
Ciencia, Tecnología y Salud

Universidad de San Carlos de Guatemala

ISSN: 2409-3459

Volumen 3 Número 1

enero / junio 2016

Artículos Científicos

Artículos de Revisión

Ensayos Científicos

Reseñas

Reporte de Casos



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

DG 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. 3, no. 1. (ene./jun. 2016).
-- Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, DIGI, SEP, Unidad de Publicaciones y Divulgación, 2016.
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

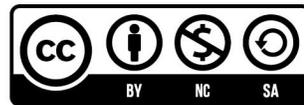
Gerardo Leonel Arroyo Catalán
Director General de Investigación, DIGI

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: José V. Martínez Arévalo.

Descripción de la fotografía de portada: Parche de bosque de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), tomada en junio de 2010, Flor de mayo, Tacaná.

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)

©Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2016
Los textos publicados en este documento son responsabilidad exclusiva de sus autores.

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2409-3459

Vol. 3 Num. 1 ene/jun 2016

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

Editor invitado de este número

José Vicente Martínez-Arévalo

Facultad de Agronomía, 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

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 Sucl Higueros Pellecer

Bibliotecóloga (Normalización documental)

José David Marroquín

Asesor filológico, Guatemala

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2409-3459

Vol. 3 Num. 1 ene/jun 2016

Contenido / Contents

Editorial / Editorial 3

Artículos Científicos / Scientific Articles

Evaluación de la regeneración natural de tres especies coníferas en áreas de distribución natural en el altiplano occidental de Guatemala

Assessing the natural regeneration of three conifer species in their natural distribution in the western highlands of Guatemala

Sergio M. Godínez, Fabio A. Rodríguez, Nancy P. López, Jorge Camposeco..... 5

La importancia del bosque en la recarga hídrica natural del acuífero noreste de la ciudad de Guatemala

The importance of forests cover in natural water recharge of the northeastern aquifer of Guatemala City

Isaac R. Herrera Ibáñez 17

Los bosques de *Abies guatemalensis* Rehder de San Marcos, Guatemala: una oportunidad para su restauración ecológica

*Ecological restoration in forests of *Abies guatemalensis**

José V. Martínez Arévalo 27

Aplicación del índice de calidad de suelos en plantaciones forestales de palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) y Matiliguatate (*Tabebuia rosea* Bertol) en Guatemala

*Application of the soil quality index in forest plantations of palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) and Matiliguatate (*Tabebuia rosea* Bertol) in Guatemala*

Eddi A. Vanegas-Chacón, Boris A. Méndez-Paiz 47

Actividad biológica y caracterización química de los extractos de las hojas y corteza de *Rhizophora mangle* L.

*Biological activity and chemical characterization of the extracts of leaves and cortex of *Rhizophora mangle* L.*

Nereida Marroquín, Sully M. Cruz 55

Índice de diversidad biológica urbana de la ciudad de La Antigua Guatemala

The City Biodiversity Index of Antigua Guatemala

Jorge García-Polo, Fernando Castillo-Cabrera, José Juan Vega..... 65

Ensayos Científicos / Scientific Essay

Medicina tradicional y fitoterapia una alternativa para el mejoramiento de la salud en Guatemala

Traditional medicine and phytotherapy: An alternative for health improvement in Guatemala

Sully M. Cruz 81

Reseña / Review

Plantas mesoamericanas subutilizadas en la alimentación humana. El caso de Guatemala: una revisión del pasado hacia una solución actual

Underutilized Mesoamerican plants in human nutrition. The case of Guatemala: a review of the past towards a current solution

José V. Martínez Arévalo 91

Reporte de Casos / Case Report

Políticas de acceso a la tierra rural y sostenibilidad ambiental Comunidades agrarias Sechina, La Ensenada y Cerro San Gil, Izabal, Guatemala

Politics of rural land access and environmental sustainability "Communities of Sechina, La Ensenada and cerro San Gil, Izabal, Guatemala"

Eddi A. Vanegas-Chacón, Mario E. Díaz-Visquera 93

Instrucciones para autores

Instructions for authors..... 101

Revisores de este número

Reviewers of this issue 103

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2409-3459

Vol. 3 Num. 1 ene/jun 2016

Editorial / Editorial

En el ámbito de la filosofía de la ciencia, es un axioma que la verdad absoluta no existe. No obstante, es la ciencia con sus rigurosos métodos racionales, la que más se aproxima a la verdad. Investigar es, y será, un proceso creativo de aproximación infinita a la verdad. La ciencia no admite dogmas, las verdades científicas son temporales, dinámicas y relativas; siempre están sujetas a ser abatidas por nuevas verdades planteadas por investigadores prodigiosos, y por esa razón, se publican. Al exponer la verdad científica a la comunidad académica, ésta se somete al racionalismo crítico. La ley de gravitación universal de Isaac Newton, es un ejemplo. Y ahí estarán esas verdades vigentes hasta que los investigadores encuentren nuevos datos, que sometidos al análisis crítico, pasarán a ser las nuevas verdades. Estos son los valores y la dinámica de la ciencia, y esa es la importancia de las publicaciones científicas arbitradas.

Con sumo agrado presentamos a los lectores de la revista *Ciencia, Tecnología y Salud* (CTS), el número 1 del volumen 3 de nuestra revista. Esta vez contamos con la certificación y el apoyo de Latindex, Road y Doaj. También nos complace anunciar que se han sumado a nuestro grupo de colaboradores, pares arbitrantes externos de prestigiosas instituciones internacionales como la Universidad Autónoma de México (Unam), el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), el Colegio de Postgraduados de la Frontera Sur (Ecosur) de México, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (Icta) de Guatemala y la Universidad del Valle de Guatemala (UVG). Estas reconocidas instituciones académicas, contribuyen a una revisión más rigurosa y por ende a mejorar la calidad de nuestras publicaciones científicas. Además, en este número que tiene énfasis en estudios relacionados con nuestros recursos forestales, damos inicio a la figura de editor asociado, que ha jugado con mucha propiedad Vicente Martínez-Arévalo, para darle mayor realce.

En este número, el investigador Sergio Miguel Godínez, nos presenta un interesante trabajo científico sobre la distribución de semillas y la dinámica de regeneración natural de bosques de pino (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl.) en el occidente de Guatemala. Asimismo, Jorge García Polo y colaboradores, establecen indicadores de biodiversidad urbana en la ciudad de La Antigua Guatemala. Un trabajo académico con novedad metodológica, que puede servir de guía para planificadores urbanos municipales.

El investigador Isaac Herrera Ibáñez presenta volúmenes de recarga hídrica en los acuíferos del noroeste de la ciudad de Guatemala. Esta investigación valora las zonas de recarga hídrica en diferentes sustratos de suelos con cobertura vegetal diversa, datos que pueden ser de interés para los planificadores de acueductos urbanos.

Vicente Martínez-Arévalo publica la dinámica fisiológica del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), árbol emblemático del altiplano guatemalteco, utilizando plantas nodrizas como vegetación acompañante para el desarrollo de la especie y el aprovechamiento comercial del pinabete. En el artículo se presentan mapas que muestran la interacción de variables como la química del suelo, el clima, plantas nodrizas, restauración ecológica y el crecimiento del pinabete.

Eddi Vanegas-Chacón y Boris Méndez-Paiz, muestran el efecto del índice de calidad de suelos en el crecimiento de las especies forestales Palo Blanco (*Tebeuia smitii* Rose) y Matilisguate (*Tebeuia rosea* Bertol) en Guatemala. Los investigadores determinaron las propiedades fisicoquímicas edáficas requeridas por las especies, y que deben considerar los productores para optimizar la productividad de las plantaciones forestales.

Nereida Marroquín y Sully M. Cruz, presentan interesantes resultados fitoquímicos de las hojas y cortezas del mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), y sus efectos

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2409-3459

Vol. 3 Num. 1 ene/jun 2016

Editorial / Editorial

antioxidantes y antimicrobianos. Las investigadoras indican las partes por millón necesarias del extracto, como actividad antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *S. epidermidis* ATCC 14990 y *S. epidermidis*, que podrían usarse en la cicatrización de heridas. El hallazgo más interesante lo constituye la demostración de la actividad en las hojas, ya que es la corteza la que ha sido más ampliamente utilizada y estudiada, además que su aprovechamiento no contribuyen a la depredación de esta especie amenazada.

La investigadora Sully Cruz, presenta un ensayo acerca de fitoterapia y prácticas ancestrales de medicina tradicional. La ensayista aborda en su escrito la interculturalidad, las especies vegetales y el ambiente, como un nuevo enfoque integral para el sistema de salud. Es de hacer énfasis que este ensayo es el ganador del segundo lugar en la convocatoria anual sobre ensayos auspiciada por la Dirección General de Investigación (Digi).

Vicente Martínez-Arévalo hace una reseña del libro *Plantas mesoamericanas subutilizadas en la*

alimentación humana, del notable investigador Cesar Azurdía. El autor del libro es una autoridad en materia de recursos fitogenéticos tropicales, y la consulta del documento es una referencia sobre el tema. Este es un libro valioso de interés para académicos, nutricionistas y extensionistas. Fue publicado por la Digi en colaboración con el Consejo Nacional de Áreas Protejidas y puede obtenerse en forma gratuita desde nuestra página de internet: <http://digi.usac.edu.gt>

Y finalmente, Edi Vanegas y Mario Díaz, presentan un reporte de caso abordando indicadores de uso de la tierra en tres comunidades agrarias de Guatemala. En este caso se valora la cobertura vegetal, tanto desde la perspectiva de políticas de acceso a la tierra rural, como de la sostenibilidad ambiental y producción agropecuaria.

Agradecemos a nuestros lectores y colaboradores sus valiosos aportes. Como siempre esperamos sus nuevos artículos, y atendiendo la teoría del falsacionismo y el racionalismo crítico del filósofo de la ciencia Karl Popper, los comentarios siempre serán bienvenidos.

Evaluación de la regeneración natural de tres especies coníferas en áreas de distribución natural en el altiplano occidental de Guatemala

Sergio M. Godínez*, Fabio A. Rodríguez, Nancy P. López, Jorge Camposeco

Programa Académico de Ingeniería Forestal, Centro Universitario de Noroccidente, San Marcos, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

*Autor al que se dirige la correspondencia: sergiogodinez_7@yahoo.es

Recibido: 21 de septiembre 2015 / Revisión: 11 de febrero 2016 / Aceptado: 28 de marzo 2016 / Disponible en línea: 01 de agosto 2016

Resumen

Los bosques de coníferas del altiplano occidental de Guatemala han sido perturbados por intervenciones humanas y fenómenos naturales, lo cual ha propiciado la ocurrencia del fenómeno de regeneración natural. En este escenario se evaluó la densidad de la regeneración natural de tres especies coníferas (*Pinus oocarpa* Schiede, *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. tecunumanii* Eguluz & Perry), en 60 sitios distribuidos en espacios de borde y claro. Las variables evaluadas fueron: fuente de disturbio que originó su establecimiento, variación de la densidad respecto de la fuente de semilla y estimación de la distancia de alcance de dispersión de regeneración adecuada, utilizando unidades de muestreo de 25 m² para regeneración natural y 500 m² para los árboles fuente de semilla. Las fuentes de disturbio identificadas fueron: extracción forestal 55%, incendios forestales 24%, plagas 8%, agricultura, alud con 5% cada una y huracán 3%. La variación de la densidad de regeneración natural respecto de la fuente de semilla, corresponde a los modelos de J invertida para bordes, y de variable de subpoblaciones para claros. Las distancias de dispersión de regeneración natural establecida para *P. oocarpa* fue 65 m en borde y 160 m en claro; para *P. pseudostrobus* fue 75 m en borde y 175 m en claro; y para *P. tecunumanii* fue 70 m en borde y 170 m en claro. Las distancias de dispersión con densidades aceptables según Instituto Nacional de Bosques-Programa Regional Forestal para Centroamérica, para las tres especies varían de 65-175 m.

Palabras claves: *Pinus oocarpa*, *Pinus pseudostrobus*, fuente de disturbio, coníferas, dispersión

Abstract

Coniferous forests of the western highlands of Guatemala have been disturbed by human intervention and natural phenomena, which has allowed the occurrence of the phenomenon of natural regeneration. In this scenario the density of natural regeneration of conifers three species evaluated (*Pinus oocarpa* Schiede, *P. pseudostrobus* Lindl. and *P. tecunumanii* Eguluz & Perry) in 60 sites distributed in space and clear edge. The variables evaluated were the source of disturbance that caused its establishment, density variation of the source of seed and distance estimation range scattering adequate regeneration, using sampling units of 25 m² for natural regeneration and 500 m² seed source trees. Disturbance sources identified were logging 55%, 24% forest fires, pests 8%, agriculture, avalanche 5% each and hurricane 3%. The variation of the density of natural regeneration on the seed source, corresponds to the inverted J models for edges, and to clear variable subpopulations. Dispersal distances of natural regeneration was established for *P. oocarpa* 65 m in edges, and 160 m in the clears; *P. pseudostrobus* 75 m in edges, and 175 m in the clears; and *P. tecunumanii* was 70 m in edges, and 170 m in the clears. Dispersal distances with acceptable densities according National Forestry Institute-Regional Forestry Programme for Central American, for the three species vary from 65-175 m.

Keywords: *Pinus oocarpa*, *Pinus pseudostrobus*, source of disturbance, conifers, dispersion



Introducción

La dinámica de los ecosistemas forestales nativos presenta tres fases: el disturbio o perturbación, la invasión o regeneración y la madurez (Rebottaro & Cabrelli, 2011). White y Pickett (1985) definen el disturbio como “cualquier evento relativamente discreto en el tiempo que trastorna la estructura de una población, comunidad o ecosistema y cambia los recursos, la disponibilidad de sustrato o el ambiente físico”; por su parte, la perturbación se concibe como “un acontecimiento natural o inducido por el hombre, que origina un cambio en las características de los sistemas ecológicos” según Kaufmann y colaboradores (1994); ambos fenómenos generan cambios en la diversidad, estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Los disturbios generan claros de diferente magnitud en el dosel, lo que condiciona la cantidad e intensidad de luz que llega al suelo descubierto, factor que define el establecimiento de regeneración natural de especies heliófilas (Chacón, Velásquez, & Musalem, 1998; González & Bravo, 1999; Sarasola, Rusch, Schlichter, & Ghersa, 2006).

El proceso de regeneración natural se define como “la renovación de árboles a través de semillas auto sembradas o por medios vegetativos naturales”, según Ford-Robinson citado por Organización Internacional de Maderas Tropicales (2002). También se refiere al proceso por el que en un espacio se produce la aparición de nuevos pies de distintas especies forestales sin la intervención humana y que procede de los pies del arbolado vinculado al área regenerada (Serrada, 2003). La fase de regeneración natural de especies arbóreas forestales es el momento crítico de la vida de cualquier comunidad forestal (González & Bravo, 1999); le anteceden cuatro momentos: el suministro, la dispersión, la germinación de semillas y la supervivencia (Hawley & Smith, 1982; Kimmins, 1997). La supervivencia se vincula a la competencia, considerado el factor fundamental en el establecimiento de la regeneración natural de las especies forestales (Oliver & Larson, 1996).

La formación de la nueva masa forestal en claros dentro del bosque está condicionada por el aporte de semillas de las poblaciones y comunidades ecológicas forestales circundantes (Kimmins, 1997) y los árboles padre constituyen la fuente principal (Rebottaro & Cabrelli, 2011). La producción de semillas en árboles es directamente proporcional al tamaño del árbol y es afectada por la cantidad de luz disponible para la copa y condiciones climáticas que afectan al crecimiento y reproducción (Greene & Johnson, 1989; Greene, Messier,

Asselin, & Fortín, 2002; van Mantgem, Stephenson, & Keeley, 2006).

La dispersión de semillas se refiere al movimiento de las mismas desde la planta madre y los sitios transitorios de deposición hasta alcanzar su ubicación espacial final, denominada sombra de semillas (Martínez & González-Taboada, 2009). Se ha establecido que en claros abiertos por incendios de copa o aprovechamiento maderero o desmonte seguidos de una quema, tiende a cubrirse de densa regeneración de Pinos (González & Bravo, 1999).

Los bosques de coníferas en la región del altiplano occidental de Guatemala, presentan con frecuencia procesos de regeneración natural, principalmente de las especies *Pinus oocarpa* Schiede, *P. pseudostrobus* Lindl y *P. tecunumanii* Eguluz & Perry. Estas especies cumplen una función importante en la vida socioeconómica de la población, por los bienes y servicios que producen. En esta región, revisten importancia los departamentos de Huehuetenango, Quiché y Totonicapán, poblados en su mayoría por comunidades indígenas que pertenecen a 10 grupos étnicos, con predominio poblacional las etnias q'iche, mam, q'anjobal y chuj, con índices de desarrollo humano (IDH) de 0.55, 0.50, 0.53 y 0.49 respectivamente, valores considerados bajos e inferiores a la media de IDH nacional estimada en 0.64. Más del 80% de estos pobladores se encuentran en condición de pobreza y extrema pobreza (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2014), y que mantienen dependencia de los ecosistemas de bosques de coníferas para satisfacer necesidades de madera y leña para autoconsumo y comercio local.

El contexto enunciado influye en la sobrevivencia de las especies, tal es el caso del *P. tecunumanii* que actualmente está declarada especie protegida de categoría tres según la Lista de Especies Amenazadas de Guatemala (LEA) y especie vulnerable según la Convención Sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (Cites) (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, 2009). En el manejo forestal tradicional de Guatemala, la regeneración natural como opción ecológica y económica para la restauración forestal de áreas disturbadas ha sido de poca importancia; a pesar de sus ventajas biológicas, ecológicas y económicas (Rebottaro & Cabrelli, 2011). Algunas de las ventajas que pueden mencionarse son: la diversidad genética, individuos adaptados y seleccionados naturalmente y los costos de establecimiento que se limitan únicamente a los de oportunidad. A cambio de ello se promueven proyectos basados en actividades

de producción de plántulas en viveros y establecimiento de plantaciones forestales de especies coníferas, con la consecuente disminución o empobrecimiento de la riqueza genética.

El objetivo general del estudio fue determinar la capacidad regenerativa de pino colorado (*P. oocarpa*), pino triste (*P. pseudostrobus*) y pino ocote (*P. tecunumanii*); y los específicos, identificar la fuente de disturbio que ha originado el establecimiento de áreas con regeneración natural, determinar la variación de la densidad de la regeneración natural respecto a la distancia de la fuente de semilla o progenitores, y estimar el alcance de dispersión que determine el establecimiento de una regeneración adecuada, en el altiplano occidental de Guatemala.

Las mayores densidades de regeneración natural en número de individuos/ha, se registraron en sitios afectados por alud con *P. oocarpa* con 11,773; luego en agricultura con *P. pseudostrobus* con 5,570; finalmente con *P. tecunumanii* en áreas de aprovechamiento forestal con 5,500 e incendios forestales con 4,566. Las mayores densidades por disturbio en número de

individuos/ha, de especies asociadas fue de 19,170 en incendio forestal, de 15,908 en aprovechamiento forestal, y de 13,394 en agricultura, las tres asociadas a *P. pseudostrobus*.

Los modelos de variación de la densidad de regeneración natural respecto de la fuente de semilla, fueron J invertida para bordes y subpoblaciones variables para claros. Las distancias de dispersión variaron entre 90 a 115 m en bordes y entre 160 a 190 m en claros. La exposición norte favoreció a las tres especies con las mayores densidades, que varían entre 7,864 a 5,378 individuos/ha.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en las zonas de vida bosque húmedo montano subtropical, bosque muy húmedo montano bajo subtropical, bosque húmedo subtropical templado según el sistema Holdridge, dentro del territorio de los departamentos de Huehuetenango, Quiché y Totonicapán (Figura 1).

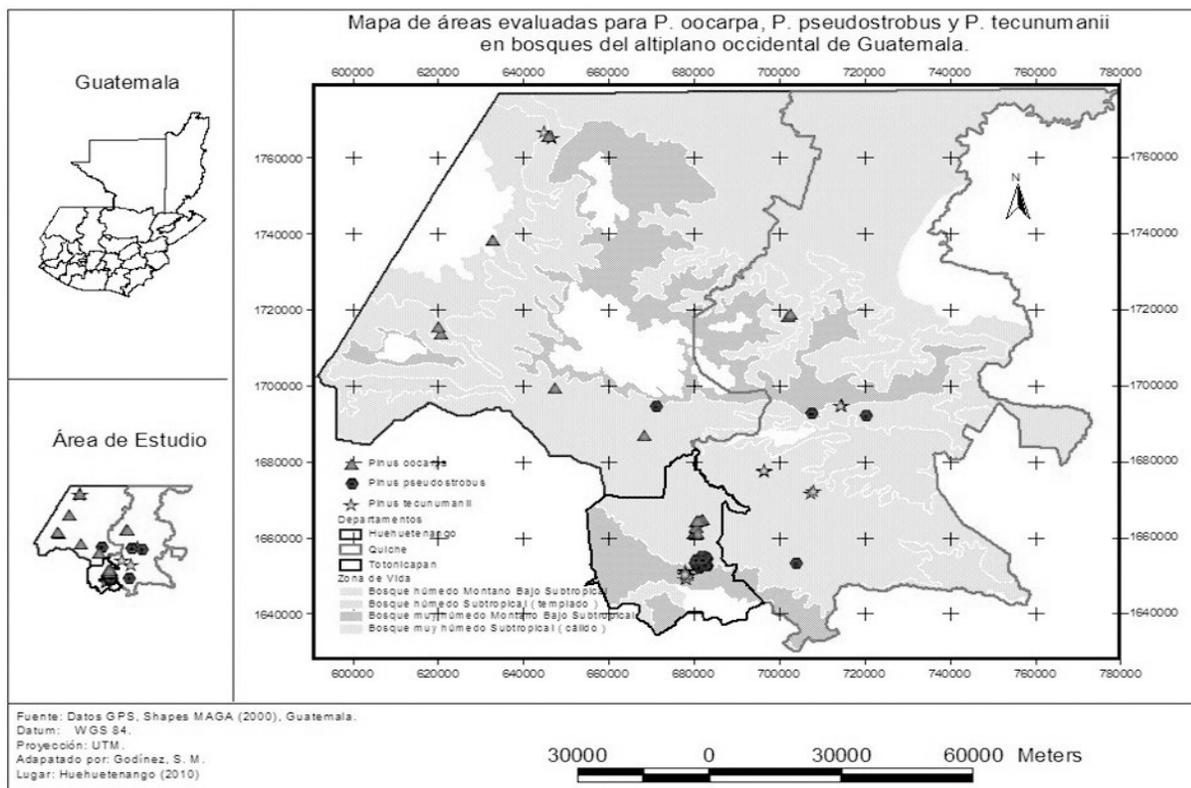


Figura 1. Mapa de zonas de vida y distribución de sitios de evaluación de regeneración natural de *Pinus pseudostrobus*, *P. tecunumanii*, *P. oocarpa*, en los departamentos de Huehuetenango, Quiché y Totonicapán.

La colecta de datos en terreno se realizó de febrero a noviembre de 2009. El área se estratificó en función de las zonas de vida como primera etapa, y a lo interno de éstas se seleccionaron sitios con regeneración natural de pinos en espacio de bordes y claros como segunda etapa de estratificación. Para cada espacio de regeneración, se seleccionaron dos sitios de evaluación para cada exposición fisiográfica por especie (Tabla 1). El número de sitios evaluados se definió en función de la temporalidad del estudio, el área geográfica y el número mínimo de sitios regenerados por especie por clase de disturbio, hallado y de los que se obtuvieron autorización de los propietarios para estudiarlos.

En cada sitio de regeneración natural se trazaron unidades de muestreo (UM) de 500 m² para evaluar la masa boscosa madura posible fuente de semilla y UM continuas de 25 m² para evaluar la regeneración natural. El número de las UM continuas fue variable, en función de la distancia hasta donde existían plántulas regeneradas, para cumplir el propósito de determinar el alcance de dispersión de la regeneración. La orientación de las UM continuas y de evaluación de los árboles fuente de semilla, fue perpendicular al borde dominante del bosque para espacios de borde y en dirección a los cuatro puntos cardinales para espacios de claro (Figura 2).

Las variables evaluadas se relacionan con el arbolado adulto y la regeneración (Tabla 2), así como la

Tabla 1
Distribución de sitios de regeneración evaluados

Espacio de regeneración	Exposición Fisiográfica	Sitios evaluados/especie			Total
		<i>Pinus oocarpa</i>	<i>Pinus pseudostrobus</i>	<i>Pinus tecunumanii</i>	
Borde	Norte	2	2	2	6
	Sur	2	2	2	6
	Este	2	2	2	6
	Oeste	2	2	2	6
	Cenital	2	2	2	6
Claro	Norte	2	2	2	6
	Sur	2	2	2	6
	Este	2	2	2	6
	Oeste	2	2	2	6
	Cenital	2	2	2	6
Total		20	20	20	60

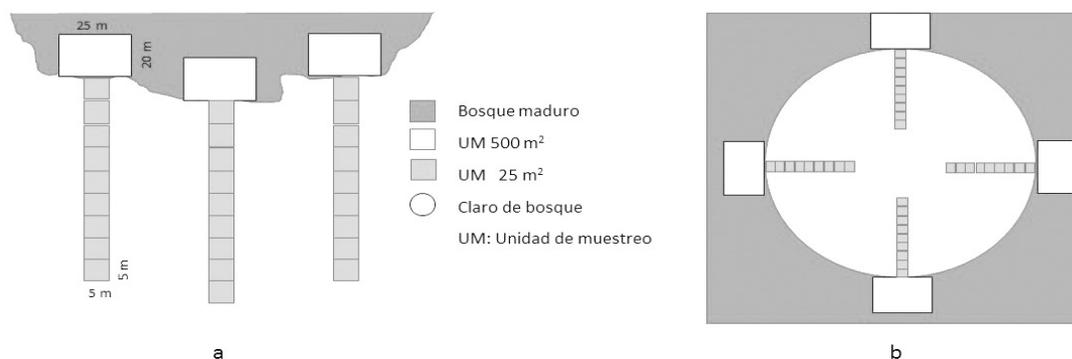


Figura 2. Modelos de evaluación de arbolado progenitor y regeneración natural de pinos en espacios de (a) borde de bosque y (b) claros de bosque. Diseño metodológico y gráfico: Sergio Miguel Godínez.

fueron de disturbio. Las especies asociadas a la regeneración evaluadas fueron arbustos y herbáceas; para el arbolado adulto, la calidad del fuste evaluado se clasificó en recto, inclinado, sinuoso y bifurcado; la calidad de árbol semillero en excelente, bueno e indeseable; el daño biológico en ataque de insectos, de hongos y podrido, y el daño mecánico por ocoteo, desramado y fuste quemado.

La estimación de la densidad de regeneración, se realizó transformando la densidad hallada en cada unidad de 25 m² a su equivalente en hectáreas por medio de la ecuación 1 (Godínez, Rodríguez, Camposeco, & López, 2010).

$$\text{(Ecuación 1)} \quad \frac{\text{Individuos}}{\text{ha}} = \left[\frac{10000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}}}{25 \frac{\text{m}^2}{\text{UM}}} \right] \left/ \left[\frac{\text{Individuos}}{\text{UM}} \right] \right.$$

El valor hallado de densidad, se asignó a la respectiva UM continua de 25 m², dato utilizado para la estimación de la densidad a la distancia de ubicación de la UM continua.

Para la estimación de una regeneración adecuada o establecida se usó el criterio de ≥ 900 individuos/ha, definido por el Instituto Nacional de Bosques (Inab) y el Programa Regional Forestal para Centroamérica (Procafor) (Inab, 2001).

Resultados

Las fuentes de disturbio que antecedieron al establecimiento de la regeneración natural en los 60 sitios evaluados, 20 por especie, fueron seis (Figura 3), citados en orden de importancia: aprovechamientos forestales (55%), incendios forestales (24%), plagas (*Dendroctonus* sp.) (8%), agricultura y alud con 5% cada una y huracán (Mitch) 3%. Las categorías de desarrollo evaluadas como regeneración natural corresponden a plántula, brinzal y latizal.

