ = [50-pendiente]/intercepto) con un intervalo de confianza del 95%.

El valor de TEAC indicado en la tabla de resultados representa la concentración de solución de Trolox que tiene la misma capacidad antioxidante que el extracto. Los valores de TEAC se determinaron según la siguiente ecuación:

(Ecuación 2)

$$\Delta A_{\text{trolox}} = (A_{T=0 \text{ Trolox}} - A_{T=6 \text{ Trolox}}) - \Delta A_{\text{solvent}(0-6 \text{ min})}$$

$$\Delta A_{\text{trolox}} = m \cdot [\text{Trolox}]$$

$$\text{TEAC}_{\text{extracto}} = (\Delta A_{\text{extracto}}/m) \cdot d$$

Donde ΔA = reducción de la absorbancia, A = absorbancia al tiempo dado, m = pendiente de la curva estándar, $[\text{Trolox}]$ = concentración de Trolox, d = factor de dilución por triplicado.

Resultados

Las especies, tipo de extracto, y resultados obtenidos pueden visualizarse en la Tabla 1. El método cualitativo de CCF con revelador DPPH, demuestra que la actividad antioxidante fue positiva para todos los extractos de las 10 especies, comparándose con tres estándares: quercetina (+++), rutina (++++), y TBHQ (+++) los cuales también mostraron actividad positiva.

En la metodología de cuantificación de fenoles totales, *B. edulis*, demostró la mayor cantidad de fenoles totales tanto en el extracto etanólico (42.70 ± 03.48 µg ácido gálico/mg de extracto) como acuoso (93.46 ± 18.17 µg ácido gálico/mg de extracto), seguido de los extractos acuosos de *A. garabitoana* (84.98 ± 04.81 µg ácido gálico/mg de extracto) y *A. bisporus* (62.92 ± 00.71 µg ácido gálico/mg de extracto). Las especies que reportaron menor cantidad de fenoles totales fueron los extractos etanólicos de *P. ostreatus* (6.15 ± 1.14 µg ácido gálico/mg de extracto) y *C. lateritius* (5.44 ± 0.08 µg ácido gálico/mg de extracto) (Tabla 1).

En cuanto al ensayo macrométrico de reducción del radical DPPH, se determinó que la mejor actividad antioxidante la presentó el extracto de *B. edulis*, tanto el acuoso (CI₅₀ de 0.93 mg/mL, IC_{95%} 0.65-1.28) como el etanólico (CI₅₀ de 2.75 mg/mL, IC_{95%} 2.46-3.07), ya que inhibió el 50% de los radicales de oxidación con la menor cantidad de extracto. El extracto que presentó la segunda mejor actividad fue el extracto acuoso de *A. garabitoana* (CI₅₀ 1.18 mg/mL, IC_{95%} 1.07-1.29), mientras que el que presentó la menor actividad fue el extracto etanólico de *P. ostreatus* (CI₅₀ 23.81 mg/mL, IC_{95%} 22.61-26.21). Por el método de ABTS la mayor actividad también se demostró en el extracto acuoso de *B. edulis* (CI₅₀ 0.96 mg/mL, IC_{95%} 0.63-1.35). Se observó que la TEAC en los extractos acuosos presenta los valores más altos, obteniendo el mejor resultado con el extracto acuoso de *B. edulis* con un valor de 22.37 µmol/g extracto.

Discusión

Los radicales libres son producidos durante el metabolismo celular en condiciones normales y patológicas. La oxidación es esencial para muchos organismos vivos en la generación de energía la cual sirve de combustible en diversos procesos biológicos. Sin embargo, la producción no controlada de radicales libres derivados del oxígeno, provocan daño oxidativo al ADN, proteínas y otras macromoléculas, dando como resultado el desarrollo de procesos asociados con el envejecimiento y enfermedades degenerativas como cáncer, artritis reumatoide, cirrosis y arterosclerosis (Fraga, Shigenaga, Park, Degan, & Ames, 1990; Halliwell & Gutteridge, 2007). La ingesta de alimentos ricos en sustancias antioxidantes como ácido ascórbico, carotenoides, α -tocoferol, compuestos fenólicos y polisacáridos, entre otros, previene, disminuye o alarga el desarrollo de las enfermedades mencionadas, creando la defensa antioxidante del organismo para protegerlo contra el daño oxidativo (Halliwell & Gutteridge, 2007).

De cada una de las especies se trabajó un extracto etanólico al 95% y un extracto acuoso para obtener compuestos polares y apolares. Se ha reportado que se obtienen mejores beneficios trabajando con el extracto completo que solo con los metabolitos aislados, ya que el extracto como una mezcla compleja de compuestos fitoquímicos, provoca mayores efectos aditivos y sinérgicos (Barros et al., 2008).

Asimismo, se evaluó la actividad antioxidante *in vitro* por medio de cuatro métodos, uno cualitativo y tres

Tabla 1

Actividad antioxidante y cuantificación de fenoles totales en extractos acuosos y etanólicos de 10 especies de basidiomicetos comestibles

| Especie | Extracto | Cuantificación de fenoles totales* | | Determinación de la actividad antioxidante | | |
|--------------------------------|-----------|--|----------------------------|--|---------------------------------|---------------|
| | | µg equivalentes de ácido gálico/mg de extracto | Cromatografía en capa fina | DPPH CI ₅₀ (mg/mL)** | ABTS CI ₅₀ (mg/mL)** | TEAC (µmol/g) |
| <i>Armillariella polymyces</i> | Etanólico | 6.75 ± 1.24 | ++ | 18.04 (15.12-21.63) | 20.32 (16.23-23.01) | 3.90 |
| | Acuoso | 12.10 ± 0.41 | ++ | 4.80 (3.95-5.80) | 4.32 (3.26-5.65) | 15.51 |
| <i>Amanita garabitoana</i> | Etanólico | 27.11 ± 1.49 | +++ | 9.70 (6.84-13.51) | 14.45 (12.29-17.01) | 4.66 |
| | Acuoso | 84.98 ± 4.81 | ++++ | 1.18 (1.07-1.29) | 2.86 (2.29-3.56) | 15.99 |
| <i>Boletus edulis</i> | Etanólico | 42.70 ± 3.48 | ++++ | 2.75 (2.46-3.07) | 4.13 (2.67-5.88) | 9.15 |
| | Acuoso | 93.46 ± 18.17 | ++++ | 0.93 (0.65-1.28) | 0.96 (0.63-1.35) | 22.37 |
| <i>Neolentinus ponderosus</i> | Etanólico | 12.80 ± 0.91 | +++ | 16.10 (14.03-18.51) | 17.21 (15.07-19.70) | 4.00 |
| | Acuoso | 47.82 ± 0.64 | ++ | 6.56 (6.17-6.97) | 4.06 (3.24-5.86) | 14.98 |
| <i>Lactarius deliciosus</i> | Etanólico | 11.14 ± 0.92 | +++ | 17.04 (13.82-21.12) | 10.59 (08.84-12.64) | 5.91 |
| | Acuoso | 50.46 ± 2.97 | ++++ | 2.10 (1.78-2.95) | 3.89 (3.41-4.47) | 15.63 |
| <i>Agaricus bisporus</i> | Etanólico | 11.86 ± 1.07 | ++++ | 12.94 (11.40-14.70) | 15.38 (13.49-17.56) | 4.71 |
| | Acuoso | 62.92 ± 0.71 | ++++ | 2.45 (2.00-2.94) | 3.85 (3.15-4.65) | 15.96 |
| <i>Laccaria amethystina</i> | Etanólico | 9.42 ± 1.73 | +++ | 17.24 (15.03-19.82) | 18.48 (16.26-21.08) | 4.26 |
| | Acuoso | 36.48 ± 6.93 | ++ | 4.55 (3.6-5.69) | 4.22 (3.83-4.64) | 14.83 |
| <i>Pleurotus ostreatus</i> | Etanólico | 6.15 ± 1.14 | ++ | 19.86 (16.81-23.59) | 23.81 (22.61-26.21) | 3.89 |
| | Acuoso | 43.32 ± 1.53 | ++ | 4.79 (3.4-6.61) | 3.95 (3.42-4.60) | 15.29 |
| <i>Cantharellus lateritius</i> | Etanólico | 5.44 ± 0.08 | ++ | 21.75 (19.73-24.13) | 20.27 (17.57-23.49) | 3.91 |
| | Acuoso | 10.87 ± 0.46 | ++ | 6.80 (6.22-7.44) | 6.17 (5.53-6.90) | 11.70 |
| <i>Agaricus brunnescens</i> | Etanólico | 14.03 ± 0.76 | ++++ | 2.61 (1.87-3.25) | 7.08 (5.82-8.52) | 8.24 |
| | Acuoso | 50.02 ± 2.07 | +++ | 3.91 (2.9-5.05) | 3.72 (2.86-4.74) | 18.26 |

Nota. *El valor corresponde a media ± desviación estándar. **Intervalos de confianza al 95%. CI₅₀ = Concentración inhibitoria media (50%). DPPH = 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo. ABTS = 2,2'-azinobis-(ácido-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico). TEAC = Capacidad antioxidante equivalente a Trolox.

cuantitativos. El primero fue el método cualitativo para demostrar la actividad antioxidante y orientar la cuantificación; todos los extractos mostraron algún grado de actividad antioxidante.

Respecto a fenoles totales la mayor actividad la demostró el extracto etanólico y acuoso de *B. edulis*,

seguido de los extractos acuosos de *A. garabitoana* y *A. bisporus*. Las especies con menor cantidad de fenoles totales fueron los extractos etanólicos de *P. ostreatus* y *C. lateritius*, por lo que se esperaría una menor actividad antioxidante. Sin embargo, en estudios previos se reportó que el extracto etanólico liofilizado del micelio

de *P. ostreatus* demostró una actividad antioxidante mayor (6.74 mg/mL), esto puede deberse a la liofilización del extracto, ya que se sabe que con ello se conservan al máximo los compuestos fenólicos relacionados al potencial antioxidante (Vamanu, 2012).

Se observa correlación directa entre el contenido de fenoles y la actividad antioxidante de los basidiomicetos evaluados en el presente estudio, tal y como se describe en la literatura (Barros et al., 2008). En estudios recientes realizados en hongos comestibles se reporta actividad antioxidante atribuida al contenido de fenoles; estos estudios reportan en *B. edulis* valores de fenoles totales 31.64 y 12.77 µg/mg en el extracto metanólico, 5.73 µg/mg en el extracto etanólico y 5.81 µg/mg en el extracto acuoso (Keleş, Koca, & Gençcelep, 2011; Sarikurkcu, Tepe, & Yamac, 2007; Tsai et al., 2006). Yang y colaboradores (2002) reportaron para *P. ostreatus* valores de fenoles totales de 15.7 ± 0.10 µg/mg en el extracto etanólico, mientras que Elmastas y colaboradores (2007) encontraron en el extracto metanólico un contenido de 12.1 ± 0.10 µg/mg.

El ensayo macrométrico de reducción del radical DPPH, demostró que la mejor actividad antioxidante la presentaron los extractos acuoso y etanólico de *B. edulis*, ya que inhibió el 50% de los radicales de oxidación con la menor cantidad de extracto. El extracto que presentó la segunda mejor actividad fue el extracto acuoso de *A. garabitoana*, caso contrario el extracto etanólico de *P. ostreatus* mostró menor actividad, cabe mencionar que los extractos acuosos presentaron mayor actividad en comparación con los etanólicos, esto debido a que la naturaleza de los metabolitos produce una diferencia en la actividad antioxidante.

En estudios en *B. edulis* se reportan valores de CI_{50} de 1.75 mg/mL en el extracto etanólico (Tsai et al., 2006). Asimismo se ha reportado actividad antioxidante de las especies estudiadas como los extractos metanólicos de *A. bisporus* (CI_{50} 4.49 mg/ml) y *L. deliciosus* (CI_{50} 8.52 mg/ml) por el método de DPPH. Al comparar los resultados obtenidos en el presente estudio y los reportados en otros estudios; se observan diferencias, en los resultados cuantitativos, las cuales pueden deberse a las condiciones analíticas y metodológicas utilizadas (Barros et al., 2008; Ferreira et al., 2007).

La mayor actividad antioxidante obtenida por el método de ABTS la demostró el extracto acuoso de *B. edulis* (CI_{50} 0.96 mg/mL, $CI_{95\%}$ 0.63-1.35).

Con el método de ABTS se observó una menor actividad antioxidante que con DPPH; esto indica que los compuestos con características apolares que están

presentes en los extractos no presentan mucha actividad antioxidante en comparación con los compuestos con características polares.

El resultado de la actividad antioxidante obtenida con los extractos de las especies de hongos evaluadas no es tan elevada en comparación con la actividad de los estándares utilizados, sin embargo, la especie de basidiomiceto que presentó la mejor actividad antioxidante por medio de todas las metodologías fue *B. edulis*, aproximándose mucho más al CI_{50} de los estándares.

Todos los extractos acuosos mostraron los mejores resultados mediante todas las metodologías utilizadas, a pesar de tener un menor rendimiento, aportando así una valiosa información ya que el extracto acuoso se asemeja a la forma natural del consumo de los hongos en la dieta humana.

Respecto a la capacidad antioxidante TEAC, se observó que los extractos acuosos presentaron los valores más altos, obteniendo el mejor resultado con el extracto acuoso de *B. edulis* con un valor de 22.37 µmol/g extracto; el resto de las especies evaluadas muestran una tendencia similar, lo cual concuerda con los resultados obtenidos mediante DPPH y ABTS. Estudios con los ensayos FRAP, TEAC y DPPH demuestran, que *B. edulis* es uno de los hongos silvestres comestibles con mayor actividad antioxidante (Witkowska, Zujko, & Mironzcuk-Chodakowska, 2011)

Comparando las metodologías, varios autores reportan que el método de radical DPPH es un método fácil, simple y reproducible; el radical sintético utilizado es más estable y menos fotosensible que el radical catiónico ABTS (Kuskoski, 2005). Se obtuvo una alta reproducibilidad tanto en ABTS como en DPPH además de presentar intervalos de confianza con una amplitud considerablemente estrecha; lo cual indica que no hay mucha dispersión entre las mediciones de las tres réplicas realizadas. Con el método de DPPH se obtuvieron menores CI_{50} , indicando que posiblemente los metabolitos de los basidiomicetos que confieren propiedades antioxidantes poseen características polares.

Se mostró que cada extracto posee una tendencia similar en la cuantificación obtenida mediante las diferentes técnicas utilizadas, la especie que reflejó mayor cantidad de fenoles totales reportó la mejor actividad antioxidante en las dos metodologías de cuantificación, evidenciando que los compuestos ricos en polifenoles, es decir, los pigmentos con poder antioxidante que tienen más de un grupo fenol en cada molécula, son los que mayor actividad antioxidante presentan lo cual permite correlacionar con estudios previos (Barros et al., 2008; Caballeros, 2001).

Con estos hallazgos se evidencia el potencial de los hongos para ser promovidos como alimentos funcionales ya que pueden ser utilizados como agentes protectores, aportando antioxidantes naturales al ser humano por medio de la dieta y de esta forma reducir el daño oxidativo, mantener la salud, longevidad y calidad de vida (Kozarski et al., 2015)

Agradecimientos

Al personal del Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT) por facilitar los materiales, el equipo e instalaciones utilizados en la realización de este estudio, principalmente a la Dra. Sully Cruz y Licda. Nereida Marroquín. Al Departamento de Citohistología, principalmente a las MA. Isabel Gaitán y Margarita Paz por su apoyo. Al Lic. Roberto Cáceres por su colaboración en la identificación taxonómica de los basidiomicetos.