En sitios afectados por aprovechamiento e incendio forestal se halló regeneración de las tres especies. En sitios afectados por agricultura se encontró regeneración de *P. pseudostrobus* y *P. tecunumanii*, únicamente. En los afectados por plagas forestales se encontró únicamente regeneración de *P. tecunumanii*. En los sitios

Tabla 2
Variables evaluadas en regeneración natural y arbolado maduro

Categoría de desarrollo	Criterios de clasificación de las categorías de desarrollo	Variables evaluadas	Unidad de muestreo
Plántula	Individuos < 30 cm de altura		
Brinzal	Individuos de 0,30 m hasta 1,50 m de altura y dap < 5 cm	Nombre de la especie Número de individuos	25 m ² (5 x 5 m)
Latizal	Individuos de 5,0 a 9,9 cm de dap	Especies asociadas	
Fustal	Individuos a partir de 10 a 25 cm de dap	Calidad de fuste Clase de semillero	
Árbol maduro	Individuos con dap > de 25 cm	Daño biológico Daño mecánico Dap en cm. y Altura en m	500 m ² (20 x 25 m)

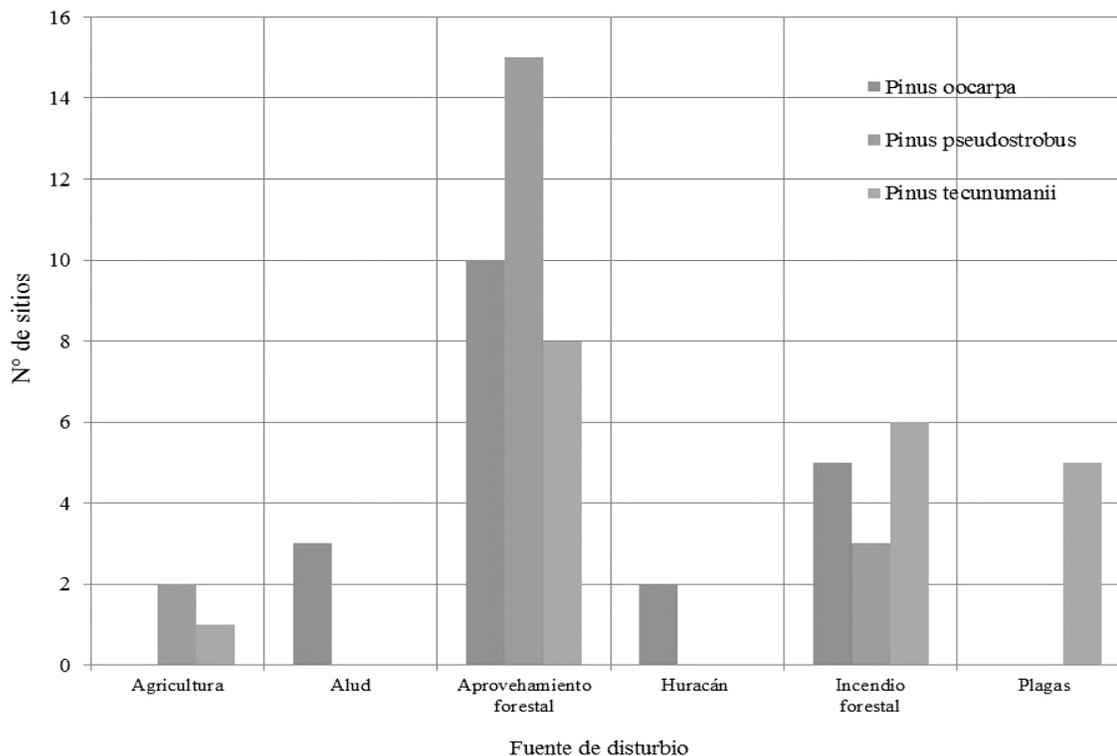


Figura 3. Fuentes de disturbio identificados en espacios de borde y claro, en bosques de *Pinus oocarpa*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus tecunumanii* del altiplano occidental de Guatemala.

afectados por alud y huracán la regeneración establecida fue únicamente de *P. oocarpa*.

Las mayores densidades de regeneración natural (Figura 4), se registraron con *P. oocarpa* en sitios afectados por alud, y fue la única especie regenerada en esta clase de disturbio. En segunda instancia con *P. pseudostrobus* en sitios que fueron destinados a agricultura. *P. tecunumanii* registró la mayor densidad en sitios afectados por aprovechamiento forestal e incendios forestales. La mayor densidad de especies acompañantes a la regeneración natural de pinos, se presentó en sitios afectados por incendios y aprovechamiento forestal y fue *P. pseudostrobus*, el que presentó las mayores densidades. Entre la diversidad asociada se halló la chispa (*Pteridium caudatum* (L.) Maxon).

La variación de la densidad respecto a la distancia de la fuente de semilla o progenitores, el espacio de borde presentó el comportamiento de J invertida (Figura 5a), o sea disminuyó con el aumento de la distancia en las tres especies. En espacio de claro la distribución de regeneración natural manifestó un patrón variable de subpoblaciones (Figura 5b). La densidad en los primeros 10 m de los progenitores en espacio de borde y claro fue

bajo, manifestando la menor densidad *P. pseudostrobus*, como un hallazgo en el estudio.

Las distancias de regeneración natural establecida para *P. oocarpa* fue de 65 m, en borde y 160 m, en claro; para *P. pseudostrobus* fue de 75 m, en borde y 175 m, en claro; y para *P. tecunumanii* fue de 70 m, en borde y 170 m, en claro. Para los árboles padres de *P. pseudostrobus* son los de mayor porte de las tres especies, estimando una altura promedio de 24-30 m y densidades en área basal de hasta 28 m²/ha, y la ocupación sitios en laderas de montaña con altas pendientes. *P. oocarpa* es de menor porte 15-20 m y densidades de área basal de hasta 18 m²/ha, ocupando sitios de pie de monte y valles montanos en el área de estudio.

Las mayores densidades se presentaron en exposición norte para las tres especies y los mayores valores corresponden a *P. oocarpa*. La exposición Este fue favorable para *P. oocarpa* y *P. tecunumanii* y la Oeste favorable para *P. pseudostrobus*. Las exposiciones norte, este, sur y cenital fueron favorables para *P. tecunumanii*. La densidad de regeneración fue muy limitada para *P. pseudostrobus* para las exposiciones Cenital, Sur y Este (Figura 6).

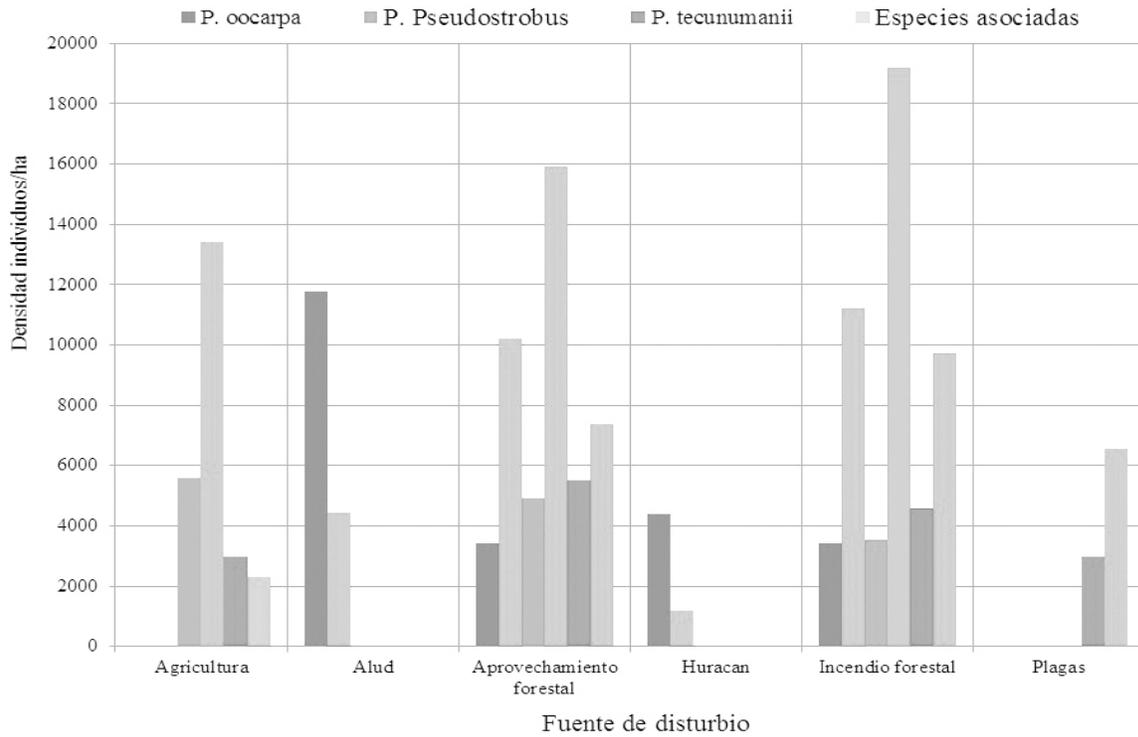


Figura 4. Comportamiento de la densidad de regeneración natural de *Pinus oocarpa*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus tecunumanii* por fuente de disturbio y especies asociadas.

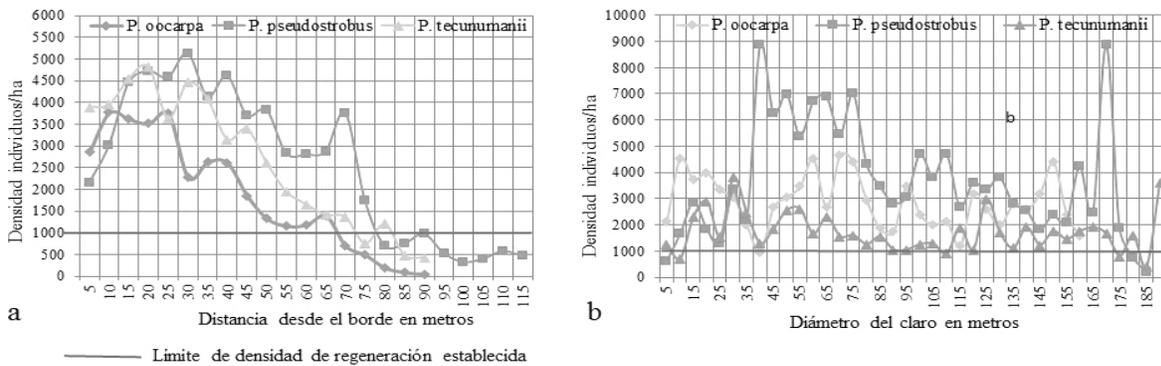


Figura 5. Comportamiento de la densidad de regeneración natural respecto de la fuente semillera y distancia de regeneración establecida, en espacios de (a) borde y (b) claros, en bosques de coníferas del altiplano occidental de Guatemala.

Discusión

Se evaluaron 60 sitios con presencia de regeneración natural establecida, consecuencia de disturbios (Figura 3), resultado de la interacción de factores ambientales y antrópicos, que se congregan en dos grupos: los naturales o intrínsecos que se vinculan al clima, al suelo, al relieve, la disponibilidad de semilla y la competencia, y los antrópicos relacionados con el aprovechamiento y uso del suelo (Rebottaro & Cabrelli, 2011; Rodríguez-García, Juez, Guerra, & Bravo, 2007; Tiscar-Oliver, 2007).

El 16% de sitios evaluados, pertenecen a factores naturales que favorecieron el establecimiento de regeneración de *P. oocarpa* por medio de alud y huracán, y *P. tecunumanii* por ataque plagas forestales al arbolado adulto. Los referidos disturbios y las especies establecidas, se enmarcan dentro del fenómeno de disturbios a pequeña escala que favorecen a las especies tolerantes

a la sombra y los de gran escala favorecen a las especies intolerantes a la sombra (Habrouk, 2001), y a su condición de especies anemócoras, que son invasoras típicas de ambientes abiertos (Giorgis & Tecco, 2014).

Y el 84% de los sitios evaluados con regeneración natural, corresponden a los factores antrópicos de extracción forestal, incendios y agricultura. La extracción forestal genera apertura de dosel, que atiende a las demandas de luz para el establecimiento de regeneración natural. Se reporta en estudios de coníferas, entre ellas la especie *Pinus elliottii* Engelm., que presentó mejor crecimiento en claros con ancho de 1.1 de la altura del arbolado con orientación este-oeste y un mejor establecimiento en claros con ancho de 0.8 y 1.1 de la altura del arbolado, independientemente de la orientación y un ingreso de radiación relativa mayor a 65% (Rebottaro & Cabrelli, 2011). Además la perturbación del suelo por la actividad antrópica a cierta profundidad, influye en la llegada y el establecimiento de las especies a partir

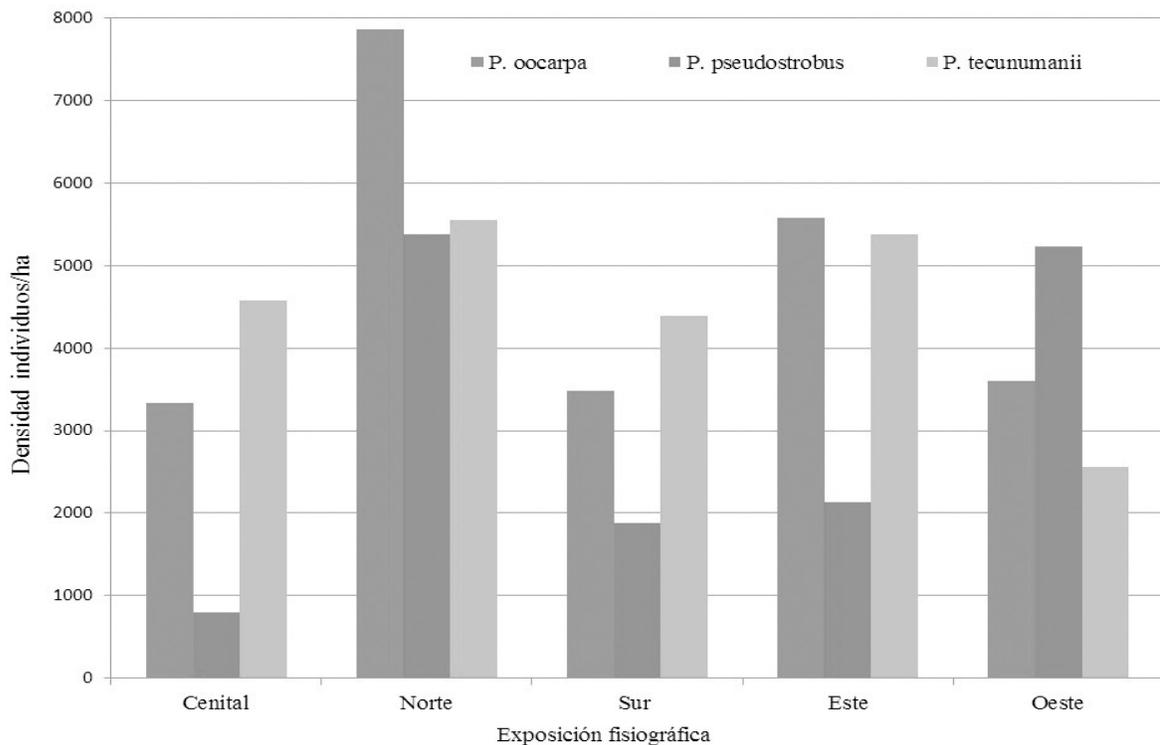


Figura 6. Tendencia de la densidad de regeneración de pino por exposición fisiográfica, en bosques de coníferas del altiplano occidental de Guatemala.

del banco de semillas (Carrillo-Anzures, Vera-Castillo, Magaña-Torres, Guldin, & Guries, 2009; Giorgis & Tecco, 2014).

Según lo expuesto, se infiere que la extracción forestal es un fenómeno que permite establecer regeneración natural de manera exitosa. También se reporta que incendios tienen como resultado positivo el incremento de la regeneración forestal (Arévalo et al., 2014); y han generado estrategias adaptativas como la corteza gruesa, la capacidad de auto poda y la recuperación de copas parcialmente quemadas en *P. pseudostrobus* (Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003). Lo citado permite explicar la respuesta de establecimiento exitoso de las tres especies en áreas afectadas por incendios y extracción forestal.

El modelo de J invertida (Figura 5a), como comportamiento de la variación de la densidad en espacio de borde, se relaciona con la distribución de las semillas, que genera descendencia agrupada cerca del progenitor y las colas alargadas de distribución a grandes distancias, que a la vez son expresiones de procesos de dispersión poco frecuentes (Clark et al., 1998; Stoyan & Wagner, 2001). Este comportamiento es altamente dependiente de la altura de los árboles y la dirección de los vientos dominantes, factor ambiental que influye en el comportamiento de la disminución de la densidad de semillas al aumentar la distancia al árbol madre o progenitor (González-Martínez & Bravo, 1999; Kimmins, 1997).

Un modelo de subpoblaciones variables (Figura 5b), se identificó en espacio de claro, con densidades extremas que variaron de 200 a 9,000 individuos/ha. Las subpoblaciones se presentaron en el centro de los claros, principalmente para las especies de *P. pseudostrobus* y *P. oocarpa*. Este modelo posiblemente se relacione con la disponibilidad y viabilidad de semilla. Para inferir lo expuesto, vale citar que en la colonización de espacios generados después de una perturbación, influye el banco de semillas (Carrillo-Anzures et al., 2009), y que la emergencia de las plántulas es influida positivamente por los claros o aperturas de dosel para *Abies guatemalensis* Rehder., en el occidente de Guatemala (Strandby, Prado, Sørensen, & Kollman, 2006).

Además ambos modelos se relacionan con la distribución espacial de la regeneración natural, que replica el patrón definido por la dispersión de las semillas, con alto reclutamiento de individuos cerca de los progenitores, que pueden ser árboles o masa forestal circundante o en borde y una disminución logarítmica del número de individuos a medida que aumenta la dis-

tancia a los progenitores (Sarasola et al., 2006), lo cual se relaciona con altas velocidades de viento (Greene & Johnson, 1989).

La baja densidad de regeneración en los primeros 10 m, cercanos a los progenitores en ambos espacios y acentuado en *P. pseudostrobus* se debe al sombreado. El crecimiento de la regeneración natural es afectado durante el proceso de establecimiento, por la sombra de la copa y los efectos adversos de los árboles progenitores y residuales (Chacón et al., 1998; Valkonen, 2000). En el estudio del efecto de la masa forestal remanente sobre la regeneración de *Pinus sylvestris* L., se estimó un efecto significativo sobre el crecimiento de las plántulas a una distancia de 3.5 a 5 m desde la base de los árboles padre (Valkonen, 2000). De lo anterior se infiere que la baja densidad más acentuada en *P. pseudostrobus* (Figura 5 a, b), se debe a que es una especie caracterizada por sus altos requerimientos lumínicos al prosperar su establecimiento en sitios con apertura total de dosel (Alanís-Rodríguez et al., 2010; Negreros-Castillo & Snook, 1884). Además se ha establecido que la reducción de crecimiento de la regeneración natural de pinos, se relaciona con la acción alelopática de los propios árboles progenitores a nivel radical y aéreo (Valkonen, 2000). También se ha determinado la influencia alelopática de la chispa (*P. aquilinum* (L.) Kuhn) en coníferas del norte de Idaho (Ferguson & Boyd, 1988). La presencia y asocio de (*P. caudatum*) a la regeneración de *P. pseudostrobus*, permite inferir que el fenómeno de alelopátia por este helecho, sea uno de los factores que esté condicionando el comportamiento de la regeneración natural cerca de los árboles padre.

La densidad de especies asociadas a las tres especies de coníferas evaluadas, primero fue superior a la de la especie de pino asociada con excepción de los disturbios de alud y huracán (Figura 4). Segundo, las mayores densidades de especies asociadas a los pinos, se presentaron en los sitios regenerados afectados por extracción forestal e incendios. El comportamiento expuesto, atiende a hallazgos de que la distribución espacial de pies regenerados depende de los factores ambientales relacionados con la masa forestal, vegetación asociada y sus interacciones (Rodríguez-García et al., 2007), también con la intensidad, la calidad del espectro y la variación espacial de régimen lumínico (Emborg, 1998; González, 2013). Se ha reportado que *P. sylvestris* puede ser favorecido en su primer desarrollo por una ligera cubierta (González-Martínez & Bravo, 1999), y en *Pinus pinaster* L., se ha observado una disminución

de la regeneración de 7,000 a 4,000 pies/ha, al aumentar la cobertura de la vegetación acompañante del 50-75% al 75-100%, integrada por arbustos, hierbas y musgos (Rodríguez-García et al., 2007). En los sitios evaluados se presentan comportamientos similares de disminución de densidad de regeneración natural en *P. tecunumanii* y *P. oocarpa* (Figura 4) y un aumento de la densidad de las especies acompañantes en sitios afectados por incendios y aprovechamiento forestal.

Los sitios regenerados con *P. pseudostrobus*, con densidades comprendidas entre 3,500-5,500 pies/ha, reportaron las mayores densidades de especies asociadas (Figura 4). Este comportamiento se relaciona con diversos estudios en ambientes mediterráneos, que han demostrado que los arbustos mejoran la supervivencia de las plántulas de pino como consecuencia de una interacción de facilitación, siendo patente la influencia que la vegetación acompañante ejerce en el número de pies viables (Rodríguez-García et al., 2007; Tiscar-Oliver, 2007), aunque siempre compiten por su sobrevivencia con las especies herbáceas, matorrales y leñosas (González & Bravo, 1999).

El alcance de dispersión de regeneración natural en espacio de borde varió de 90 a 115 m y en espacio de claro varió de 155 a 190 m. Se reporta como límite del alcance de dispersión 50 m y un pequeño porcentaje de regeneración natural, alcanza distancias considerablemente mayores, incluso kilómetros de la fuente de origen, favorecido por las semillas que son ligeras y por ocurrencia de fuentes vientos (Ledgard, 2001). De acuerdo a este hallazgo, la dispersión de las tres especies para espacios de borde y de claro es superior, reportando las mayores distancias en ambos espacios *P. pseudostrobus* y luego *P. tecunumanii*.

La distancia de regeneración natural establecida respecto a la fuente de semilla, varió de 65 a 75 m para espacio de borde, y de 160 a 175 m para espacio de claro. Se reporta que entre el 85 al 90% de las semillas de *Pinus* sp., caen en los primeros 50 a 60 m de la fuente de semilla y que la distancia de establecimiento de regeneración natural de *Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson, fue de 20 a 50 m y de *Pinus contorta* Dougl. ex. Loud., fue 50 a 100 m, a partir del borde de la fuente de semilla en la región Andino-Patagónica (Sarasola et al., 2006). Con estos datos se infiere que las tres especies de pinos evaluados manifiestan un alto potencial de dispersión al superar los 50 y 100 m respectivamente. Para especies de luz, densidades entre 2,000 a 2,500 pies/ha se consideran exitosas (Serrada, 2003), al respecto las tres especies evaluadas cumplen

con estos criterios de densidad, y las mayores densidades de regeneración las presenta *P. pseudostrobus* para bordes y claros, luego *P. tecunumanii* para espacios de borde y *P. oocarpa* para espacios de claro.

La mayor densidad y distancia de dispersión la presentó *P. pseudostrobus* para ambos tipos de espacio y la menor densidad y distancia de dispersión *P. oocarpa* (Figura 5), lo cual se relaciona con el porte en altura y densidad en área basal de ambas especies. Estos son algunos de los factores que explican en parte la distancia de dispersión y las densidades reportadas.

Respecto de la relación entre la densidad de regeneración natural y la exposición fisiográfica, la exposición norte es la más favorable y las menos favorables son las exposiciones sur y cenital. Mientras que para el establecimiento de regeneración natural para las tres especies evaluadas; este comportamiento es similar al observado en el monte Cabeza de Hierro de Madrid, donde se ha detectado la preferencia de la regeneración natural por las exposiciones norte (Rubio, 1987; Morillo, 1987; Santos, 1987 citados por González-Martínez & Bravo, 1999).

P. pseudostrobus manifiesta mayor preferencia por las exposiciones norte y oeste que son las que reciben menos horas luz. *P. oocarpa* prospera mejor en las exposiciones norte y este. *P. tecunumanii* prospera bien en las exposiciones norte, este, cenital y sur, caracterizándola como la especie con mayor flexibilidad de adaptación de las tres especies evaluadas. La variación espacial del régimen lumínico es uno de los factores abióticos más citados que se relacionan con el establecimiento de regeneración natural de especies arbóreas forestales (Emborg, 1998). Además afecta la tasa de crecimiento que también depende de la orientación (González-Martínez & Bravo, 1999). Estos hallazgos explican en parte el comportamiento de la regeneración natural de las tres especies en las diversas exposiciones en los sitios evaluados en el altiplano occidental de Guatemala.

Agradecimientos

Se agradece la cofinanciación por la Dirección General de Investigación de Universidad de San Carlos de Guatemala (Digi), dentro del Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales (Inf-2009-53), el apoyo del Ing. Saúl Guerra por el acompañamiento y motivación para investigar, al personal técnico y secretarial de la Región VII y Sub Región VII-2 de Inab al facilitar expedientes de aprovechamientos forestales;

al personal técnico de la Oficina Forestal Municipal de Totonicapán y al Programa Mi Bosque de Care GTM por el apoyo al Programa de Ingeniería Forestal de Cunoroc, que permitió identificar el tema de investigación, al facilitar el acceso a los bosques de la Sierra María Tecún.

Referencias

- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., & García-Galindo, P. C. (2010). Efecto de la restauración ecológica post-incendio en la diversidad arbórea del Parque Ecológico Chipinque, México. *Madera y Bosques*, 16(4), 39-54.
- Arévalo, J. R., Fernández-Lugo, S., Naranjo-Cigala, A., Salas, M., Ruíz, R., Ramos, R. & Moreno, M. (2014). Post-fire recovery of an endemic Canarian pine forest. *International Journal of Wildland Fire*, 23(3), 403-409.
- Carrillo-Anzures, F., Vera-Castillo, G., Magaña-Torres, O. S., Guldin, J. M., & Guries, R. P. (2009). Seeds stored in the floor in a natural stand of *Pinus montezumae* Lamb. *Ciencia Forestal*, 34(106), 41-60.
- Chacón, J. M., Velásquez, A., & Musalem, M. A. (1998). Comportamiento de la repoblación natural de *Pinus arizonica* Engelm. bajo diferentes coberturas. *Madera y Bosques*, 4(2), 39-44.
- Clarck, J. S., Fastie, C., Hurtt, G., Jackson, S. T., Johnson, C., King, G. A., ... Wickoff, P. (1998). Reid's paradox of rapid plan migration. Dispersal theory and interpretation of paleoecological records. *Bioscience*, 48(1), 13-24.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2009). *Lista de especies amenazadas de Guatemala-LEA- y listado de especies de flora y fauna silvestres CITES de Guatemala* (2ª ed.). Guatemala: Autor.
- Emborg, J. (1998). Understorey light conditions and regeneration with respect to the structural dynamics of a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. *Forest Ecology and Management*, 106 (Issues 2-3), 83-95.
- Ferguson, D. E., & Boyd, R. J. (1988). *Bracken fern inhibition of conifer regeneration in northern Idaho* (Research paper INT-388). Ogden, UT, Idaho: Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. Recuperado de <https://archive.org/details/brackenfernhib388ferg>
- Giorgis, M. A., & Tecco, P. A. (2014). Árboles y arbustos invasores de la Provincia de Córdoba (Argentina): Una contribución a la sistematización de bases de datos globales. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 49(4), 581-603.
- Godínez, S. M., Rodríguez, F. A., Camposeco, J. I., & López, N. P. (2010). *Evaluación de la regeneración natural de tres especies coníferas en áreas de distribución natural en el altiplano occidental de Guatemala* (Inf-2009-053). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Centro Universitario de Nor Occidente.
- González, E. (2013). *Patrones espacio-temporales de dispersión y de regeneración del abeto (Abies alba Mill.) en los Pirineos Aragoneses* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Madrid, España. Recuperado de [https://www.uam.es/departamentos/ciencias/ecologia/Posgrado%20en%20Ecologia/Tesis%20Leidas/Tesis%20Maestria%20\(TFM\)/Leidas%202013/TFM%20Ester%20Gonzalez.pdf](https://www.uam.es/departamentos/ciencias/ecologia/Posgrado%20en%20Ecologia/Tesis%20Leidas/Tesis%20Maestria%20(TFM)/Leidas%202013/TFM%20Ester%20Gonzalez.pdf)
- González-Martínez, S. C., & Bravo, F. (1999). *Regeneración natural, establecimiento y primer desarrollo del pino silvestre (Pinus sylvestris L.)*. Palencia: Universidad de Valladolid, Departamento de Producción Vegetal y Silvopasticultura. Recuperado de <http://www.inia.es/IASPF/1999/Allue/15.S.C.GONZALEZ.pdf>
- Greene, D. F., & Johnson, E. A. (1989). A model of wind dispersal of winged or plumed seeds. *Ecological*, 70(2), 339-347. doi: 10.2307/1937538
- Greene, D. F., Messier, C., Asselin, H., & Fortin, M.-J. (2002). The effect of light availability and basal area on cone production in *Abies balsamea* and *Picea glauca*. *Canadian Journal of Botany*, 80(4), 370-377. doi: 10.1139/B02-020.
- Habrouk, A. (2001). *Regeneración natural y restauración de la zona afectada por el gran incendio del Bages y Bergueda de 1994* (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Barcelona, España. Recuperado de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/3647/ah1de4.pdf;jsessionid=29D-3D4F78488253C10420399DFE715DE.tdx1?sequence=1>

- Hawley, R. C. & Smith, D. M. (1982). *Silvicultura práctica* (2ª ed.). Barcelona: Omega.
- Instituto Nacional de Bosques. (2001). *Manual para la elaboración de planes de manejo forestal en bosques de coníferas, (modelo centroamericano)*. Guatemala: Autor.
- Kaufmann, M. R., Graham, R. T., Boyce Jr., D. A., Moir, W. H., Perry, L., Reynolds, R. T., ... Corn, P. S. (1994). *An ecological basis for ecosystem management* (General Technical Report RM-246). Fort Collins, CO: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Recuperado de http://www.fs.fed.us/rm/pubs_rm/rm_gtr246.pdf
- Kimmins, J. P. (1997). *Forest ecology* (2ª ed.). London: Prentice Hall.
- Ledgard, N. (2001). The spread of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) in New Zeland. *Forest Ecology and Management*, 141(2-3), 43-57.
- Martínez, I., & González-Taboada, F. (2009). See dispersal patterns in a temperate forest during a mast event: Performance of alternative dispersal kernels. *Oecologia*, 159, 389-400. doi: 10.1007/s00442-008-1218-4.
- Oliver, C., & Larson, B. (1996). *Forest stand dynamics*. New York: McGraw-Hill.
- Organización Internacional de Maderas Tropicales. (2002). *Directrices de la OIMT organización Internacional de Maderas Tropicales para la restauración, ordenación y rehabilitación de bosques tropicales secundarios degradados* (Serie de políticas Forestales No. 13). Yokohama, Japón: Autor.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. (2014). *Sinopsis del desarrollo humano en Guatemala*. Guatemala: Autor.
- Rebottaro, S. L., & Cabrelli, D. A. (2011). Regeneración natural de *Pinus elliottii* en claros silvícolas: Dinámica poblacional durante siete años. *Madera y Bosques*, 17(1), 49-70.
- Rodríguez-García, E., Juez, L., Guerra, B., & Bravo, F. (2007). Análisis de la regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. en los arenales de Almazán-Bayubas (Soria, España). *Sistemas y Recursos Forestales*, 16(1), 25-38.
- Rodríguez-Trejo, D. A. & Fulé, P. Z. (2003). Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire*, 12, 23-37.
- Sarasola, M. M, Rusch, V. E., Schlichter, T. M., & Ghera, C. M. (2006). Invasión de coníferas forestales en áreas de estepa y bosques de ciprés de la cordillera en la Región Andino Patagónica. *Ecología Austral*, 16, 143-156.
- Serrada, R. (2003). Regeneración natural: Situaciones, concepto, factores y evaluación. *Cuaderno Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 15, 11-15.
- Negreros-Castillo, P. & Snook, L. (1984). Análisis del efecto de la intensidad de corta sobre la regeneración natural de pinos. *Ciencia Forestal*, 47(9), 48-61.
- Stoyan, D., & Wagner, S. (2001). Estimating the fruit dispersión of anemocorus forest trees. *Ecological Modelling*, 145, 35-47.
- Strandby, U., Prado, J., Sørensen, M., & Kollmann, J. (2006). Conservation and utilisation of *Abies guatemalensis* Rehder (Pinaceae) - an endangered endemic conifer in Central America. *Biodiversity and Conservation*, 15, 3131-3151. doi: 10.1007/s10531-005-5405-x.
- Tiscar-Oliver, P. A. (2007). Dinámica de regeneración de *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* al sur de su área de distribución: Etapas, procesos y factores implicados. *Sistemas y Recursos Forestales*, 16(2), 24-135.
- Valkonen, S. (2000). Effect of retained scots pine trees on regeneration, growth, form, and yield of forest stands. *Sistemas y Recursos Forestales*, (1), 121-145.
- van Mantgem, P. J., Stephenson, N. L., & Keeley, J. E. (2006). Forest reproduction along a climatic gradient in the Sierra Nevada, California. *Forest Ecology and Management*, 225(1), 391-399. doi: 10.1016/j.foreco.2006.01.015
- White, P. S., & Pickett, S. T. (1985). Natural Disturbance and patch dynamics: An introduction. S. T. Pickett & P. S. White (Eds.), *The Ecology of natural disturbance and patch dynamics* (pp. 3-13). New York: Academic Press

La importancia del bosque en la recarga hídrica natural del acuífero noreste de la ciudad de Guatemala

Isaac R. Herrera Ibáñez*

Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, Facultad de Agronomía,
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

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

Recibido: 01 de octubre 2015 / Revisión: 07 de abril 2016 / Aceptado: 30 de abril 2016 / Disponible en línea: 01 de agosto 2016

Resumen

En la región volcánica con superficie boscosa la recarga hídrica es importante, y este trabajo pretende realizar un análisis sobre el cálculo de la recarga en estas áreas. La investigación fue ejecutada en la cuenca del río Los Ocotes en la ciudad de Guatemala y cubre una superficie de 63.6 km². En este trabajo se realizó un balance hídrico del suelo para estimar la recarga hídrica al acuífero. Existen un conjunto de procedimientos para estimar la distribución entre las entradas como lluvia y las salidas a través de la evapotranspiración, el escurrimiento superficial y la recarga subterránea. Durante los años 2009 y 2010, se hicieron registros meteorológicos y se definieron áreas con distinto uso de la tierra, lo cual se integró a un sistema de información geográfica (SIG) y se comparó con el mapa geomorfológico a escala 1:50,000 para elaborar el mapa de recarga de la cuenca con los datos calculados. Los sectores cultivados mostraron una menor infiltración y por lo tanto una menor recarga que en los sectores donde el bosque se encuentra en estado natural. La protección de las zonas de bosque como principal área de aporte a las reservas de agua subterránea, son fundamentales para los procesos de gestión y planificación territorial.

Palabras claves: Balance, suelo, lluvia, evapotranspiración, infiltración

Abstract

In the volcanic region with forest area hydric recharge is important, and paper presents an analysis of the recharge evaluation applied to these areas. The research was conducted in Los Ocotes river basin in Guatemala City and extends over a surface of 63.6 km². In this work, an hydric balance in the soil was realized for estimated the aquifer recharge. There is a set of procedures aimed at estimating the distribution between inputs or rain and outputs through evapotranspiration, surface run of and groundwater recharge. In 2009 and 2010 were carried meteorological records and areas with different territorial occupation have been defined, this was integrated to Geographical Information System (GIS) and the geomorphic map was compared to 1:50,000 scale, for the recharge map of the basin was drawn with the data estimate. The cultured sectors showed a smaller infiltration and therefore a smaller recharge than in the sectors where the wood is in its natural state. The protection of the areas of natural wood a main contributing area to the ground water reserves represents a fundamental aspect for the management processes and territorial planning.

Keywords: Balance, soil, rain, evapotranspiration, infiltration



Introducción

El bosque y sus componentes dominantes, los árboles, sirven a muchos propósitos que pueden ser divididos básicamente por su papel productivo y su papel de servicio. Tradicionalmente el hombre ha visto al bosque principalmente por su faceta productiva como un recurso renovable, ya que el bosque provee materiales de construcción como madera, energéticos en forma de leña o carbón y pulpa para papel.

Un servicio ambiental del bosque es la captación y almacenamiento de agua de lluvia, que origina áreas de recarga hídrica. Esto hace que sea de suma importancia delimitar las áreas de recarga y cuantificar las láminas y volúmenes de agua a nivel de cuenca, que fueron los objetivos centrales de esta investigación.

La Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), recalca que la humanidad se ha dado cuenta que el bosque juega un papel importante en el medio ambiente, ya que es el mayor sistema de intercambio de dióxido de carbono y oxígeno, e influye favorablemente en la recarga hídrica de los acuíferos (FAO, 2009).

En Guatemala es de interés social y para el país mismo, la reforestación y conservación de los bosques con el establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales, que ha logrado impactos positivos en la protección de bosques y fuentes de agua (Castro, 2011).

Durante las últimas décadas la ciudad de Guatemala ha crecido alarmantemente, como consecuencia de la migración de la población del interior del país a la ciudad y del crecimiento demográfico, existiendo más de dos millones de habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2002). Esto ha dado como resultado que las aguas superficiales de los ríos Las Vacas y Villalobos, transporten aguas residuales provenientes de la ciudad de Guatemala, que las hace inadecuadas para el consumo humano (Fajardo, 2006). Por lo descrito anteriormente, se ha incrementado la explotación de las aguas subterráneas, haciéndose necesario delimitar las áreas de recarga hídrica que surten al acuífero para su protección y manejo correcto.

Los acuíferos son sistemas físicos que poseen un funcionamiento regulado por la recarga, movimiento del agua, descarga y extracciones, siendo la característica de la recarga hídrica al acuífero la más difícil de cuantificar de manera confiable (Escuder et al., 2009). Además, a pesar de los avances significativos que se han obtenido en la determinación de áreas de recarga hídrica a nivel mundial, en Guatemala la forma de es-

timación es por balances hidrológicos generales a nivel de cuenca hidrográfica, el análisis de fluctuaciones de los niveles freáticos, medidas de pérdidas de caudal en cursos influentes y manantiales, y métodos empíricos. Los métodos difieren en los volúmenes de recarga estimados, por la adopción de modelos conceptuales incorrectos y los errores derivados de las mediciones y de cálculo.

A pesar que los procesos y mecanismos de la recarga a los acuíferos son relativamente bien conocidos, la obtención de una estimación segura de la magnitud de la recarga natural presenta aún grandes dificultades. Ellas radican en la variabilidad espacial y temporal de las condiciones climatológicas, geomorfológicas y especialmente de la variabilidad espacial de los factores que determinan la ocurrencia y magnitud de la recarga, como la zona no saturada o clase de suelo, pendiente, tipo de cobertura vegetal y la humedad antecedente del medio.

La problemática que motivó esta investigación, partió del hecho que en la ciudad de Guatemala muchas zonas boscosas se han reducido y gran parte de la superficie se ha impermeabilizado, reduciendo las áreas de recarga hídrica natural. Sin embargo, la **Empresa Municipal de Agua (Empagua)**, menciona que la subcuenca del río Los Ocotes es un área potencial para el aprovechamiento del agua subterránea para la capital, con buena cobertura forestal que garantiza el proceso de infiltración de la lluvia, para que el almacenamiento del acuífero se mantenga en equilibrio y la explotación del agua sea sostenible (Empagua, 1990).

La caracterización hidrogeológica de la subcuenca del río Los Ocotes, identifica un acuífero volcánico en tobas fracturadas, cuyo espesor es superior a los 200 m (Herrera, 2012). El acuífero es semiconfinado, con permeabilidad media y abastece de agua potable a las zonas 15, 16, 17, 18 y 24, así como, a parte de San José Pinula y Santa Catarina Pinula, por lo que fue importante definir correctamente las áreas de recarga hídrica para su protección y manejo por parte de las municipalidades involucradas.

La subcuenca tiene un área de 63.6 km² y se localiza en las coordenadas geográficas de 14° 31' 53" a 14° 39' 25" de latitud Norte y 90° 24' 02" a 90° 28' 37" de longitud Oeste.

Materiales y métodos

La metodología utilizada fue la desarrollada por [Herrera y Brown \(2011\)](#), que se divide en tres fases: la primera comprende la obtención del mapa de unidades de recarga hídrica para el muestreo de campo, de acuerdo al traslape de los mapas de geomorfología y de uso actual de la tierra. En una segunda fase se realiza el cálculo de la recarga hídrica de cada unidad obtenida, por medio de los datos de clima y de los parámetros físicos del suelo, de acuerdo a la ecuación del balance: Precipitación = Evapotranspiración + Escurrimiento + Retención + Recarga potencial.

Después de separar las pérdidas por escurrimiento superficial y retención en bosques y cultivos, el cálculo de recarga potencial al acuífero (R_p) se determina como: $R_p = P_i + H_{si} + H_{sf} + ETR$.

Donde P_i es la precipitación mensual que infiltra. H_s es la humedad del suelo, que es inicial (i) y final (f). La ETR es la evapotranspiración real ([Schosinsky, 2006](#)).

En la tercera fase las unidades cuantificadas se agrupan en un mapa final de recarga hídrica de acuerdo a los rangos de volumen de recarga específica anual, como muy altas con volúmenes mayores de 300,000 $m^3/km^2/año$; altas entre 150,000 a 300,000 $m^3/km^2/año$; medias con recargas de 50,000 a 150,000 $m^3/km^2/año$ y áreas con recarga baja con volúmenes menores de 50,000 $m^3/km^2/año$ ([Herrera, 2005](#)).

Para la subcuenca del río Los Ocotes, el mapa geomorfológico se elaboró mediante la fotointerpretación de fotografías aéreas a escala 1:40,000, el cual se validó en campo. La geomorfología comprendió definir las unidades con una misma litología, similar topografía en función de la pendiente y las características físicas del suelo: textura y profundidad efectiva. El mapa final se elaboró a escala 1:50,000.

La cobertura vegetal fue determinada con ortofotos a escala 1:10,000 del año 2006, con la posterior comprobación de campo. La unidad mínima de mapeo considerada fue 6.25 ha.

La generación de las unidades de recarga hídrica natural, se realizó por medio de la sobreposición de las capas temáticas a escala 1:50,000 de geomorfología y uso actual de la tierra. Los mapas se elaboraron con sistemas de información geográfica, utilizando MapInfo® para dar solución al problema de utilización de bases cartográficas a diferentes escalas. Con base en estas unidades se realizaron las pruebas de infiltración con el método de Porchet ([Sanders, 1998](#)) y el muestreo de suelos a nivel de campo, con la posterior determinación

en laboratorio de la capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente.

Desde el punto de vista de la meteorología, se definió la precipitación pluvial como la principal variable de la recarga de los acuíferos y la evapotranspiración como pérdida en el sistema hídrico. El método utilizado para determinar la evapotranspiración potencial fue el de Hargreaves ([Herrera, 2012](#)).

Los parámetros meteorológicos se analizaron de forma diaria y mensual de los años 2009 y 2010, por medio de la instalación de dos estaciones climáticas tipo C o de tercer orden, que midieron precipitación pluvial, temperatura y humedad relativa. Una estación se ubicó en la parte alta de la subcuenca, en la aldea Ciénaga Grande en San José Pinula a una elevación de 1,915 msnm y la otra estación El Maestro en Lomas del Norte zona 17, en la parte baja de la subcuenca a 1,552 msnm ([Herrera, 2012](#)).

Posteriormente se hizo el cálculo de láminas y volúmenes de recarga, se construyó el mapa de áreas de recarga hídrica anual de la subcuenca.

Resultados

Geomorfología

En la subcuenca del río Los Ocotes se distinguen tres unidades geomorfológicas ([Figura 1](#)): montañas volcánicas, relleno piroclástico y valle tectónico de la ciudad de Guatemala.

La unidad de montañas volcánicas se localiza en el centro de la subcuenca y representa el 40 % del área. Se encuentra constituida por rocas volcánicas terciarias como tobas, basaltos y andesitas. La geomorfología típica corresponde a colinas y laderas, con pendientes entre 30 a 60%. Los suelos son de la serie Morán, de texturas francos arenosos, profundos y bien drenados. Las elevaciones varían de los 1,300 a 1,900 msnm ([Herrera, 2012](#)).

La unidad de relleno piroclástico se ubica en las partes norte y sur, caracterizándose por presentar suelos de la serie Guatemala, francos arcillosos, profundos, mal drenados y desarrollados a partir de ceniza volcánica débilmente cementada sobre piroclastos de pómez. Las pendientes van de 5 a 10 % en las partes onduladas y hasta de 100 % en los taludes de los ríos. Las elevaciones son por lo general de 1,400 a 1,500 msnm.

La tercera unidad corresponde a un graben o depresión tectónica, limitado por los pilares tectónicos de Mixco al oeste y Santa Catarina Pinula al este, constituyendo el

valle geotectónico de la ciudad de Guatemala. De acuerdo al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh), los sistemas de fallas de Mixco y Santa Catarina Pinula, son fallas normales y con orientación de norte a sur, fácilmente

te identificables por sus escarpes de falla (Insivumeh, 1978). Esta unidad está constituida por piroclastos de pómez, con suelos de la serie Guatemala, francos arcillosos y profundos. Las pendientes van de 18 a 80 % y las elevaciones de 1,500 a 1,550 msnm.

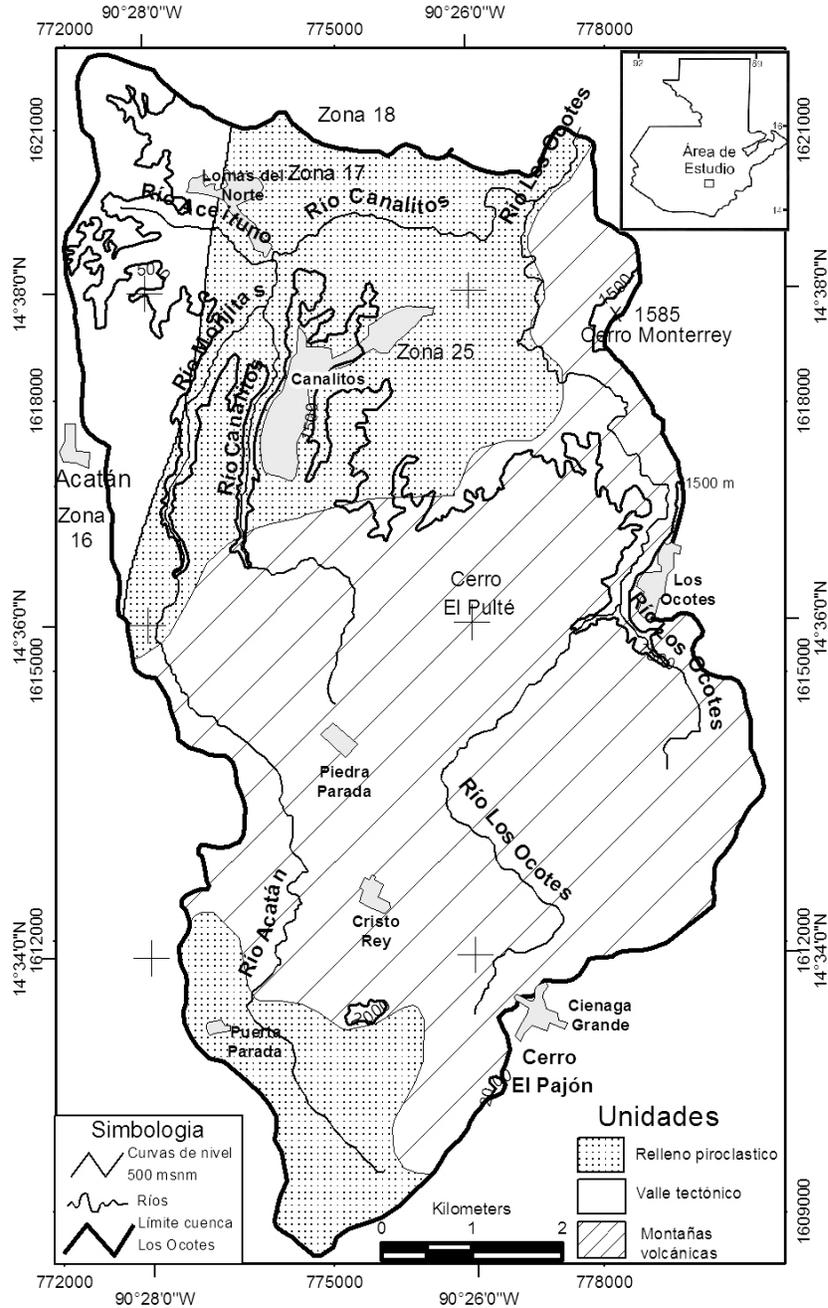


Figura 1. Geomorfología de la subcuenca del río Los Ocotes.

Uso actual de la tierra

En la subcuenca del río Los Ocotes, predomina la cobertura de bosque de coníferas y encino (bosque mixto), como se observa en la **Figura 2**, con un área de 38.9 km² que corresponde a un 61.16 %, seguido por el área con cultivos anuales de maíz y frijol, así como, café bajo sombra con un área de 11.26 km² que representa el

17.70 % y áreas pequeñas con pasto de 1.33 km² equivalente a 2.09 %. El resto de la superficie de la subcuenca de 12.11 km² ó 19.05 %, comprende las áreas urbanizadas donde se asientan las poblaciones de Santa Lucía Los Ocotes, Canalitos, Lomas del Norte y Acatán del municipio de Guatemala. Así como, Piedra Parada, Cristo Rey y Puerta Parada en Santa Catarina Pinula y Ciénaga Grande en San José Pinula.

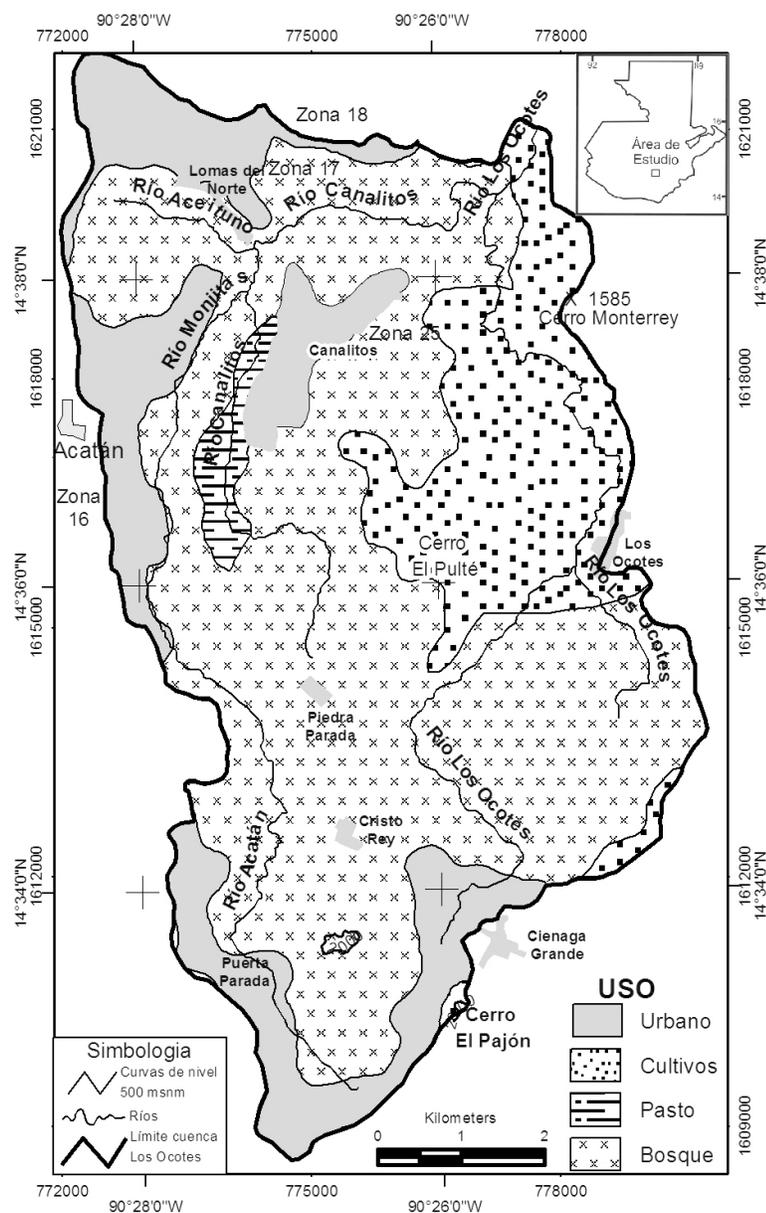


Figura 2. Uso actual de la tierra de la subcuenca del río Los Ocotes.

Clima

La estación climática Ciénaga Grande representa el clima de la parte alta de la subcuenca del río Los Ocotes para el periodo 2009 y 2010 (Tabla 1).

La precipitación anual es de 1,386.3 mm. Los meses que representan la época lluviosa con más de 200 mm por mes son: mayo, junio, julio, agosto y septiembre. Mientras que los meses secos son enero, febrero y marzo. La temperatura promedio es 18.2 °C. La humedad relativa media mensual es 51.9 %. La evapotranspiración presenta valores mensuales entre 119.3 a 168 mm, con un valor anual de 1,724.2 mm.

La estación climática El Maestro en la zona 17, representa el clima de la parte baja de la subcuenca del

río Los Ocotes (Tabla 2). La precipitación media anual es de 1,318.4 mm. Los meses lluviosos son: mayo, junio, julio, agosto y septiembre. Los meses secos son: enero, febrero y marzo. Las temperaturas medias mensuales oscilan entre 22.2 °C a 24.3 °C y la temperatura anual es 23.4 °C. La humedad relativa media anual es 44 %. La evapotranspiración potencial mensual varía entre 150.6 mm a 201.6 mm, siendo el valor anual de 2,159.8 mm.

Recarga hídrica

Se utilizaron diez unidades para el cálculo de recarga hídrica como se presentan en la Tabla 3. Las unidades 1, 2, 3 y 4 corresponden a las montañas volcánicas.

Tabla 1
Datos de clima de la estación Ciénaga Grande 2009 – 2010

Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Precipitación pluvial (mm)	0	0	0	48	247	255.8	234.8	241.6	216.6	50.8	59.6	32.3	1,386.3
Temperatura (°C)	18.6	17.6	18.7	20.6	16.5	16.0	16.6	19.0	19.2	19.5	18.7	17.8	18.2
Humedad relativa (%)	54.6	54.4	49.9	51.3	55.2	55.5	54.7	46.9	47.3	52.1	50.6	50.3	51.9
ETP (mm)	123.4	119.3	152.9	164.3	151.2	143.6	151.8	168.0	157.2	146.7	126.1	119.6	1,724.2

Nota. ETP = Evapotranspiración potencial

Tabla 2
Datos de clima estación El Maestro 2009 – 2010

Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Precipitación pluvial (mm)	0.8	0	0	68.3	209.9	286.6	173.1	309.2	173.6	19.5	38.5	39.1	1,318.4
Temperatura (°C)	22.2	23.5	23.8	23.5	24.3	23.8	24.0	23.1	23.8	23.0	22.5	22.9	23.4
Humedad relativa (%)	41.2	46.0	40.0	35.6	46.4	48.0	48.3	49.6	48.0	42.9	42.6	39.6	44.0
ETP (mm)	152.3	150.6	191.0	197.5	201.6	191.1	191.4	191.9	186.6	184.0	163.3	151.5	2,159.8

Nota. ETP = Evapotranspiración potencial

Tabla 3

Recarga hídrica de la subcuenca del río Los Ocotes.

No.	Unidad geomorfológica	Cobertura	Lámina de recarga (m)	Área (Km ²)	Volumen de recarga (x10 ⁶ m ³)	Recarga específica (m ³ /km ²)
1	Montañas Volcánicas	Bosque	0.124	24.0812	2.995	124,390
2	Montañas Volcánicas	Cultivos	0.069	9.6848	0.672	69,430
3	Montañas Volcánicas	Pastos	0.074	0.4550	0.033	73,600
4	Montañas Volcánicas	Poblados	0.00	1.83654	0.00	0
5	Relleno Piroclástico	Poblados	0.00	6.3794	0.00	0
6	Relleno Piroclástico	Cultivos	0.034	1.54605	0.053	34,170
7	Relleno Piroclástico	Pastos	0.044	0.8910	0.039	44,290
8	Relleno Piroclástico	Bosque	0.031	12.3345	0.386	31,320
9	Valle Tectónico	Poblados	0.00	3.9950	0.00	0
10	Valle Tectónico	Bosque	0.00	2.3986	0.00	0
Total =				63.6021	4.18	

Mientras que las unidades 5, 6, 7 y 8, al relleno piroclástico, y las restantes 9 y 10 pertenecen al valle tectónico.

Los datos de lluvia y evapotranspiración de la estación Ciénaga Grande, se tomaron para las unidades de la parte alta y media de la subcuenca, mientras que para el cálculo de las unidades de la parte baja, se tomaron los datos de la estación El Maestro.

La recarga hídrica al acuífero varía de 31 a 124 mm/año, encontrándose entre el rango de valores de 30 a 370 mm/año cuantificados para regiones tropicales con considerables variaciones anuales de lluvia (Carrica, 2009; Del Valle & Varni, 2009; Herrera, 2011). El volumen total de recarga en la subcuenca del río Los Ocotes es de 4.18 millones de m³.

La categorización de los resultados basándose en el volumen de recarga hídrica específica anual de cada unidad, cuantifica a las unidades 1, 2 y 3, de montañas volcánicas con bosques, cultivos y pastos, como áreas con recarga entre 69,430 a 124,390 m³/km², clasificándose como media y presentándose en los alrededores de Los Ocotes, Piedra Parada, Cristo Rey y Ciénaga Grande. Las unidades 6, 7 y 8 de relleno piroclástico con cultivos, pastos y bosques, se clasifican como áreas de baja recarga por presentar valores de recarga menores a 50,000 m³/km², en los alrededores de Canalitos y Puerta Parada. Mientras que las restantes unidades 4, 5, 9 y 10, se calcularon valores de 0 y se clasifican como áreas sin recarga potencial, ya que son áreas muy poco permeables y donde se asientan las poblaciones de la subcuenca (Figura 3).

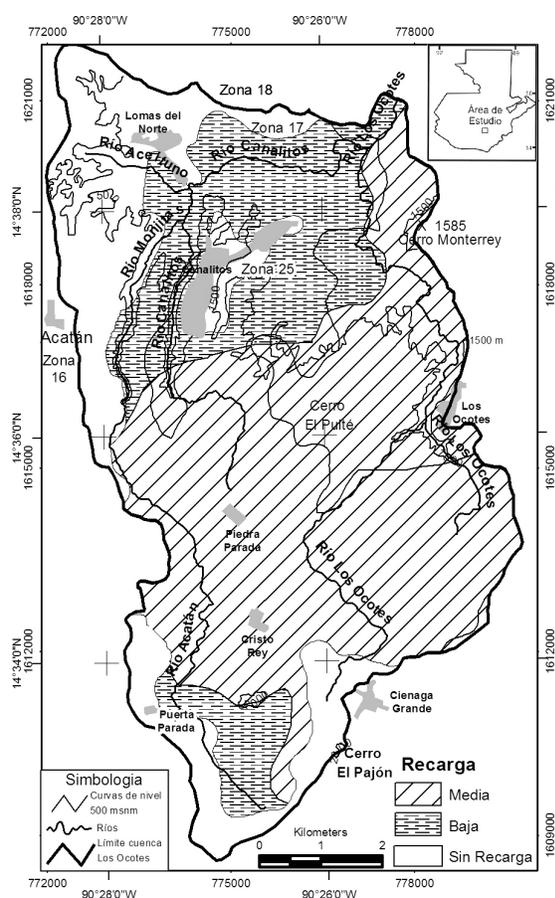


Figura 3. Áreas de recarga hídrica de la subcuenca del río Los Ocotes.