Referencias

- Barros, L., Falcão, S., Baptista, P., Freire, C., Vilas-Boas, M., & Ferreira, I. (2008). Antioxidant activity of *Agaricus sp.* mushrooms by chemical, biochemical and electrochemical assays. *Food Chemistry*, *111*, 61-66.
- Bran, M. C., Flores, R., Morales, O., & Cáceres, R. (2003). *Contribución al conocimiento de los hongos comestibles en Guatemala*. Guatemala.
- Caballeros, K. (2001). *Optimización de dos métodos para el tamizaje de la actividad antioxidante de extractos* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.
- Cáceres, A., Lange, K., Cruz, S. M., Velásquez, R., Lima, S., Menéndez, M. C., & González, J. (2012). Assessment of antioxidant activity of 24 native plants used in Guatemala for their potential application in natural product industry. *Acta Horticulturae*, *964*, 85-92.
- Carmona, R., López, O., González, M., & Muñoz, A. (2006). Optimización del proceso de obtención del extracto acuoso de *Calendula officinalis*. *Revista Cubana Plantas Medicinales*, *11*, 3-4.
- Elmastas, M., Isildak, O., Turkecul, I., & Temur, N. (2007). Determination of antioxidant activity and antioxidant compounds in wild edible mushrooms. *Journal of Food Composition and Analysis*, *20*, 337-345.
- Ferreira, I., Baptista, P., Vilas-Boas, M., & Barros, L. (2007). Free-radical scavenging capacity and reducing power of wild edible mushrooms from northeast Portugal: Individual cap and stipe activity. *Food Chemistry*, *100*, 1511-1516.
- Fraga, C., Shigenaga, M., Park, J., Degan, P., & Ames, B. (1990). Oxidative damage to DNA during aging: 8-hidroxy-2'-deoxyguanosine in rat organ DNA and urine. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *87*, 4533-4537.
- Halliwell, B. & Gutteridge, J. (2007). *Free radicals in Biology and Medicine*. United States (4th. ed.) New York: Oxford University Press.
- He, J., Ru, Q., Dong, D., & Sun, P. (2012). Chemical characteristics and antioxidant properties of crude water soluble polysaccharides from four common edible mushrooms. *Molecules*, *17*, 4373-4387.
- Heleno, S., Barros, L., Sousa, M. J., Martins, A., & Ferreira, I. C. F. R. (2010). Tocopherols composition of Portuguese wild mushrooms with antioxidant capacity. *Food Chemistry*, *119*, 1443-1450.
- Imark, C., Kneubühl, M., & Bodmer, S. (2001). Occurrence and activity of natural antioxidants in herbal spirits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *1*, 239- 243.
- Jayakumar, T., Ramesh, E., & Geraldine, P. (2006). Antioxidant activity of the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*, on CCl₄-induced liver injury in rats. *Food and Chemical Toxicology*, *44*, 1989-1996.
- Keleş, A., Koca, I., & Gençlelep, H. (2011). Antioxidant properties of wild edible mushrooms. *Food Processing & Technology*, *2*, 130-136.
- Kozarski, M., Klaus, A., Jakovljevic, D., Todorovic, N., Vunduk, J., Petrović, P., ..., van Griensven, L. (2015). Antioxidants of edible mushrooms. *Molecules*, *20*, 19489-19525
- Kuskoski, E. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Tecnología de Alimentos*, *25*, 726-732.
- Lima, S. (2003). *Evaluación de distintos solventes para el proceso de extracción en la determinación de*

- la actividad antioxidante de quilete* (*Solanum americanum*) y *mamey* (*Mammea americana*). (Tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Lock, O. (1994). Investigación fitoquímica, Métodos en el estudio de productos naturales (2da Ed.). Perú: Fondo editorial de la Pontificia Universidad del Perú.
- Paz, M., (2011). Composición química, actividad inmunomoduladora y biocida de basidiomicetos comestibles de Guatemala (FODECYT No. 30-2007). Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, N., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231-1237.
- Rodríguez, C., Ramírez, K., González, N., Oliva, S. & Sánchez, E. (2009). *Determinación de la actividad inmunomoduladora de los basidiomicetos comestibles* *Cantharellus lateritius* Singer (*Berk*) Singer, *Armillariella polymyces* (*Pers.: Letell.*) Sing & Clem, *Laccaria amethystina* Cooke, *Lactarius deliciosus* (*L. ex Fr*) S. F. Gray y *Pleurotus ostreatus* (*Jacq. ex Fr.*) Kumm (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.
- Sarikurkcü, C., Tepe, B., & Yamac, M. (2007). Evaluation of the antioxidant activity of four edible mushrooms from the Central Anatolia, Eskisehir-Turkey: *Lactarius deterrimus*, *Suillus collitinus*, *Boletus edulis*, *Xerocomus chrysenteron*. *Bioresource Technology*, 99, 6651-6655.
- Sharma, O., & Bhat, T. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chemistry*, 113, 1202-1205.
- Sommerkamp, Y. (1990). *Hongos comestibles en los mercados de Guatemala* (Cuaderno de Investigación No. 3-90). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación.
- Tsai, S., Tsai, H., & Mau, J. (2006). Antioxidant properties of *Agaricus blazei*, *Agrocybe cylindracea*, and *Boletus edulis*. *Food Science and Technology*, 40, 1392-1402.
- Yang, J., Lin, H., & Mau, J. (2002). Antioxidant properties of several commercial mushrooms. *Food Chemistry*, 77, 229-235.
- Vamanu, E. (2012). *In vitro* antimicrobial and antioxidant activities of ethenolic extract of lyophilized mycelium of *Pleurotus ostreatus* PQMZ91109. *Molecules*, 17, 3653-3671.
- Vasco, C., Ruales, J., & Kamal-Eldin, A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 111, 816-823.
- Witkowska, A. M., Zujko, M. E., & Mironzcuk-Chodakowska, I. (2011). Comparative study of wild edible mushrooms as sources of antioxidants. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 13, 335-341.

Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atitlán

Francisco Pérez-Sabino^{1*}, Balmore Valladares-Jovel², Elisandra Hernández²,
Bessie Oliva², Marta Del Cid², Pedro Jayes-Reyes¹

¹Unidad de Análisis Instrumental y ²Departamento de Análisis Inorgánico, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

*Autor al que se dirige la correspondencia: fpsabino@yahoo.com

Recibido: 27 de mayo 2015 / Revisión: 23 de septiembre 2015 / Aceptado: 29 de octubre 2015 / Disponible en línea: 16 de noviembre 2015

Resumen

El lago de Atitlán, considerado uno de los lagos más bellos del mundo, tiene una superficie de 125.7 km², una profundidad máxima de aproximadamente 350 m, y se encuentra en el departamento de Sololá, en el occidente de Guatemala. Desde 2009 se han observado floraciones extensivas de cianobacterias en el lago, reflejando la contaminación del agua en la cuenca. Se determinaron los niveles de arsénico (As) y mercurio (Hg) en agua superficial del lago de Atitlán, por espectrofotometría de absorción atómica, en cuatro muestreos realizados en marzo, mayo, agosto y octubre de 2014 en 14 sitios. Diez sitios se encuentran localizados en el lago, habiendo sido definidos en estudios anteriores con base en su cercanía a poblaciones asentadas en la orillas del lago. Dos sitios corresponden a los principales ríos tributarios, y los restantes dos sitios a la entrada y salida de la planta de tratamiento Los Cebollales, ubicada en Panajachel. Los niveles de As encontrados en el lago de Atitlán, tributarios y en la planta de tratamiento, fueron superiores a 20 µg/L. Los resultados indican que la contaminación del lago de Atitlán por As se debe principalmente a la geología de la cuenca, al localizarse en una zona volcánica. Los niveles cuantificables de As, son superiores al nivel máximo permitido para agua potable en la Norma de Agua Potable (NGO 29001) de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), por lo que el agua del lago de Atitlán no se considera apta para el consumo humano.

Palabras claves: Aguas residuales, espectrofotometría de absorción atómica, metales pesados, manejo sustentable

Abstract

Lake Atitlan is considered one of the most beautiful lakes in the world. It has 125.7 km² and 350 m maximum depth. It is located at the western province Sololá in the Guatemalan highlands. Since 2009 several cyanobacterial blooms have occurred at the lake, as consequence of the environmental degradation caused by water contamination into the basin. In this study pollution levels by arsenic (As) and mercury (Hg) in Lake Atitlan, were investigated by atomic absorption spectrophotometry. Four samplings were conducted in March, May, August and October 2014, collecting samples of water at 14 sampling sites, including the Wastewater Treatment Plant located at Panajachel. Presence of As above 20 µg/L was found in the water of Lake Atitlan, rivers and the wastewater treatment plant. The results indicate that contamination of Lake Atitlan regarding metals, is due majorly to the Basin geology located in a volcanic region. The levels of As are higher than recommended levels for drinking water in different regulations.

Keywords: Wastewater, atomic absorption spectrophotometry, heavy metals, sustainable management



Introducción

Las aguas de ríos y lagos, al no existir contaminación antropogénica, generalmente presentan contenido de arsénico (As) menor que 10 µg/L. En Brasil, en estudios realizados por el Centro Tecnológico de Saneamiento Básico (CETESB) en 1996, en el río Ribeiro de Iguape, Sao Paulo, se encontraron niveles elevados de As de 0.03 y 0.02 mg/L en aguas empozadas junto con desechos de minería de la Compañía Argentífera Furnas (CAF) y en los afluentes del río Furnas, respectivamente. En el monitoreo de las aguas brutas afluentes de las estaciones de tratamiento de aguas (ETAs) y aguas tratadas, analizadas en 1996, se encontraron concentraciones de As menores que 0.002 mg/L (CETESB, 1996).

La principal causa de intoxicación crónica por As inorgánico en el mundo, es la ingesta de agua de pozo contaminada. Se ha encontrado As en aguas subterráneas con niveles arriba del límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud (10 µg/L) en varios países del mundo: India, China, Taiwan, Chile, Argentina, México y Estados Unidos (Chatterjee & Mukherjee, 1999; Chowdhury et al., 2000; Smith et al., 2000; Wyatt, Lopez, Olivas, & Méndez, 1998).

Oliva, Pérez, Del Cid, Martínez y Valladares (2010) analizaron As en biomasa producto de la floración de cianobacterias ocurrida en octubre de 2009, encontrándose concentraciones de 2.013, 11.679 y 0.248 µg/g en peso seco en muestras colectadas por arrastre con red de fitoplancton en los alrededores de San Buenaventura, San Pedro la Laguna y centro del lago, respectivamente, durante esta floración extensa, siendo los primeros sitios localizados en las cercanías de la orilla del lago. Además de estudios de agua subterránea de la cuenca en que se encontró As (Geólogos del Mundo, 2013), se consideraron como razones para investigar los niveles de As en agua del lago de Atitlán y sus afluentes. La contaminación por As puede tener también causas antropogénicas, como la fundición de minerales metálicos, herbicidas arsenicales y preservantes de madera, las cuales no son significativas en la cuenca del lago de Atitlán. En el mismo estudio, Oliva y colaboradores (2010) encontraron zinc (Zn), plomo (Pb), cadmio (Cd) y As en diferentes concentraciones promedio en las plantas acuáticas del lago, *Potamogeton pectinatus* (Zn: 11,000 mg/Kg; Pb: 156 mg/Kg; Cd: 120 mg/kg; As: 64 mg/kg) *Erigeria densa* (Zn: 2513 mg/kg, Cd: 42 g/kg; Pb: 91.5 mg/kg; As: 115 mg/kg), *Eichornia crassipes* (Zn: 3,210 mg/kg; Cd: 16 mg/kg; Pb: 151 mg/kg; As: 177 mg/kg), *Typha dominguisis* (Zn: 995 mg/kg; Cd: 5

mg/kg; Pb: 65.2 mg/kg; As: 39.9 mg/kg). También fueron encontrados metales en sedimentos del lago de Atitlán en concentraciones promedio para Zn (805 mg/kg), Cd (185.5 mg/kg), Pb (183.3 mg/kg) no habiendo sido analizado el As. Concentraciones promedio de Zn (176 mg/kg), Pb (36 mg/kg) y As (44 mg/kg) se han reportado en el lago de Amatitlán (Basterrechea, 1997), mientras que en el lago de Izabal, se han reportado concentraciones de Zn (86 mg/kg) y Pb (221 mg/kg) no reportándose As (Basterrechea et al., 1993). De esta forma el Zn en dichos lagos se encontró en concentraciones menores a las encontradas en el lago de Atitlán en 2009, mientras que para el Pb se reportó una menor concentración promedio en el lago de Amatitán y mayor en el lago de Izabal, al compararse con las concentraciones en el lago de Atitlán.

Por otra parte, el mercurio (Hg) es un contaminante tóxico, persistente y bioacumulativo (United Nations Environment Programme, 2013), el cual es biomagnificado en la red trófica, siendo uno de los metales pesados con mayor potencial tóxico. El Hg se encuentra en pequeña concentración en la naturaleza, sin embargo, los niveles del metal se han incrementado en las últimas décadas debido a emisiones provocadas por fuentes antropogénicas, como el uso de combustibles fósiles, la minería y fundición de metales y la quema de basura. En los ecosistemas acuáticos, el Hg se encuentra en forma metálica, como Hg iónico y formando compuestos organometálicos. El Hg inorgánico descargado en los ecosistemas acuáticos es incorporado principalmente en los sedimentos debido a su alta afinidad por el material particulado (Le Roux, Turner, Millward, Ebdon, & Appriou, 2001). De esta forma, los sedimentos sirven como sumidero de Hg, sin embargo, también representan una fuente de especies de Hg hacia la columna de agua, por la conversión del metal en compuestos organometálicos, principalmente metilmercurio, por medio de la acción de bacterias reductoras de sulfatos, las cuales se encuentran abundantemente en los sedimentos superficiales (Gilmour et al., 1998).

El metilmercurio es una potente neurotoxina, siendo muy estable y presentando la capacidad de penetrar las membranas de los seres vivos, representando un riesgo para la salud reproductiva y neurológica de peces, aves y mamíferos a bajas concentraciones (Scheuhammer, Meyer, Sandheinrich, & Murray, 2007), al bioacumularse y biomagnificarse fácilmente (Mason, Laporte, & Andres, 2000; Watras et al., 1998). El metilmercurio puede llegar así al ser humano a través del consumo de pescado contaminado, que es la principal ruta de exposición del ser humano al metilmercurio, pudiendo causarle problemas de salud como reducción

del campo visual, disturbios de movilidad, deterioro mental, parálisis y muerte (Bisinoti & Jardim, 2004).

Por lo anterior, se analizaron As y Hg en agua del lago de Atitlán, con el propósito de evaluar si sus concentraciones representan un riesgo para la población humana que consume agua del lago, como una herramienta para la toma de decisiones por autoridades ambientales de la cuenca del lago de Atitlán.

Materiales y métodos

Área de estudio

El lago de Atitlán se localiza en 14.7° latitud N y 91.2° longitud O en el departamento de Sololá, a 1,562 msnm a una distancia de 145 km de la ciudad de Guatemala, en la región de la cadena volcánica que atraviesa Guatemala. El área total de la cuenca del lago de Atitlán es de 580 km² y del espejo de agua del lago es de 125.7 km², presentando una profundidad máxima de alrededor de 350 m. El lago es de origen volcánico, presentando una forma ovalada de 21 x 18 km, con dos bahías que corren en dirección al sur, a los lados de los volcanes Atitlán y Tolimán (LaBastille, 1988). Los principales tributarios del lago de Atitlán, son el río Quiscab

formado en el municipio de Sololá, a partir de la unión de los ríos Zarbabal y Novillero, con una longitud de 22.25 km, drenando parte de las aguas residuales del municipio de Sololá; y el río San Francisco, también conocido como río Panajachel, que presenta una longitud de 15.6 km y desemboca en el lago, en la población de Panajachel.

Toma de muestras

Se seleccionaron 10 sitios de muestreo para la toma de muestras de agua para el análisis de metales pesados en el lago de Atitlán y sus dos principales tributarios, el río Quiscab y el río San Francisco, tomándose como base una investigación anterior sobre la contaminación del agua del lago (Oliva et al., 2010), además de dos sitios adicionales, para la colecta de aguas residuales, uno en la entrada y otro en la salida de la planta de tratamiento Los Cebollales, ubicada en Panajachel (Figura 1), teniendo 14 puntos en total. Se realizaron cuatro muestreos a lo largo del año por conveniencia, en los meses de marzo, mayo, agosto y octubre de 2014. En cada sitio se tomó una muestra de agua superficial de 1.0 L en botellas de polipropileno, a una profundidad de 30.0 cm, enjuagando la botella tres veces con el agua del sitio de muestreo, antes de tomar la muestra.

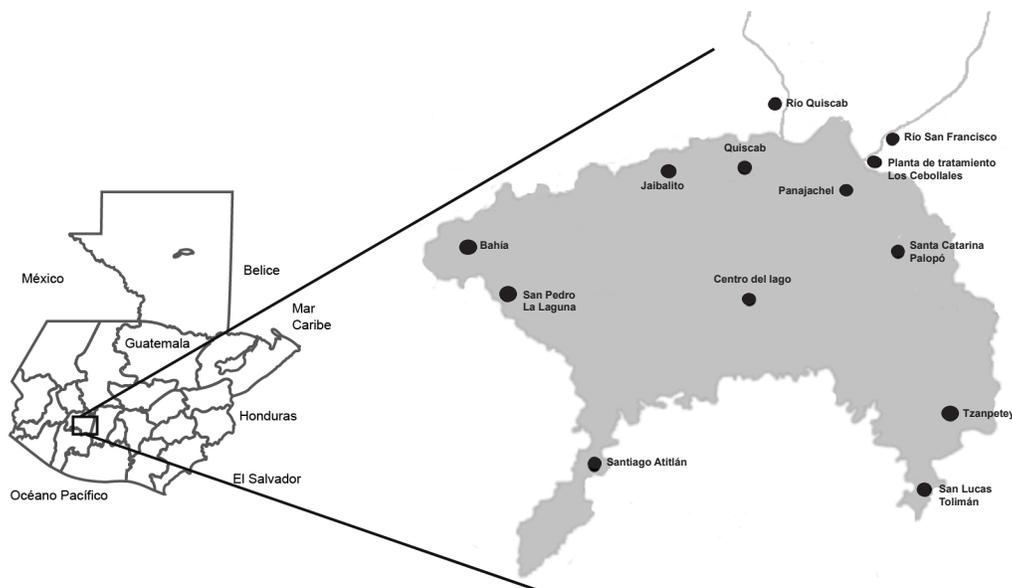


Figura 1. Mapa donde se ubican los puntos de muestreo en el Lago de Atitlán.

Análisis de las muestras

Para la cuantificación del As y el Hg, se prepararon las muestras de agua y curvas de calibración en el Laboratorio de Investigación Química y Ambiental de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, según métodos part 3114C y part 3112B para As y Hg respectivamente (American Public Health Association, 1998) por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros para As y con vapor frío para Hg (AAS, modelo S4 VP100, Thermo Fisher Scientific, application note AN40729 y application note AN40181_E 10/03C). Las curvas de calibración se prepararon utilizando estándares trazables al NIST. A cada muestra analizada por triplicado se le calculó el promedio y desviación estándar. La calidad de los resultados se asegura por medio de la medición de un estándar a cada cuatro lecturas de muestras.

Resultados

Se analizaron el As y el Hg en muestras de agua superficial colectadas en todos los sitios de muestreo en los cuatro meses, con excepción de los ríos San Francisco

y Quiscab muestreados en tres de los cuatro meses. Los promedios y desviación estándar de los datos de As y Hg correspondientes a los análisis de cada muestra realizados por triplicado, se resumen en las Tablas 1 y 2.