Discusión

Geomorfología

La geomorfología distingue el tipo litológico para determinar si el medio permeable es poroso o fisurado. Además, distingue el relieve para precisar la pendiente del terreno y la clase de suelo, que es importante en los procesos de infiltración, el escurrimiento, la humedad del suelo y la recarga.

La recarga hídrica natural depende de la cantidad de agua absorbida a través del suelo y percolada en las rocas hasta llegar al acuífero. En los terrenos con pendientes suaves el agua de lluvia tiene más tiempo para poder ser infiltrada, resultando una mayor cantidad de agua almacenada en el suelo y la posibilidad de tener más recarga. Caso contrario ocurre en los terrenos con altas pendientes, donde el mayor porcentaje de agua de lluvia se escurre superficialmente.

La velocidad de infiltración del agua en los suelos es función de la textura. Esto se pudo constatar en la subcuenca del río Los Ocotes, donde las velocidades varían de 144 mm/día para suelos franco arcillosos hasta 960 mm/día para suelos franco arenosos. Las texturas arcillosas se encuentran en el valle tectónico de la subcuenca, ubicadas en superficies de poca infiltración y por ende de muy poca recarga o sin recarga hídrica potencial.

Las texturas franco arenosas corresponden a las áreas de montañas volcánicas con bosque, calculándose láminas de recarga de 124 mm/año. Mientras que en las áreas de relleno piroclástico con bosque, las láminas de recarga son más bajas de 31 mm/año. Una situación similar se presenta en la unidad de montañas volcánicas con pasto y cultivo, con láminas de recarga de 74 y 69 mm/año respectivamente. Las láminas de recarga de esta cobertura también son menores en la unidad de relleno piroclástico, donde se obtuvieron valores de 44 mm/año para pasto y de 34 mm/año para cultivos.

Las profundidades de las raíces de 0.40 m para áreas con maíz, 0.20 m para áreas con pastos, mientras que las áreas con bosque tienen una profundidad de raíces de aproximadamente 1.5 m.

Bosque

El agua que alcanza la superficie del suelo de un bosque por lluvia, tiene varias opciones para entrar a formar parte del ciclo hidrológico. Una parte puede permanecer en la superficie de donde un porcentaje se

evapora directamente, otro pequeño porcentaje podría correr sobre la superficie como flujo superficial y el resto se infiltrará en el suelo.

El agua se almacenará en el suelo hasta un cierto nivel máximo que depende de las propiedades físicas del suelo y es principalmente de este “reservorio” que la vegetación forestal toma el agua requerida para la transpiración. La cantidad de agua que puede ser utilizada por los árboles depende de la fracción de agua aprovechable (diferencia entre el contenido actual de humedad y el contenido en el punto de marchites permanente) y la profundidad de la capa de suelo que puede ser aprovechada por el sistema de raíces. Si se infiltra más agua de la que el suelo puede contener, esta continuará percolándose hacia el agua subterránea, produciéndose la recarga hídrica al sistema acuífero.

En la subcuenca del río Los Ocotes las láminas infiltradas anuales para los años 2009 y 2010, son mayores en cobertura boscosa, con valores de 310 a 1,240 mm, son medias en pasto con rangos de 440 a 740 cm y menores en cultivos con 340 a 690 cm. De acuerdo a las recargas específicas, estas son mayores en bosques con 31,320 a 124,390 m³/km², que en pastos con 44,290 a 73,600 m³/km² y cultivos con 34,170 a 69,430 m³/km². Además, como las lluvias en el trópico frecuentemente caen más rápidamente de lo que puede ser absorbidas por el suelo, es decir, la intensidad es mayor a la capacidad de infiltración, tal incremento de la capacidad de infiltración reducirá la sobrecarga y el flujo superficial en las áreas forestales.

Todos los componentes mencionados del ciclo del agua en el suelo, están influenciados por la vegetación forestal a través de su impacto en la infiltración y las propiedades físicas del suelo.

La capacidad de infiltración presenta una correlación positiva con la cobertura de árboles, lo que implica que la infiltración mejora donde hay una mayor cobertura arbórea (Casado, Gil, & Campo, 2007).

La cama de suelo forestal protege efectivamente el suelo y previene la obstrucción de los espacios porosos que constituyen las vías para la infiltración del agua. Esto ocurre en menor grado en la cobertura de pastos y mucho menor donde se encuentran cultivos.

El sistema de raíces profundo de los árboles, el alto contenido de materia orgánica y la bien desarrollada actividad micro orgánica mejoran las propiedades del suelo e incrementan la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos forestales, pero también contribuyen a una mayor detención temporal del almacenamiento (FAO, 2009).

A mayor cantidad de agua retenida y disponible para el uso de la planta, menor será la contribución a la escorrentía y a la recarga del agua subterránea, y el aporte de agua de exceso a la escorrentía en la cuenca se retrasará.

Clima

La ciudad de Guatemala presenta un clima templado, con una precipitación pluvial anual mayor de 1,000 mm. Esto se comprobó en las dos estaciones climáticas dentro de la subcuenca del río Los Ocotes para los años 2009 y 2010, donde en la parte alta la precipitación anual fue de 1,386.3 mm y en la parte baja la lluvia anual fue de 1,318.4 mm, existiendo solamente una diferencia de 67.9 mm entre las dos estaciones. Además, la época lluviosa se presenta de mayo a septiembre, mientras que la época seca es de enero a marzo, siendo los meses de octubre, noviembre, diciembre y abril con poca lluvia.

La temperatura media de 18.2 °C se presenta en la parte alta de la subcuenca con 1,915 msnm, mientras que en la parte baja a 1,552 msnm es 23.4 °C, existiendo un gradiente de temperatura de 1.4 °C por cada 100 m.

En la parte alta de la subcuenca la evapotranspiración es menor y presenta un valor anual de 1,724.2 mm y en la parte baja el valor anual es mayor, con un valor de 2,159.8 mm. Esto es congruente con la transpiración del tipo de vegetación de bosques de coníferas que se presentan en la parte alta y media, y que tienen menores valores de transpiración de 15 a 39 mm/mes, mientras que el cultivo de maíz se presenta principalmente en la parte baja y tiene una mayor transpiración de 68 a 84 mm/mes (Herrera, 2012).

Otro aspecto relevante de la investigación, es lo concerniente a que el bosque a veces no presenta recarga hídrica, ya sea porque se encuentra en suelos arcillosos donde existe una infiltración muy baja o porque la cantidad de lluvia es muy baja. Herrera, Orozco y Mujica (2011), definen que en las zonas donde la precipitación pluvial anual es menor de 1,000 mm, generalmente no existe recarga hídrica directa.

Agradecimientos

Este trabajo es parte de un proyecto de investigación financiado por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT) con el número Fodecyt No. 35-2009 Estudio hidrogeológico de la

subcuenca del río Los Ocotes, para determinar las áreas principales de recarga hídrica e identificación de las áreas vulnerables a deslizamientos e inundaciones para proponer alternativas de prevención de la parte noreste de la ciudad de Guatemala.

Referencias

- Carrica, J. (2009). *Cálculo de la recarga hídrica en zonas áridas y semiáridas*. Trabajo presentado en el VI Congreso Nacional de Hidrogeología y IV Seminario hispanoamericano de Temas Actuales de la Hidrología Subterránea, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Casado, A., Gil, V., & Campo, A. (2007). Consecuencias de la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del arroyo El Belisario, Buenos Aires, Argentina. *Huellas*, 11, 9-26.
- Castro, M. (2011). *Recarga hídrica natural en la subcuenca del río Tzalá del municipio de San Miguel Ixtahuacán, Sipacapa y Comitancillo del departamento de San Marcos, Guatemala* (Tesis de licenciatura). Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Del Valle, V., & Varni, M. (2009). *De los métodos específicos para cuantificar la recarga de acuíferos*. Trabajo presentado en el VI Congreso Nacional de Hidrogeología y IV Seminario hispanoamericano de Temas Actuales de la Hidrología Subterránea, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Empresa Municipal de Agua. (1990). *Los recursos de aguas subterráneas para el abastecimiento a la ciudad de Guatemala*. Guatemala: Autor.
- Escuder, R., Fraile, J., Jordana, S., Ribera, F., Sánchez-Vila, X., & Vázquez-Suñé, E. (2009). *Hidrogeología, conceptos básicos de hidrología subterránea*. Barcelona: Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea.
- Fajardo, R. (2006). *Evaluación hidráulica mediante el uso de modelos del tramo final del río Villalobos* (Tesis de maestría). Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009). *Regional study, practical experiences of compensation mechanisms for water services provided by forests in Central America and the Caribbean*. Rome: Autor.

- Herrera, I. (2005). *Estudio hidrogeológico de la parte norte de la caldera del lago de Atitlán, Guatemala*. Trabajo presentado en el Congreso Internacional de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Managua, Nicaragua.
- Herrera, I. (2011). *Estrategia para el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico subterráneo en la su-cuenca de los ríos Pansigüis y Cushapa, Departamento de Jalapa, Guatemala* (Tesis de doctorado). Universidad Máximo Gómez Báez, Ciego de Ávila, Cuba.
- Herrera, I. (2012). *Estudio hidrogeológico de la sub-cuenca del río Los Ocotes, para determinar las áreas principales de recarga hídrica e identificación de las áreas vulnerables a deslizamientos e inundaciones para proponer alternativas de prevención de la parte noreste de la ciudad de Guatemala*. (FODECYT No. 2009.35). Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía.
- Herrera, I., & Brown, O. (2011). Propuesta de una metodología para la estimación de áreas de recarga hídrica en Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4) 48-52.
- Herrera, I., Orozco, E., & Mujica, A. (2011). Estrategia para el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo en una zona semiárida de Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3) 12-18.
- Instituto Nacional de Estadística. (2002). *Censos Nacionales, XI de Población y VI de Habitación*. Guatemala: Autor.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (1978). *Estudio de las aguas subterráneas en el valle de la ciudad de Guatemala*. Guatemala: Autor.
- Sanders, L. (1998). *A manual of field hydrogeology*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de recarga hídrica de acuíferos mediante balance hídrico de suelos. *Revista Geológica de América Central*, 34, 13-30.

Los bosques de *Abies guatemalensis* Rehder de San Marcos, Guatemala: una oportunidad para su restauración ecológica

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: 17 de diciembre 2015 / Revisión: 30 de marzo 2016 / Aceptado: 30 de junio 2016 / Disponible en línea: 01 de agosto 2016

Resumen

El pinabete, *Abies guatemalensis* Rehder, es una especie distribuida en las montañas altas de Guatemala. Según el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap), sus poblaciones se encuentran severamente fragmentadas. Por su rareza y fragmentación, esta especie se encuentra protegida por el Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (Cites), lo que pone en relieve la importancia de la recuperación de sus bosques para su debida conservación. El éxito de su establecimiento puede mejorarse al sembrarla junto a plantas nodriza, que le ayudarían a sobrevivir a las condiciones secas del año y las heladas que se presentan en las zonas de mayor altitud del país durante los meses de noviembre a febrero. Este trabajo muestra las características físicas, químicas y de vegetación del área de tres bosques de pinabete (*A. guatemalensis*) de la parte alta de San Marcos. Además, presenta la propuesta de restauración ecológica estimulada simulando la sucesión vegetal del área. Se elaboraron mapas, y describieron tres bosques de pinabete y sus alrededores; se presenta el estudio de la composición química del suelo y la vegetación y su representación en diferentes etapas de sucesión vegetal. Además, se propone la recuperación de áreas alrededor de parches de bosque, consistente en establecer plantas arbustivas en lugares abiertos donde aún no hay; por su parte en aquellas áreas donde ya se encuentren arbustos, se propone utilizarlos como plantas nodriza para establecer árboles de varias especies buscando mantener biodiversidad de especies arbóreas, en donde la teoría de la sucesión indica que el pinabete va a dominar al final. Esta propuesta ha demostrado viabilidad porque es una práctica conocida fuera de bosques naturales en áreas de San Marcos para establecer el pinabete con fines comerciales, que aprovecha la sucesión vegetal natural del área.

Palabras claves: Bosques de altura, sucesión vegetal, especie protegida, plantas nodrizas, conservación de la naturaleza.

Abstract

The fir, *Abies guatemalensis* Rehder, is distributed in the highlands of Guatemala. According to the National Protected Areas Council (Conap), their populations are severely fragmented. For its rarity and fragmentation, it is protected by the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora species (Cites), indicating the importance of the recovery of their forests for the proper conservation of the species. The success of his establishment may be enhanced to sow with nurse plants, which would help to survive the dry conditions of the year and frosts that occur in the higher elevations of the country during the months of November to February. This work shows the features physical and chemical and vegetation in the area of three forests of fir (*A. guatemalensis*) of the top of San Marcos. In addition, the proposal of ecological restoration simulating plant succession in the area. Maps were drawn, and three fir forests and surrounding described; it is shown the study the chemical composition of soil and vegetation and their representation in different ages of plant succession. Further, it is proposed the recovery of areas around patches of forest, consting of which is establish shrubby plants in open spaces where there are not yet; in areas where bushes already are, it is proposed to use it as nurse plants to establish trees of various species seeking to maintain biodiversity of tree species, where the theory of succession indicates that the fir will dominate in the end. This proposal is feasible because as it is known outside natural forests in areas of San Marcos to establish the fir for commercial purposes, which uses the natural plant succession the area.

Keywords: Upland forest, plant succession, protected species, nurse plants, nature conservation.



Introducción

En la parte alta del departamento de San Marcos, Guatemala, hay 41 bosques de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), que cubren un total de 1,791.39 ha, distribuidas en 11 municipios. Estos bosques tienen una extensión variable, que fluctúa entre 1.25 y 190.4 ha. Según datos del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap) y el Instituto Nacional de Bosques (Inab) (1999), el área que cubriría originalmente el pinabete a nivel nacional alcanzaba las 558,858 ha; pero para 1979 ya se reportaban únicamente 71,000. El cambio en el uso del suelo hacia agricultura y pastoreo desde el siglo XVI, han llevado a que esta especie sea considerada en peligro de extinción, y esté incluida en el Apéndice I de la lista de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (Cites) desde 1997. Por tanto, urge la necesidad de recuperación de áreas de bosque para la conservación de la especie y su entorno. En primer lugar, por su valor como endémica para Mesoamérica (Jaramillo-Correa et al., 2008), y también, como la han indicado varios autores entre ellos Gómez (2004), por los servicios ecosistémicos que estos bosques prestan; por ejemplo, la regulación del ciclo hidrológico, microclima, biodiversidad, almacenamiento de dióxido de carbono, liberación de oxígeno, etcétera.

Además, aparte de la conservación de los bosques, el manejo de *A. guatemalensis* fuera de bosques presenta una gran oportunidad económica, pues se puede establecer con fines comerciales, especialmente para su venta como árbol navideño (Andersen et al., 2008; Ignosh & Kilgore, 2005). Esto también contribuiría con la conservación al disminuir la presión de extracción ilegal de ramillas en época navideña de bosques naturales. En las áreas abiertas de los bosques se han realizado esfuerzos de reforestación con pino y pinabete por muchos años, sin embargo los resultados no han tenido el éxito deseado, debido a que durante el establecimiento de las especies arbóreas no se ha previsto la protección que deben tener durante las épocas seca y de heladas. La sucesión ecológica muestra el camino que debe seguirse en estas áreas para su recuperación, que consiste en aprovechar los arbustos que pueden servir de plantas nodrizas, en los primeros años del establecimiento de árboles (Martínez, 2013).

Para tener un mejor panorama de cómo hacerlo, uno de los pasos es el reconocimiento y caracterización del área (Vargas, 2007). Con esto se busca reconocer mejor el sistema que se quiere recuperar y sirve como

base para un plan de restauración ecológica (Montenegro & Vargas, 2008). En consecuencia, aquí se presenta la descripción general del área, las características químicas del suelo y la vegetación en tres bosques de pinabete (*A. guatemalensis*) de la parte alta del departamento de San Marcos, y una propuesta de restauración ecológica siguiendo la potencial ruta de la sucesión vegetal natural del área.

Materiales y métodos

El área de estudio fue en la zona de mayor elevación del departamento de San Marcos, ubicada entre los 3,000 a 3,500 m de altitud, en tres bosques y su área de influencia. Estas son: Las Nubes situado en el municipio en San José Ojetenam, Los Cuervos en Ixchiguan y Canatzaj en Tacaná, que se encuentran entre las coordenadas 15° 10' 03" a 15° 14' 53" latitud N y 91° 17' 18" y 91° 59' 23" longitud O.

Se elaboró un mapa para cada localidad, y una descripción de las condiciones fisiográficas de cada una. Para fines de comprensión, estos bosques se encuentran en un paisaje fragmentado. Siguiendo algunos conceptos de Vila, Varga, Llausàs y Ribas (2006), se le llama fragmento o parche a la parte que aún tiene bosque, borde a las áreas de transición alrededor de los parches y las orillas a las áreas abiertas con gramíneas, plantas anuales o arbustos, que son sujetas a manejo para aumentar el área de los fragmentos actuales.

Se caracterizó la vegetación a través de la determinación de la flora en cinco etapas de sucesión; las especies fueron determinadas en el herbario Bigu de la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. En los resultados se presenta el número de especies por estrato en cada etapa de sucesión. Además, se realizó una estimación comparativa del valor de importancia (IVI) de Cottam de cada etapa de sucesión integrando los tres bosques, en cuatro estratos diferentes: herbáceo inferior (0.05-0.5 m), herbáceo (0.20-1.5 m), arbustivo (1-8 m) y arbóreo (2-60 m). El IVI es una variable sintética que se desarrolla a partir de la densidad, cobertura y frecuencia aparente de cada especie. Estas se convierten a valores reales y luego en valores relativos; se suman las tres variables y eso constituye el IVI por especie. Aquellas que tengan los valores más altos serán las más representativas del área (Matteucci & Colma, 1982). Con esta información se elaboró una tabla resumen donde se consigna los rangos de IVI en cada etapa de sucesión y las especies que presentan los mayores valores de IVI.

Se elaboró un perfil de vegetación de cada etapa de sucesión, donde se representa la fisonomía promedio y las principales especies de cada uno.

En el año 2011 se efectuó un análisis de suelo en cinco etapas de sucesión y otro en 2014 en las etapas de sucesión iniciales y con arbustos. En consecuencia, se presenta el pH, fósforo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de saturación de bases (%SB), porcentaje de materia orgánica (%MO) y nitrógeno total. Por medio de la prueba no paramétrica del test de Wilcoxon para una muestra, se realizó una prueba de significancia para cada característica química. Se calculó la media, desviación estándar, rango y coeficiente de variación para cada parámetro químico del suelo.

Finalmente, con base en las etapas de sucesión, se hace una propuesta esquemática de restauración ecológica en las áreas adyacentes a los bosques.

Resultados

Caracterización descriptiva de tres bosques

Bosque Las Nubes. El bosque Las Nubes (Figura 1), se encuentra ubicado en el municipio de San José Ojetenam, San Marcos y tiene como principal área de influencia a la aldea San Fernando y sus caseríos. Para llegar al bosque se toma la carretera nueva de Ixchiguán hacia San José Ojetenam y al empezar a descender hacia el pueblo, se cruza hacia la antigua carretera a Ixchiguán, donde se recorre cerca de un kilómetro de terracería. Tiene una extensión aproximada de 104.4 ha de acuerdo con Conap (2008). Con base en el área que la municipalidad de San José Ojetenam protege, se tienen 46.08 ha, donde se puede diferenciar fácilmente al menos tres etapas de sucesión: áreas abiertas, donde la vegetación está compuesta por plantas herbáceas, con aproximadamente 9.67 ha; área de arbustos, que en su mayoría sirven de plantas nodrizas, con aproximadamente 8.27 ha y áreas con árboles, con un área aproximada de 28.14 ha compuesta de aproximadamente de 60% de pino (*Pinus pseudostrobus* Lindl.) y 40% de pinabete (*A. guatemalensis*).

Este bosque corresponde a una hondonada que tiene dos caras, una hacia el noroccidente y la otra hacia suroriente. El rango de altitud va desde los 3,000 a los 3,460 m. La porción entre la parte alta de la carretera nueva hacia San José Ojetenam y la carretera antigua, tiene una pendiente de 45%, está desprovista de bosque y tiene una mezcla de partes totalmente abiertas

y áreas con plantas arbustivas. De la carretera antigua hacia el fondo de la barranca, está lo que queda del bosque puro, aquí la pendiente aumenta y en algunos casos llega a peñascos de cerca del 90%. El pastoreo de ovejas casi se ha eliminado. Sin embargo, las personas llegan a cortar la vegetación herbácea que llevan para sus animales, dañando de todas formas el crecimiento de las fases arbustivas.

En cuanto a la participación comunitaria, se infiere poca identificación y preocupación de las comunidades por este bosque, debido su participación en el cuidado del bosque y el poco interés en las reuniones realizadas, a pesar de que hay guarda recursos y participación de la municipalidad de San José Ojetenam, el deterioro es evidente, posiblemente porque no hay comunidades cercanas que se identifiquen mejor con el bosque, aunque el agua que aquí se produce sirve de abastecimiento para todas las comunidades de sus alrededores.

Bosque Los Cuervos. El bosque Los Cuervos (Figura 2), se encuentra ubicado en Ixchiguán, arriba de la población de la cabecera municipal (3 km), a orillas de la carretera hacia Tacaná. Con base en la información de la municipalidad de Ixchiguán, tiene una extensión aproximada de 87.86 ha, según el Conap, (2008) son 81.05 ha, de las cuales 45.96 corresponden a áreas de bosque donde la especie dominante es el pinabete y en sus bordes pino (*P. pseudostrobus* y *P. rudis* Endl.) y ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.). El área sin bosque de 39 ha, está dominada por especies herbáceas y musgos. En la época lluviosa dominan la cobertura del suelo dos especies de *Alchemilla* una de flor blanca y la otra lila. Cerca de 7 ha tienen plantas arbustivas que en determinado momento pueden servir como nodrizas.

La orientación principal del bosque es hacia el noroccidente, con rangos de 3,200 a 3,400 msnm. La cara del bosque que está sin vegetación tiene una orientación principal hacia el noreste. A partir del medio día la velocidad del viento se intensifica con velocidades de hasta 15 o 16 km/hora, lo que provoca una mayor evapotranspiración de las plantas. Los esfuerzos que se han realizado por reforestar no han dado resultado y solo han quedado algunos árboles achaparrados dispersos.

En los últimos tres años ha aumentado las poblaciones de taltuzas (*Orthogeomys* sp.), este es un roedor subterráneo que causa daño tanto a los pastos, como a los pocos árboles achaparrados de pino dispersos del área. En 2013 se llevó a cabo una capacitación al personal de campo de la municipalidad de Ixchiguán con

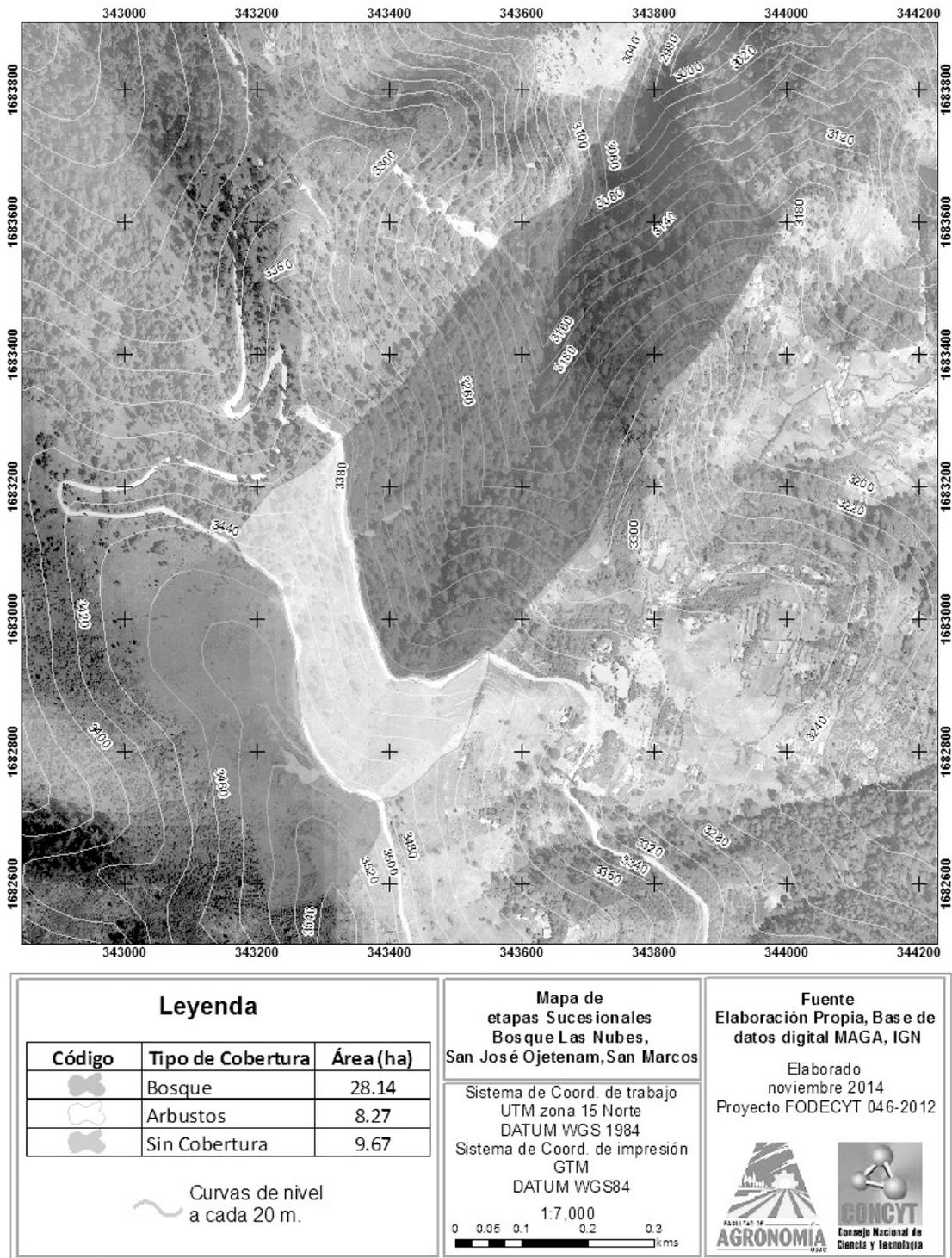


Figura 1. Mapa del bosque Las Nubes, San José Ojetenam, San Marcos. La porción oscura de arriba representa la parte con bosque y la de abajo, la que tiene arbustos y/o hierbas.

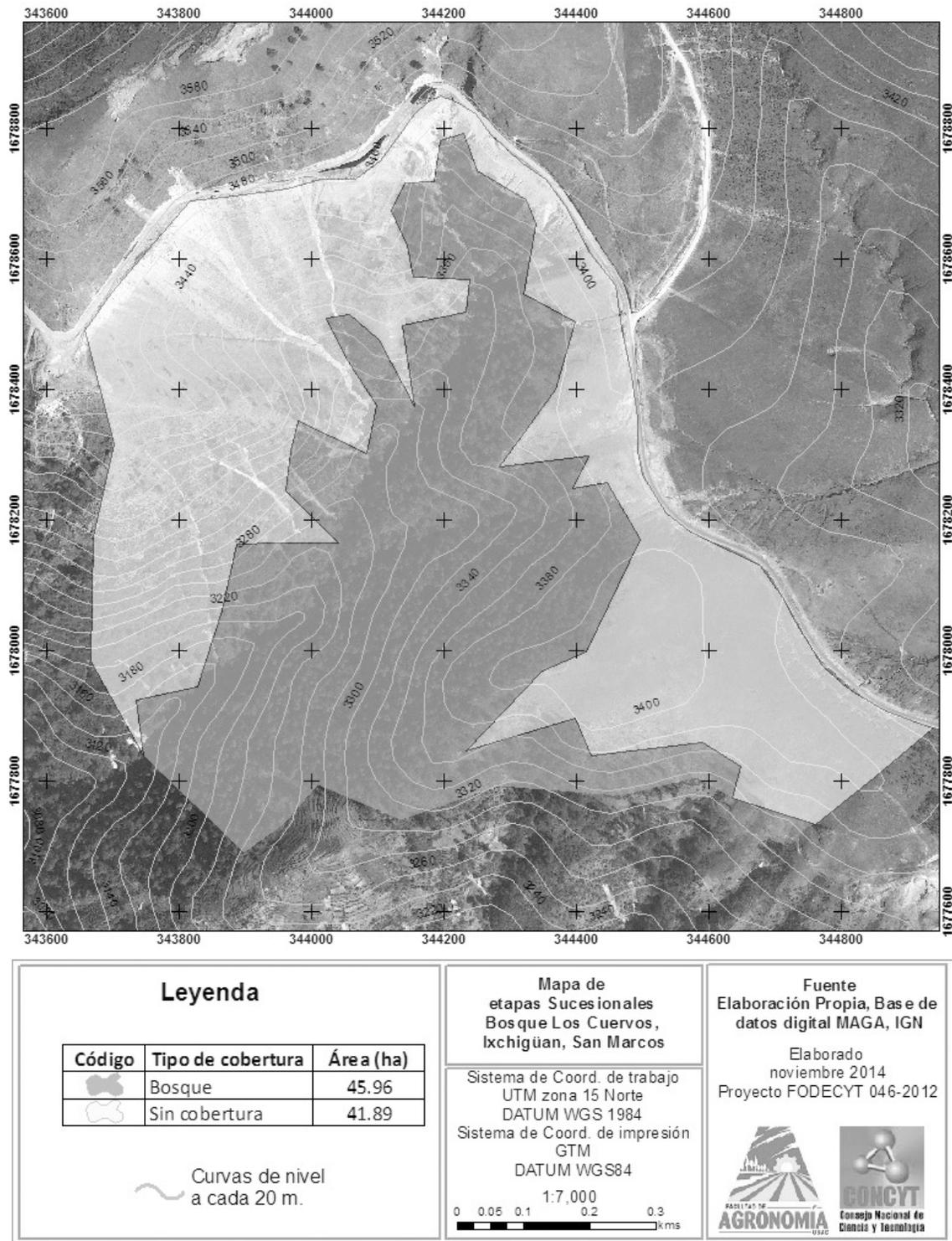


Figura 2. Mapa del bosque Los Cuervos, Ixchiguan, San Marcos, en color oscuro se presenta el área con bosque y la parte clara, el área con arbustos y hierbas.

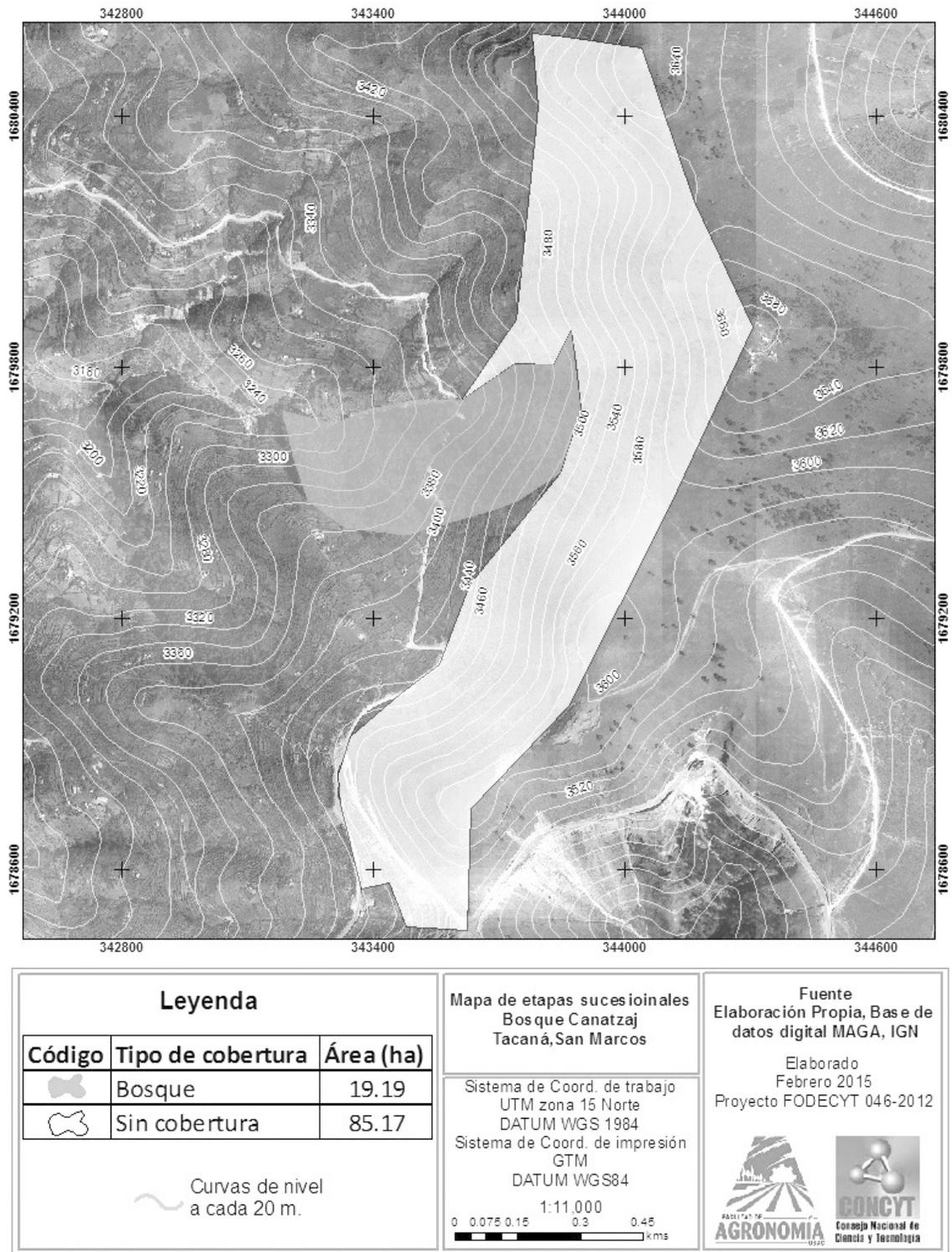


Figura 3. Bosque Cantatzaj, Tacaná, San Marcos, en color más oscuro el área con bosque y en el más claro la parte con hierbas y/o arbustos.

lo cual se logró, solo de octubre a diciembre de ese año, la captura de cerca de 20 taltuzas en cerca de 29 ha.

A pesar que el área está cercada y que los rebaños de ovejas ya no pastorean allí, hay inclusiones de ganado bovino o equino en forma esporádica, lo cual es un factor que no favorece la sucesión ecológica. Este bosque lo tiene a su cargo la municipalidad de Ixchiguán, que mantiene un constante monitoreo a través de un guarda recursos. Sin embargo, no hay comunidades locales que cuiden de este bosque, lo que hace que los esfuerzos de recuperación de la municipalidad sean difíciles, pues no hay mano de obra disponible para los trabajos a realizar.

Bosque Canatzaj. El bosque Canatzaj (Figura 3), se encuentra ubicado en Tacaná, donde finaliza el cerro Cotzic, por lo tanto colinda con Ixchiguán. Su área de influencia es principalmente para 10 comunidades, entre ellas Flor de Mayo, Sanabaja, Santa María, Laureles y Canatzaj. Para llegar al bosque, se toma por la carretera asfaltada de Ixchiguán hacia Tacaná, 6 km después de Ixchiguán, se cruza hacia la derecha a un camino de terracería, donde se empieza a descender y a 1.5 km empieza el bosque. Tiene un área total de 111.27 ha, de las cuales solo 19.40 ha tienen bosque principalmente de pinabete, esta última área es la que reporta el Conap, (2008). En algunas áreas se ha realizado reforestación con ciprés y también en los bordes del bosque se puede encontrar pino. Gran parte del área está sin cobertura forestal que corresponde a 91.87 ha, de las cuales cerca del 85% son áreas cubiertas por gramíneas y algunas plantas anuales y en el 15% restante hay presencia de arbustos. La orientación de la pendiente de la porción sin bosque, tiene una parte hacia el sur y otra hacia el norte y la porción con bosque tiene una parte hacia el noroccidente, otra hacia el norte y una más hacia el sur. El rango altitudinal varía entre 3,000 a 3,500 msnm.

Este bosque tiene influencia en 10 comunidades por los nacimientos de agua que hay allí. Posee guarda recursos que monitorean constantemente el área para evitar el pastoreo de ovejas y extracciones ilegales. Cada año los comunitarios procuran establecer árboles. La organización social de estas comunidades, es bastante robusta, pues sus comités de agua procuran velar por la protección del bosque, anualmente se elige una nueva junta directiva que dirige las acciones. Esto provoca que lo que aún queda de bosque refleje el cuidado que se hace del mismo.

Análisis de la vegetación

En total se reportan 71 especies de plantas; en la Tabla 1 se presenta el número de especies por estrato en cada etapa de sucesión. En todas las etapas los estratos de vegetación herbáceo inferior y herbáceo superior, tiene un similar número de especies. En los etapas 4 y 5 que están dominados por árboles, los demás estratos siguen manteniendo casi igual número de especies, que en las etapas abiertas, lo que varía es la densidad de cada especie. En los etapas 1 y 2, no hay presencia de árboles, en el etapa 3 es donde mayor cantidad de especies arbóreas hay y disminuye a una en el etapa 5. Se nota un incremento de especies del etapa 1 al 3 y luego una disminución hacia el etapa 5.

En el cálculo del IVI calculado para cada especie, se encontró una amplia distribución de valores, es decir no hay especies dominantes a excepción de las etapas donde hay árboles (Tabla 2). Se puede visualizar que en el caso del estrato herbáceo inferior hay cinco especies con mayor valor de IVI de las cuales cuatro son musgos, que tienen presencia en las cinco etapas, la especie *Hypnum amabilie* (Mitt.) Hampe está presente en las cinco etapas. En el estrato herbáceo superior hay 11

Tabla 1
Resumen de número de especies por estrato y etapa de sucesión en los tres bosques estudiados.

Estrato	Número de especies por etapa de sucesión				
	1	2	3	4	5
Herbáceo inferior	11	10	12	12	13
Herbáceo superior	14	18	16	14	16
Arbustivo	7	18	17	18	18
Árboles			8	4	1
Total	32	46	53	48	48

Tabla 2
Especies con mayor valor de importancia a través de cinco etapas de sucesión de tres bosques de pinabete (*A. guatemalensis*) de San Marcos, Guatemala

	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4	Etapas 5
Estrato herbáceo inferior					
Rango de IVI	8.81-89.46	6.92-88.95	6.39-91.21	6.80-71.38	4.74-103.82
<i>Brachypodium mexicanum</i> (Roem. & Schult.) Link	50.42				
<i>Geranium repens</i> H.E. Moore		59.21			
<i>Hypnum amabile</i> (Mitt.) Hampe	87.46	88.95	91.21	61.25	103.82
<i>Vesicularia vesicularis</i> (Schwägr.) Broth. var. <i>portoricensis</i> (Brid.) Buck.	60.16			71.38	
<i>Hypopterygium tamariscinum</i> (Hedw.) Brid.			44.84		65.57
Estrato herbáceo superior					
Rango de IVI	6.73-53.57	4.64-60.36	5.50-44.74	6.77-42.46	6.10-45.26
<i>Salvia</i> sp. L.	53.57	29.17			
<i>Eupatorium liebmannii</i> Sch. Bip. ex Klatt	36.97				
<i>Bidens ostruthioides</i> (DC.) Sch. Bip.	25.06	60.36	44.17	42.46	45.26
<i>Cirsium radians</i> Benth.		47.72			
<i>Hackelia skutchii</i> I.M. Johnst.		26.7	31.08		
<i>Eryngium cymosum</i> F. Dolaroche			44.74	37.04	
<i>Muhlenbergia macroura</i> (Kunth) Hitchc.			35.46		
<i>Lopezia hirsuta</i> Jacq.				34.02	40.17
<i>Lamouxouxia xalapensis</i> Benth.				37.57	
<i>Bomarea hirtella</i> (Kunth) Herb.					41.78
Estrato arbustivo					
Rango de IVI	16.36-89.60	4.19-53.36	5.00-73.25	4.57-55.54	4.21-47.08
<i>Acaena elongata</i> L.	84.37		73.25	26.34	47.08
<i>Salvia gracilis</i> Benth.	89.6				
<i>Verbesina hypoglauca</i> Sch. Bip. ex Klatt		29.82			
<i>Symphoricarpos microphyllus</i> Kunth		31.24			
<i>Rubus trilobus</i> L.		30.54			
<i>Lupinus ehrenbergii</i> Schldtl.		53.36	47.22	35.93	31.85
<i>Baccharis vaccinioides</i> Kunth			35.38	22.23	
<i>Salvia cinnabarina</i> M. Martens & Galeotti				55.54	

Tabla 2, continuación

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5
<i>Gaultheria</i> sp. L. Estrato de árboles					33.82
Rango de IVI			12.63- 102.11	28.15-119.50	300-300
<i>Abies guatemalensis</i> Rehder			52.39	119.19	300
<i>Pinus ayacahuite</i> C. Ehrenb. ex Schltdl.			53.16		
<i>Neocupressus lusitanica</i> (Mill.) de Laub.			102.11	119.5	

especies con mayor valor de IVI; la especie *Bidens ostruthioides* (DC.) Sch. Bip. es común en estos mismos. En el estrato de arbustos se encontraron nueve especies con mayor valor de IVI, de las cuales *Acaena elongata* L. es común en las cinco etapas. Es interesante ver que *Lupinus ehrenbergii* Schltdl., *Baccharis vaccinioides* Kunth, *Salvia cinnabarina* M. Martens & Galeotti y *Gaultheria* sp. L. tienen mayor valor de importancia en las etapas con árboles. En el estrato de árboles solo hay tres especies que dominan y en la etapa cinco únicamente se encuentra al pinabete (*A. guatemalensis*).

Descripción de las etapas de sucesión vegetal

A partir de la vegetación encontrada se prepararon cinco perfiles con la escala de acuerdo a la altura de las plantas de los estratos dominantes. En las figuras de la 4 a 8 se muestra la fisonomía promedio que presentan las etapas de sucesión vegetal.

La fisonomía de la etapa 1 se presenta en la [Figura 4](#). Es producto de áreas que anteriormente fueron utilizadas para pastoreo de ovejas, tienen de 9 a 12 años de estar excluidas de pastoreo, ya que las comunidades y municipalidad las cuidan para proteger y conservar a *A. guatemalensis*. El aspecto general es de un área abierta, con altura de plantas hasta 1.25 m, el estrato herbáceo inferior está dominado por musgos que cubren el suelo todo el año. Luego el estrato superior con especies herbáceas anuales o semi perennes. Se empieza a notar presencia de arbustos jóvenes dispersos.

La etapa 2, se presenta en la [Figura 5](#), la vegetación tiene edades entre 12 a 20 años y la fisonomía es dominada por arbustos, en especial *Rubus trilobus* L., *B. vaccinioides* y *A. elongata*.

En esta etapa las especies del estrato inferior como musgos y otras especies, sobreviven mejor a lo largo del

año a causa de la sombra y humedad que proporcionan los arbustos. Esta etapa sucesional es propicia para la regeneración natural, también se nota el aporte de hojas al suelo por parte de los arbustos.

En la [Figura 6](#), se representa la etapa 3 el cual tiene una edad aproximada de 20 a 45 años. La fisonomía es dominada por arbustos y árboles. Esta etapa presenta la mayor riqueza de árboles, que consiste en seis especies tanto de plantas de hoja ancha como angosta. También es más probable encontrar regeneración natural en comparación con las dos primeras etapas de sucesión.

La etapa 4 se presenta en la [Figura 7](#), según los pobladores locales tiene una edad aproximada de 45 a 65 años. *A. guatemalensis* empieza a ser dominante sobre las otras especies arbóreas. El estrato de arbustos a pesar de ser diverso, disminuye en cobertura comparado con las etapas anteriores, se puede notar más suelo descubierto. Aunque con menor cobertura, el estrato herbáceo inferior se mantiene durante todo el año y aquí el papel de los musgos en la liberación del agua se hace más evidente, pues se puede ver como las gotas de agua se van liberando lentamente hacia el suelo.

En la [Figura 8](#), se tiene un esquema de la etapa 5, constituida por los núcleos de bosque puro de pinabete. Tiene una edad de 85 a 200 años según los pobladores locales, está compuesto por árboles de diferentes edades, los más antiguos son sobrevivientes de la extracción selectiva que se realizó en el pasado, lo que hoy se puede corroborar al ver su fisonomía. Por la apariencia, se estimó que sólo un 20% de los árboles sobrepasan los 200 años. La densidad de árboles y el hecho que hubo pastoreo en el sotobosque permiten que arbustos y hierbas sigan creciendo en el interior.



Figura 4. Etapa 1, vegetación alrededor de bosques de pinabete. Estrato herbáceo inferior 1. *Alchemilla pectinata*, 2. *Alchemilla guatemalensis*, 3. *Brachypodium mexicanum* 4. *Houstonia serpyllacea*, 5. *Vesicularia vesicularis* var. *portoricensis*, 6. *Hypnum amabile* y 7. *Weldenia candida*. Estrato herbáceo superior 8. *Bidens ostruthioides*, 9. *Cirsium radicans*, 10. *Eryngium cymosum*, 11. *Hackelia skutchii*, 12. *Piptochaetium* sp., 13. *Salvia* sp., 14. *Senecio callosus*, 15. *Ranunculus geoides*, 16. *Stevia incognita*. Estrato de arbustos 17. *Acaena elongata*, 18. *Baccharis vaccinioides*, 19. *Lupinus ehrenbergii*, 20. *Rubus trilobus*, 21. *Symphoricarpos microphyllus*, 22. *Salvia cinnabarina* y 23. *Salvia gracilis*.



Figura 5. Etapa 2, vegetación alrededor de bosques de pinabete. Estrato herbáceo inferior 1. *Alchemilla pectinata*, 2. *Brachypodium mexicanum*, 3. *Vesicularia vesicularis* var. *portoricensis*, 4. *Houstonia serpyllacea*, 5. *Geranium repens* y 6. *Hypnum amabile*. Estrato herbáceo superior 7. *Bidens ostruthioides*, 8. *Cirsium radicans*, 9. *Eryngium cymosum*, 10. *Hackelia skutchii*, 11. *Lopezia hirsuta*, 12. *Piptochaetium* sp., 13. *Ranunculus geoides*, 14. *Salvia* sp., 15. *Senecio callosus* y 16. *Stevia incognita*. Estrato de arbustos 17. *Acaena elongata*, 18. *Baccharis vaccinioides*, 19. *Lupinus ehrenbergii*, 20. *Roldana heterogama*, 21. *Rubus trilobus*, 22. *Stevia polycephala*, 23. *Symphoricarpos microphyllus*, 24. *Verbesina apleura*, 25. *Salvia cinnabarina* y 26. *Salvia gracilis*.

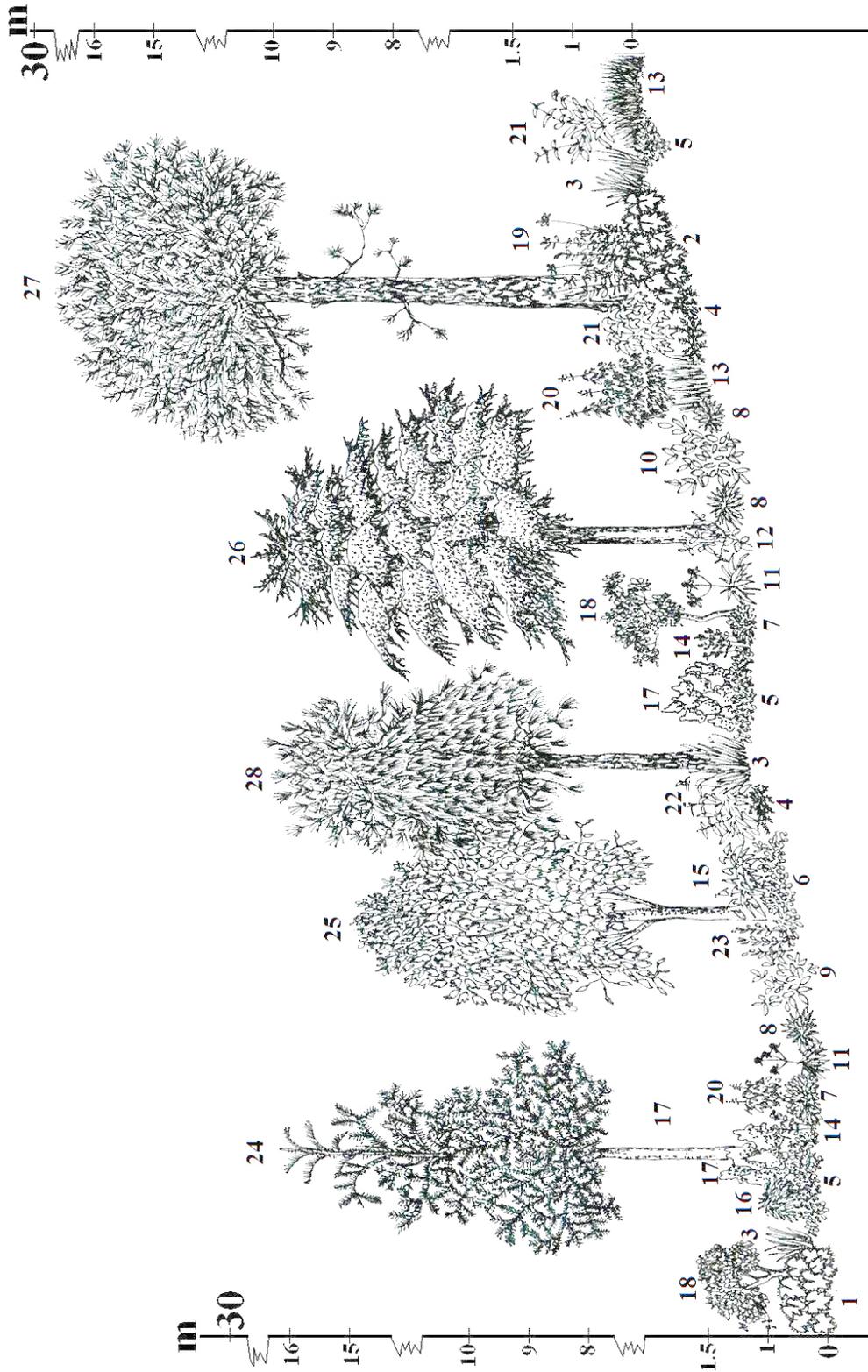


Figura 6. Etapa 3, vegetación alrededor bosques de pinabete. Estrato herbáceo inferior 1. *Alchemilla pectinata*, 2. *Alchemilla guatemalensis*, 3. *Brachypodium mexicanum*, 4. *Vesicularia vesicularis* var. *portoricensis*, 5. *Houstonia serpyllacea*, 6. *Sematophyllum galipense*, 7. *Hymnum amabile* y 8. *Weldenia candida*. Estrato herbáceo superior 9. *Bidens* sp., 10. *Bidens* sp., 11. *Eryngium cymosum*, 12. *Lopezia hirsuta*, 13. *Muhlenbergia macrooura*, 14. *Salvia* sp., 15. *Senecio callosus* y 16. *Sigesbeckia jorullensis*. Estrato de arbustos 17. *Acaena elongata*, 18. *Baccharis vaccinioides*, 19. *Fuchsia striolata*, 20. *Lupinus ehrenbergii*, 21. *Rubus trilobus*, 22. *Salvia cinnabarina* y 23. *Salvia gracilis*. Estrato de árboles 24. *Abies guatemalensis*, 25. *Alnus acuminata*, 26. *Neocupressus lusitanica*, 27. *Pinus ayacahuite* y 28. *Pinus rudis*.

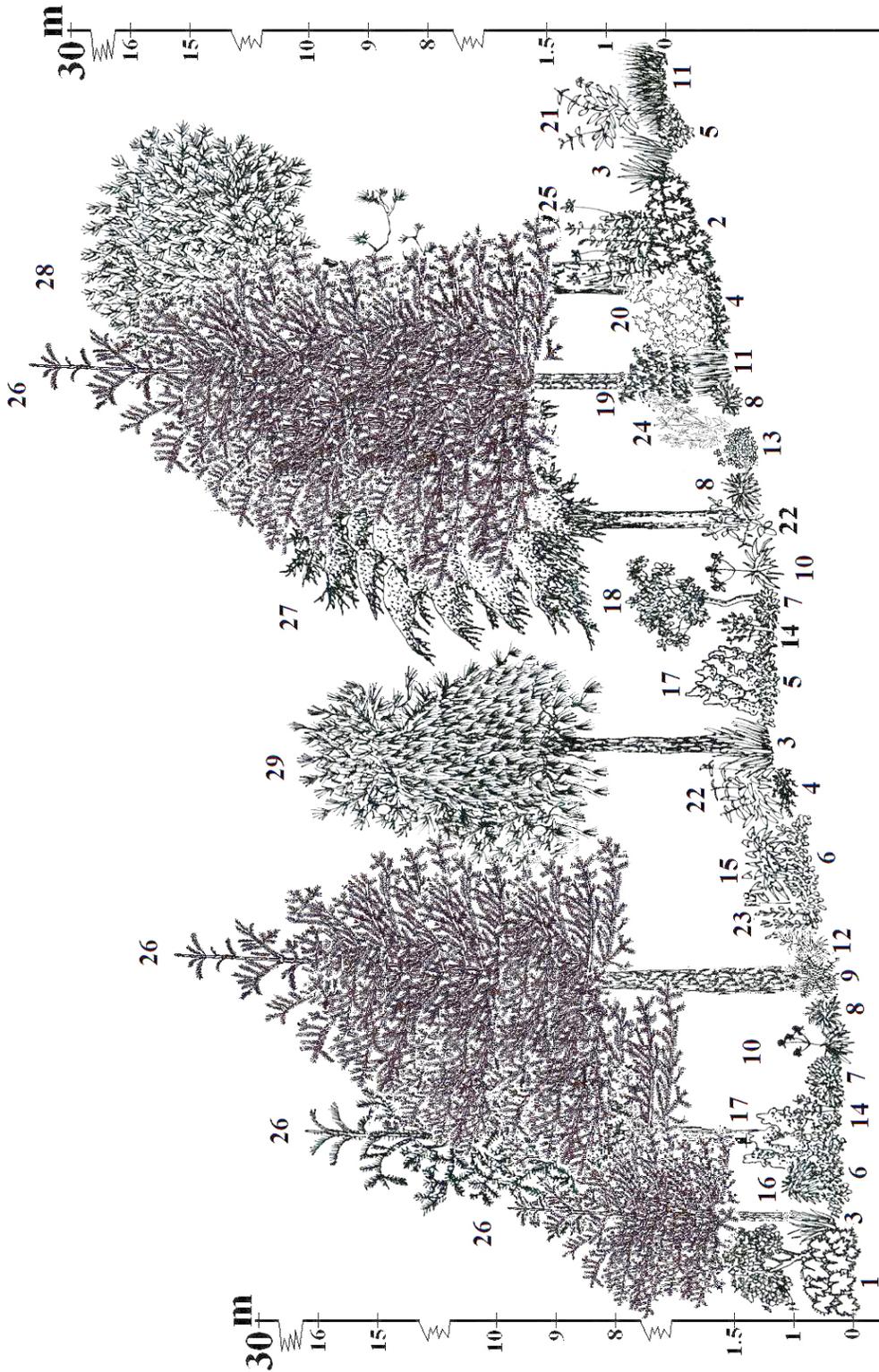


Figura 7. Etapa 4, vegetación alrededor bosques de pinabete. Estrato herbáceo inferior 1. *Alchemilla pectinata*, 2. *Alchemilla guatemalensis*, 3. *Brachypodium mexicanum*, 4. *Vesicularia vesicularis* var. *portoricensis*, 5. *Houstonia serpyllacea*, 6. *Sematophyllum galipense*, 7. *Hyppnum amabile* y 8. *Weldenia candida*. Estrato herbáceo superior 9. *Cirsium radicans*, 10. *Eryngium cymosum*, 11. *Muhlenbergia macrooura*, 12. *Lopezia hirsuta*, 13. *Ranunculus geoides* 14. *Salvia* sp., 15. *Senecio callosus* y 16. *Sigesbeckia jorullensis*. Estrato de arbustos 17. *Acaena elongata*, 18. *Baccharis vaccinioides*, 19. *Fuchsia striolata*, 20. *Roldana heterogama*, 21. *Salvia cinnabarina*, 22. *Salvia gracilis*, 23. *Stevia polycephala*, 24. *Verbesina apleura* y 25. *Verbesina hypoglauca*. Estrato de árboles 26. *Abies guatemalensis*, 27. *Neocupressus lusitanica*, 28. *Pinus ayacahuite* y 29. *Pinus rudis*.