En todos los puntos de muestreo se detectó As, encontrándose las concentraciones más bajas en el río Quiscab y las más altas en la entrada y salida de la planta de tratamiento de Panajachel. Así mismo el primer muestreo realizado en marzo tuvo las concentraciones más altas (Tabla 1). En cuanto a Hg en los dos primeros muestreos, marzo y mayo, en algunos puntos las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección. En agosto y octubre se encontraron niveles cuantificables en todos los sitios muestreados, siendo en el muestreo de agosto en el que se encontraron las concentraciones más altas de los cuatro muestreos realizados en el año (Tabla 2).

Discusión

Se considera que la presencia de As y Hg en la cuenca del lago de Atitlán es provocada por la geología de la cuenca, ya que no hay industria fuerte asentada en la misma. Se ha sugerido que el As en solución acuosa en la cuenca del lago de Atitlán se origina de

Tabla 1

Concentración promedio de arsénico en aguas del lago de Atitlán ($\mu\text{g/L}$) con su desviación estándar

| Sitio de muestreo | marzo 2014 | mayo 2014 | agosto 2014 | octubre 2014 |
|----------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Panajachel | 24.9 \pm 0.3 | 17.1 \pm 0.2 | 15.7 \pm 0.3 | 17.5 \pm 0.1 |
| Quiscab | 28.2 \pm 0.1 | 17.3 \pm 0.1 | 17.3 \pm 0.3 | 13.0 \pm 0.3 |
| Jaibalito | 29.7 \pm 0.1 | 18.1 \pm 0.1 | 06.4 \pm 0.2 | 13.4 \pm 0.1 |
| Centro Lago | 22.9 \pm 0.1 | 18.6 \pm 0.1 | 14.0 \pm 0.1 | 14.5 \pm 0.2 |
| Bahía | 29.7 \pm 0.1 | 19.0 \pm 0.0 | 14.6 \pm 0.2 | 16.1 \pm 0.2 |
| San Pedro | 27.8 \pm 0.1 | 18.7 \pm 0.1 | 15.1 \pm 0.1 | 16.5 \pm 0.2 |
| Santiago | 28.5 \pm 0.1 | 18.7 \pm 0.0 | 13.9 \pm 0.1 | 16.5 \pm 0.1 |
| San Lucas | 29.6 \pm 0.2 | 19.2 \pm 0.1 | 17.4 \pm 0.1 | 18.2 \pm 0.1 |
| Santa Catarina | 28.7 \pm 0.1 | 19.9 \pm 0.1 | 14.4 \pm 0.2 | 18.2 \pm 0.2 |
| Tzanpetey | 29.1 \pm 0.1 | 19.6 \pm 0.1 | 17.4 \pm 0.2 | 18.4 \pm 0.1 |
| Río San Francisco | 25.0 \pm 0.1 | 17.5 \pm 0.1 | N M | 09.0 \pm 0.3 |
| Río Quiscab | 12.4 \pm 0.4 | 07.7 \pm 0.1 | 06.4 \pm 0.2 | N M |
| Entrada Planta Tratamiento | 53.1 \pm 0.4 | 33.3 \pm 0.1 | 23.0 \pm 0.1 | 36.8 \pm 0.5 |
| Salida Planta Tratamiento | 107.0 \pm 0.3 | 37.1 \pm 0.2 | 41.1 \pm 0.5 | 17.1 \pm 0.6 |

Nota. NM = No Muestreado.

Tabla 2

Concentración promedio de mercurio en aguas del lago de Atitlán ($\mu\text{g/L}$) con su desviación estándar

| Sitio de muestreo | marzo 2014 | mayo 2014 | agosto 2014 | octubre 2014 |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Panajachel | DLD | DLD | 3.8 ± 0.2 | 4.3 ± 0.1 |
| Quiscab | DLD | DLD | 3.3 ± 0.2 | 2.5 ± 0.7 |
| Jaibalito | 1.1 ± 0.0 | DLD | 3.1 ± 0.1 | DLD |
| Centro Lago | 0.3 ± 0.0 | DLD | 2.6 ± 0.2 | 3.2 ± 0.2 |
| Bahía | 1.1 ± 0.0 | DLD | 2.8 ± 0.2 | 0.4 ± 0.1 |
| San Pedro | 0.9 ± 0.0 | 8.2 ± 0.0 | 2.9 ± 0.2 | 0.7 ± 0.0 |
| Santiago | DLD | 0.5 ± 0.0 | 2.9 ± 0.2 | 0.6 ± 0.0 |
| San Lucas | 0.4 ± 0.0 | 0.5 ± 0.0 | 2.7 ± 0.1 | DLD |
| Santa Catarina | DLD | 0.9 ± 0.0 | 2.8 ± 0.2 | 0.5 ± 0.0 |
| Tzanpetey | 0.6 ± 0.0 | DLD | 3.0 ± 0.2 | 0.2 ± 0.0 |
| Río San Francisco | 2.4 ± 0.0 | DLD | NM | 0.5 ± 0.0 |
| Río Quiscab | 1.9 ± 0.0 | 2.4 ± 0.1 | 3.5 ± 0.1 | NM |
| Entrada Planta Tratamiento | 1.2 ± 0.0 | DLD | 2.9 ± 0.3 | DLD |
| Salida Planta Tratamiento | 0.6 ± 0.1 | DLD | 2.8 ± 0.1 | 0.3 ± 0.0 |

Nota. NM = No Muestreado, DLD = debajo del límite de detección.

depósitos piroclásticos asociados a antiguas erupciones freatomagmáticas o de rocas afectadas por alteración hidrotermal actual (Geólogos del Mundo, 2013)

En todas las muestras se han encontrado niveles detectables de As. En la planta de tratamiento fueron encontradas concentraciones más altas de As en la salida que en la entrada, habiéndose encontrado As arriba de $100 \mu\text{g/L}$ en marzo en la salida de la planta y niveles arriba de $20 \mu\text{g/L}$ en todos los sitios de muestreo en el lago, en el mismo mes, siendo el límite máximo permitido para el agua potable, según la norma COGUANOR NGO 29001:99, de $10 \mu\text{g/L}$. Se encontró también la presencia de Hg en casi todos los sitios de muestreo en concentraciones de hasta $3.81 \mu\text{g/L}$, niveles que no son tan elevados como los de As, sin embargo, el límite máximo permitido para agua potable, según la norma COGUANOR NGO 29001:99, es de $1 \mu\text{g/L}$, límite que fue superado en diferentes sitios de muestreo en diferentes meses, siendo destacable que en agosto dicho límite fue superado en todos los sitios de muestreo. Los resultados de As en cuatro sitios de muestreo representativos se presentan en la Figura 1 comparados con el valor guía de la norma.

Los resultados de presencia de As y Hg en el agua superficial del lago de Atitlán y sus afluentes, en

concentraciones superiores a los límites recomendados por la norma de agua potable, son un hallazgo muy importante, ya que no se contaba con información sobre niveles de As en el lago, cuya agua es utilizada para consumo humano en varias comunidades. Además, existe una propuesta del proyecto Todos por el Lago, planteada en el Simposio de Investigaciones Científicas y Tecnológicas en la cuenca del lago de Atitlán, realizado en Panajachel en septiembre de 2014, de exportar las aguas residuales de la cuenca hacia la costa sur, para disminuir la descarga de nutrientes hacia el lago y lo que según los proponentes, trasladaría aguas fértiles a los cultivos de la costa sur. Sin embargo, de realizarse esta exportación de aguas residuales, se estarían contaminando los suelos y cultivos de la zona sur con metales de alta toxicidad en el mediano y largo plazo, por los volúmenes elevados que se esperaría se exportaran, siendo necesario también realizar estudios de retención de As por los suelos de la zona.

Para evaluar el riesgo para la salud humana de las concentraciones de As y Hg, es necesario realizar la especiación de los mismos al existir estados de oxidación de ambos elementos que presentan mayor toxicidad. La especiación ha sido sugerida en estudios de contaminación de Hg en el sistema de lagunas Alvarado en México,

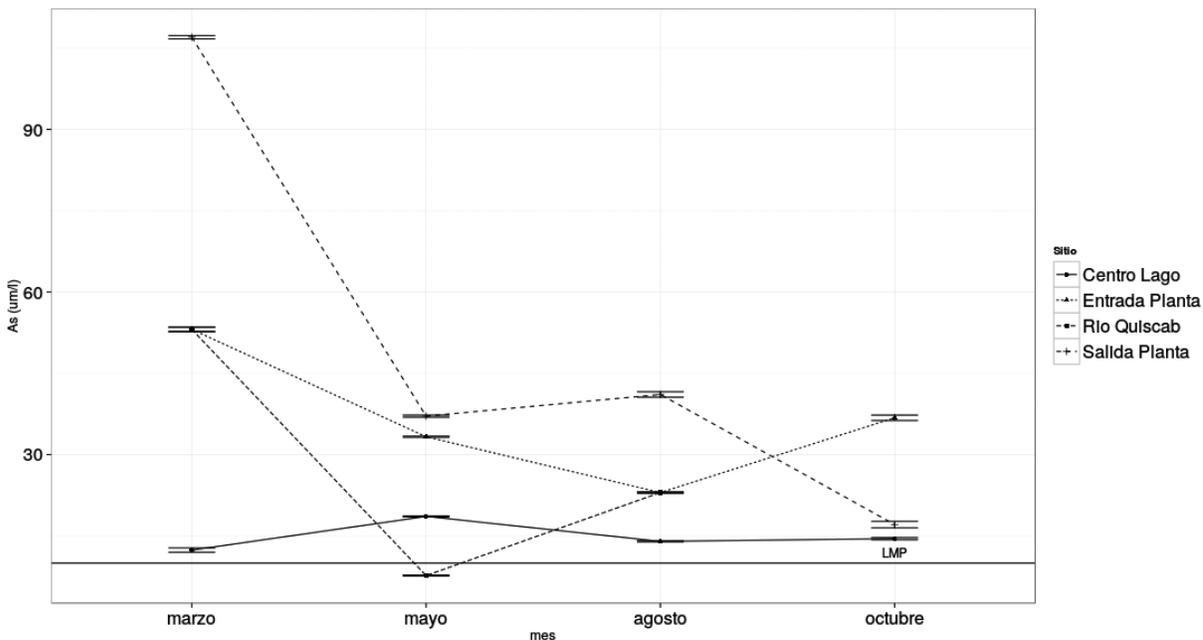


Figura 2. Concentraciones de As en agua de cuatro sitios de muestreo en la cuenca del lago de Atitlán, comparados con el nivel máximo permitido (LMP) para agua potable en la Norma COGUANOR NGO 29001:99.

en que se encontraron niveles de Hg en la columna de agua entre 1.0 y 12.7 µg/L (Guentzel, Portilla, Keith, & Keith, 2007), muy inferiores a las concentraciones de Hg encontradas en este estudio, y de especiación de As en el lago Colongulac, un lago endorreico localizado en Australia, en el cual se encontraron concentraciones de As total provocadas naturalmente, con una media de 61.4 µg/L en agua superficial y de 70.9 µg/L en la columna de agua (Madigan, Turoczy, & Stagnitti, 2005).

En lagos que son contaminados fuertemente por actividades antrópicas, como el lago Titicaca, el Hg ha estado por debajo del límite de detección de 0.2 mg/L (Monroy, Maceda-Veiga, & De Sostoa, 2014). En el lago Baiyangdian en China, se han encontrado concentraciones de ambos elementos en forma disuelta en los rangos de 1.1 y 22.1 ng/L en el caso del Hg, niveles inferiores a los encontrados en este estudio, y de 4,120 y 8,190 ng/L en el caso del As, niveles en el rango de las concentraciones de As encontradas en el lago de Atitlán; en dicha investigación se encontró que peces del lago Baiyangdian bioacumulan As y Hg a niveles que pueden presentar riesgo para la salud humana y la

vida acuática (Chen, Pickhardt, Xu, & Folt, 2008), por lo que es recomendable evaluar los niveles de dichos elementos en peces del lago de Atitlán.

Como principal conclusión, tanto el As como el Hg se encuentran en concentraciones cuantificables en el lago de Atitlán, encontrándose el As en concentraciones superiores a límites recomendados para agua potable, en la mayoría de sitios de muestreo. Por esta razón, el agua del lago no es apta para el consumo humano, y debe considerarse este aspecto en el análisis de la viabilidad de propuestas de exportación de aguas residuales hacia afuera de la cuenca.

Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado con fondos (partida número 4.8.63.7.28) aportados por la Dirección General de Investigación (Digi) de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Se agradece también la colaboración en la logística de los muestreos por parte de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE).

Referencias

- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20th ed.). Washington, D.C.: Autor.
- Basterrechea, M. (1997). *El Lago de Amatitlán: Década de estudios limnológicos 1985 – 1995*. Guatemala: Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de Guatemala. .
- Basterrechea, M., Solórzano, M., Juárez, Y., Palacios, R., Oliva, B., & Aguilar E. (1993). *Calidad del agua del Lago de Izabal y principales tributarios* (Informe Técnico Final). Guatemala: DGEN-SEBV.
- Bisinoti, M. C., & Jardim, W. F. (2004). O comportamento do metilmercúrio (MetilHg) no ambiente. *Química Nova*, 27(4), 593-600.
- Chatterjee, A., & Mukherjee, A. (1999). Hydrogeological investigation of ground water arsenic contamination in South Calcuta. *Science of the Total Environment*, 225(3), 249-262.
- Centro Tecnológico de Saneamiento Básico. (1996). *Avaliação da qualidade do Rio Ribeira de Iguape (Relatório Complementar)*. São Paulo, Brasil: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
- Chen, C. Y., Pickhardt, P. C., Xu, M. Q., & Folt, C. L. (2008). Mercury and arsenic bioaccumulation and eutrophication in Baiyangdian Lake, China. *Water, Air and Soil Pollution*, 190(1), 115-127. doi: [10.1007/s11270-007-9585-8](https://doi.org/10.1007/s11270-007-9585-8)
- Chowdhury, U. K., Biswas, B. K., Chowdhury, T. R., Samanta, G., Mandal, B. K., Basu, G. C., ... Chakraborti, D. (2000). Groundwater arsenic contamination in Bangladesh and West Bengal, India. *Environmental Health Perspectives*, 108(5), 393-397.
- Comisión Guatemalteca de Normas (2000). Norma Guatemalteca Obligatoria para el Agua Potable NGO 29.001.98.9
- Geólogos del Mundo. (2013). *Estudio hidrogeológico y de recarga en la cuenca del Lago de Atitlán (Guatemala)*. Guatemala: Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.
- Gilmour, C. C., Riedel, G. S., Ederington, M. C., Bell, J. T., Benoit, J. M., Gill, G. A., & Stordal, M. C. (1998). Methylmercury concentrations and production rates across a trophic gradient in the northern Everglades. *Biogeochemistry*, 40(2), 327-345.
- Guentzel, J. L., Portilla, E., Keith, K. M., & Keith, E. O. (2007). Mercury transport and bioaccumulation in riverbank communities of the Alvarado Lagoon System, Veracruz State, Mexico. *Science of the Total Environment*, 388(1-3), 316-324. doi: [10.1016/j.scitotenv.2007.07.060](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.07.060)
- LaBastille, A. (1988). *Lago de Atitlán*. Nueva York: West of the Wind Publications.
- Le Roux, S. M., Turner, A., Millward, G. E., Ebdon, L., & Appriou, P. (2001). Partitioning of mercury onto suspended sediments in estuaries. *Journal of Environmental Monitoring*, 3(1), 37-42. doi: [10.1039/B007093I](https://doi.org/10.1039/B007093I)
- Madigan, B. A., Turoczy, N., & Stagnitti, F. (2005). Speciation of arsenic in a large endoheric lake. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 75, 1107-1114.
- Mason, R. P., Laporte, J.-M., & Andres, S. (2000). Factors controlling the bioaccumulation of mercury, methylmercury, arsenic, selenium, and cadmium by freshwater invertebrates and fish. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 38(3), 283-297.
- Monroy, M., Maceda-Veiga, A., & De Sostoa, A. (2014). Metal concentration in water, sediment and four fish species from Lake Titicaca reveals a large-scale environmental concern. *Science of the Total Environment*, 487, 233-244. doi: [10.1016/j.scitotenv.2014.03.134](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.134)
- Oliva, B., Pérez, J. F., Del Cid, B., Martínez F. J., & Valladares, B. (2010). *Estudio de contaminantes ecotóxicos en agua y organismos acuáticos del Lago de Atitlán* (Inf-2009-064). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Scheuhammer, A. M., Meyer, M. W., Sandheinrich, M. B., & Murray, M. W. (2007). Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals and fish. *Ambio*, 36(1), 12-18.

- Smith, A. H., Arroyo, A. P., Mazumder, D. N., Kosnett, D. N., Hernandez, A. L., Beeris, M., ... Moore, L. E. (2000). Arsenic-induced skin lesions among Atacameño people in Northern Chile despite good nutrition and centuries of exposure. *Environmental Health Perspectives*, 108(7), 617-620.
- United Nations Environment Programme. (2013). *Global Mercury Assessment 2013: Sources, emissions, releases and environmental transport*. Geneva, Switzerland: Autor.
- Watras, C. J., Back, R. C., Halvorsen, S., Hudson, R. J., Morrison, K. A., & Wente, S. P. (1998). Bioaccumulation of mercury in pelagic freshwater food webs. *Science of the Total Environment*, 219(2-3), 183-208. doi:10.1016/S0048-9697(98)00228-9
- Wyatt, C. J., Lopez, V., Olivasa, R. T., & Méndez, R. O. (1998). Excretion of arsenic (As) in urine of children, 7-11 years, exposed to elevated levels of As in the City Water Supply in Hermosillo, Sonora, México. *Environmental Research*, 78(1), 19-24. doi:10.1006/enrs.1998.3844

Prevalencia de *Helicobacter pylori* en un grupo de pacientes pediátricos infectados por el virus de la inmunodeficiencia humana

Julio Luarca, Fabio Parada*, Oscar Osorio, Julio Linares, Franco Pezzarossi, Ana Orantes, Guido Andretta, Andrea Sandoval, Lashly Méndez, Fernando Gutiérrez, Luis Fernández, Wendoly Munguia

Facultad de Ciencias Médicas, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.