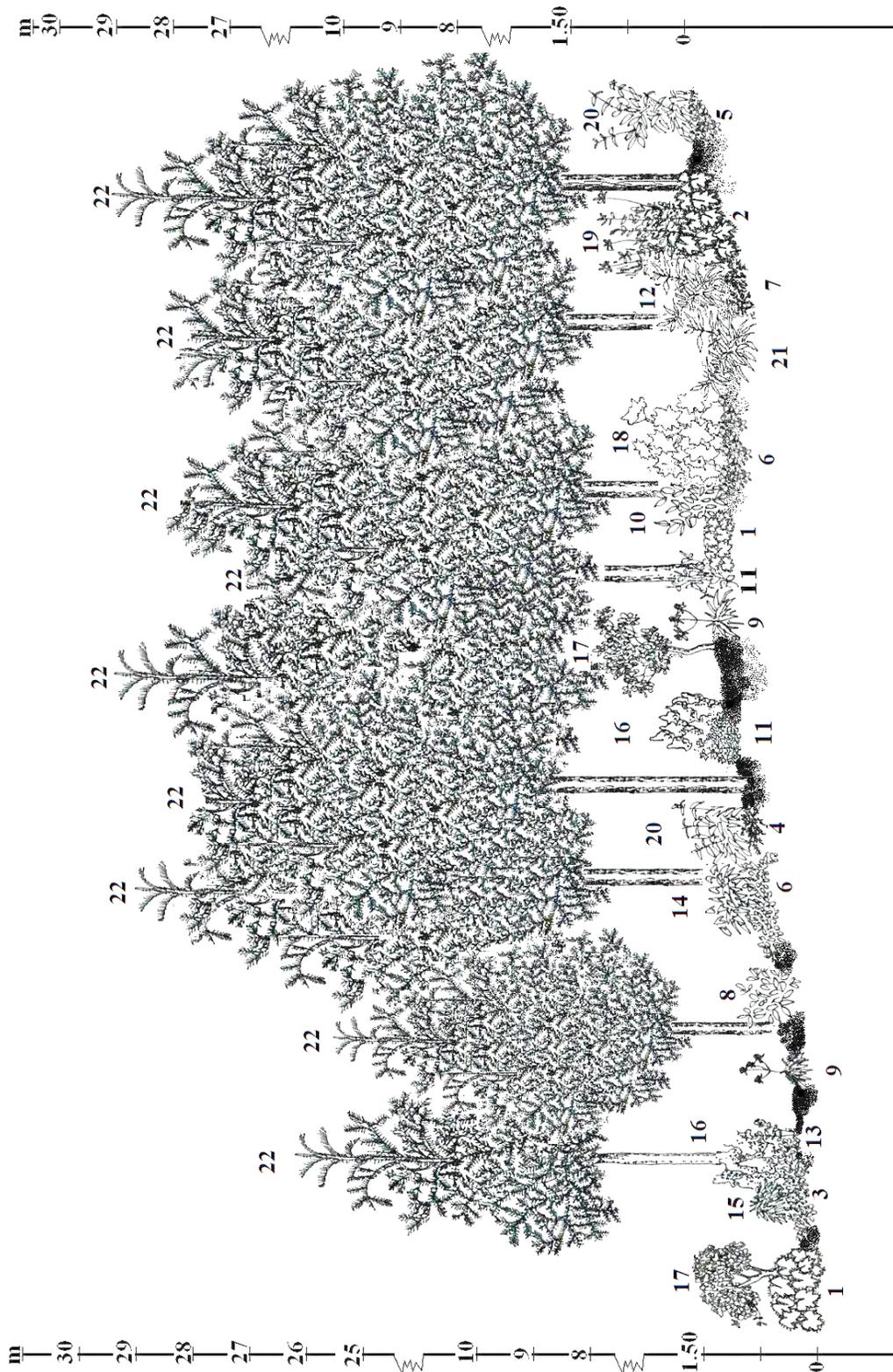


Figura 8. Etapa 5, vegetación de bosques de pinabete. Estrato herbáceo inferior 1. *Alchemilla pectinata*, 2. *Alchemilla guatemalensis*, 3. *Vesicularia vesicularis* var. *portoricensis*, 4. *Sematophyllum galipense*, y 5. *Hypnum amabile*. Estrato herbáceo superior 6. *Bidens ostruthioides*, 7. *Bidens* sp., 8. *Eryngium cymosum*, 9. *Hackelia skutchii*, 10. *Lopezia hirsuta*, 11. *Ranunculus geoides*, 12. *Salvia* sp., 13. *Senecio callosus* y 14. *Sigesbeckia jorullensis*. Estrato de arbustos 15. *Acaena elongata*, 16. *Baccharis vaccinioides*, 17. *Fuchsia striolata*, 18. *Roldana heterogama*, 19. *Salvia cinnabarina*, 20. *Stevia polycephala* y 21. *Verbesina hypoglauca*. Estrato de árboles 22. *Abies guatemalensis*

Análisis de suelos

Los resultados del análisis de suelo para los tres bosques muestran que el pH es ligeramente ácido, y que en promedio no sobrepasa el valor de 6 (Tabla 3). El fósforo es un elemento cuyos valores están por debajo del rango óptimo que es de 12 a 16 ppm, con alta variación en los valores promedio. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) tiene valores y rangos similares en los tres bosques. El %SB se encuentra en

rangos amplios que van de menos de 25 hasta 59% lo que se comprueba con los altos valores de varianza y coeficiente de variación. El %MO se encuentra en un rango de 6 a 32% está por arriba del mínimo de 5% para los suelos agrícolas. El porcentaje de nitrógeno total (%NT) tiene valores similares para los tres bosques estudiados. Como puede notarse en la última columna no hay diferencia significativa en el contenido de los parámetros estudiados del suelo en los tres bosques a través de las diferentes etapas de sucesión.

Tabla 3
Información del análisis de suelo de tres bosques de pinabete.

Sitio	Parámetro P (ppm)	Media±DS	Rango	C.V.	Sig.
Canatzaj					
	pH	5.78 ± 0.6242	4.90-6.80	10.8	N.S.
	P (ppm)	5.12 ± 3.50	2.78-15.18	72.25	N.S.
	CIC (Meq/ 100 g)	44.50 ± 13.16	22.61-69.12	29.56	N.S.
	SB (%)	28.02 ± 18.14	3.61-60.56	64.76	N.S.
	M.O (%)	17.10 ± 5.14	7.32-26.63	30.06	N.S.
	N Total (%)	0.7609 ± 0.2409	0.39-1.26	31.66	N.S.
Los Cuervos					
	pH	5.73 ± 0.5658	4.9-7.0	9.88	N.S.
	P (ppm)	5.72 ± 3.07	2.56-12.21	53.71	N.S.
	CIC (Meq/ 100 g)	41.10 ± 13.08	25.42-49.56	31.82	N.S.
	SB (%)	23.59 ± 16.92	2.9-59.46	71.76	N.S.
	M.O (%)	16.68 ± 6.60	6.06-27.29	39.59	N.S.
	N Total (%)	0.7554 ± 0.3020	0.39-1.34	39.98	N.S.
Las Nubes					
	pH	5.3 ± 0.4390	4.6-5.8	8.28	N.S.
	P (ppm)	9.70 ± 11.48	2.72-34.24	118.36	N.S.
	CIC (Meq/ 100 g)	45.02 ± 10.73	25.72-61.74	23.84	N.S.
	SB (%)	25.96 ± 18.43	1.89-56.55	70.97	N.S.
	M.O (%)	17.74 ± 9.45	6.39-31.96	53.26	N.S.
	N Total (%)	0.7508 ± 0.3432	0.34-1.30	45.72	N.S.

Consideraciones para la recuperación del área boscosa por medio de restauración ecológica

La **Figura 9** muestra de forma esquemática del lado izquierdo, como está el bosque actualmente: (a) con áreas abiertas con musgos, gramíneas, anuales y algunos arbustos; (b) más cercano al área de árboles está una faja con dominancia de arbustos; y (c) los parches de bosque. Del lado derecho se representa, el mismo esquema, mostrando los trabajos de restauración que se propone realizar: en las áreas abiertas se han establecido arbustos, que en años posteriores sirven como plantas nodrizas para establecer árboles de varias especies, con mayor proporción de pinabete. En las áreas donde ya hay arbustos, se muestra que se han sembrado especies de árboles (pino, encino, aliso y pinabete) que provienen de vivero. Este proceso si se realiza cada año y con el debido seguimiento y evaluación, puede permitir en 15 a 20 años una recuperación sustancial de estos bosques.

Discusión

El presente estudio es un ejemplo de lo que pasa en los demás bosques de la parte alta de San Marcos; donde hay una degradación histórica de las áreas originales, al cederse áreas forestales para agricultura y pastoreo de ovejas, lo cual está asentado en los anales de historia de la época colonial (**Gordillo, Muñoz, & Estrada, 2005**), que muestran que el número de cabezas de ganado ovino en el área llegó a alcanzar hasta 2 mi-

llones en el siglo XIX (**MacLeod, 1980**). También en las toponimias se nota el uso de la tierra, municipios como Ixchiguán, cuyo nombre se deriva de la planta *ixchigua* al parecer apetejada por las ovejas, pues el área fue ocupada originalmente para la crianza de este ganado (**Gall, 1999, p. 336**), cabe anotar que los pobladores locales y guarda recursos no saben a cuál planta pertenece este nombre. Una situación importante y que posiblemente ha contribuido a la conservación, es que actualmente ya no se pastorea ganado ovino; además las municipalidades y comunidades tienen una vigilancia constante.

En la degradación de los ecosistemas, las partes más afectadas son la vegetación y el suelo. La vegetación porque es la porción más evidente, especialmente en ecosistemas de bosque donde la fisonomía cambia drásticamente cuando los árboles son sustituidos por pastizales o cultivos (**Meneses-Tovar, 2011**). Por otro lado, el suelo cuyo daño inicial es menos visual, trae como producto el desbalance de ciclos biogeoquímicos, donde juega un papel importante la vida microbiana. Con esto, los minerales también se ven afectados al grado de llegar a suelos relativamente pobres en vida y en minerales aprovechables. El grado de deterioro más evidente del suelo es cuando la erosión hídrica forma cárcavas que provocan la pérdida total de los horizontes superficiales que les ha llevado cientos de años formarse (**Comisión Nacional Forestal, 2013**). En las orillas de los bosques estudiados, en áreas puntuales, se puede notar alguna formación de cárcavas, pero en su mayoría el efecto aún no ha llegado a este extremo, lo que puede atribuirse a que un alto porcentaje de las áreas, a pesar de ser abiertas, tienen musgos que retie-

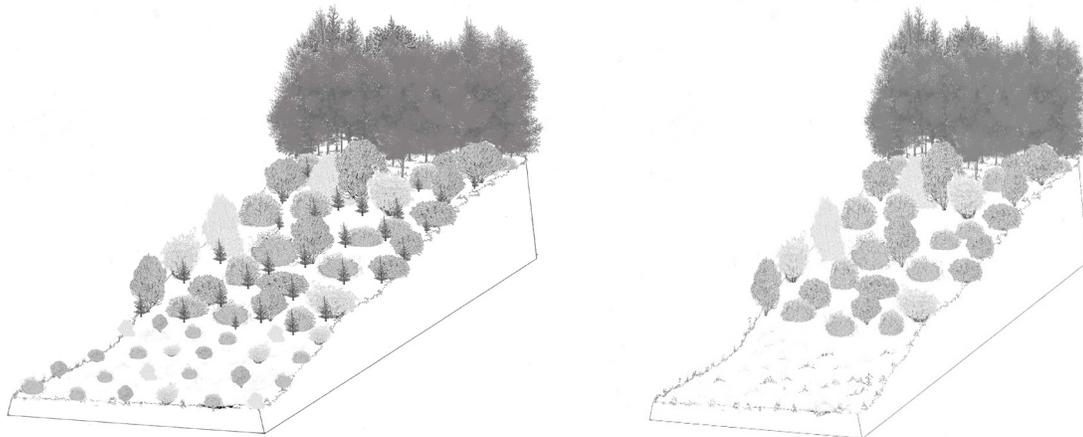


Figura 9. Esquema de área junto a bosque de pinabete sujeto a restauración ecológica.

nen agua y evitan la erosión acelerada, como ya fue señalado por [Martínez \(2013\)](#).

Con respecto a la condición química de los suelos estudiados, cabe señalar que no hay diferencia significativa en sus contenidos, sin importar la etapa de sucesión, de donde puede interpretarse que en las áreas abiertas la pérdida de suelo no ha sido extrema, situación positiva, pues esto puede ayudar mejor en la recuperación de la vegetación. Las cantidades de fósforo en la mayoría de los casos está por debajo de los mínimos, por lo que se plantea que la aplicación de abonos fosfatados debe ser considerado en el establecimiento de árboles, porque esto puede ser un factor limitante, dado que su presencia en cantidades adecuadas ayuda a los procesos fisiológicos en los que participa. Además facilita las relaciones mutualistas de microorganismos y raíces ([Segura, Castillo, & Alvarado, 2006](#)). En la CIC los valores pueden considerarse de altos a muy altos ([Fassbender, 1975](#)), lo que significa que hay una adsorción de cationes, influenciada principalmente por el contenido de materia orgánica ([Kass, 1998](#)), a pesar de que la textura de estos suelos es franco arenosa y los valores de pH ácido, teóricamente debería influir para que los valores de CIC fueran más bajos.

El %SB, muestra valores relativamente bajos (< 50%) lo que indica que las posiciones de cambio están ocupadas principalmente por H^+ y Al^{+++} , que representan la acidez intercambiable ([Fassbender, 1975](#)), esto es corroborado por los valores ácidos de pH. Por considerarse suelos pobres en nutrientes ([Kass, 1998](#)), en el manejo de estos suelos, la corrección del pH puede contribuir a dar una respuesta positiva a la aplicación de enmiendas, principalmente de nitrógeno y fósforo.

El %MO se presenta por arriba del promedio óptimo (5% se establece para suelos agrícolas) en todas las etapas de sucesión, lo que está acorde a lo señalado por [Fassbender \(1975\)](#) que indica que el contenido de materia orgánica es mayor de acuerdo con la altitud y precipitación. Sin embargo, el grado de descomposición se supone bajo, lo que es característico de los ambientes de altitud y frío, en donde aunque exista descomposición de los materiales vegetales, la mineralización es bastante lenta por factores como el pH y la temperatura. Por lo que un manejo durante la restauración ecológica es acelerar esta descomposición, para hacer disponible los nutrientes contenidos en ella.

El pinabete se comporta como semiperennifolio, siempre verde, aunque no se cuantificó, se estima que su aporte en hojarasca al suelo es bajo, posiblemente es otra razón que permite el crecimiento de plantas her-

báceas en el sotobosque, pues el suelo no se acidifica más allá de pH de 5.5.

En relación a vegetación, se puede notar que la mayoría de especies están presentes en todas las etapas de sucesión, lo que muestra el grado de intervención que han tenido estas áreas, donde el pastoreo ha facilitado su presencia, incluso en el propio bosque. Los esquemas presentados muestran la ruta de sucesión que siguen estas áreas, y que señalan el camino que debe seguirse su recuperación. Sin embargo, en esta zona la sucesión ecológica es muy lenta y como lo ha indicado [Martínez \(2013\)](#) muchas etapas están en una fase detenida, que necesita dinamizarse a partir de acciones de manejo ya que el disturbio ha llevado a que los ecosistemas pierdan gran parte de su capacidad de recuperación natural.

De acuerdo con la intención de conservación de estas áreas, con la recuperación se quisiera llevar el ecosistema hacia buscar el retorno de cómo era originalmente según la teoría inicial de la restauración ecológica ([Bradshaw, 2002](#)), sin embargo tomando en consideración varias razones prácticas esto se ha quedado solo en la teoría, posiblemente inalcanzable, así [Hobbs y colaboradores \(2014\)](#) discuten sobre una gama de escenarios los cuales se pueden alcanzar por medio de la restauración y proponen que la tendencia es a crear ecosistemas híbridos y nuevos, que ofrezcan los bienes y servicios que las poblaciones humanas requieren.

Aunque es cierto que los bosques de pinabete en Guatemala están reducidos drásticamente, al estar protegida por Cites ([Conap, 2006](#)) ha contribuido a que al menos se mantengan en un mismo tamaño desde hace más de 25 años y algunos indicios de recuperación natural se ven. En la parte alta de San Marcos, la mejor señal, de la recuperación de estas áreas es que el mayor factor de tensión sobre estos ecosistemas, que fue el pastoreo de ovejas, ha disminuido drásticamente, el número de cabezas de ganado ovino en el área llegó a alcanzar hasta 2 millones en el siglo XIX ([MacLeod, 1980](#)), y para el año 2003 para San Marcos únicamente se reportaron 130,871 cabezas que corresponde al 33% del total a nivel nacional ([Instituto Nacional de Estadística, 2005](#)). Además ahora en los bosques de pinabete se prohíbe el ingreso de ovejas. Ello ha favorecido alrededor de los bosques la sucesión ecológica, que es evidente con la regeneración de arbustos ([Martínez, 2013](#)). Con las técnicas de restauración esto se puede acelerar y provocar que la recuperación de estos bosques se más acelerada.

Sin olvidar que la restauración de ecosistemas es un proceso integral, la vegetación y el suelo ejercen una marcada influencia para la recuperación. Por ello, lo que se propone en este documento es que a partir de promover la restauración de la vegetación se mejoren indirectamente las características del suelo lo que puede traer un efecto cascada en la mejora de otras características y con ello el aumento de los bienes y servicios ecosistémicos de estos bosques (Costanza et al., 1997; Gómez, 2004). Asimismo, las condiciones de diálogo con los principales actores sociales y la gobernanza en el tema de bosques, dan la viabilidad para llevar a cabo un proceso de recuperación (Martínez, Pérez, Rivera, & Velásquez, 2013). Es importante indicar que acciones como las planteadas aquí ya se están tratando de poner en marcha en el área y tanto las municipalidades, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales y las comunidades están jugando un papel principal.

La degradación producida por siglos, que puede comprobarse con en el tamaño actual de los bosques de pinabete, unido al clima del área, hacen que la restauración sea todo un reto, pues junto a lo anterior las especies forestales son de lento crecimiento. Si se toma en cuenta, que cada año la disponibilidad de árboles en almacigo en cantidad y calidad es escasa, pues la capacidad de los viveros locales es baja, el enriquecimiento con especies arbustivas y arbóreas alrededor de bosques de pinabete es lento. Con una proyección de establecimiento anual de al menos 4 ha por año, en 20 años puede haberse recuperado aunque sea un porcentaje pequeño de área. Si la capacidad de los viveros pudiera mejorarse, las metas señaladas podrían superarse.

Esta investigación contribuye a la sistematización de la información de recuperación de bosques en Guatemala, que es importante para estar preparados como país, en las acciones del ámbito mundial, ya que tanto la Convención de Diversidad Biológica como la de Cambio Climático han llegado a la conclusión que la restauración es una de las mejores acciones para la recuperación de bosques. Así se contribuye a alcanzar las metas *Aichi* de diversidad biológica, en especial la meta 15, planteadas por la Secretaría del **Convenio sobre la Diversidad Biológica (2011)**, a partir de las cuales han resultado compromisos como el *Desafío de Bonn* (Global Partnership of Forest Landscape Restoration, 2011) que plantea la oportunidad mundial para la restauración de bosques hacia el año 2020 y el compromiso en el foro mundial de bosques de Nueva York en 2014, donde Guatemala se ha comprometido con la restauración de 1.2 millones de ha de 2014 al 2030 (Suding et al., 2015).

Las acciones que se plantean en este documento, para la recuperación de los alrededores de los bosques de pinabete, es solo la parte central de la ejecución de un plan de restauración ecológica, en su totalidad este proceso se integra de varios pasos, Vargas (2007) propone 13, Maginnis y Jackson (2005) 16; en ambos casos los aspectos centrales son las prácticas de campo dentro de las que están el enriquecimiento con especies de la sucesión ecológica del área, tal como se plantea en este trabajo. Por lo que la propuesta de este documento puede adaptarse a cualquiera de los esquemas mencionados. Tomando en consideración que en la teoría se proponen varias formas de recuperación de ecosistemas, algunas asociadas hacia la conservación y otras hacia la oferta de bienes y servicios, siguiendo las ideas de Suding y colaboradores (2015) se proponen cuatro principios que se tienen que alcanzar: (a) la restauración debe incrementar la integridad ecológica, (b) la restauración tiene que ser sustentable en el largo plazo, (c) la restauración es informada por el pasado y futuro de los ecosistemas, y, (d) los beneficios de la restauración involucran a la sociedad.

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 encargado de Pinabete Región VI-3 del Inab, por el acompañamiento en los trabajos de campo. Al Ing. Agr. Carlos Godínez por la elaboración de los dibujos. Se agradece al Fondo 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

- Andersen, U. S., Prado, J. P., Sorensen, M., Nielsen, U. B., Olsen, C. S., Nielsen, C., ... Kollmann, J. (2008). Conservation through utilization: A case study of the vulnerable *Abies guatemalensis* in Guatemala. *Oryx*, 42(2), 206-213. doi:10.1017/S0030605308007588
- Bradshaw, A. D. (2002). Introduction and Philosophy. En M. R. Perrow & A. J. Davy (Eds.), *Handbook of ecology restoration*, (Vol.1 Principles of

- Restoration, pp. 3-9).). United Kingdom: Cambridge Press.
- Comisión Nacional Forestal. (2013). *Línea base de degradación de tierras y desertificación. Informe final*. Zapopan, Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma de Chapingo. Recuperado de <http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/fomento/documentos/degradacion-tierras-desertificacion2.pdf>
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2006). *Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Listado de especies de flora y fauna silvestres CITES de Guatemala*. Guatemala: Autor, CITES.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2008). *Diagnóstico del contexto institucional, ambiental y forestal para la conservación y fomento de los bosques naturales y plantaciones de Pinabete (Abies guatemalensis Rehder)*. Guatemala: Autor.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Instituto Nacional de Bosques. (1999). *Diagnóstico de las poblaciones naturales de pinabete (Abies guatemalensis R.) en Guatemala y estrategia para su conservación*. Guatemala: Autor.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Fassbender, H. W. (1975). *Química de suelos con énfasis en los suelos de América Latina*. Turrialba, Costa Rica: Instituto Interamericano para la Agricultura.
- Gall, F. (1999). *Diccionario Geográfico de Guatemala (Tomo 2) [CD]*. Guatemala: Instituto Geográfico Nacional.
- Global Partnership of Forest Landscape Restoration (2011). *The Bonn Challenge and landscape restoration*. Washington, DC: UICN. Recuperado de http://www.forestlandscaperestoration.org/sites/default/files/topic/the_bonn_challenge.pdf
- Gómez, L. (2004). *Valoración de bienes y servicios ambientales en los bosques naturales de pinabete (Abies guatemalensis Rehder), en tres regímenes de propiedad, de los municipios san José Ojetenam, San Cristóbal Ixchiguán y Concepción Tutuapa, San Marcos* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Noroccidente, Quetzaltenango, Guatemala.
- Gordillo, E., Muñoz, M. del C., & Estrada, J. C. (2005). *Libro de texto universitario sobre Historia de Guatemala: Época Colonial, 1524-1821 (Inf-2005-025)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Instituto de Investigaciones Históricas, Antropológicas y Arqueológicas.
- Hobbs, R. J., Higgs, E., Hall, C. M., Bridgewater, P., Chapin III, F. S., Ellis, E. C., ... Yung, L. (2014). Managing the whole landscape: Historical, hybrid, and novel ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(10), 557-564. doi:10.1890/1303000
- Ignosh, J. P. & Kilgore, M. A. (2005). *Pinabete one opportunity towards the sustainable development of the Guatemalan highlands*. Staff paper series No. 185, Department of Forest Resources. Minnesota, USA: The University of Minnesota. Recuperado de ww2.bse.vt.edu/green/.../cfans_asset_184716.pdf
- Instituto Nacional de Estadística. (2005). *IV censo nacional agropecuario. Número de fincas censales, existencia animal, producción pecuaria y características complementarias de la finca censal y del productor(a) agropecuario (Tomo 4)*. Guatemala: Autor.
- Jaramillo-Correa, J. P., Aguirre-Planter, E., Khasa, D. P., Eguiarte, L. E., Piñero, D., Furnier, J. R., & Bousquet, J. (2008). Ancestry and divergence of subtropical montane forest isolates: Molecular biogeography of the genus *Abies* (Pinaceae) in southern Mexico and Guatemala. *Molecular Ecology*, 17(10), 2476-2490. doi: 10.1111/j.1365-294X.2008.03762.
- Kass, D. C. (1998). *Fertilidad de suelos*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Nacional a Distancia.
- MacLeod, M. J. (1980). *Historia socioeconómica de la América Central Española 1520-1720*. Guatemala: Piedra Santa.
- Maginnis, S., & Jackson W. (2005). ¿En qué consiste la RPF y cómo se diferencia de los métodos actuales? En Organización Internacional de las

- Maderas Tropicales. *Restaurando el paisaje forestal: Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales* (Serie técnica OIMT No. 23, pp. 16-26). Japón: Organización Internacional de las Maderas Tropicales, Unión Mundial para 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, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- Martínez, J. V., Pérez, M., Rivera, 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.
- Matteucci, S. D. & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación* (Serie de biología, Monografía No. 22). Washington, D.C.: Organization of American States.
- Meneses-Tovar, C. L. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasyuva*, 238(622), 39-46.
- Montenegro, A. L., & Vargas R., O. (2008). Caracterización de bordes de bosque altoandino e implicaciones para la restauración ecológica en la Reserva Forestal de Cogua (Colombia). *Revista Biología Tropical*, 56(3), 1543-1556.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2011). *Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 y las Metas de Aichi*. Montreal, Quebec: PNUMA. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/strategic-plan/2011-2020/Aichi-Targets-ES.pdf>
- Segura, M., Castillo, A., & Alvarado, A. (2006). Efecto de la fertilización con fósforo sobre la nodulación de Frankia en plantaciones de *Alnus acuminata* en andisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 30(1), 43-52.
- Suding, K., Higgs, E., Palmer, M., Callicott, J. B., Anderson, Ch. B., Baker, M., ... Schwartz, K. Z. (2015). Committing to ecological restoration: Efforts around the globe need legal and policy clarification. *Science*, 348(6235), 638-640. doi: 10.1126/science.aaa4216
- Vargas, O. (Ed.). (2007). *Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Colombia: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_46/file/Guia%20Metodologica.pdf
- Vila, J., Varga, D., Llausàs, A., Ribas, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (*landscape ecology*). Una interpretación desde la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 48, 151-166. Recuperado de http://web2.udg.edu/aigua/material/Conceptos%20y%20m%C3%A9todos%20fundamentales%20en%20ecolog%C3%ADa%20del%20paisaje_DAG_48_2006.pdf

Aplicación del índice de calidad de suelos en plantaciones forestales de palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) y Matiliguatate (*Tabebuia rosea* Bertol) en Guatemala

Eddi A. Vanegas-Chacón*, Boris A. Méndez-Paiz

Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

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

Recibido: 31 de enero 2016 / Revisión: 24 de abril 2016 / Aceptado: 30 de mayo 2015 / Disponible en línea: 01 de agosto 2016

Resumen

El desarrollo forestal y el manejo sostenible de los ecosistemas forestales se fundamentan en la forestación, propiciada por la Ley de Fomento al Establecimiento, Recuperación, Restauración, Producción y Protección de Bosques en Guatemala, Probosques. Por lo que reviste importancia el conocimiento de las características edáficas de sitio que garanticen el establecimiento y desarrollo de las plantaciones forestales. Esta investigación presenta una aplicación del índice de calidad de suelos forestales (SQI) desarrollado por el Departamento de Agricultura y Servicio Forestal de los Estados Unidos de América, para calificar sitios forestales con base en propiedades fisicoquímicas de los suelos. Se evaluaron 22 sitios forestales ubicados tanto en la parte norte como sur del país, con plantaciones jóvenes de palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) y matiliguatate (*Tabebuia rosea* Bertol). Los sitios fueron categorizados en clase I (SQI = 90%); clase II (SQI = 75%); clase III (SQI = 70%); clase IV (SQI = 65%) y clase V (SQI = 55%), lo anterior con objeto de describir condiciones edáficas de sitio, que contribuyan al éxito del establecimiento de plantaciones forestales en el país. Se concluye que el SQI es una herramienta práctica que permitió agrupar sitios en términos edafológicos, lo que puede utilizarse con múltiples fines para optimizar la productividad de las tierras forestales en el país.

Palabras claves: Uso de tierras forestales; suelos forestales; propiedades fisicoquímicas del suelo

Abstract

Forestry development and sustainable management of forest ecosystems are based on forestry, organized by the Law for the Promotion of Establishment, Recovery, Restoration, Production and Protection of Forests in Guatemala, called Probosques. Therefore, it is important to generate knowledge of edaphic site features, that ensure the establishment and growth of forest plantations. This research presents an application of the Soil Forest Quality Index (SQI) developed by the Department of Agriculture and Forest Service of the United States of America, to qualify forest sites based on physico-chemical soil properties. Twenty-two forest sites located on both the north and south of the country, with young plantations of white wood (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) and Matiliguatate (*Tabebuia rosea* Bertol) were evaluated. The sites were categorized into Class I (SQI = 90%); Class II (SQI = 75%); Class III (SQI = 70%); Class IV (SQI = 65%) and Class V (SQI = 55%), the above in order to describe edaphic site conditions that contribute to the successful establishment of forest plantations in the country. It is concluded that the SQI is a practical tool that allowed group sites in pedological terms, which can be used for multiple purposes to optimize productivity of forest land in the country.