*Autor al que se dirige la correspondencia: enriquepc2@aol.com

Recibido: 12 de mayo 2015 / Revisión: 09 de junio 2015 / Aceptado: 03 de agosto 2015 / Disponible en línea: 24 de septiembre 2015

Resumen

Se realizó un estudio cuantitativo, descriptivo transversal y no experimental sobre la prevalencia de *Helicobacter pylori* en pacientes pediátricos infectados por el virus de inmunodeficiencia humana (VIH), internados en el Hospicio San José, Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepéquez, Guatemala, durante los meses de noviembre 2012 a enero 2013. La población completa fue conformada por 40 pacientes pediátricos de ambos sexos, entre los 3 y 12 años de edad, que padecen infección por VIH. Para el diagnóstico de infección por *H. pylori* se utilizó la detección de antígeno en heces por inmunocromatografía. Se encontró un resultado positivo en el 35%, con una mayor incidencia en varones, correspondiendo al 71.4% de los casos. En cuanto a la distribución por edades, el rango de edad con más casos positivos fue el comprendido entre los 7 y 8 años, con un 66.7% de los casos. La prevalencia de *H. pylori* en la población pediátrica VIH positiva estudiada fue mayor que la reportada en poblaciones similares, pero menor a la reportada en la población pediátrica VIH negativo. Se recomienda realizar un estudio multicéntrico para confirmar la prevalencia de *H. pylori* en la población pediátrica guatemalteca VIH positivo.

Palabras claves: niño, preescolar, estómago, morbilidad del niño

Abstract

A quantitative, descriptive, transversal, non experimental study was conducted on the prevalence of *Helicobacter pylori* in pediatric patients infected with the human immunodeficiency virus (HIV), who were admitted in the Hospice San Jose, Santa Lucia Milpas Altas, Sacatepequez, Guatemala, during November 2012 through January 2013. The study population included pediatric patients of both sexes, aged 3 to 12 years, who are infected with HIV. For the diagnosis of *H. pylori* infection an antigen stool test by immunochromatography was used. The population in the study period amounted to 40 patients in whom a positive result of 35% was found, 71.4% from male patients. In the age distribution it was found that the age range with more positive cases (66.7%) was between 7 and 8 years. The prevalence of *H. pylori* in the studied HIV positive pediatric population was higher than reported in similar populations, yet lower than reported in the HIV negative pediatric population. It is recommended that a multicenter study confirm the prevalence of *H. pylori* in the HIV positive Guatemalan pediatric population.

Keywords: kids, pre-school, stomach, infant morbidity



Introducción

Helicobacter pylori es la principal especie de su género asociada a enfermedad en humanos, siendo capaz de colonizar de forma permanente el estómago de las personas. Es sumamente móvil debido a sus flagelos polares y gracias a poseer la enzima ureasa, puede sobrevivir a los ácidos gástricos (Dunn, Cohen, & Blaser, 1997; Garza-Gonzalez, Perez-Perez, Maldonado-Garza, & Bosques-Padilla, 2014). La transmisión de *H. pylori* puede ser por vía feco-oral u oral-oral, que en el caso de los niños puede adquirirse tanto de otros niños como de los padres (Rothenbacher et al., 1999). En los países en vías de desarrollo, la colonización o infección es adquirida a edades muy tempranas (Rowland et al., 2006) y aumenta significativamente en la adolescencia, reportándose en algunas poblaciones hasta un 91% de prevalencia (Daugule & Rowland, 2008; Leandro et al., 2005; Robinson et al., 2002).

En el mundo se calcula la prevalencia de infección por *H. pylori* es mayor al 50%, y en Guatemala, un estudio realizado en 184 menores de 3 años, encontró una prevalencia de inmunoglobulina G (IgG) contra *H. pylori* de 33% (Oregel, 2002). Otro estudio realizado en 590 niños de San Juan Sacatepéquez, mostró una seroprevalencia de 20% en niños de 6 a 12 meses, la que se mantuvo estable incluso en los niños de 36 meses, con 25% (Steinberg et al., 2004). Se estima que en Guatemala el 65% de los adultos se encuentran infectados, mientras que la población entre 5 a 10 años tiene una prevalencia aproximada de 51% (Hunt et al., 2010).

La infección por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) es una epidemia que, según cálculos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), afectó a 35 millones de personas alrededor del mundo en el 2013, siendo 1 de cada 10 casos en menores de 15 años; además, se estimaron 2.1 millones de casos nuevos, 240 mil de los cuales ocurrieron en menores de dicha edad 2013. Sin embargo, la mayor importancia radica en la mortalidad, pues unos 190 mil menores de 15 años fallecieron durante dicho período (Programa Conjunto de las Naciones Unidas sobre el VIH/sida, 2013). En Guatemala, en el año 2013 el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) reportó 1,842 nuevos casos de infección por VIH; de estos, el 10% ocurrió en la población pediátrica de 0 a 14 años (2014); por su parte, el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (2013) en su reporte sobre Guatemala, estima que unos 2,757 niños de 0 a 14 años requieren tratamiento por esta infección.

La colonización por *H. pylori* en pacientes infectados por VIH parece ser igual o menor que en los niños sanos (Blecker et al., 1994; Lionetti et al., 1999), e incluso en los pacientes con estadios más avanzados de inmunocompromiso o aquellos que han recibido antibióticos recientemente (Hestvik et al., 2011). La menor colonización por *H. pylori* también se ha documentado por métodos invasivos, pues en 24 biopsias gástricas analizadas entre 1985 y 2002 en Santiago de Chile, la prevalencia fue de cero (Tassara, Alarcón, Larrañaga, Wu, & Alvarez, 2003).

Por ser Guatemala un país con alta prevalencia de infección por *H. pylori* y al no contarse con estudios similares, se planteó como objetivo determinar la prevalencia de infección por *H. pylori* en niños con VIH del Hospicio San José, en los meses de noviembre 2012 a enero 2013.

Materiales y métodos

Sujetos de estudio

Se realizó un análisis cuantitativo, transversal, no experimental en pacientes pediátricos de ambos sexos y de 12 años o menos, con infección por VIH, que se encontraban internados en el Hospicio San José, Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepéquez. Se analizó la población completa, conformada por 40 pacientes.

Metodología

Se practicó un consentimiento informado junto con las autoridades médico-administrativas del hospicio encargadas del cuidado de los pacientes, tras lo cual se proporcionó al personal de enfermería frascos estériles e instrucciones para la recolección de las muestras. Los datos generales y las muestras de heces de los pacientes fueron recolectados y proporcionados por el personal del hospicio. Las heces fueron analizadas por los investigadores utilizando el kit de detección de antígeno de *H. pylori* en heces por inmunocromatografía Pylori K Set® (Coris BioConcept), el cual reporta una sensibilidad de 96%, especificidad de 98.2%, valor predictivo positivo de 92.3% y un valor predictivo negativo de 99.1% al ser comparado con el diagnóstico por inmunoensayo enzimático convencional (Coris BioConcept, 2012).

Resultados

Fueron obtenidos los datos de 40 participantes. La media de edad fue de 8.5 años, con una desviación estándar de 2.8. La región metropolitana fue el principal lugar de procedencia (Tabla 1)

Tabla 1
Características de la población estudiada, Hospicio San José, Guatemala

| Característica | n (%) |
|----------------|-----------|
| Edad | |
| 3 - 6 años | 12 (30.0) |
| 7 - 12 años | 28 (70.0) |
| Sexo | |
| Femenino | 18 (45.0) |
| Masculino | 22 (55.0) |
| Procedencia | |
| Guatemala | 12 (30.0) |
| Izabal | 6 (15.0) |
| Escuintla | 5 (12.5) |
| Suchitepéquez | 4 (10.0) |
| Otros | 13 (32.5) |

En la Tabla 2 puede observarse que la prevalencia de *H. pylori* en la población fue de 35%. El 71.4% de los casos positivos fue en el sexo masculino, con una razón de momios de 2.04 (intervalo de confianza 95% de 0.5 a 7.6, $p = 0.29$).

Tabla 2
Casos positivos de H. pylori en la población estudiada, distribución por sexo, Hospicio San José, Guatemala

| Sexo | Positivos (n) | Prevalencia (%) |
|-----------|---------------|-----------------|
| Masculino | 10 | 45.4 |
| Femenino | 4 | 22.2 |
| Total | 14 | 35.0 |

La mayoría de los casos se detectó en los pacientes entre los 5 y 8 años de vida. Los grupos de 3 a 4 años y 9 a 10 presentaron las prevalencias más bajas. (Tabla 3).

Tabla 3
Casos positivos de H. pylori en la población estudiada, distribución por sexo, Hospicio San José, Guatemala

| Edad (años) | Positivos (n) | Población (N) | Prevalencia (%) |
|-------------|---------------|---------------|-----------------|
| 3 a 4 | 1 | 5 | 20.0 |
| 5 a 6 | 4 | 7 | 57.1 |
| 7 a 8 | 4 | 6 | 66.7 |
| 9 a 10 | 2 | 10 | 20.0 |
| 10 a 11 | 3 | 12 | 25.0 |
| Total | 14 | 40 | 35.0 |

Discusión

La prevalencia de *H. pylori* en el presente estudio fue de 35%. En comparación con los resultados de Hetsvik y colaboradores (2011), quienes encontraron un 22.5% de casos positivos en niños hospitalizados de Uganda, en la población estudiada se encontró una prevalencia más alta, utilizando en ambos casos el mismo método de detección. También fue mayor que en el estudio realizado en Italia por Lionetti y colaboradores (1999), quienes reportaron una prevalencia de 17.7% por detección de anticuerpos y de 20% con la prueba de urea; la discrepancia reportada fue explicada por la baja sensibilidad de las pruebas serológicas en pacientes con VIH, sobre todo en las etapas más avanzadas de la enfermedad. Por otra parte, Blecker y colaboradores (1994) en niños inmunodeficientes provenientes de Africa Central residentes en Bélgica y Tassara y colaboradores (2003) en niños inmunodeficientes en Santiago de Chile reportaron prevalencias de 0% en sus respectivos estudios, siendo el primero mediante la detección de IgG y el segundo por medio de biopsias gástricas; aunque las muestras en estos estudios fueron menores de 30 personas, ambos encontraron prevalencias bajas en comparación con la población seronegativa.

La prevalencia hallada fue menor a la de la población pediátrica en Guatemala, estimada en 51% según Hunt y colaboradores (2010). La menor prevalencia encontrada en pacientes VIH positivo en comparación con la población general se puede explicar por factores propios del huésped relacionados con el VIH y la evolución natural de la enfermedad, incluidos hipoclorhidria e inadecuada respuesta inflamatoria de la mucosa, que pueden reducir la colonización exitosa por *H. pylori* (Edwards et al., 1991; Marano, Smith, & Bonanno,

1993). Oregel (2002) reportó una seroprevalencia de 33% en la población pediátrica, aunque su muestra consistió en pacientes menores de 3 años, grupo etario que no formó parte del presente estudio y el diagnóstico se basó en la prevalencia de anticuerpos séricos, por lo que se debe tomar en cuenta que la IgG a edades tempranas puede ser de origen transplacentario.

Si bien se encontró una mayor prevalencia en el sexo masculino, no se encontró significancia estadística. Leandro y colaboradores (2005) también encontraron una mayor prevalencia de casos positivos en el sexo masculino; la misma fue en la población pediátrica general y en España, un país con condiciones socioeconómicas distintas. Por el contrario, Hestvik y colaboradores (2011) reportaron una mayor prevalencia en pacientes pediátricos de sexo femenino VIH positivos de Uganda, con una razón de momios no ajustada de 1.5 para el sexo femenino (intervalo de confianza 95% de 0.8 a 2.7, $p = 0.23$), diferencia que puede ser atribuida a la distinta relación masculino-femenino en las poblaciones estudiadas.

En cuanto a la distribución de casos por edad, la mayoría de resultados positivos para *H. pylori* se encontró entre los 5 y 8 años, mientras Hestvik y colaboradores (2011) encontraron que el rango de edad de pacientes VIH positivos con mayor prevalencia fue el de 1 a 3 años de vida; se considera que la diferencia obedece a que en el presente estudio no se contó con menores de 3 años en la muestra, sin embargo es importante señalar que la colonización temprana también ocurre en pacientes seropositivos.

La distribución de casos por edades también fue distinta a la descrita en la literatura para la población pediátrica general, ya que posterior a los 6-7 años la prevalencia disminuyó, mientras que diversos autores describen que la misma permanece estable con el paso del tiempo o aumenta (Daugule & Rowland, 2008; Leandro et al., 2005; Robinson et al., 2002; Rowland et al., 2006; Steinberg et al., 2004). Esta diferencia podría ser explicada por la necesidad de antibiotioterapia profiláctica o terapéutica en los pacientes seropositivos; también se ha sugerido que *H. pylori* necesita de un sistema inmune funcional para la colonización persistente de la mucosa gástrica, por lo que el continuo deterioro de la función inmune en esta población supondría una disminución progresiva de casos positivos (Nevin, Morgan, Graham, & Genta, 2014).

Se concluyó que la prevalencia de *H. pylori* en la población pediátrica VIH positiva estudiada fue mayor que la reportada en poblaciones similares, pero menor a la reportada en la población pediátrica VIH negativo.

Se recomienda realizar un estudio multicéntrico para confirmar la prevalencia de *H. pylori* en la población pediátrica guatemalteca VIH positivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a todo el personal del Hospicio San José por su labor en la protección de los niños y por toda su colaboración para la obtención de datos del presente estudio. Se agradece a la Dra. Carmen de Tercero por su apoyo para la elaboración de este informe y por fomentar la investigación en los estudiantes de Medicina. Finalmente, se agradece a la Dirección de Investigación de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por la revisión del presente artículo.

Referencias

- Blecker, U., Keymolen, K., Lanciers, S., Bahwere, P., Souayah, H., Levi, J., & Yvan, V. (1994). The prevalence of *Helicobacter pylori* positivity in human immunodeficiency virus-infected children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 19(4), 417-420.
- Coris BioConcept. (2012). *Helicobacter pylori*. Belgica: Autor. Recuperado de <http://www.corisbio.com/Products/Human-Field/Helicobacter-pylori.php>
- Daugule, I., & Rowland, M. (2008). *Helicobacter pylori* infection in children. *Helicobacter*, 13(Supplement S1), 41-46. doi: 10.1111/j.1523-5378.2008.00632.x
- Dunn, B. G., Cohen, H., & Blaser, M. J. (1997). *Helicobacter pylori*. *Clinical Microbiology Reviews*, 10(4), 720-741.
- Edwards, P. D., Carrick, J., Turner, J., Lee, A., Mitchell, H., & Cooper, D. A. (1991). *Helicobacter pylori*-associated gastritis is rare in AIDS: Antibiotic effect or a consequence of immunodeficiency?. *American Journal of Gastroenterology*, 86(12), 1761-1764.
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2013). *UNICEF Annual report 2013 – Guatemala*. Recuperado de http://www.unicef.org/about/annualreport/files/Guatemala_COAR_2013.pdf
- Garza-Gonzalez, E., Perez-Perez, G. I., Maldonado-Garza, H., & Bosques-Padilla, F. (2014). A review of *Helicobacter pylori* diagnosis, treatment, and methods to detect

- eradication. *World Journal of Gastroenterology*, 20(6), 1438-1449. doi: 10.3748/wjg.v20.i6.1438.
- Hestvik, E., Tylleskar, T., Ndeezi, G., Grahniquist, L., Olafsdottir, E., Tumwine, J. K., & Kaddu-Mulindwa, D. H. (2011). Prevalence of *Helicobacter pylori* in HIV-infected, HAART-naïve Ugandan children: A hospital-based survey. *Journal of the International AIDS Society*, 14, 34. doi:10.1186/1758-2652-14-34
- Hunt, R. H., Xiao, S. D., Megraud, F., Leon-Barua, R., Bazzoli, F., van der Merwe, S., ... Krabshuis, J. H. (2010). Guías prácticas de la organización mundial de gastroenterología: *Helicobacter pylori* en los países en desarrollo. *Gastroenterología Latinoamericana*, 21(2), 165-181.
- Leandro, S. V., Hernández, M., Torroba, L., Sánchez, F., Leandro, S. E., Gómez, A., Chueca, P. (2005). Infección por *Helicobacter pylori* en población infantil: Prevalencia, factores asociados e influencia sobre el crecimiento. *Anales de Pediatría*, 63(6), 489-494. doi: 10.1016/S1695-4033(05)70247-2
- Lionetti, P., Amarri, S., Silenzi, F., Galli, L., Cellini, M., de Martino, M., & Vierucci, A. (1999). Prevalence of *Helicobacter pylori* infection detected by serology and 13C-urea breath test in HIV-1 perinatally infected children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 28(3), 301-306.
- Marano, B. J., Smith, F., & Bonanno, C. A. (1993). *Helicobacter pylori* prevalence in acquired immunodeficiency syndrome. *American Journal of Gastroenterology*, 88(5), 687-690.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2014). *Informe nacional sobre los progresos realizados en la lucha contra el VIH y sida*. Guatemala: Autor. Recuperado de http://www.unaids.org/sites/default/files/country/documents/GTM_narrative_report_2014.pdf
- Nevin, D. T., Morgan, C. J., Graham, D. Y., & Genta, R. M. (2014). *Helicobacter pylori* gastritis in HIV-infected patients: A review. *Helicobacter*, 19(5), 323-329. doi: 10.1111/hel.12131
- Oregel, S. (2002). Prevalencia de anticuerpos séricos contra *Helicobacter pylori* en niños menores de 3 años de baja condición socioeconómica (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Médicas, Guatemala.
- Organización Mundial de la Salud. (2013). *Global summary of AIDS epidemic*. Ginebra, Suiza: Autor. Recuperado de http://www.who.int/hiv/data/epi_core_dec2014.png?ua=1
- Programa Conjunto de las Naciones Unidas sobre el VIH/sida. (2013). *Informe mundial: ONUSIDA, informe sobre la epidemia mundial de sida 2013*. Ginebra, Suiza: Autor. Recuperado de http://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/UNAIDS_Global_Report_2013_es_1.pdf
- Robinson, L. G. E., Black, F. L., Lee, F. K., Sousa, A. O., Owens, M., Danielsson, D., ... Gold, B. D. (2002). *Helicobacter pylori* prevalence among indigenous peoples of South America. *Journal of Infectious Diseases*, 186(8), 1131-1137. doi: 10.1086/343803
- Rothembacher, D., Bode, G., Berg, G., Knayer, U., Gonser, T., Adler, G., & Brenner, H. (1999). *Helicobacter pylori* among preschool children and their parents: evidence of parent-child transmission. *Journal of Infectious Diseases*, 179(2), 398-402. doi:10.1086/314595
- Rowland, M., Daly, L., Vaughan, M., Higgins, A., Bourke, B., & Drumm, B. (2006). Age-Specific incidence of *Helicobacter pylori*. *Gastroenterology*, 130(1), 65-72. doi: <http://dx.doi.org/10.1053/j.gastro.2005.11.004>
- Steinberg, E. B., Mendoza, C. E., Glass, R., Arana, B., Lopez, M. B., Mejia, M., ... Luby, S. (2004). Prevalence of infection with waterborne pathogens: a seroepidemiologic study in children 6-36 months old in San Juan Sacatepequez, Guatemala. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 70(1), 83-88.
- Tassara, R., Alarcón, T., Larrañaga, C., Wu, E., & Alvarez, A. M. (2003). Patología digestiva en niños infectados con el virus de inmunodeficiencia humana (VIH), en Santiago de Chile. *Revista Médica de Chile*, 131(1), 19-24. doi: 10.4067/S0034-98872003000100003

Actividad hipotriglicéridémica de un extracto de rosa de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) al administrarse antes y durante las comidas

Rodrigo Castañeda¹, Sully M. Cruz*¹, Armando Cáceres²

¹Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala; y, ²Laboratorio de Productos Naturales Farmaya, S.A., Guatemala.

*Autor al que se dirige la correspondencia: sullycv@hotmail.com

Recibido: 18 de mayo 2015 / Revisión: 21 de agosto 2015 / Aceptado: 15 de septiembre 2015 / Disponible en línea: 16 de noviembre 2015

Resumen

La elevación de los lípidos sanguíneos se ha convertido en un riesgo común de enfermedades cardiovasculares, en especial, en el caso del colesterol y triglicéridos, también a problemas pancreáticos, de la córnea, bazo e hígado. *Hibiscus sabdariffa* L., es una especie medicinal de la Malvaceae, su efecto sobre la reducción de los lípidos séricos se ha mencionado en varios estudios. El objetivo del presente estudio consistió en evaluar la actividad de un extracto acuoso de los cálices de *H. sabdariffa*, para reducir los lípidos séricos en dos grupos de individuos, con valores de triglicéridos mayores de 150 mg/dL, al recibir una dosis de 15 mg de antocianinas totales al día, dividida en tres veces, por un periodo de dos meses para establecer su influencia, dependiendo del momento de su administración, un grupo recibíendola antes de la comida y otro durante la misma. El extracto de *H. sabdariffa* mostró un efecto hipotriglicéridémico significativo ($p = 0.034$), al finalizar el tratamiento, únicamente al administrar el extracto antes de las comidas. Al mismo tiempo, no se observó alteración en los niveles de colesterol total, colesterol contenido en las lipoproteínas de baja densidad y colesterol contenido en las proteínas de alta densidad en ninguno de los dos grupos evaluados. Los resultados sugieren que los extractos acuosos de *H. sabdariffa* podrían ser utilizados para ejercer una acción en los triglicéridos plasmáticos, dependiente del consumo de alimentos, y del momento de administración.

Palabras claves: Dislipidemias, antocianinas, triglicéridos, extractos vegetales

Abstract

Elevated blood lipids, cholesterol and triglycerides, has become a common health risk worldwide, not only for cardiovascular diseases, especially in the case of cholesterol and triglycerides, but also in pancreatic, corneal, spleen and liver problems. *Hibiscus sabdariffa* L., is a medicinal plant of the Malvaceae, its effect on reducing serum lipids is mentioned in several studies. The purpose of this study was to evaluate the activity of an aqueous extract of *H. sabdariffa* at a dose of 15 mg of anthocyanins daily, divided in three times a day, either before or during meals, over a period of 2 months, to decrease plasma triglycerides in subjects with values above 150 mg/dL, in order to establish the influence of the time of administration in this effect. The extract showed a hypotriglyceridemic effect ($p = 0.034$) in the first and second month of treatment, only when administered before meals. At the same time, no significant changes were observed in levels of total cholesterol, cLDL, cHDL in any of the evaluated groups. These results suggest that the aqueous extracts of *H. sabdariffa* could be used to reduce action in plasma triglycerides levels only when administered prior to meals.

Keywords: Dyslipidemia, anthocyanins, triglycerides, plant extracts



Introducción

La hipercolesterolemia es considerado el principal factor de riesgo cardiovascular (Velasco et al., 2000). La exposición de factores de riesgo cardiovascular puede reducirse con una dieta adecuada, debido no solo a la ingesta adecuada de nutrientes primarios, sino también a la contribución diaria de metabolitos secundarios. Las antocianinas poseen una actividad potencial como antioxidantes, antiateroscleróticos, antihipertensivos, antiinflamatorios, antimutagénicos y antitumorales (Wang & Stoner, 2008). Los efectos fisiológicos positivos de estos pigmentos vegetales están relacionados con su actividad antioxidante potente, demostrada en varios estudios *in vitro* e *in vivo*. Sin embargo se ha evidenciado en estudios farmacocinéticos en humanos que la baja absorción sistémica de estos compuestos limita su potencial farmacológico (Wallace, 2011).

Estudios realizados en *Hibiscus sabdariffa* L. (rosa de Jamaica, hibiscus, roselle, carcadé) de la familia Malvaceae han demostrado las propiedades antioxidantes (Fernández-Arroyo et al., 2012), lo cual ha sido complementado con evaluación en modelos en animales, donde se le ha atribuido la actividad hipocolesterolemia, hipotriglicéridémica (Carvajal-Zarrabal et al., 2005, 2009; Chang, Huang, Huang, Ho, & Wang, 2006), uricosúrica (Kuo et al., 2012) y antihipertensiva, principalmente debido a sus antocianinas (Ali, Al Wabel, & Blunden, 2005; Kao, Tseng, Lee, Chan, & Wang, 2009; Kim et al., 2007).

En este sentido, son necesarios estudios clínicos con plantas cultivadas en el país para garantizar la seguridad y eficacia que tienen los metabolitos secundarios en promover la salud y prevenir enfermedades en la población guatemalteca (Castañeda & Cáceres, 2014). Sin embargo, para la realización de los mismos, son necesarios estudios preliminares que garanticen el efecto del extracto y el esquema de administración.

La importancia de este estudio radica en demostrar la actividad hipotriglicéridémica de un extracto de *H. sabdariffa* en sujetos mayores de 25 años, con diagnóstico de triglicéridos plasmáticos superiores a 150 mg/dL, sin tratamiento farmacológico, evaluando el efecto mediante la administración vía oral 30 min antes de las comidas o durante las comidas.

Materiales y Métodos

Diseño del estudio

Se tomó la muestra del personal docente y administrativo de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Usac) de Guatemala, que habían participado previamente en un estudio de hiperlipidemia. Los sujetos fueron divididos de acuerdo al esquema de administración en dos grupos de 14 individuos, agrupados aleatoriamente de acuerdo a su edad e índice de masa corporal inicial, con el fin de evaluar la influencia de los alimentos en la administración del extracto vía oral, ya que las antocianinas son más estables a valores ácidos de pH y una parte del proceso de absorción se realiza en el estómago. A un grupo se le administró el extracto vía oral, tres veces al día, 30 min antes de cada comida; y el otro grupo se le administró el extracto vía oral, tres veces al día, durante cada comida. Por ser un estudio preliminar para un futuro ensayo clínico, con el diseño de un producto de uso alimenticio, en una forma de preparación tradicional, no existieron controles externos, ni doble ciego.

Los sujetos experimentales estuvieron en un esquema de administración del extracto acuoso durante 60 días, con tres evaluaciones de lípidos plasmáticos (triglicéridos, colesterol total -CT-, colesterol contenido en las lipoproteínas de baja densidad -cLDL- y colesterol contenido en las proteínas de alta densidad -cHDL-), una inicial y a los 30 y 60 días de administración. Las evaluaciones de lípidos plasmáticos se realizaron en el suero de una muestra obtenida después de un ayuno de 14 h por espectrofotometría según el método de Chabrol-Charonnat (Frings & Dunn, 1970), utilizando kits y estándares comerciales (Corp. Analíticos) y la infraestructura de la Unidad de Salud de la Usac. Los sujetos fueron utilizados como controles internos en su evaluación inicial.

Criterios de inclusión

Sujetos con triglicéridos plasmáticos superiores a 150 mg/dL, mayores de 25 años, sin tratamiento farmacológico que ejerciera acción en los triglicéridos plasmáticos o que pudiera haber interferido en el ensayo (fármacos hipolipemiantes, diuréticos tiazídicos, colestiramina, corticosteroides, amiodarona) por lo menos 30 días antes de ingresar al ensayo, carta de consentimiento informado para participar en el estudio, de género masculino o femenino.

Criterios de exclusión

Sujetos renuentes a recibir el tratamiento experimental, que implementen un cambio considerable en sus hábitos alimenticios (dieta) o de gasto energético (ejercicio) o que implementen el consumo de vitaminas y/o suplementos dietéticos.

Análisis y preparación del material vegetal

Se realizó el examen de identidad de la droga vegetal (*H. sabdariffa*) en forma macroscópica a partir de análisis botánico (No. de voucher 62963, Herbario Bigu), complementado con análisis micromorfológico y control de calidad, según especificaciones farmacopéicas (Ministerio de Sanidad y Consumo, 2003). El secado de la droga vegetal se realizó a 40°C en horno de convección (Serproma Lab) hasta una humedad relativa promedio de 10.5%. Se realizó una evaluación de los parámetros óptimos de extracción en un diseño factorial (datos no mostrados), evaluando proporción de etanol, temperatura y tiempo de extracción, a partir de la evaluación de sólidos totales y antocianinas, expresadas en delfinidina 3-sambubiósido, por el método de pH diferencial y la diferencia que se presenta dependiendo del momento de administración (Giusti & Wrolstad, 2003). Se realizaron los extractos a escala piloto en un reactor CSTR (Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-, Usac) hasta una proporción 1:1 por medio de concentración en marmita de extracción con torre empacada. El proceso de filtrado se realizó a partir de sedimentación, y después de 1 h a partir de filtración con manta. Los ensayos de calidad fueron realizados a los extractos vegetales según los métodos de control de calidad para plantas medicinales (World Health Organization, 1998, 2007). Los extractos fueron valorados en concentración de antocianinas totales por día de administración.

Análisis estadístico

El número de muestra se calculó con base a una curva característica de operación con una $\alpha = 0.05$, poder = 0.90, una diferencia mínima esperada dentro de cada grupo de 50 mg/dL, y una desviación estándar estimada de 56 mg/dL (Dupont & Plummer, 1998). Los datos fueron analizados usando el programa Prism 5 Statistical Software package (GraphPad, San Diego, CA). Todos los valores fueron expresados como promedio \pm error estándar de la media, denotando intervalos

de confianza (IC) al 95%. Para determinar diferencias significativas intragrupal se utilizó t de Student pareada para cada grupo (a una cola), con un valor de α de 0.05, con el fin de evaluar cambios al inicio y al final del estudio, mientras que se utilizó t de Student a una cola para grupos independientes con un α de 0.05, para la comparación entre grupos entre las medias iniciales y finales de valores de triglicéridos (previo a realizarla se comprobó homocedasticidad entre varianzas de los grupos antes y durante las comidas, determinándose mediante estadístico de Levene). Se estableció como mínima reducción de triglicéridos 50 mg/dL, para considerarse como un tratamiento efectivo tomando en cuenta que el valor normal límite de triglicéridos es entre 150 y 200 mg/dL.

Resultados

Se reclutaron 14 trabajadores universitarios, para cada grupo, con triglicéridos superiores a 150 mg/dL, que no estaban bajo ningún tratamiento farmacológico y no padecían ninguna otra enfermedad crónica. Después de 60 días de administración del extracto de *H. sabdariffa*, los triglicéridos plasmáticos redujeron significativamente de 284.24 ± 154.53 a 229.31 ± 74.96 mg/dL para el grupo administrado antes de las comidas, con una diferencia de 54.93 mg/dL ($p = 0.034$, IC: 9.30-100.56 mg/dL), lo que equivale a una reducción del 85.8%, por lo que se considera que el tratamiento administrado antes de las comidas es efectivo en la disminución de triglicéridos como se muestra en la Figura 1.

En el grupo con administración del extracto de *H. sabdariffa* durante las comidas se observó una reducción de los triglicéridos plasmáticos de 229.73 ± 74.22 mg/dL a 193.16 ± 39.44 mg/dL, con una diferencia entre grupos no significativa de 36.56 mg/dL ($p = 0.105$, IC: -5.72-78.84 mg/dL), lo que equivale a una reducción del 60.0%, por lo que se considera que el tratamiento administrado vía oral durante las comidas es efectivo en la disminución de triglicéridos pero no lo esperado.

Los niveles de CT, cLDL y cHDL no mostraron diferencias significativas en los promedios en el transcurso del estudio en ninguno de los grupos observados ($p > 0.05$).

Discusión

El presente estudio evaluó el efecto hipolipemian- te de un extracto de *H. sabdariffa* y la diferencia que se presenta dependiendo el momento de administración. Se observó una reducción en los triglicéridos plasmá-

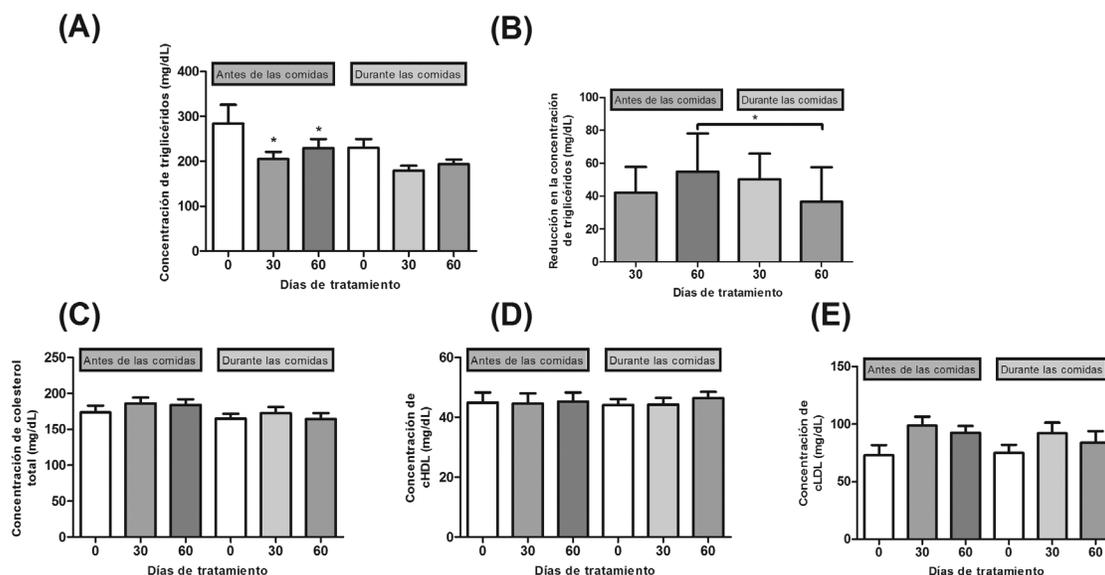


Figura 1. Comparación en el momento de administración al inicio y final de 60 días de tratamiento con *H. Sabdariffa* en las concentraciones promedio de triglicéridos (A), reducción de los niveles de triglicéridos (B), colesterol total (CT) (C), colesterol contenido en lipoproteínas de alta densidad (cHDL) (D), colesterol contenido en lipoproteínas de baja densidad (cLDL) (E). Los datos mostrados están expresados en promedio \pm error estándar de la media. * $p < 0.05$ indica diferencias significativas entre grupos.

tos 60 días después de la administración del extracto, con mayor correlación, número de casos y significancia estadística al administrarla antes de cada comida.

Otros estudios respaldan estos resultados, demostrado por la capacidad de los antocianósidos por disminuir los triglicéridos plasmáticos a nivel clínico (Gurrola-Díaz et al., 2010; Hernández-Pérez & Herrera-Arellano, 2011) y a una evidencia en la inhibición de la enzima glicerol-3-fosfato-acil-transferasa 1 (GPAT1) lo que genera una disminución en la síntesis de triglicéridos (Guo, Li, Ling, Feng, & Xia, 2011).