Keywords: Forest land use; forest soils; soil physicochemical properties



Introducción

Los suelos forestales, descritos como aquellos que sustentan masas boscosas naturales o plantadas con fines productivos o de conservación (Fisher, Fox, Harrison, & Terry, 2005), son ecosistemas de alta diversidad que requieren un manejo cuidadoso para garantizar su sostenibilidad, por su importancia en la conservación de suelos y recarga hídrica (Neary, Ice, & Jackson, 2009), así como, por los retos que conlleva la adaptación al cambio climático (Guariguata, 2009; Lal, 2004). Las características fisicoquímicas y biológicas que definen la calidad de los suelos, tanto en el área de los cultivos agrícolas (Doran & Parkin, 1996; García, Ramírez, & Sánchez, 2012), como en la producción forestal, agroforestal y silvopastoril (Moffat, 2003; Sánchez et al., 2011; Schoenholtz, Van Miegroetb, & Burger, 2000) son la densidad aparente, profundidad, textura, pH, materia orgánica, nitrógeno total, cationes intercambiables, micro y macro organismos del suelo. De esta manera, la evaluación de la calidad de los suelos agrícolas o forestales de forma cronológica, proporciona información sobre la sostenibilidad de la actividad productiva en las tierras rurales (Shukla, Lal, & Ebinger 2006). Aun cuando en Guatemala no existen indicadores locales que expliquen la calidad de los suelos con múltiples fines de uso y manejo, los estudios semidetallados de suelos y capacidad de uso de las tierras desarrollados recientemente en el país, por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia (2010, 2013) y el Instituto Nacional de Bosques (Inab) en el 2000 indicaron como propiedades fisicoquímicas de calificación: la pendiente, profundidad, pedregosidad, drenaje, pH, clase textural, macronutrientes, materia orgánica, mineralogía y criterios taxonómicos. La Universidad Rafael Landívar, a través del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (2012) enfatiza que la vocación de las tierras en el país es agrícola entre 33 y 37%, forestal entre 63 y 67%, y un 5% exclusivamente para protección. Sin embargo, las presiones sociales sobre el acceso a las tierras rurales e incremento de los cambios de uso de la tierra con múltiples fines (Díaz, 2015; Hurtado, 2014), condujeron año con año a la reducción de las masas boscosas naturales y, a que las reforestaciones con plantaciones, en su mayoría, fueran llevadas a tierras marginales. A nivel nacional, pocos son los estudios que en términos científicos describen la calificación de sitios forestales para especies nativas (Vanegas, 2009; Vanegas & Méndez, 2011; Vela,

2006), por lo que reviste importancia caracterizar sitios en términos edafológicos, para incrementar las posibilidades de éxito en el cultivo de plantaciones forestales, particularmente cuando se trata de especies cuyos requerimientos de sitio son poco conocidos. El objetivo de esta investigación fue evaluar la viabilidad de aplicar el índice de calidad de suelos forestales (SQI), según Amacher, O'Neill y Perry (2007) para calificar sitios en Guatemala con base en propiedades fisicoquímicas de suelos, en plantaciones con palo blanco y matiliguatú ubicadas en diversos sitios en las tierras bajas y húmedas del país.

Materiales y métodos

En cada uno de los 22 sitios forestales, se tomó una muestra compuesta de suelos en forma aleatoria, en el estrato 0-30 cm en plantaciones forestales de palo blanco y matiliguatú, ubicadas tanto en la parte norte como sur del país. Aunque variable, la edad de las plantaciones era menor a 10 años, estas plantaciones fueron establecidas con fondos del Programa de Incentivos Forestales, coordinado por el Inab. La ubicación de las plantaciones por especie forestal, se resume en la Tabla 1. Los análisis de suelos fueron realizados en el Laboratorio de Suelo-Agua-Planta de la Facultad de Agronomía de la Universidad San Carlos de Guatemala, se determinó densidad aparente (D_a) en g/cm^3 por el método del cilindro de volumen conocido; fragmento grueso (%) por tamizado; pH por el método del potenciómetro con relación suelo:agua 1:2.5; carbono orgánico (COS en %) como 0.58 de la materia orgánica, por el método Walkey-Black por oxidación húmeda con dicromato de potasio; nitrógeno total (NT en %) por el método Kjeldahl; calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K) en mg/Kg; extraídos con acetato de amonio y determinados por espectrometría de absorción atómica; el K intercambiable fue determinado por emisión de llama; porcentaje intercambiable de Na por la ecuación $(Na/CIC) * 100$; capacidad de intercambio catiónico (CIC) por saturación en cloruro de sodio 1N, manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn) en mg/Kg, extraídos por el método Mehlich I y determinados por absorción atómica; y fósforo (P) disponible en mg/Kg, extraído por Mehlich I y determinado por colorimetría, según guías metodológicas de McKean (1993).

Las propiedades descritas constituyen 14 de las 19 propiedades requeridas por el SQI. Las propiedades no cuantificadas en este estudio fueron: cadmio (Cd),

Tabla 1

Ubicación de las plantaciones por especie forestal, departamento, municipio y zona de vida

No	Especie	Municipio	Departamento	Orden Suelos	Zona de Vida
1	Palo Blanco	Purulhá	Baja Verapaz	Entisol	bmh-S(c)
2	Palo Blanco	San Pedro Carchá	Alta Verapaz	Ultisol	bmh-S(f)
3	Palo Blanco	San Vicente Pacaya	Escuintla	Andisol	bmh-S(c)
4	Palo Blanco	Guanagazapa	Escuintla	Entisol	bmh-S(c)
5	Palo Blanco	Santo Domingo	Suchitépquez	Andisol	bmh-S(c)
6	Palo Blanco	Sayaxché	El Petén	Molisol	bmh-S(c)
7	Palo Blanco	Flores	El Petén	Molisol	bh-S (c)
8	Palo Blanco	San Luis	El Petén	Alfisol	bmh-S(c)
9	Palo Blanco	Raxuhá	Alta Verapaz	Entisol	bmh-S(c)
10	Palo Blanco	Fray Bartolomé	Alta Verapaz	Alfisol	bmh-S(c)
11	Palo Blanco	Livingston	Izabal	Alfisol	bmh-T
12	Matiliguat	Purulhá	Baja Verapaz	Ultisol	bp-MB
13	Matiliguat	Chiquimula	Chiquimula	Entisol	bs-S
14	Matiliguat	Fray Bartolomé	Alta Verapaz	Alfisol	bmh-S(c)
15	Matiliguat	Colomba Costa Cuca	Quetzalteango	Andisol	bmh-MB
16	Matiliguat	Mopán Flores	El Petén	Molisol	bh-S (c)
17	Matiliguat	Poptún	El Petén	Molisol	bmh-S(c)
18	Matiliguat	Santa Ana	El Petén	Entisol	bmh-S(c)
19	Matiliguat	Raxuhá	Alta Verapaz	Entisol	bmh-S(c)
20	Matiliguat	Patulul	Suchitépquez	Andisol	bmh-S(c)
21	Matiliguat	Escuintla	Escuintla	Molisol	bmh-S(c)
22	Matiliguat	El Estor	Izabal	Entisol	bmh-S(c)

Nota. bs-S = Bosque seco subtropical; bmh-S(f) = Bosque muy húmedo subtropical (frío); bmh-S (c) = Bosque muy húmedo subtropical (cálido); bh-S (c) = Bosque húmedo subtropical (cálido); bmh-T = Bosque muy húmedo tropical; bp-MB = Bosque pluvial montano bajo subtropical.

plomo (Pb), níquel (Ni), azufre (S) y aluminio (Al). El SQI se define como:

El SQI asigna valores ordinales 0, 1 y 2; a umbrales del valor de las propiedades fisicoquímicas del suelo. La sumatoria del valor máximo asignado a las

$$SQI(\%) = \frac{\text{Sumatoria de los valores asignados a las propiedades del suelo}}{\text{Total máximo de unidades en función del número de propiedades}} * 100$$

propiedades del suelo, cuando se tienen las 19 propiedades, es 26 unidades, en el caso de esta investigación es 20. Entonces el SQI se expresa como valor porcentual (1 a 100%) de la sumatoria de los valores asignados y el máximo total en función del número de propiedades evaluadas. Es decir, que las propiedades faltantes no contribuyen al índice, sin embargo, se recomienda utilizar la mayor cantidad de las 19 propiedades, para obtener resultados de mayor confiabilidad (Amacher et al., 2007). Por análisis de componentes principales se determinó las propiedades fisicoquímicas que en dos

factores explicaron en más de 75% la asignación porcentual del SQI y finalmente con base en los resultados del SQI se realizó una agrupación jerárquica aglomerativa, para el análisis de la información se utilizó el programa de cómputo XLSTAT 2015.

Resultados

Los resultados del análisis de las muestras de suelos, por especie forestal y sitio se presentan en la **Tabla 2**. Son suelos con densidades aparentes entre 0.88 a 1.08 g/cm³, excepto los sitios de Purulhá con valor promedio de 1.64 g/cm³, en ninguno de los casos se observó compactación. pH en su mayoría neutro (6.5 a 7.5) y ligeramente alcalino en los sitios ubicados en Petén y Las Verapaces (7.7 a 7.9), COS del suelo, moderado, excepto los sitios de Purulhá y Mopán Flores que presentaron valores altos (> 5%). Porcentaje de Na intercambiable bajo, cationes intercambiables moderados y P bajo. Los resultados del SQI, se sintetizan en la **Tabla 3**. Puede observarse que los sitios donde se plantó palo blanco en promedio presentaron menor SQI (71.36%) en relación a aquellos plantadas con matiliguaté (74.54%). Las propiedades fisicoquímicas del suelo que explicaron en más de 75% la asignación porcentual del valor del SQI fueron el pH, el COS, el Ca y el porcentaje de Na intercambiable, **Figura 1**. Los resultados de la clusterización aglomerativa jerárquica

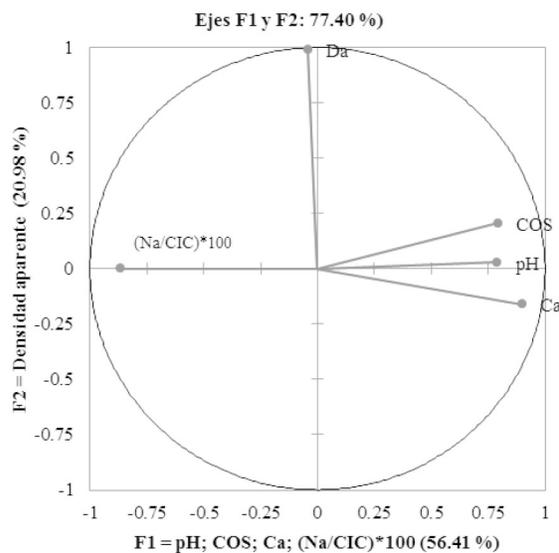


Figura 1. Contribución de las propiedades fisicoquímicas a la asignación del valor porcentual del SQI.

se presentan en la **Tabla 4**, los sitios forestales fueron agrupadas en cinco clases de calidad en función del SQI, Clase I (SQI = 90%); Clase II (SQI = 75%); Clase III (SQI = 70%); Clase IV (SQI = 65%) y Clase V (SQI = 55%).

Discusión

Por su ubicación geográfica, los sitios muestreados pueden agruparse en la parte norte Mopán Flores, San Luis, Santa Ana, Poptún, Sayaxché, Raxhujá, Fray Bartolomé, Purulhá, San Pedro Carchá; en la parte nororiente Livingston y Chiquimula; en la parte sur San Vicente Pacaya, Guanagazapa, Patulul y Santo Domingo; y en la parte sureste Colomba Costa Cuca. Se trata de suelos minerales, no compactados (Alvarado-Hernández & Forsythe-Hudson, 2005; La Manna, 2005). Valores de pH ligeramente ácidos a neutros (Acevedo-Sandoval, Valera-Perez, & Prieto-García, 2010), COS de moderado a alto, nitrógeno total moderado (Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008) porcentaje de Na intercambiable bajo, bases moderadas (Mata-Fernández, Rodríguez-Gamiño, López-Blanco, & Vela-Correa, 2014), Mn, Fe, Cu y Zn, moderados y P bajo (Fernández & Mendoza, 2008). El SQI de los sitios ubicados en el norte del país corresponde a un valor promedio de 72.5%, sin embargo, con variación entre 55 a 90%; en el nororiente 72.5%; sur 74%, con muy poca variación con valores entre 70 y 75%; sureste 55%. La variabilidad de los valores obtenidos en la parte norte, se explica por la condición orográfica y geológica de la región (Aguilar, Aguilar, & Aguilar, 2010). Las propiedades fisicoquímicas del suelo que explican en 77.4%, la asignación porcentual del valor del SQI fueron el pH, COS, Ca y el porcentaje de Na intercambiable (aunque este último parámetro, muy por debajo del valor crítico de 15%), resultados similares fueron reportados por Boussougou, Brais, Tremblay y Gaussiran (2010) quienes determinaron que pérdidas en el contenido del COS y compactación de los suelos (baja porosidad y alta humedad a capacidad de campo) fueron factores que impactaron directamente el crecimiento arbóreo en bosques manejados. La agrupación aglomerativa jerárquica, calificó los sitios forestales en cinco clases descritas a continuación, según los ecosistemas de Guatemala, con base en las Zonas de Vida (Aguilar et al., 2010):

Clase I (SQI = 90%). Ultisoles de bp-MB, suelos húmedos de montaña, típicos de vegetación latifoliada, profundos, bien desarrollados. Mollisoles de bh-S(c) y

bmh-S(c), suelos de sabana, bosques y selva, profundos, bien formados, con altos contenidos de materia orgánica. Regímenes de precipitación bp-MB mayor a los 4 000 mm/año; y bmh-S(c) 2,000 a 4,000 mm/año.

Clase II (SQI = 75%). Andisoles de bmh-S(c), suelos volcánicos, piroclásticos, aluviales y coaluviales, ricos en elementos vítreos, buena retención de humedad y alta fijación de P. Entisoles de bmh-S(c), suelos alu-

viales, poco desarrollados, sin horizonte de diagnóstico. Alfisol de bmh-S(c) y bmh-T, suelos de colina en el norte y desarrollados sobre esquistos en el noroeste, con horizonte de iluviación. Mosilol de bmh-S(c), en este caso combina suelos de la parte norte y Costa Sur del país, profundos, ricos en materia orgánica. Regímenes de precipitación para bmh-S(c) 2,000 a 4,000 mm/año; y bmh-T 4,200 a 5,700 mm/año.

Tabla 2

Análisis de las muestras de suelos, por especie forestal y sitio individual

Sitio	Da g/cc	Fragmento grueso %	pH	COS %	NT %	(Na/ CIC) *100 %	K mg/kg	Mg mg/kg	Ca mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	P mg/kg
Plantaciones de palo blanco														
Purulhá	1.60	<50%	7.6	6.2	0.34	0.86	140.4	1776.0	2694	3.0	0.1	0.1	0.5	2.37
San Pedro Carchá	0.88	<50%	5.5	3.3	0.37	1.61	210.6	236.4	1148	107.5	8.5	1.0	1.5	2.60
San Vicente Pacaya	1.08	<50%	6.2	4.8	0.5	1.08	191.1	138.8	1596	5.0	2.0	0.1	2.5	6.78
Guanagazapa	1.05	<50%	6.1	2.9	0.34	1.04	159.9	350.4	2196	11.0	2.0	0.1	2.0	2.81
Santo Domingo	1.08	<50%	6.1	2.1	0.26	1.66	269.1	212.4	1098	12.5	45.0	1.5	3.5	3.05
Sayaxché	0.9	<50%	7.7	4.0	0.41	0.92	538.2	390.0	10230	10.0	0.1	0.1	0.1	2.83
Flores	0.93	<50%	7.7	6.5	0.78	0.54	768.3	670.8	14222	0.1	0.1	0.1	0.1	1.67
San Luis	0.95	<50%	7.9	2.9	0.36	0.98	510.9	285.6	12974	0.1	0.1	0.5	0.1	0.10
Raxuhá	0.88	<50%	5.5	3.3	0.37	1.61	210.6	236.4	1148	107.5	8.5	1.0	1.5	2.60
Fray Bartolomé	0.97	<50%	5.5	1.5	0.42	1.44	378.3	241.2	1846	52.5	8.0	1.0	1.5	2.03
Livingston	1.00	<50%	5.9	2.2	0.36	2.24	128.7	202.8	1696	18.5	5.0	1.0	1.5	5.90
Plantaciones de matilisguate														
Purulhá	1.67	< 50%	5.9	6.62	0.57	0.8	198.9	888	6986	36	2.5	0.5	1	13.93
Chiquimula	1.33	<50%	6.0	1.15	0.23	2.24	288.6	345.6	1546	32.5	9	2	3.5	6.15
Fray Bartolomé	0.97	<50%	5.9	1.51	0.42	1.44	378.3	241.2	1846	52.5	8	1	1.5	2.03
Colomba Costa Cuca	1.21	<50%	5.4	2.31	0.28	3.11	101.4	34.8	300	10.5	15.5	5	1	7.9
Mopán Flores	0.93	<50%	6.3	11.08	0.42	0.69	588.9	1208.4	11726	31	4	0.1	2	6.04
Poptún	1.02	<50%	6.4	5.64	0.53	1.33	191.1	908.4	11726	10	1	0.1	1	2.25
Santa Ana	1.00	<50%	5.0	2.62	0.24	1.58	70.2	79.2	798	9.5	5	0.1	0.1	1.8
Raxhujá	1.33	<50%	6.0	1.15	0.23	2.24	288.6	345.6	1546	32.5	9	2	3.5	6.15
Patulul	1.00	<50%	6.1	2.59	0.23	1.48	280.8	474	1846	28.5	32	1	2	3.73
Escuintla	0.95	<50%	6.1	2.48	0.28	1.85	140.4	487.2	1872	36	132.5	2	1.5	3.5
El Estor	1.05	<50%	5.8	2.51	0.37	1.72	128.7	168	1846	18.5	11.5	1	1.5	3.55

Tabla 3
Aplicación del índice de calidad de suelos forestales, SQI

Sitio	Da	Fragmento grueso	pH	COS	NT	(Na/CIC) *100	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	P	SQI (%)
Plantaciones de Palo Blanco															
Purulhá	0	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	0	0	70
San Pedro Carchá	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	0	65
San Vicente Pacaya	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	75
Guanagazapa	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	75
Santo Domingo	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	0	70
Sayaxché	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	0	0	70
Flores	1	1	1	2	2	1	2	2	2	0	1	1	0	0	80
San Luis	1	1	1	1	1	1	2	1	2	0	1	1	0	0	65
Raxuhá	1	1	2	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	0	70
Fray Bartolomé	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	70
Livingston	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	75
Plantaciones de Matlisguate															
Purulhá	0	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	90
Chiquimula	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	0	70
Fray Bartolomé	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	75
Colomba Costa Cuca	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	55
Mopán Flores	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	0	90
Poptún	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	0	90
Santa Ana	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	55
Raxhujá	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	0	70
Patulul	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	0	1	0	75
Escuintla	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	0	1	0	75
El Estor	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	75

Clase III (SQI = 70%). Entisol de bs-S, suelos coluviales, asociados a clima seco, subhúmedo, poco desarrollados. Entisol de bmh-S(c), suelos aluviales, poco desarrollados, sin horizonte de diagnóstico. Andisol bmh-S(c), en este caso típico de la costa sur, suelos sobre materiales fluviovolcánicos recientes a elevaciones medias. Molisol bmh-S(c), suelos de sabana. Regí-

menes de precipitación para bs-S 500 a 1,000 mm/año; y bmh-S(c) 2,000 a 4,000 mm/año.

Clase IV (SQI = 65%). Alfisol de bmh-S(c), suelos de la planicie baja de Petén, Ultisol bmh-S(f) suelos transicionales volcánicos-calizos de altitud. Regímenes de precipitación bmh-S(c) y bmh-S(f), ambos con 2,000 a 4,000 mm/año.

Tabla 4
Agrupación aglomerativa jerárquica de la calidad de sitio por SQI

SQI = 90%	SQI = 75%	SQI = 70%	SQI = 65%	SQI = 55%
Purulhá MT	San Vicente Pacaya	Purulha PB	San Pedro Carchá	Colomba Costa Cuca
Mopán Flores	Guanagazapa	Santo Domingo	San Luis	Santa Ana
Poptún	Flores	Sayaxché		
	Livingston	Raxuhá PB		
	Fray Bartolomé MT	Fray Bartolomé PB		
	Patulul	Chiquimula		
	Escuintla	Raxuhá MT		
	El Estor			

Nota. PB = palo blanco; MT = matilisguate

Clase V (SQI = 55%). Entisol de bmh-S(c), suelos de sabana, poco profundos; Andisol de bmh-MB, suelos derivados de cenizas volcánicas. Regímenes de precipitación bmh-S(c) 2,000 a 4,000 mm/año; y bmh-MB 1,000 a 2,000 mm/año.

Se concluye que el SQI es una herramienta práctica que a través del análisis de propiedades fisicoquímicas del suelo, permite calificar sitios en función de su potencial edafológico para contribuir al éxito del establecimiento de plantaciones forestales.

Referencias

- Aguilar, M. A., Aguilar, J. M., & Aguilar, J. A. (2010). *Ecosistemas de Guatemala: Un enfoque por zonas de vida*. Guatemala: Don Bosco.
- Acevedo-Sandoval, O., Valera-Perez, M. A., & Prieto-García, F. (2010). Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlán, Hidalgo, México. *Universidad y Ciencia*, 26(2), 137-150.
- Alvarado-Hernández, A., & Forsythe-Hudson, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 85-94.
- Amacher, M. C., O'Neil, K. P., & Perry, C. H. (2007). *Soil vital signs: A new Soil Quality Index (SQI) for assessing forest soil health* (Research Paper RMRS-RP-65WWW). Fort Collins, Colorado: United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Boussougou, I. N., Brais, S., Tremblay, F., & Gaussiran, S. (2010). Soil quality and tree growth in plantations of forest and agricultural origin. *Soil Science Society of America Journal*, 74 (3), 993-1000. doi:10.2136/sssaj2009.0264.
- Díaz, M. E. (2015). *Evaluación y valoración de tierras rurales en el marco de las políticas agrarias de Guatemala* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia, Programa DOCINADE, Guatemala.
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1996). Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. In J. W. Doran & A. J. Jones (Eds.), *Methods for assessing soil quality* (SSSA Special Publication N° 49). Wisconsin, United States: Soil Science Society of America. doi:10.2136/sssaspepub49.c2
- Fernández, C., & Mendoza, R. (2008). Evaluación del fósforo disponible mediante tres métodos en distintos suelos y manejos productivos. *Ciencia del Suelo*, 26(1), 13-27.
- Fisher, R. F., Fox, T. R., Harrison, R. B., & Terry, T. (2005). Forest soils education and research: Trends, needs, and wild ideas. *Forest Ecology and Management*, 220(1), 1-16. doi:10.1016/j.foreco.2005.08.001
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.

- Guariguata, M. (2009). El manejo forestal en el contexto de la adaptación al cambio climático. *Revista de Estudios Sociales*, 32, 98-113.
- Instituto Nacional de Bosques. (2000). *Clasificación de tierras por capacidad de uso. Aplicación de una metodología para tierras de la República de Guatemala*. Guatemala: Autor.
- Hurtado, L. (2014). *La histórica disputa de las tierras del valle del Polochic: Estudio sobre la propiedad agraria*. Guatemala: Serviprensa.
- La Manna, L. (2005). Caracterización de los suelos bajo bosque de *Austrocedrus chilensis* a través de un gradiente climático y topográfico en Chubut, Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 26(2), 137-153.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2), 1-22. doi:10.1016/j.geoderma.2004.01.032
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista Ciencias del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68-96.
- Mata-Fernández, I., Rodríguez-Gamiño, M. L., López-Blanco, J., & Vela-Correa, G. H. (2014). Dinámica de la salinidad de los suelos. *e-Bios*, 1(5), 26-35.
- Mckean, S. J. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: una guía teórica y práctica de metodologías (Documento de Trabajo No. 129). Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2010). *Estudio semi-detallado de los suelos y capacidad de uso de las tierras del departamento de Chimaltenango*. Guatemala: Autor.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2013). *Estudio semidetallado de los suelos y capacidad de uso de las tierras del departamento de Sololá (Vol. 1)*. Guatemala: Autor.
- Moffat, A. J. (2003). Indicators of soil quality for UK forestry. *Forestry*, 76(5), 547-568. doi: 10.1093/forestry/76.5.547
- Neary, D. G., Ice, G. G., & Jackson, C. R. (2009). Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*, 258, 2269-2281.
- Sánchez, J. I., Rasua, A., Sánchez, D., Wise, C., Sánchez, J. M., Sánchez, M., ... Bidart, B. (2011). Fajas forestales intercaladas en plantaciones anuales: Producción sostenible y reductora del cambio climático. *Centro Agrícola*, 38(4), 75-82.
- Schoenholtz, S. A., Van Miegroetb, H., & Burger, J. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: Challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138(1-3), 335-356. doi:10.1016/S0378-1127(00)00423-0
- Shukla, M. K., Lal, R., & Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil Tillage and Research*, 87(2), 194-204. doi:10.1016/j.still.2005.03.011
- Universidad Rafael Landívar e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. (2012). *Perfil ambiental de Guatemala (2010-2012): Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala: Autor.
- Vanegas, E. (2009). Evaluación nutricional de plantaciones de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) en finca San Julián, Patulul, Suchitepéquez. *Tikalía*, 28(2), 82-94.
- Vanegas, E., & Méndez, B. (2011). *Evaluación del efecto del sitio y aplicación de prácticas silviculturales en el crecimiento de rodales y calidad de la madera proveniente de plantaciones de Palo Blanco (Tabebuia donnell-smithii Rose) y Matlisguate (Tabebuia rosea Bertol) en Guatemala*. (FODECYT 015-2011). Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía.
- Vela, L. (2006). *Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de Palo Blanco (Tabebuia donnell smithii) en plantaciones forestales de la región forestal IX, Costa Sur de Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Guatemala.

Actividad biológica y caracterización química de los extractos de las hojas y corteza de *Rhizophora mangle* L.

Nereida Marroquín*, Sully M. Cruz.

Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (Lipronat),
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

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

Recibido: 27 de agosto 2015 / Revisión: 04 de noviembre 2015 / Aceptado: 15 de febrero 2016 / Disponible en línea: 29 de julio 2016

Resumen

La corteza de *Rhizophora mangle* L., mangle rojo, ha sido utilizada tradicionalmente por sus propiedades como antiséptica, astringente y hemostática, se ha descrito la presencia de polifenoles como flavonoides y taninos, a los cuales se les ha relacionado con su acción antioxidante y cicatrizante demostrada en diferentes estudios; por su parte, las hojas han presentado taninos y actividad antioxidante muy similar, y en ocasiones superior, a la reportada para la corteza. En este estudio se determinó la cantidad de taninos, flavonoides, actividad antioxidante y antibacteriana de cinco extractos etanólicos de hoja y corteza de mangle rojo, colectado en cinco transectos de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Santa Rosa, Guatemala; se analizaron los datos con base en los promedios y desviaciones estándar de cada uno de los parámetros evaluados. En los extractos de hojas se determinó un $15.91 \pm 8.56\%$ de taninos, 315.19 ± 90.83 ppm de flavonoides, actividad antioxidante a una concentración inhibitoria media (IC_{50}) de 0.435 ± 0.315 mg/mL, 125.44 ± 65.05 µg de ácido gálico/g de extracto y actividad antibacteriana contra *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *S. epidermidis* ATCC 14990 y *S. epidermidis* aislada de una herida con una concentración mínima inhibitoria (CIM) de 1 mg/mL; siendo estos datos similares a los de corteza. Se obtuvo un coeficiente de correlación de -0.79 , entre la cantidad de taninos y actividad antioxidante ($p < .001$); lo cual relaciona su composición química con su posible efecto cicatrizante, por lo que los extractos de hoja pueden constituir una alternativa viable para el desarrollo de productos naturales.

Palabras claves: Cicatrizante, antioxidantes, bactericidas, polifenoles, hojas

Abstract

The bark of *Rhizophora mangle* L., red mangrove, has a traditional use due to its antiseptic, astringent and hemostatic properties; it has been described the content of polyphenols mainly as flavonoids and tannins, with antioxidant and wound healing properties, demonstrated in various studies, meanwhile the leaf presents tannins and similar antioxidant activity, sometimes, superior to the cortex activity. In this study, the amount of tannins, flavonoids, antioxidant and antibacterial activity of five ethanol extracts of leaf and cortex of red mangrove were determined; the samples were collected in the Nature Reserve Multipurpose Monterrico, Santa Rosa, Guatemala; the data was analyzed based on the averages and standard deviations of each of the parameters evaluated. In leaf extracts were quantified $15.91 \pm 8.56\%$ of tannins, flavonoids 315.19 ± 90.83 ppm, antioxidant activity of IC_{50} 0.435 ± 0.315 mg/mL, total phenols of 125.44 ± 65.05 µg gallic acid/g of extract and antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *S. epidermidis* ATCC 14990 and isolate *S. epidermidis* with a MIC of 1 mg/mL, being comparables as those of the cortex. A correlation of -0.79 was obtained, between the amount of tannins and antioxidant activity ($p < .001$); relating the results to a possible biological wound healing effects, consequently the leaf extracts can become a viable option to the development of medicinal natural products.