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, los valores de colesterol no fueron alterados en ninguno de los grupos, en ningún momento de la evaluación. Contrario a esto, se ha demostrado en otros estudios la capacidad de los antocianósidos por aumentar concentraciones plasmáticas de cHDL y disminuir los niveles de cLDL, debido a la inhibición de la proteína transportadora de esteres de colesterol (CETP), con lo que se promueve y facilita el transporte reverso de colesterol (Andersen & Markham, 2006). Incluso ensayos clínicos han demostrado este efecto en el colesterol con el uso de *H. sabdariffa* (Gurrola-Díaz et al., 2010; Hernández-Pérez & Herrera-Arellano, 2011;

Lin et al., 2007; Mohagheghi, Maghsoud, Khashayar, & Ghazi-Khansari, 2011). Sin embargo, esto no pudo demostrarse experimentalmente debido probablemente a que el valor de colesterol total no se encontraba fuera de los rangos establecidos como normales o involucrando procesos patológicos.

La actividad farmacológica de *H. sabdariffa* ha sido atribuida principalmente a sus antocianinas y en menor medida a sus flavonoides y compuestos fenólicos (Hopkins, Lamm, Funk, & Ritenbaugh, 2013). Es importante considerar que la estabilidad de estas sustancias activas podría estar relacionada con una actividad dependiente de sus procesos farmacocinéticos (Castañeda & Cáceres, 2014). En base a los mecanismos de absorción, distribución, metabolismo, eliminación y a la biodisponibilidad de las antocianinas, la mejor vía de administración es la oral, debido a su estabilidad en ambientes ácidos, con una parte del proceso de absorción de éstas moléculas en este compartimento biológico (Kong, Chia, Ngoh, Chia, & Brouillard, 2003; Passamonti, Vrhovsek, Vanzo, & Mattivi, 2005; Prior, 2004).

De igual forma, las antocianinas no son estables al pH sanguíneo y se degradan, consecuentemente su vida media es muy corta (1.3-7 hr). Similarmente, la

vida media de las antocianinas de *H. sabdariffa*, del-finidina 3-sambubiósido y cianidina 3-sambubiósido, ha sido demostrada experimentalmente con una vida media aproximada de 2.18 y 3.34 h, respectivamente (Frank et al., 2005; 2012). Por tal motivo, una frecuencia en su administración de tres veces al día fue considerada apropiada para dividir la dosis. Debido a la baja biodisponibilidad de las antocianinas de *H. sabdariffa* (0.018%) y a su baja absorción reportada (1%), son necesarias alternativas enfocadas a mejorar estas limitantes para lograr evaluar el verdadero potencial terapéutico de este producto natural.

En este estudio se plantearon dos momentos de administración tres veces al día, una 30 min antes de cada comida y la otra durante la comida. De acuerdo a los resultados obtenidos, según la administración del extracto, se demostró que existe mayor efecto cuando es administrado 30 min antes de la comidas, que durante las mismas, probablemente por una mayor absorción de la sustancia activa. Esto puede ser explicado por el hecho que las antocianinas son absorbidas a partir de diversos receptores en el intestino delgado y colon, los cuales podrían saturarse con la absorción de azúcares provenientes de la ingesta de alimentos, provocando una competición ocasionada por las moléculas glucosídicas unidas a las antocianinas (Manach, Williamson, Morand, Scalbert, & Remesy, 2005). Estos resultados sugieren que la biodisponibilidad de los principios activos, y por lo tanto la actividad, de *H. sabdariffa* puede ser incrementada al consumirla antes de la ingesta de alimentos.

El extracto de rosa de Jamaica (*H. sabdariffa*) utilizado a dosis diarias de 15 mg, administrado vía oral antes y durante las comidas, mostró un efecto hipotriglicéridémico al finalizar el tratamiento, al reducir los triglicéridos sanguíneos en pacientes con valores superiores a 150 mg/dL, con un mayor efecto al administrarlo antes de cada comida.

Futuras investigaciones deberán enfocarse a esclarecer las interacciones que tienen los metabolitos activos de productos naturales con esquemas de administración y a evaluar formulaciones diseñadas para mejorar la biodisponibilidad de diversos fitofármacos.

Agradecimientos

A todas las personas e instituciones que colaboraron con el proceso de realización o con la revisión de ésta investigación: Unidad de Salud y Laboratorio Biológico de la Unidad de Salud, Usac; Laboratorio de

Investigación de Extractos Vegetales (LIEEXVE), Facultad de Ingeniería, Usac; Servicio de Consulta Terapéutica y Toxicológica (SECOTT), de la Usac. Especial agradecimiento a todos los sujetos que voluntariamente cumplieron con la administración del extracto.

Referencias

- Ali, B. H., Al Wabel, N., & Blunden, G. (2005). Phytochemical, pharmacological and toxicological aspects of *Hibiscus sabdariffa* L.: A review. *Phytotherapy Research*, 19(5), 369-375. doi: 10.1002/ptr.1628
- Andersen, Ø., & Markham, K. (Eds.). (2006). *Flavonoids: Chemistry, biochemistry and applications*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Castañeda, R., & Cáceres, A. (2014). Compuestos bioactivos y propiedades terapéuticas de los cálices de rosa de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* Linn). *Revista Científica*, 24,(1), 7-24.
- Carvajal-Zarrabal, O., Hayward-Jones, P. M., Orta-Flores, Z., Nolasco-Hipólito, C., Barradas-Dermitz, D. M., Aguilar-Uscanga, M. G., & Pedroza-Hernández, M. F. (2009). Effect of *Hibiscus sabdariffa* L. dried calyx ethanol extract on fat absorption-excretion, and body weight implication in rats. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2009, 1-5. doi: 10.1155/2009/394592
- Carvajal-Zarrabal, O., Waliszewski, S. M., Barradas-Dermitz, D. M., Orta-Flores, Z., Hayward-Jones, P. M., Nolasco-Hipólito, C., ... Trujillo, P. R. (2005). The consumption of *Hibiscus sabdariffa* dried calyx ethanolic extract reduced lipid profile in rats. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60(4), 153-159. doi: 10.1007/s11130-005-9023-x
- Chang, Y. C., Huang, K. X., Huang, A. C., Ho, Y. C., & Wang, C. J. (2006). *Hibiscus* anthocyanin-rich extract inhibited LDL oxidation and oxLDL-mediated macrophages apoptosis. *Food and Chemical Toxicology*, 44(7), 1015-1023. doi:10.1016/j.fct.2005.12.006
- Dupont, W., & Plummer, W. (1998). *Power and sample size calculations for studies involving linear regression: Controlled Clinical Trials*. [A Review and Computer Program. Version 3.0.43]

- Fernández-Arroyo, S., Herranz-López, M., Beltrán-Debón, R., Borrás-Linares, I., Barrajón-Catalán, E., Joven, J., ... Micol, V. (2012). Bioavailability study of a polyphenol-enriched extract from *Hibiscus sabdariffa* in rats and associated antioxidant status. *Molecular Nutrition & Food Research*, 56(10), 1590-1595. doi: [10.1002/mnfr.201200091](https://doi.org/10.1002/mnfr.201200091)
- Frank, T., Janßen, M., Netzel, M., Straß, G., Kler, A., Kriesl, E., & Bitsch, I. (2005). Pharmacokinetics of anthocyanidin-3-glycosides following consumption of *Hibiscus sabdariffa* L. extract. *Journal of Clinical Pharmacology*, 45(2), 203-210. doi: [10.1177/0091270004270561](https://doi.org/10.1177/0091270004270561)
- Frank, T., Netzel, G., Kammerer, D. R., Carle, R., Kler, A., Kriesl, E., ... Netzel, M. (2012). Consumption of *Hibiscus sabdariffa* L. aqueous extract and its impact on systemic antioxidant potential in healthy subjects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(10), 2207-2218. doi: [10.1002/jsfa.5615](https://doi.org/10.1002/jsfa.5615)
- Frings, C. S., & Dunn, R. T. (1970). A colorimetric method for determination of total serum lipids on the sulfo-phospho-vanillin reaction. *American Journal of Clinical Pathology*, 53, 89-91.
- Giusti, M. M., Wrolstad, R. E. (2003). Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. *Biochemical Engineering Journal*, 14(3), 217-225. doi: [10.1016/S1369-703X\(02\)00221-8](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(02)00221-8)
- Guo, H., Li, D., Ling, W., Feng, X., & Xia, M. (2011). Anthocyanin inhibits high glucose-induced hepatic mtGPAT1 activation and prevents fatty acid synthesis through PKC ζ . *Journal of Lipid Research*, 52(5), 908-922. doi: [10.1194/jlr.M013375](https://doi.org/10.1194/jlr.M013375)
- Gurrola-Díaz, C. M., García-López, P. M., Sánchez-Enríquez, S., Troyo-Sanromán, R., Andrade-Gonzales, I., & Gómez-Leyva, J. F. (2010). Effects of *Hibiscus sabdariffa* extract powder and preventive treatment (diet) on the lipid profiles of patients with metabolic syndrome (MeSy). *Phytomedicine*, 17(7), 500-505. doi: [10.1016/j.phymed.2009.10.0142010](https://doi.org/10.1016/j.phymed.2009.10.0142010)
- Hernández-Pérez, F., & Herrera-Arellano, A. (2011). Tratamiento de la hipercolesterolemia con *Hibiscus sabdariffa*. Ensayo clínico aleatorizado controlado. *Revista Médica del Instituto Mexicano de Seguridad Social*, 49(5), 469-480.
- Hopkins, A., Lamm, M. G., Funk, J. L., & Ritenbaugh, C. (2013). *Hibiscus sabdariffa* L. in the treatment of hypertension and hyperlipidemia: A comprehensive review of animal and human studies. *Fitoterapia*, 85, 84-94. doi: [10.1016/j.fitote.2013.01.003](https://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.01.003)
- Kao, E. S., Tseng, T. H., Lee, H. J., Chan, K. C., & Wang, C. J. (2009). Anthocyanin extracted from *Hibiscus attenuate* oxidized LDL-mediated foam cell formation involving regulation of CD36 gene. *Chemico-Biological Interactions*, 179(2-3), 212-218. doi: [10.1016/j.cbi.2009.01.00](https://doi.org/10.1016/j.cbi.2009.01.00)
- Kim, J. K., So, H., Youn, M. J., Kim, H. J., Kim, Y., Park, C., ... Park, R. (2007). *Hibiscus sabdariffa* L. water extract inhibits the adipocyte differentiation through the PI3-K and MAPK pathway. *Journal of Ethnopharmacology*, 114(2), 260-267. doi: [10.1016/j.jep.2007.08.028](https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.08.028)
- Kuo, C. Y., Kao, E. S., Chan, K. C., Lee, H. J., Huang, T. F., & Wang, C. J. (2012). *Hibiscus sabdariffa* L. extracts reduce serum uric acid levels in oxonate-induced rats. *Journal of Functional Foods*, 4(1), 375-381.
- Kong J. M., Chia L. S., Ngoh N. K., Chia, T. F., & Brouillard, R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, 64(5), 923-933.
- Lin, T., Lin, H., Chen, C., Lin, M., Chou, M., & Wang, C. (2007). *Hibiscus sabdariffa* extract reduces serum cholesterol in men and women. *Nutrition Research* 27, 140-145.
- Manach, C., Williamson, G., Morand, C., Scalbert, A., & Rémésy, C. (2005). Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. Review of 97 bioavailability studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1 Suppl), 230S-242S.
- Ministerio de Sanidad y Consumo. (2003). *Real Farmacopea Española. Suplementos 2.1 y 2.2* (2ª ed.). Madrid: Boletín Oficial del Estado.
- Mohagheghi, A., Maghsoud, S., Khashayar, P., & Ghazi-Khansari, G. (2011). The effect of *Hibiscus sabdariffa* on lipid profile, creatinine, and serum electrolytes: A randomized clinical trial. *International Scholarly Research Network Gastroenterology*, 2011, 1-4. doi: [10.5402/2011/976019](https://doi.org/10.5402/2011/976019)

- Passamonti, S., Vrhovsek, U., Vanzo, A., & Mattivi, F. (2003). The stomach as a site for anthocyanins absorption from food. *FEBS Letters*, 544(1-3), 210–213. doi: 10.1016/S0014-5793(03)00504-0
- Prior, R. L. (2004). Absorption and metabolism of anthocyanins: Potential health effects in phytochemicals - mechanisms of action. En M. S. Meskin, W. R. Bidlack, A. J. Davies, D. S. Lewis & R. K. Randolph (Eds.) *Phytochemicals: mechanism of action* (pp. 1-19). Boca Raton: CRC Press.
- Velasco, J. A., Cosín, J., Maroto, J. M., Muñiz, J., Casanovas, J. A., Plaza, I., & Abada, L. T. (2000). Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en prevención cardiovascular y rehabilitación cardíaca. *Revista Española de Cardiología*, 53(8), 1095-1120.
- Wallace, T. (2011). Anthocyanins in cardiovascular disease. *Advances in Nutrition*, 2, 1-7. doi:10.3945/an.110.000042
- Wang, L. S., & Stoner, G. D. (2008). Anthocyanins and their role in cancer prevention. *Cancer Letters*, 269(2), 281-290. doi: 10.1016/j.canlet.2008.05.020
- World Health Organization. (1998). *Quality control methods for medicinal plant materials*. Ginebra: Autor.
- World Health Organization. (2007). *WHO guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues*. Ginebra: Autor.

Los modelos de conservación biológica divergente y convergente: Una mirada desde las perspectivas de la ecología del paisaje y la teoría de metapoblaciones

Cristian Kraker-Castañeda^{1,2*}, Lorena Soto-Pinto³

¹Departamento de Conservación de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México y ²Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala (EBUSAC), Guatemala. ³Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

*Autor al que se dirige la correspondencia: ckraker@ecosur.edu.mx

Recibido: 02 de Julio 2015 / Revisión: 18 de Agosto 2015 / Aceptado: 15 de Septiembre 2015 / Disponible en línea: 16 de noviembre 2015

Resumen

La pérdida de biodiversidad en paisajes agrícolas es un asunto preocupante a nivel mundial y tema central de la investigación contemporánea. Este fenómeno puede ser abordado desde dos perspectivas principales: la de la biología de la conservación y la agroecología. La primera enfatiza la importancia de la preservación de los ecosistemas naturales, ya que otros usos del suelo son considerados de legitimidad menor. Para la segunda, el interés se dirige a los agroecosistemas y la biodiversidad es relevante solamente si tiene una conexión con la sostenibilidad de los mismos. La realidad, es que hay agroecosistemas que albergan riqueza en el mismo orden de magnitud que en áreas conservadas y que la pérdida de algunas especies, aparentemente sin valor en la producción del sistema, puede desencadenar efectos cascada si estas son clave en las redes tróficas. Los modelos conceptuales de conservación biológica divergente/convergente, brindan argumentos sobre lo que debería ser la relación entre la agricultura y la biodiversidad; sin embargo, debido a su carga ideológica usualmente derivan en problemas de contextualización. Aquí se refuerzan elementos que parten de la ecología del paisaje y la teoría de metapoblaciones, cuyo soporte proviene de datos empíricos, para repensar este debate con implicaciones para las estrategias de conservación en la región.

Abstract

Biodiversity loss in agricultural landscapes is a global issue of concern, and it is subject of much contemporary research. This phenomenon can be addressed through two main perspectives: conservation biology and agroecology. The first emphasizes the importance of preserving natural ecosystems, considering the study of other land uses to be less important. The second focus is geared towards agro-ecosystems, and biodiversity is considered to be relevant only if it has a connection with sustainability. The reality is that there are agro-ecosystems that can harbor species in the same order of magnitude as in conserved areas, and that the loss of species that have no apparent role in the system's productivity can provoke cascade effects if they are critical in the trophic web. The divergent/convergent conceptual models of biological conservation provide arguments of what should be the relationship between agriculture and biodiversity; however, their ideological backgrounds usually derive in contextualization problems. Here we reinforce basic elements of landscape ecology and the metapopulation theory both with support in empirical data, as a way of rethink this debate with implications in regional conservation strategies.



Introducción

La pérdida de biodiversidad es un fenómeno alarmante a nivel mundial y actualmente estamos presenciando una tasa de extinción acelerada que por mucho supera la de especiación, y por esto su relevancia. De esta manera nos enfrentamos con una situación concreta, una crisis de la biodiversidad que requiere de disciplinas orientadas a solucionar problemas inmediatos derivados del uso de recursos con las herramientas disponibles (Meffe, Carroll, & Gromm, 2006). Particularmente, los paisajes agrícolas son escenarios en donde las actividades humanas pueden poner en riesgo a especies cuya capacidad de respuesta es lenta en relación con la velocidad de transformación de su entorno. En estas áreas se han dirigido esfuerzos de investigación para explicar patrones y procesos de la biodiversidad con la finalidad de mejorar las estrategias de conservación biológica, tomando en cuenta la importancia de prácticas agrícolas alternativas.

Los modelos de conservación biológica divergente/convergente brindan argumentos sobre lo que debería ser la relación entre la agricultura y la biodiversidad (Perfecto & Vandermeer, 2012). El primero, también denominado posición de separación entre producción y conservación, asume que la intensificación agrícola es necesaria para aumentar la productividad y permitir la “liberación de tierras” para su protección (Green, Cornell, Scharlemann, & Balmford, 2005; Perfecto & Vandermeer, 2012); en otras palabras, se destinan zonas específicas para el resguardo de la biodiversidad y otras exclusivamente para producción. El segundo, también denominado posición de integración de la producción y conservación, se inclina por prácticas agroecológicas que pueden mantener la biodiversidad a nivel local y a escala de paisaje (Perfecto & Vandermeer, 2012). Recientemente, se ha reconocido que la ecología del paisaje y la teoría de metapoblaciones, cuyo soporte son datos empíricos, brindan elementos que resuelven mucho del debate sobre este tema (Perfecto & Vandermeer, 2012; Tschamtko et al., 2012).

Contenido

Efectos de la transformación del paisaje en la biodiversidad

La degradación, pérdida y fragmentación de los hábitats se consideran transformaciones de distinta se-

veridad y es tema central de mucha de la investigación a nivel mundial (Bennett & Saunders, 2010; Groom & Vynne, 2006; Manning, Lindenmayer, & Nix, 2004). La degradación del hábitat generalmente se refiere a los impactos que afectan a muchas pero no todas las especies, que pueden ser temporales y que no implican la pérdida total de hábitat para todas las especies, más bien representa una reducción en la capacidad de un ecosistema para mantener subconjuntos de especies; en contraste, la pérdida de hábitat se refiere a impactos severos a través de los cuales todas, o casi todas las especies, son afectadas negativamente y los hábitats ya no son capaces de mantener más que una fracción de sus funciones y especies originales (Groom & Vynne, 2006).

Cuando la fragmentación del hábitat ocurre, surgen tres procesos interrelacionados (Bennett & Saunders, 2010): (1) la reducción de la cantidad total de vegetación; (2) la subdivisión de la vegetación remanente; y (3) la introducción y reemplazo por nuevos usos del suelo. La fragmentación tiene relación con los patrones y procesos de la biodiversidad, y una forma de contextualizarla es a nivel de paisaje (Fahrig, 2003), es decir en el escenario en el que las poblaciones se desarrollan, cuya escala depende del enfoque y/o la especie en estudio ya que la respuesta/percepción a la distribución espacial de los recursos puede presentarse a nivel de gremios como un reflejo de tendencias adaptativas (e.g. Schnitzler & Kalko, 2001) o bien ser especie-específica y dependiente de rasgos particulares de historia natural (e.g. Pinto & Keitt, 2008).

Los patrones de la biodiversidad pueden ser conceptualizados en atributos como los siguientes (Bennett & Saunders, 2010): (1) la relación especies-área, ya que fragmentos pequeños alojan subconjuntos compuestos por las especies comunes, a lo que denominamos anidamiento; (2) el efecto de borde e interior cuya magnitud está relacionada con el tamaño y forma de los fragmentos, e influye en las condiciones físicas del hábitat y consecuentemente en la ocurrencia de las especies; (3) la conectividad en el paisaje desde la perspectiva de la especie, que es distinta a la del humano; (4) la permeabilidad de la matriz, es decir la facilidad que ofrece para el desplazamiento de especies no típicas. En cambio, los procesos pueden ser exógenos (e.g. cambios en las condiciones físicas del hábitat) o endógenos (e.g. cambios en la conducta de las especies), y determinísticos (e.g. poblaciones pequeñas inducidas) o estocásticos (e.g. poblaciones que por eventos al azar alcanzan un umbral de densidad a partir del cual disminuye su fecundidad y

supervivencia, a lo que se denomina efecto Allee), y derivar en una mayor susceptibilidad a la extinción (Bennett & Saunders, 2010; Fischer & Lindenmayer, 2007). De esta manera, las causas de extinción poblacional pueden ser genéticas, demográficas y/o ambientales, y el nivel de vulnerabilidad depende en gran medida de rasgos ecológicos como el grado de especialización, tolerancia a la perturbación, capacidad de movilidad, entre otros.

Modelos conceptuales en ecología del paisaje

Los modelos, aunque difieren en sus supuestos, tienen como finalidad proveer un marco teórico para establecer causalidades ecológicas a través de datos empíricos (Fischer & Lindenmayer, 2007). La búsqueda de la simplificación de los ecosistemas condujo a observaciones como las de Humboldt en el siglo XIX: Áreas más grandes contienen más especies que áreas pequeñas (Seip & Wenstøp, 2006). Esta generalización, posteriormente desarrollada en lo que conocemos como la función de relación especies-área, es el punto de partida para mucha de la teoría aún vigente; sin embargo, no es sino con el surgimiento de las teorías de biogeografía de islas (TBI) y metapoblaciones (Hanski, 1999; Jules & Shahani, 2003; Levins, 1969; Vandermeer & Carvajal, 2001), que el estudio del efecto de la fragmentación de los hábitats en la biodiversidad encuentra sus pilares.

En 1967, MacArthur y Wilson desarrollaron la TBI (también conocida como modelo de islas), cuyas predicciones son simples y elegantes al relacionar el número de especies en una isla con su área y grado de aislamiento: Las islas que son relativamente pequeñas y/o aisladas experimentan una disminución en sus tasas de inmigración, alojan poblaciones con probabilidades de extinción altas y, eventualmente, contendrán un número de especies menor (Bennett & Saunders, 2010; Fischer & Lindenmayer, 2007; Franklin & Lindenmayer, 2009). Este marco teórico, posteriormente trasladado a ecosistemas terrestres, fue fundamento para un grupo de modelos clásicos que incluye el de anidamiento y de parche-matriz-corredor, y permitió estudiar en una analogía cómo en los continentes las actividades humanas crean hábitats o islas (fragmentos o parches relativamente homogéneos), inmersos en una matriz o mar de un hábitat predominante (Forman, 1995; Jules & Shahani, 2003; Willig, Presley, Bloch, & Genoways, 2009), que además puede ser atravesado por corredores los cuales son distinguibles de la matriz de fondo (Forman, 1995; Lindenmayer & Burgman,

2005) y que pueden propiciar conectividad (Diamond, 1975; Forman, 1995).

Alternativamente, surgió el grupo de modelos denominados de continuidad, los cuales emergen como una conceptualización de los paisajes con base en el precepto de la vegetación como un continuo en contraposición a elementos discretos, es decir “un cambio en la composición de especies a través de gradientes ambientales” y representan una antítesis a la teoría que planteaba que las comunidades de plantas son poblaciones formando unidades naturales homogéneas, discretas y reconocibles (Austin, 1985; Fischer & Lindenmayer, 2006; Manning et al., 2004). El modelo de continuidad más recurrido es el de paisaje variegado (MacIntire & Barrett, 1992), que reconoce cambios graduales en la cobertura de la vegetación. Este modelo fue desarrollado, en parte, para incorporar gradientes en la calidad de los hábitats (Lindenmayer & Burgman, 2005; MacIntire & Barrett, 1992) y enfatiza en las respuestas individuales, es decir en la variedad de formas que los organismos perciben y responden al ambiente (Manning et al., 2004); sin embargo, la falta de datos empíricos apoyando su marco conceptual (Fischer, Lindenmayer, & Fazey, 2004), así como la necesidad de herramientas de análisis espacial sofisticadas como imágenes de sensores remotos con resolución muy alta para mapear gradientes de recursos (e.g. Price et al., 2009), han tenido como consecuencia que tenga un desarrollo lento (Fischer et al., 2004).

Por otro lado la teoría de metapoblaciones, definidas estas como “colecciones de subpoblaciones que ocupan un determinado porcentaje de hábitats adecuados en el paisaje”, surge con implicaciones evidentes, ya que una matriz poco permeable puede representar una barrera física para la movilidad de los organismos en un paisaje fragmentado, con consecuencias demográficas (Levins, 1969; Vandermeer & Carvajal, 2001). Las metapoblaciones se encuentran vinculadas entre sí por la inmigración y la emigración, y se mantienen por la dispersión desde hábitats fuente, donde el éxito reproductivo (no precisamente la densidad) sobrepasa la mortalidad, hacia hábitats sumidero donde de no existir inmigración periódica, las condiciones de calidad menor favorecerían su desaparición (Dunning, Groom, & Pulliam, 2006; Pulliam, 1988).

Dos aspectos fundamentales en el criticismo de la TBI son el paradigma parche-matriz y su visión blanco/negro (hábitat y no hábitat) desde una perspectiva humana (Franklin & Lindenmayer, 2009). Entre sus supuestos la matriz es homogénea y ecológicamente

irrelevante (Jules & Shahani, 2003; Vandermeer & Carvajal, 2001); sin embargo, el modelo de parche-matriz-corredor sigue siendo el *background* para muchos de los estudios sobre el efecto de la transformación de los paisajes en la biodiversidad. En este sentido, lo que es importante tener en cuenta es que la matriz puede representar en un extremo un espacio inhabitable para algunas especies y en el otro un hábitat continuo semejante a los fragmentos (Vandermeer & Carvajal, 2001), o bien un punto intermedio como un mosaico altamente heterogéneo a través del cual las especies pueden encontrar condiciones para movilizarse (Forman, 1995; Jules & Shahani, 2003; Perfecto & Vandermeer, 2002; Vandermeer & Carvajal, 2001).

La importancia del paisaje agrícola en la conservación biológica

En el contexto de la agroecología surge el concepto de matriz agrícola, que usualmente consiste en diferentes tipos de agroecosistemas; sin embargo, automáticamente se presume tiene una calidad tan baja que es considerada como hábitat sumidero (Perfecto & Vandermeer, 2002). El tipo de agricultura y su manejo a nivel local (nivel de predio) determinan en gran medida la calidad de la matriz agrícola y su permeabilidad (Perfecto & Vandermeer, 2012). La calidad de un agroecosistema puede entenderse como el filtro que permite la movilidad de los organismos, considerándose alta cuando presenta pocas barreras (Vandermeer & Carvajal, 2001).

Asimismo, se menciona que la calidad de la matriz con respecto a los procesos metapoblacionales incrementa con la diversificación de los agroecosistemas (Perfecto & Vandermeer, 2012). Entonces, los esfuerzos de conservación de la biodiversidad puede que sean más efectivos promoviendo el mejoramiento de la matriz, que por ejemplo planificando corredores “ideales” los cuales en muchos casos se asume deben ser de una calidad semejante a la del mismo fragmento (Perfecto & Vandermeer, 2002). Por lo tanto, paisajes complejos pueden promover la diversidad local en los mismos agroecosistemas, lo que puede compensar manejos locales altamente intensivos (Tscharntke, Klein, Kruess, Steffan-Dewenter, & Thies, 2005).

Las variables para medir la calidad de una matriz dependen del enfoque, que puede ser local y de paisaje. A nivel local, es importante evaluar la contribución de las unidades paisajísticas predominantes con base en parámetros como la estructura y la composición de la

vegetación y su poder explicativo para la biodiversidad, o incluso variaciones en el régimen de aplicación de agroquímicos (e.g. De la Mora, Murnen, & Philpott, 2013). Por ejemplo, los ecólogos frecuentemente estudian cronosecuencias de la vegetación, las mismas que muestran diferencias en la comunidad de plantas con relación al estadio de regeneración, con implicaciones en la permeabilidad y disponibilidad de recursos, factores que pueden afectar la movilidad de los organismos (Jules & Shahani, 2003). A nivel de paisaje, los agroecosistemas que componen la matriz pueden ser clasificados en variables de composición, que son relativas a la ocurrencia y proporción de hábitats, y configuración o arreglo espacial (MacGarigal, Cushman, Neel, & Ene, 2002); por ejemplo, es posible evaluar la importancia relativa de la distancia entre los agroecosistemas y los fragmentos de vegetación natural para la riqueza y abundancia de especies (e.g. De la Mora et al., 2013).

Los modelos de conservación biológica divergente y convergente

Los modelos de conservación biológica divergente/convergente son dos argumentos debatidos sobre lo que debería ser la relación entre la agricultura y la biodiversidad, cuyos supuestos algunos son explícitos y otros no (Perfecto & Vandermeer, 2012), lo que hace de su marco conceptual poco claro (Fischer et al., 2014). Estos modelos contienen una carga ideológica fuerte, lo que deriva muchas veces en problemas de contextualización (Perfecto & Vandermeer, 2012).

El modelo divergente o *land-sparing*, argumenta que la intensificación de la agricultura es necesaria para aumentar la productividad (alimento) por área para una población mundial creciente, teniendo como resultado la “liberación de tierras” para la conservación de la biodiversidad (Green et al., 2005; Perfecto & Vandermeer, 2012); sin embargo, las dos variables consideradas no son totalmente independientes, ya que la biodiversidad vía servicios ecosistémicos puede tener influencia en la productividad (Fischer et al., 2014). Un ejemplo puntual es el estudio de Williams-Guillén, Perfecto y Vandermeer (2008). Estos autores observaron un aumento en la proporción de artrópodos en el follaje de cafetales en una región del Soconusco en Chiapas, México, cuando la actividad depredadora de murciélagos insectívoros que se alimentan de superficies *gleaning bats* fue interrumpida mediante experimentos de exclusión. Esta interrupción en la red trófica, podría propiciar

mayor actividad herbívora en los cafetales y consecuentemente riesgos en la producción misma del sistema. Por otro lado, el supuesto implícito de este modelo es la necesidad de sobreproducción de alimento y ya es reconocido que el verdadero problema es la desigualdad en su distribución y accesibilidad, por lo que algunos autores consideran este argumento como una falacia (Perfecto & Vandermeer, 2012).

Aquellos que promueven la intensificación de la agricultura como una estrategia de conservación además ignoran sus consecuencias negativas, ya que se han documentado esquemas muy industrializados y nefastos para el ambiente (Tschardt et al., 2012). Asimismo, en el modelo divergente se asume que habrá más disponibilidad de tierras para conservar; sin embargo, los contextos políticos y socioeconómicos que determinan el uso de la tierra son complejos y raramente esto sucede, además que se promueve la implementación de agroquímicos y otros insumos dañinos para el ambiente y el humano (Perfecto & Vandermeer, 2012). Más aún, para algunos productos agrícolas hay períodos en el que el problema es la sobreproducción: es decir, la oferta es mucho mayor que la demanda y el precio del producto en el mercado está por debajo del de producción (Perfecto & Vandermeer, 2012).

El modelo convergente o *land-sharing*, argumenta que la agricultura alternativa, diversa y agroecológica, también denominada orgánica o amigable con el ambiente (Hodgson, Kunin, Thomas, Benton, & Gabriel, 2010) puede mantener la biodiversidad a nivel local y a escala de paisaje (Green et al., 2005; Perfecto & Vandermeer, 2012). Esta práctica ha sido considerada como una alternativa que ha favorecido a la producción a pequeña escala, e incorpora nociones de seguridad y soberanía alimentaria, priorizando las economías campesinas (Perfecto & Vandermeer, 2012).

Una consideración clave según varios autores es el efecto neto de cada modelo en la biodiversidad, tomando en cuenta la productividad de los sistemas (e.g. Chandler et al., 2013; Hodgson et al., 2010). El cultivo de café ha sido uno de los sistemas de producción centrales en la investigación sobre esta temática (Chandler et al., 2013). Este tipo de agroecosistema representa diferentes “diseños biofísicos” y niveles de manipulación de los hábitats (Moguel & Toledo, 1999), y se presenta en un gradiente continuo desde el manejo tradicional-rústico de calidad alta, al moderno-intensivo de calidad baja (Moguel & Toledo, 1999; Perfecto, Rice, Greenberg, & Van der Voort, 1996; Perfecto & Vandermeer, 2002). Hay estudios que demuestran que

en este tipo de agroecosistemas, la riqueza y abundancia de especies para varios grupos taxonómicos tiene una similitud alta con los ecosistemas nativos (e.g. Greenberg, Bichier, Angon, & Reitsma, 1997; Pineda, Moreno, Escobar, & Halffter, 2005; Williams-Guillén & Perfecto, 2010). Por ejemplo, Numa, Verdú y Sánchez-Palomino (2005), en su área de estudio, calcularon un recambio bajo de especies de murciélagos filostómidos entre bosques remanentes en una matriz con predominancia de agroecosistemas diversificados, frente a una matriz con agroecosistemas convencionales; estos autores interpretaron dicho resultado como una continuidad mayor en la matriz en el área con manejo agroecológico.

Sin embargo, también hay evidencia que los agroecosistemas pueden ser menos productivos y por lo tanto son poco elegidos en algunas regiones agrícolas (Chandler et al., 2013; Moguel & Toledo, 1999); además, pueden alojar especies generalistas mientras que las especialistas siguen siendo dependientes del ecosistema nativo (Chandler et al., 2013). En este sentido, la escala es una consideración importante en los sistemas de producción, por lo que en muchos casos no es posible comparar y generalizar resultados de unos cuantos estudios. El modelo divergente frecuentemente asume extensiones geográficas amplias y de grano grueso, mientras que el modelo convergente se enfoca típicamente a integrar la producción y la conservación en una escala menor (Egan & Mortensen, 2012; Hodgson et al., 2010).

En la actualidad, los casos exitosos de modelos de conservación divergentes son escasos (e.g. Chandler et al., 2013) en comparación con manejos agroecológicos (e.g. Greenberg et al., 1997; Pineda et al., 2005; Williams-Guillén & Perfecto, 2010); sin embargo, se requiere un esfuerzo mayor de estudio para brindar soporte a las distintas estrategias de conservación biológica. Lo que resulta evidente, es que algunos de los supuestos de estos modelos no son claros e ignoran mecanismos que mantienen a la biodiversidad a nivel de paisaje, lo que puede derivar en extinciones locales y efectos en la misma productividad de los sistemas agrícolas.

Conclusión

Para algunos autores el debate de si las prácticas agrícolas deben ser intensificadas para incrementar la productividad y así resguardar la biodiversidad en zonas específicas, o si deben ser favorecidas las prácticas

diversificadas para mantener la biodiversidad en una dinámica con el paisaje agrícola, ha fallado en su implementación efectiva. En la literatura se plantea que la mejor estrategia para la conservación de la biodiversidad manteniendo la producción en un nivel deseado es dependiente del contexto de cada región y de los supuestos de cada modelo. Una de las estrategias propuestas es asegurar la conectividad y migración entre metapoblaciones, a través de una matriz agrícola de calidad alta, considerando además la relevancia de los corredores de vegetación natural y los *stepping stones* (Perfecto & Vandermeer, 2012; Tschamtko et al., 2012). Algunos de los supuestos de los modelos de conservación biológica convergente/divergente acarrear problemas de contextualización y consecuentemente derivan en retrocesos en las estrategias de conservación; sin embargo, la ecología del paisaje y la teoría de metapoblaciones brindan elementos para repensar este tema, con un soporte en datos empíricos.

Referencias

- Austin, M. P. (1985). Continuum concept, ordination methods, and niche theory. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16, 39-61. doi: [10.1146/annurev.es.16.110185.000351](https://doi.org/10.1146/annurev.es.16.110185.000351)
- Bennett, A. F., & Saunders, D. A. (2010). Habitat fragmentation and landscape change. In N. S. Sodhi & P. R. Ehrlich (Eds.), *Conservation biology for all* (Chap. 5, pp. 88-106). New York: Oxford University Press.
- Chandler, R. B., King, D. I., Raudales, R., Trubey, R., Chandler, C., & Arce, V. J. (2013). A small-scale land-sparing approach to conserving biological diversity in tropical agricultural landscapes. *Conservation Biology*, 27(4), 785-795. doi: [10.1111/cobi.12046](https://doi.org/10.1111/cobi.12046)
- De la Mora, A., Murnen, C. J., & Philpott, S. M. (2013). Local and landscape drivers of biodiversity of four groups of ants in coffee landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 22(4), 871-888. doi: [10.1007/s10531-013-0454-z](https://doi.org/10.1007/s10531-013-0454-z)
- Diamond, J. M. (1975). The island dilemma: Lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves. *Biological Conservation*, 7(2), 129-145. doi: [10.1016/0006-3207\(75\)90052-X](https://doi.org/10.1016/0006-3207(75)90052-X)
- Dunning, J. B., Groom, M. J., & Pulliam, H. R. (2006). Species and landscape approaches to conservation. En M. J. Groom, G. K. Meffe & C. R. Carroll (Eds.), *Principles of Conservation Biology* (3rd ed., Chap. 12, pp. 419-465). Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates.
- Egan, J. F., & Mortensen, D. A. (2012). A comparison of land-sharing and land-sparing strategies for plant richness conservation in agricultural landscapes. *Ecological Applications*, 22(2), 459-471. doi: [10.1890/11-0206.1](https://doi.org/10.1890/11-0206.1)
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34, 487-515. doi: [10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419](https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419)
- Fischer, J., Abson, D. J., Butsic, V., Chappell, M. J., Ekroos, J., Hanspach, J., ... von Wehrden, H. (2014). Land sparing versus land sharing: Moving forward. *Conservation Letters*, 7(3), 149-157. doi: [10.1111/conl.12084](https://doi.org/10.1111/conl.12084)
- Fischer, J., Lindenmayer, D. B., & Fazey, I. (2004). Appreciating ecological complexity: Habitat contours as a conceptual landscape model. *Conservation Biology*, 18(5), 1245-1253. doi: [10.1111/j.1523-1739.2004.00263.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00263.x)
- Fischer, J., & Lindenmayer, D. B. (2006). Beyond fragmentation: The continuum model for fauna research and conservation in human-modified landscapes. *Oikos*, 112(2), 473-480. doi: [10.1111/j.0030-1299.2006.14148.x](https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2006.14148.x)
- Fischer, J., & Lindenmayer, D. B. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: A synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, 16(3), 265-280. doi: [10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x](https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x)
- Forman, R. T. (1995). *Land mosaics: The ecology of landscapes and regions*. New York, Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Franklin, J. F., & Lindenmayer, D. B. (2009). Importance of matrix habitats in maintaining biological diversity. *Proceedings of the National Academy of Science*, 106(2), 349-350. doi: [10.1073/pnas.0812016105](https://doi.org/10.1073/pnas.0812016105)
- Green, R. E., Cornell, S. J., Scharlemann, J. P., & Balmford, A. (2005). Farming and the fate of wild nature. *Science*, 307(5709), 550-555. doi: [10.1126/science.1106049](https://doi.org/10.1126/science.1106049)

- Greenberg, R., Bichier, P., Angon, A. C., & Reitsma, R. (1997). Bird populations in shade and sun coffee in central Guatemala. *Conservation Biology*, 11(2), 448-459. doi: [10.1046/j.1523-1739.1997.95464.x](https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1997.95464.x)
- Groom, M. J., & Vynne, C. H. (2006). Habitat degradation and loss. En M. J. Groom, G. K. Meffe & C. R. Carroll (Eds.), *Principles of Conservation Biology* (3rd. ed., Chap. 6, pp. 173-212). Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates.
- Hanski, I. (1999). Habitat connectivity, habitat continuity, and metapopulations in dynamic landscapes. *Oikos*, 87(2), 209-219. doi: [10.2307/3546736](https://doi.org/10.2307/3546736)
- Hodgson, J. A., Kunin, W. E., Thomas, C. D., Benton, T. G., & Gabriel, D. (2010). Comparing organic farming and land sparing: Optimizing yield and butterfly populations at a landscape level. *Ecology Letters*, 13(11), 1358-1367. doi: [10.1111/j.1461-0248.2010.01528.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01528.x)
- Jules, E. S., & Shahani, P. (2003). A broader ecological context to the fragmentation frenzy: Why matrix habitat is more important than we thought. *Journal of Vegetation Science*, 14(3), 459-464. doi: [10.1111/j.1654-1103.2003.tb02172.x](https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02172.x)
- Levins, R. (1969). Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 15(3), 237-240. doi: [dx.doi.org/10.1093/besa/15.3.237](https://doi.org/10.1093/besa/15.3.237)
- Lindenmayer, D., & Burgman, M. (2005). *Practical conservation biology*. Collingwood, Australia: CSIRO Publishing.
- MacIntire, S., & Barrett, G. W. (1992). Habitat variegation, an alternative to fragmentation. *Conservation Biology*, 6(1), 146-147. doi: [10.1046/j.1523-1739.1992.610146.x](https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610146.x)
- MacGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., & Ene, E. (2002). *FragStats: Spatial pattern analysis program for categorical maps*. [software]. Amherst: University of Massachusetts.
- Manning, A. D., Lindenmayer, D. B., & Nix, H. A. (2004). Continua and umwelt: Novel perspectives on viewing landscapes. *Oikos*, 104(3), 621-628. doi: [10.1111/j.0030-1299.2004.12813.x](https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.12813.x)
- Meffe, G. K., Carroll, C. R., & Groom, M. J. (2006). What is Conservation Biology? En M. J. Groom, G. K. Meffe & C. R. Carroll (Eds.), *Principles of Conservation Biology* (3rd. ed. Chap. 1, pp. 3-25). Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates.
- Moguel, P., & Toledo, V. M. (1999). Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13(1), 11-21. doi: [10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x](https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x)
- Numa, C., Verdú, J. R., & Sánchez-Palomino, P. (2005). Phyllostomid bat diversity in a variegated coffee landscape. *Biological Conservation*, 122, 151-158. doi: [10.1016/j.biocon.2004.07.013](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.07.013)
- Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R., & Van der Voort, M. E. (1996). Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*, 46(8), 598-608. doi: [10.2307/1312989](https://doi.org/10.2307/1312989)
- Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2002). Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: Ants in coffee plantations in southern Mexico. *Conservation Biology*, 16(1), 174-182. doi: [10.1046/j.1523-1739.2002.99536.x](https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.99536.x)
- Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2012). Separación o integración para la conservación de biodiversidad: La ideología detrás del debate “land-sharing” frente a “land-sparing”. *Ecosistemas*, 21(1-2), 180-191.
- Pineda, E., Moreno, C., Escobar, F., & Halffter, G. (2005). Frog, bat and dung beetle diversity in the cloud forest and coffee agroecosystems of Veracruz, Mexico. *Conservation Biology*, 19(2), 400-410. doi: [10.1111/j.1523-1739.2005.00531.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00531.x)
- Pinto, N., & Keitt, T. H. (2008). Scale-dependent responses to forest cover displayed by frugivore bats. *Oikos*, 117(11), 1725-1731. doi: [10.1111/j.1600-0706.2008.16495.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.16495.x)
- Price, B., McAlpine, C. A., Kutt, A. S., Phinn, S. R., Pullar, D. V., & Ludwig, J. A. (2009). Continuum or discrete patch landscape models for savanna birds? Towards a pluralistic approach. *Ecography*, 32(5), 745-756. doi: [10.1111/j.1600-0587.2009.05670.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05670.x)
- Pulliam, H. R. (1988). Sources, sinks, and population regulation. *American Naturalist*, 132(5), 652-661. doi: [10.1086/284880](https://doi.org/10.1086/284880)
- Schnitzler, H.-U., & Kalko, E. K. (2001). Echolocation by insect-eating bats. *BioScience*, 51(7), 557-569. doi: [10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0557](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0557)

- Seip, K. L., & Wenstøp, F. (2006). *A primer on environmental decision-making. An integrative quantitative approach*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., ... Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151(1), 53-59. doi: [10.1016/j.biocon.2012.01.068](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068)
- Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem management. *Ecology Letters*, 8(8), 857-874. doi: [10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x)
- Williams-Guillén, K., & Perfecto, I. (2010). Effects of agricultural intensification on the assemblage of leaf-nosed bats (Phyllostomidae) in a coffee landscape in Chiapas, Mexico. *Biotropica*, 42(5), 605-613. doi: [10.1111/j.1744-7429.2010.00626.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00626.x)
- Williams-Guillén, K., Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2008). Bats limit insects in a neotropical agroforestry system. *Science*, 320(5872), 70. doi: [10.1126/science.1152944](https://doi.org/10.1126/science.1152944)
- Willig, M. R., Presley, S. J., Bloch, C. P., & Genoways, H. H. (2009). Macroecology of Caribbean bats: Effects of area, elevation, latitude, and hurricane-induced disturbance. En T. H. Fleming & P. A. Racey (Eds.), *Island bats. Evolution ecology and conservation* (Chap. 8, pp. 216-264). Chicago: The University of Chicago Press.
- Vandermeer, J., & Carvajal, R. (2001). Metapopulation dynamics and the quality of the matrix. *American Naturalist*, 158(3), 211-220. doi: [10.1086/321318](https://doi.org/10.1086/321318)

Instrucciones para Autores

Ciencia, Tecnología y Salud es la Revista de Investigación y Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, orientada a divulgar los conocimientos de las áreas científicas, tecnológicas y de la salud humana y animal a la comunidad científica nacional e internacional. Constituye una publicación de carácter semestral en formato digital (Open Journal System-OJS) y en forma impresa, cuyos manuscritos aceptados para publicación son sometidos a procesos de revisión y arbitraje por pares, lo que garantiza al lector y autores un alto nivel y rigor académico.

Instrucciones generales (lea detenidamente todas las instrucciones para autor)

1. La Revista publica los siguientes tipos de manuscritos:
 - a. Artículos científicos
 - b. Artículos de revisión
 - c. Ensayos
 - d. Reseñas
 - e. Reporte de casos
2. La Revista presta consideración editorial únicamente a artículos inéditos y originales que no hayan sido publicados con anterioridad y que no estén siendo evaluados para publicación en ningún otro medio. Si el material a publicar hubiese sido presentado previamente de manera parcial (ej. Congresos), deberá consignarse dicha información en la carta de presentación y al final del resumen.
3. Los trabajos deben ser presentados utilizando la plataforma OJS y los formatos accesibles en la dirección electrónica www.digi.usac.edu.gt/ojsrevistas/ siguiendo las instrucciones que los formatos le exigen. Para enviar un manuscrito usted debe registrarse como autor en la página anterior (sección registrarse).
4. Todos los trabajos deben presentarse en formato MS Word (versión 2007), tamaño carta, letra Times New Roman 12 puntos, interlineado de 1.5, márgenes de 2.5 cm, a una columna sin justificar, páginas numeradas, citas y referencias de acuerdo al Manual de Publicaciones de la *American Psychological Association* (APA) 6ª. edición.
5. Todos los trabajos deben incluir una portadilla, donde se consigne título corto (no mayor a 11 palabras), título en español e inglés, los nombres de

los autores (nombre, apellido), su afiliación institucional y dirección para enviar correspondencia.

6. Los manuscritos que informen investigaciones con seres humanos o animales, deben incluir una sección de Aspectos Éticos del trabajo, incluyendo la aprobación por un Comité de Ética cuando corresponda, el consentimiento informado en caso de estudios con seres humanos y los procedimientos utilizados para el manejo ético de animales de laboratorio.
7. Las Tablas, Figuras e Imágenes, deben ser enviadas en archivos separados (archivos complementarios OJS) y en el formato original utilizado (Ej. .doc, .docx, .xls, .xlsx, .png, .jpg, TIFF). Las imágenes deben tener un mínimo de 300 dpi de resolución.

Instrucciones específicas:

Se recomienda a los autores revisar un número anterior de la revista para visualizar el contenido del artículo previo a su envío.

1. Artículo científico:

Son artículos que informan sobre resultados de proyectos de investigación. La extensión máxima es de 20 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir cinco palabras clave
- b. Abstract (inglés) incluir cinco keywords
- c. Introducción
- d. Materiales y métodos
- e. Resultados
- f. Discusión
- g. Agradecimientos (incluir fuente y número de financiamiento)
- h. Referencias
- i. Tablas y Figuras



2. Artículos de revisión

Los artículos de revisión presentan temas de importancia tratados por expertos y únicamente se aceptan por invitación del Consejo Editorial. La extensión máxima es de 20 páginas y deben incluir lo siguiente:

- a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir cinco palabras clave
- b. Abstract (inglés) incluir cinco keywords
- c. Introducción
- d. Contenido
- e. Conclusiones
- f. Referencias (mínimo 50 referencias)
- g. Tablas y Figuras

3. Ensayos científicos

Los ensayos son trabajos en que el autor aborda su interpretación de un tema relevante a la ciencia, la tecnología o la salud. Plantea argumentos y opiniones personales basados en literatura científica, concluyendo con una posición sobre el tema seleccionado. La extensión máxima es de 20 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir cinco palabras clave
- b. Abstract
- c. Introducción
- d. Contenido
- e. Conclusiones
- f. Referencias

4. Reseñas

Las reseñas son revisiones y comentarios sobre nuevos libros (con ISBN), videos u otras obras. Su extensión máxima es de dos páginas y su formato es libre. Debe incluir la referencia bibliográfica completa, fotografía de la obra y dirección electrónica cuando aplique.

5. Reporte de casos

Estos artículos presentan en forma detallada y documentada casos especiales que merezcan la atención del ámbito de la revista. Pueden ser casos clínicos,

tecnológicos o de otros campos de la ciencia. La extensión máxima es de 10 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir cinco palabras clave
- b. Abstract: incluir cinco keywords
- c. Introducción
- d. Presentación del caso
- e. Discusión
- f. Referencias
- g. Tablas y Figuras

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Vol. 2 Num. 2 jul/dic. 2015

Revisores de este número

Cesar Azurdia

Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala

Manuel Basterrechea

Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de Guatemala, Guatemala

Sully M. Cruz

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Ruth De León Choocoj

Planta Productora de Hongos Comestible “Ocox”, Guatemala

Dennis Guerra Centeno

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Jorge Erwin López

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Vivian L. Matta

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Carlos Mejía Villatoro

Hospital Roosevelt, Guatemala

Dayrin Ortiz

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Margarita Paz de Ramírez

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Maura Quezada

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Ruben Ruíz

Centro Universitario de San Marcos, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Eduardo A. Samayoa

Laboratorio de Inmunología, Guatemala

María del Carmen Samayoa

Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de Guatemala, Guatemala

Unidad de Publicaciones y Divulgación

Marco Vinicio Chavarría Trejo
Ronald Adrian Barrios Méndez
Impresores

 **Dirección General
de Investigación**
Universidad de San Carlos de Guatemala

La impresión de este documento se realizó en la Unidad de Publicaciones y Divulgación de la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en noviembre de 2015, con un tiraje de 1,000 ejemplares, en papel bond 80 g. Guatemala C. A.

Editorial

Artículos Científicos

Caracterización in vitro y producción de inóculo de cepas guatemaltecas de Lepista nuda (Bull.: Fr.) Cooke

Maria del Carmen Bran, Roberto Cáceres, Natalia Gurriarán, Osberth Morales, Roberto Flores.

Características in situ y de propagación de seis especies arbustivas utilizadas como plantas nodrizas en la región occidental de Guatemala

José V. Martínez-Arévalo

Actividad antioxidante de extractos de diez basidiomicetos comestibles en Guatemala

Karen Belloso, Ivonne González, Rebeca Suárez, Armando Cáceres

Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del Lago de Atitlán

Francisco Pérez Sabino, Balmore Valladares Jovel, Elisandra Hernández, Bessie Oliva, Marta Del Cid, Pedro Jayes Reyes

Prevalencia de Helicobacter pylori en un grupo de pacientes pediátricos infectados por el virus de la inmunodeficiencia humana

Julio Luarca, Fabio Parada, Oscar Osorio, Julio Linares, Franco Pezzarossi, Ana Orantes, Guido Andretta, Andrea Sandoval, Lashly Méndez, Fernando Gutiérrez, Luis Fernández, Wendoly Munguía

Actividad hipotrigliceridémica de un extracto de rosa de Jamaica (Hibiscus sabdariffa L.) al administrarse antes y durante las comidas

Rodrigo Castañeda, Sully M. Cruz, Armando Cáceres

Ensayos Científicos

Los modelos de conservación biológica divergente y convergente: Una mirada desde las perspectivas de la ecología del paisaje y la teoría de metapoblaciones

Cristian Kraker-Castañeda, Lorena Soto-Pinto

Los artículos científicos son indexados en:

latindex

<http://digi.usac.edu.gt/ojsrevistas>