Keywords: Healing, antioxidants, bactericides, polyphenols, leaf



Introducción

Guatemala cuenta con un potencial del 1% de su territorio con condiciones para albergar bosques de manglar. Estos bosques en la actualidad representan el 0.5% de la cobertura forestal nacional, distribuidos en 14,500 ha en el litoral del Pacífico y 704 ha en el Atlántico, debido a su fragilidad y a la manera descontrolada en la que se ha venido explotando este recurso se hace necesario normar y fomentar su conservación, recuperación y aprovechamiento sostenible. Según algunas estimaciones, se han perdido 9,540 ha de manglar en el Pacífico guatemalteco (Jiménez, 1999).

Los manglares han sido definidos como asociaciones vegetales anfibias, leñosas, perennifolias, presentes en forma discontinua en la zona influenciada por las mareas de las costas tropicales. El ecosistema de manglar reviste una gran importancia ecológica y económica, actuando como la primera barrera ecológica, además de representar un refugio idóneo para una gran variedad de especies de fauna y constituir el hábitat natural de numerosas especies tanto terrestres como marinas (Ataroff & García-Núñez, 2013; Herrera, 1986; Menéndez & Priego, 1994).

En Guatemala se registran cinco especies de mangle, *Rhizophora mangle* L., mangle rojo; *Rhizophora harrisonii* Leechm., mangle negro o ixtatén; *Avicennia germinans* (L.) L., mangle blanco; *Conocarpus racemosus* L., botoncillo, y *Conocarpus erectus* L. El mangle rojo, es de especial interés por ser una especie pionera en la sucesión vegetal de zonas intermareales de lagunas costeras y esteros con influencia de agua salada. Crece progresivamente hacia el mar, y permite que en las partes internas de la franja de manglar, se desarrollen los mangles negro y blanco (Arrecis, 1992).

La Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico se localiza al sureste de la República de Guatemala sobre la franja costera del Pacífico entre los municipios de Taxisco y Chiquimulilla del departamento de Santa Rosa, presenta el mayor desarrollo de bosques de manglar (Sigüenza & Ruiz 1999). Una amplia variedad de productos forestales se obtienen de los manglares, especialmente madera para combustible y construcción, taninos y medicinas (Walters et al., 2008).

Las especies del manglar presentan metabolitos activos con estructuras químicas muy diversas como alcaloides, fenoles, esteroides, terpenoides, taninos, etc. Las investigaciones recientes se han enfocado en evaluar la actividad biológica de los extractos, los cuales han reportado actividad antimicrobiana, antiviral, antioxidante, citotóxica y muchas otras propiedades

demostradas como antiproliferativa, insecticida, antimalárica, depresora del sistema nervioso central, estimulante de fibroblastos, etc., lo que ha llevado a crear conciencia de la importancia de los manglares como fuente de nuevos medicamentos, agroquímicos y de muchos compuestos biológicamente activos (Adetutu, Morgan, & Corcoran, 2011; Bandaranayake, 2002; Pantra & Thatoi, 2011).

Existen diferentes estudios científicos sobre la evaluación de la actividad farmacológica de *R. mangle* específicamente de la corteza donde se demuestra un efecto antihiperlipidémico (Castro, Villa, Ramírez, & Mosso, 2014). El extracto acuoso de la corteza ha demostrado utilidad para el tratamiento de la mastitis bovina, la curación de heridas, infecciones uterinas y úlceras gastroduodenales; debido a sus propiedades antiséptica, cicatrizante, antiinflamatoria y antioxidante. Además, ha presentado una acción captadora de radicales hidroxilo, así como la habilidad de quelar iones de hierro; también ha disminuido el daño oxidativo en las moléculas de ADN (Castro et al., 2014; Sánchez, Martínez, & Faure, 2011). Estudios experimentales en ratas han demostrado el efecto protector de la mucosa gástrica de una fracción butanólica de corteza (de-Farla et al., 2012). Estudios preclínicos de toxicidad aguda del extracto acuoso de corteza a dosis única, han determinado que la dosis tóxica del extracto es superior a 2,000 mg/kg y no es tóxico a dosis repetida en la dosis máxima terapéutica en un período de 14 días, por lo que se garantiza un amplio margen de seguridad (Sánchez, Fraga, Macebo, & Lorenzo, 2008). Se evaluó una formulación semisólida de extracto acuoso de mangle, determinando el comportamiento reológico y extensión, observándose estabilidad de los componentes (Pérez-Bueno, Rodríguez-Perdomo, Morales-Lacarrere, Soler-Roger, & Martín-Viaña, 2011).

Muchas especies vegetales contienen metabolitos secundarios, como los taninos, que presentan un efecto astringente, los cuales impermeabilizan las capas más externas de la piel y mucosas, protegiendo así las capas subyacentes; además del efecto vasoconstrictor sobre pequeños vasos superficiales por lo que favorecen la regeneración de los tejidos en caso de heridas superficiales o quemaduras (Adetutu et al., 2011). Es por ello que al evaluar la cantidad de taninos, actividad antioxidante y antibacteriana en los diferentes órganos de la planta se puede determinar su utilidad en la terapéutica cicatrizante (de-Farla et al., 2012). Existen numerosos estudios sobre la actividad biológica de la corteza, pero no se evidencia suficiente información que demuestre la actividad biológica o su posible uso a nivel de la industria de la hoja de *R. mangle*.

La comparación de la actividad farmacológica y composición química de los órganos de una sola especie, es de mucha importancia ya que permite determinar qué órgano presenta la mejor actividad farmacológica o determinar si son comparables, con el fin de disminuir la extracción de corteza y madera. En esta investigación se evaluó la actividad antioxidante y antibacteriana de los extractos etanólicos de hoja y corteza de mangle, obtenidas de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Santa Rosa, Guatemala, para determinar el posible uso de la hoja en productos fitocosméticos para cicatrización.

Materiales y Métodos

Universo de trabajo: hojas y corteza de mangle rojo (*R. mangle*) recolectados en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Chiquimulilla Santa Rosa. El muestreo se realizó en cinco transectos de la reserva seleccionados a conveniencia.

De las muestras recolectadas se obtuvieron cinco extractos etanólicos al 50% de hoja y cinco extractos etanólicos al 50% de corteza de mangle rojo, por medio de percolación y concentración a presión reducida en rotavapor seguido de desecación en desecador con sílica gel.

Cuantificación de taninos por tungsto-molibdico-fosfórico:

Se pesó 0.5 g de extracto, disolviéndose en 250 mL de etanol al 50% con agitación durante 1 h, y reposo 1 h, se agitó nuevamente por 3 min, para posteriormente filtrar. Se transfirieron 3 mL del filtrado a un matraz aforado de 50 mL y se diluyeron con agua destilada hasta enrase (solución madre). Patrón con 1.5 mL de solución de referencia de taninos y 1 mL de agua destilada; muestra con 0.5 de solución madre y 2 mL de agua destilada. A todos se les agregó 1 mL de reactivo para taninos, se dejó reposar por 5 min, se agregó 0.5 mL de carbonato de sodio al 20%, y se aforó con agua a 25 mL. Se realizó la lectura de cada muestra a 700 nm. La expresión para los cálculos se hizo con la siguiente fórmula: $X = (A_m * P * 1000 * 100) / (A_p * PM * (100 - p))$. Donde X es el contenido de taninos en la droga (%), P la masa de la sustancia de referencia (g), A_m la absorbancia de la muestra (nm), A_p es absorbancia de la solución de referencia (nm), PM la masa de la droga (g) y p la humedad de la droga (%) (Cruz, 2013; Gutiérrez, Miranda, Varona, & Rodríguez, 2000).

Cuantificación de flavonoides con base en ácido clorogénico

Se pesó 0.1 g de extracto de muestra y se agregaron 50 mL de agua caliente. Las muestras se colocaron en un baño de María por 60 min; se enfrió a temperatura ambiente, se aforó con agua destilada; se filtró y diluyó el filtrado 10 veces, se midió la absorbancia a 324 nm. Se construyó una curva de ácido clorogénico, con base en la ecuación de la curva recta se determinó la concentración de flavonoides expresados como ácido clorogénico (Solís & Herrera, 2005).

Evaluación de la actividad antioxidante

Determinación de la actividad antioxidante por cromatografía en capa fina (CCF) (Vogel Gonzalez, & Faini, 2005). La muestra se preparó pesando 0.1 g de extracto disolviéndolo en 5 mL de metanol. Se aplicó 10 μ L de muestra y 5 μ L del estándar antioxidante ter-butil-hidroquinona (TBHQ), rutina, quercetina, vitamina C, vitamina E y Trolox en la cromatopla de silicagel 60F₂₅₄, empleando como fase móvil acetato de etilo-ácido acético-ácido fórmico-agua (100:11:11:26). La cromatopla se reveló con 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) a una concentración de 1 mg/mL en metanol, recién preparado protegido de la luz.

Actividad antioxidante por técnica micrométrica de DPPH (Sharma & Bhat, 2009; Yang, Zhao, Shi, Yang, & Jiang, 2008). Se pesaron 20 mg de extracto seco disuelto en 1 mL de metanol absoluto, se preparó una serie de diluciones de concentración de 4, 8, 12, 16 y 20 mg/mL. Se empleó una solución de DPPH 150 μ M (1.7 mg/25 mL de metanol). En una microplaca de 96 pozos de fondo plano se prepararon cinco repeticiones por dilución con 20 μ L de muestra y 200 μ L de DPPH; el blanco de cada muestra se le agregan 20 μ L de muestra y 200 μ L de metanol; el pozo de control 20 μ L de metanol y 200 μ L de DPPH y el blanco del control 220 μ L de metanol. Se dejó la placa en reposo protegida de la luz por 30 min, se leyó en un lector de microplacas marca Biotek® modelo ELX800 a una longitud de onda de 490 nm.

$\%$ de inhibición = $((\text{Abs control} - \text{Abs Mx}) / \text{Abs control}) * 100$

Con base en la ecuación de regresión lineal del porcentaje de inhibición en función de la concentración, se determinó la concentración inhibitoria media CI_{50} .

Cuantificación de fenoles totales por técnica micrométrica (Álvarez et al., 2008). Para la cuantificación se elaboró una curva de ácido gálico con las siguientes concentraciones 50, 250, 450, 650, 850, 1,050 y 1,250 μM en etanol. Se pesó 0.1 g de extracto y se disolvió en 5 mL de metanol, se preparó una dilución del mismo, de la cual se esperaba presentara una absorbancia que estuviera dentro de las absorbancias obtenidas en la curva del ácido gálico. En microplacas de 96 pozos fondo plano se prepararon los pozos con 25 μL de muestra, dilución de ácido gálico o agua destilada, 50 μL de reactivo de Folin y 200 μL de carbonato de sodio al 2%. Se dejó reposar por 2 h y se leyó en lector de microplaca Biotek® modelo ELX800 a una longitud de onda de 630 nm. El resultado se reportó como μg de ácido gálico/g de extracto.

Evaluación de actividad antimicrobiana

Tamizaje antimicrobiano mediante técnica de agar planta (Mitscher et al., 1972). Para el tamizaje se emplearon cajas de Petri con agar planta a una concentración de 1 mg/mL en agar Mueller Hinton. Se emplearon bacterias con 24 h de activación en agar tripticasa soya, haciendo una resiembra en caldo tripticasa soya; empleando para la prueba una dilución de 50 μL de bacteria en caldo tripticasa soya en 4.95 mL de solución salina estéril. Las bacterias utilizadas fueron *Escherichia coli* ATCC 8739, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Streptococcus epidermidis* ATCC 14990 y *S. epidermidis* aislada de la herida de un paciente hospitalario, se inocularon en cuadruplicado y se distribuyeron de forma aleatoria en cada una de las placas de agar planta a evaluar, después de 24 h de incubación a 37°C se interpretaron resultados, considerando actividad cuando no se observa crecimiento de las bacterias.

Determinación de la concentración inhibitoria mínima (CIM) de la actividad antimicrobiana por técnica de microdilución (National Committee for Clinical Laboratory Standards, 2009): Se trabajaron diluciones seriadas de extracto a partir de una solución madre con concentración de 0.1 g de extracto en 10 mL de amortiguador de fosfato. La bacteria se preparó en caldo Mueller Hinton a una concentración de 0.5 según la escala de MacFarland, empleando el reactivo de MTT (0.4 mg/mL) para determinación de la viabilidad bacteriana.

Diseño experimental

Se realizó un muestreo a conveniencia, en cinco transectos de la reserva, tomándose una muestra de hoja y una de corteza de mangle rojo en cada transecto. Para la cuantificación de flavonoides y taninos, se analizaron las cinco muestras de los extractos etanólicos de hojas y las cinco de corteza; se realizó el análisis descriptivo con las medias aritméticas y desviación estándar. La evaluación de la actividad antioxidante se realizó por medio de análisis de regresión lineal para determinar la CI_{50} , evaluándose descriptivamente la diferencia de actividad entre los extractos etanólicos de hoja y corteza; todas las mediciones de cada extracto se corrieron por quintuplicado. Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre la cantidad de taninos, flavonoides y actividad antioxidante. La evaluación de la actividad antibacteriana se realizó con seis repeticiones con una prueba de hipótesis binomial para determinar si había actividad a un nivel de significancia de .05 y análisis descriptivo en la CIM.

Resultados

En la **Tabla 1** se presentan los promedios de la cuantificación de flavonoides y taninos de cada uno de los extractos. Se observan diferencias entre los promedios de cada uno de los puntos de colecta; los extractos de hoja presentan en promedio una mayor cantidad de flavonoides, mientras que los de corteza de taninos.

En la **Tabla 2** se presentan los datos de la evaluación de la actividad antioxidante mediante pruebas cualitativas por CCF, mostrándose buena actividad en cada uno de los puntos. Con base en las medias y desviación estándar del valor de CI_{50} , el resultado más bajo para la hoja lo presenta el punto 2, así como el valor más alto de compuestos fenólicos; no supera los valores reportados en los estándares pero están muy cercanos. Al comparar los resultados de actividad antioxidante de los extractos etanólicos de hoja y corteza, se observan medias muy similares de actividad antioxidante entre ambos órganos. El análisis de correlación mostró relación entre el porcentaje de taninos y la actividad antioxidante, con un coeficiente de -0.79 ($p < .001$).

En la **Tabla 3** se observa la actividad antibacteriana de los extractos cuya evaluación inicial de actividad antibacteriana se trabajó con seis repeticiones con prueba de hipótesis binomial, la cual mostró actividad significativa ($p = .0156$); determinándose que para la inhibición del crecimiento de *E. coli* 8739 y *P. aeru-*

Tabla 1
Cuantificación de polifenoles en extractos etanólicos de hoja y corteza de *R. mangle*

Muestra	Sitios de colecta dentro de la reserva	Porcentaje de taninos (%)	ppm de flavonoides expresados como ácido clorogénico
Hoja	1	17.17 ± 1.27	407.74 ± 2.72
	2	29.28 ± 2.79	153.10 ± 2.64
	3	16.14 ± 1.04	515.03 ± 2.23
	4	13.12 ± 1.20	333.24 ± 2.45
	5	3.85 ± 0.44	166.82 ± 1.03
	Promedio general	15.91 ± 8.56	315.19 ± 90.83
Corteza	1	23.19 ± 0.88	412.07 ± 3.66
	2	26.83 ± 0.45	196.87 ± 3.46
	3	25.51 ± 1.08	181.44 ± 2.69
	4	31.57 ± 2.56	215.83 ± 3.55
	5	25.99 ± 4.71	179.15 ± 4.02
	Promedio general	26.62 ± 3.54	237.07 ± 91.63

Tabla 2
Evaluación de la actividad antioxidante de extractos etanólicos de *R. mangle*

Muestra	Sitios de colecta dentro de la reserva	Cromatografía en capa fina DPPH	CI ₅₀ DPPH (mg/mL)	Fenoles Totales (µg ácido gálico/g extracto)
Hoja	1	++++(**)	0.245 ± 0.011	134.97 ± 3.92
	2	++++	0.180 ± 0.011	227.76 ± 6.36
	3	++++	0.292 ± 0.016	134.49 ± 3.45
	4	+++	0.432 ± 0.014	98.87 ± 2.53
	5	++	1.027 ± 0.066	31.09 ± 0.80
	Promedio general		0.435 ± 0.315	125.44 ± 65.05
Corteza	1	++++	0.268 ± 0.013	134.53 ± 3.76
	2	++++	0.248 ± 0.011	165.94 ± 4.59
	3	++++	0.320 ± 0.016	113.25 ± 2.89
	4	++++	0.248 ± 0.027	150.43 ± 3.85
	5	++++	0.362 ± 0.032	110.08 ± 2.81
	Promedio general		0.289 ± 0.050	134.85 ± 22.09
Vitamina C	Estándares	++++	0.0896 ± 0.011	
Rutina		++++	0.1671 ± 0.01	
Quercetina		++++	0.0749 ± 0.0004	
TBHQ*		++++	0.1147 ± 0.01	
Trolox		++++	0.1180 ± 0.001	-----

Nota.* Ter-butil hidroxiquinona. ** (- : ausencia de actividad, ++ moderada actividad, +++ buena actividad). Coeficiente de correlación entre IC₅₀ y fenoles totales -0.83 (p < 0.0001); taninos con actividad antioxidante presentó un coeficiente de -0.79 (p < 0.0001); coeficiente de correlación entre taninos y flavonoides fue de -0.29 (p < 0.0001)

Tabla 3
Concentración inhibitoria mínima (CIM) de extractos etanólicos de *R. mangle* (mg/mL)

Muestra	Puntos	<i>E. coli</i> 8739	<i>P. aeruginosa</i> 9027	<i>S. aureus</i> 6538	<i>S. epidermidis</i> 14990	<i>S. epidermidis</i> aislada de herida
Hoja	1	> 1	> 1	> 1	1	1
	2	> 1	> 1	1	1	1
	3	> 1	> 1	> 1	1	1
	4	> 1	> 1	> 1	1	1
	5	> 1	> 1	> 1	> 1	> 1
Corteza	1	> 1	> 1	1	1	1
	2	> 1	> 1	> 1	1	1
	3	> 1	> 1	1	1	1
	4	> 1	> 1	1	1	1
	5	> 1	> 1	> 1	1	1

Nota. Hubo inhibición significativa ($p=0.0156$)

ginosa 9027 se requieren concentraciones de extracto por arriba de 1 mg/mL; mientras que la mayoría de las muestras inhibieron el crecimiento de *S. aureus* 6538, *S. epidermidis* 14990 y *S. epidermidis* aislada de herida de paciente, a una concentración de 1 mg/mL.

Discusión

El mangle rojo de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, se ha investigado farmacológicamente desde hace varios años. Cruz (2013), demostró que el contenido de taninos en las hojas es similar al de la corteza, lo cual fue una base importante para el presente estudio, junto con la información del efecto cicatrizante de los taninos (Melchor, 1999), que ha permitido resolver la duda de si los taninos de mangle tienen esa acción y si hay diferencia entre el uso de hojas y corteza.

Los extractos etanólicos de hoja y corteza de mangle presentan una elevada cantidad de taninos, un porcentaje por arriba del 10% en la mayoría de las muestras estudiadas (Sánchez, Escobar, & Valcárcel, 2005). El extracto de hoja del punto 2 presentó la mayor cantidad de taninos para este órgano con un 29.28%, y el punto 5 fue el que menor cantidad presentó; mientras que en la corteza el mayor porcentaje fue en el punto 4 y el menor en el punto 1. La cantidad de taninos observadas en el punto 2 de hoja y 4 de corteza está acorde al estudio de Travieso y colaboradores (2011), realizado en Cuba.

Desde hace algunos años se investiga en la evaluación farmacológica y el desarrollo de formulaciones a partir de *R. mangle* para uso animal y humano, con

resultados preclínicos y clínicos que han demostrado su actividad y eficacia como cicatrizante, antiséptico y antioxidante, debido mayoritariamente a la presencia de taninos (Melchor, 1999; Sánchez, 1998; Sánchez, 2007; Zhang, Lin, Zhou, Wei, & Chen, 2010).

La cantidad de flavonoides fue variada en cada uno de los puntos, encontrándose en las muestras de hojas una mayor cantidad que en la corteza, según los promedios generales de 315 ± 90.83 y 237 ± 91.63 ppm, respectivamente (Kandil, Grace, Seigler, & Cheeseman, 2004; Sánchez, 1998).

Se determinó cualitativamente que todos los extractos presentan actividad antioxidante por inhibición del radical DPPH; cuantitativamente la mejor actividad, con el menor valor de CI_{50} , es el extracto de hoja del punto 2, dicho punto coincide con el valor más alto de compuestos fenólicos, lo que muestra una relación entre los valores reportados por DPPH y cuantificación de fenoles totales, los valores de actividad antioxidante se presentaron en hojas y corteza de los cinco punto de colecta. Ninguno de los resultados de los extractos presentan mejor actividad que los estándares, pero son muy cercanos y se puede visualizar como una alternativa a nivel industrial. Banerjee y colaboradores (2008) evaluaron la actividad antioxidante de las especies de mangle y especies asociadas al manglar, estableciendo que hay especies de mangle prometedoras para ser utilizadas como fuente importante de antioxidantes naturales.

El análisis descriptivo de la cantidad de taninos, flavonoides y actividad antioxidante para los extractos etanólicos de hoja y de corteza de mangle rojo, por

sitio de colecta, así como el promedio general y desviación estándar de cada órgano muestra diferencias; se pueden estar presentando ciertos factores que afecten la cantidad de los metabolitos en cada sitio de colecta (Sánchez et al., 2005).

En los estudios realizados sobre la actividad cicatrizante de la corteza de mangle, se atribuye a los taninos su principal acción (Faure & Rojas, 2015; Sánchez, Faure, Martínez, Vega, & Fernández, 2009); por su parte, los extractos de hojas presentan una cantidad de taninos muy similar a la de la corteza. El estudio realizado por Sánchez y colaboradores (2009), demostró que las propiedades antioxidantes de *R. mangle* tienen una relación con el proceso de cicatrización en ratas, ya que se observó una disminución del tamaño de la herida, después del tratamiento con los extractos etanólicos de mangle rojo; con actividad cicatrizante similar a la vitamina C, usada como control.

Con base en la cantidad de polifenoles detectados y actividad antioxidante mostrada, se puede observar que los extractos etanólicos de hoja presentan una composición química equiparable a los de corteza, los cuales han reportado actividad cicatrizante. Con base en la cantidad de taninos y actividad antioxidante obtenidas se puede intuir que la hoja de mangle podría presentar la misma actividad cicatrizante que la reportada para la corteza, como lo comprobó Faure y Rojas (2015), quienes demostraron que los extractos de corteza favorecía el proceso de cicatrización en heridas de bovinos. Revisiones realizadas por Süntar, Küpeli, Nahar y Sarker (2012) sobre plantas con actividad antioxidante y su efecto en la curación de heridas, han establecido que existe una relación por los mecanismos que intervienen en el proceso de cicatrización; por lo que los datos de actividad antioxidante que presentan los extractos de hoja de mangle rojo son prometedores para explicar el efecto cicatrizante de la misma.

La actividad antibacteriana es significativa, para el extracto etanólico de hoja del punto 2 y casi todos los de corteza mostraron CIM en concentración de 1 mg/mL contra *S. aureus*, *S. epidermidis* tanto la de tipo ATCC como la aislada de herida se considera que tienen un efecto leve, aunque resulta importante ya que estas son bacterias que se encuentran por lo general en la piel y pueden ocasionar infecciones en las heridas, lo que afecta o retrasa el proceso de cicatrización (Faure & Rojas, 2015; Stadelmann, Digenis, & Tobin, 1998). Ambos tipos de extracto requieren concentraciones por arriba de 1 mg/mL para inhibir el crecimiento de *E. coli* y *P. aeruginosa*.

La actividad antibacteriana determinada sobre *S. aureus* coincide con lo reportado por Sánchez y colaboradores (2005), que comprobaron la inhibición del crecimiento de dicha especie producida por la corteza de mangle rojo de la región de Cuba; también el estudio realizado por Faure y Rojas (2015), demostró que los extractos de mangle rojo tenían un efecto bacteriostático o bactericida sobre las heridas en las patas de bovinos y ello favorecía el proceso de cicatrización. Melchor, Armenteros, Fernández, Linares y Fargas (2001) demostraron que el extracto de corteza acuoso de *R. mangle* inhibía el crecimiento de siete bacterias frecuentes en infecciones de las heridas, atribuyendo la actividad probablemente a los compuestos polifenólicos; estos datos ya reportados guardan relación con lo determinado en los extractos etanólicos de hoja y corteza evaluados en esta investigación.

Existen estudios que establecen que el proceso de cicatrización se ve favorecido por la ausencia de infección bacteriana y de radicales libre durante las diferentes fases de la cicatrización (Adetutu et al., 2011; Wang et al., 2011). Con base en esto, se puede establecer que los extractos etanólicos de hojas de mangle rojo presentan una actividad antioxidante importante y una actividad antibacteriana moderada que indican que puede tener una buena actividad cicatrizante; siendo importante realizar estudios posteriores sobre la estimulación de proliferación de fibroblastos y modelos experimentales en animales; con eso se tendrían toda la evidencia pre-clínica necesaria sobre la actividad cicatrizante que presenta las hojas de mangle rojo.

Agradecimientos

A la Dirección General de Investigación (Digi), por el apoyo financiero en la realización de la investigación, por medio del proyecto de ayuda financiera para trabajos de graduación.

Referencias

- Adetutu, A. Morgan, W. A., & Corcoran, O. (2011). Ethnopharmacological survey and in vitro evaluation of wound-healing plants used in South-western Nigeria. *Journal of Ethnopharmacology*, 137, 50-56. doi: 10.1016/j.jep.2011.03.073
- Álvarez, E., Jiménez, O. J., Posada, C. M., Rojano, B. A., Gil, J. H., García, C. M., & Durango, D. L. (2008). Actividad antioxidante y contenido

- fenólico de los extractos provenientes de las bayas de dos especies del género *Vismia* (Guttiferae). *Vitae*, 15(1), 165-171.
- Arrecis, E. M. (1992). *Análisis de la asociación de manglar en Manchón, San Marcos-Retalhuleu, Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala
- Ataroff, M. & García-Nuñez. (2013) Selvas y bosques nublados de Venezuela. En: Medina, E., Huber, O., Nassar, J. & Navarro, P. (Eds) *Recorriendo el paisaje vegetal de Venezuela*. Ediciones IVIC, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Venezuela.
- Bandaranayake, W. M. (2002). Bioactivities, bioactive compounds and chemical constituents of mangrove plants. *Wetlands Ecology and Management*, 10(6), 421-452. doi: 10.1023/A:1021397624349
- Banerjee, D., Chakrabarti, S., Hazra, A. K., Banerjee, S., Ray, J., & Mukherjee, B. (2008). Antioxidant activity and total phenolics of some mangroves in Sundarbans. *African Journal of Biotechnology*, 7(6), 805-810.
- Castro, C. J., Villa, C. N., Ramírez, S. A., & Mosso, C. C. (2014). Uso medicinal de plantas antidiabéticas en el legado etnobotánico oaxaqueño. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 19(1), 101-120.
- Cruz, S. (2013). *Evaluación del potencial agroindustrial de Mangle (Rhizophora mangle L.) como colorante, antioxidante y biocida distribuidos en la reserva Monterrico para su aprovechamiento sostenible y conservación* (Fodecyt No. 24-2011), Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- de-Farla, F. M., Alves, A. C., Luiz-Ferreira, A., Takayama, C., Dunder, R. J, da Silva, M. A., ... Souza-Brito, A. R. (2012). Antioxidant action of mangrove polyphenols against gastric damage induced by absolute ethanol and ischemia-reperfusion in the rat. *The Scientific World Journal*, 1, 1-9.
- Faure, Y., & Rojas, I. (2015). El uso terapéutico del mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) en la pododermatitis ovina en Guantánamo, Cuba. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 16(5), 1-3.
- Gutiérrez, Y. I., Miranda, M., Varona, N., & Rodríguez, A. T. (2000). Validación de 2 métodos espectrofotométricos para la cuantificación de taninos y flavonoides (quercetina) en *Psidium guajaba* L. *Revista Cubana de Farmacia*, 34(1), 50-55.
- Herrera, W. (1986). Clima de Costa Rica. En L. D. Gómez (Ed.), *Vegetación y clima de Costa Rica* (Vol. 2). San José, Costa Rica: EUNED.
- Jiménez, J. A., (1999). El manejo de los manglares en el Pacífico de Centroamérica: Usos tradicionales y potenciales. En: Yáñez-Arancibia & Lara-Domínguez, L (eds.). *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA.
- Kandil, F. E., Grace, M. H., Seigler, D. S., & Cheeseman, J. M. (2004). Polyphenolics in *Rhizophora mangle* L. leaves and their changes during leaf development and senescence. *Trees*, 18, 518-528. doi: 10.1007/s00468-004-0337-8
- Melchor, G. (1999). *Efectos cicatrizante y antiséptico del extracto y de una forma farmacéutica obtenida a partir de Rhizophora mangle L.* (Tesis de doctorado). Universidad Agraria de La Habana, Centro Nacional de Sandad Agropecuaria, La Habana, Cuba.
- Melchor, G., Armenteros, M., Fernández, O., Linares, E., & Fargas, I. (2001). Antibacterial activity of *Rhizophora mangle* bark. *Fitoterapia*, 72(6), 689-691. doi:10.1016/S0367-326X(01)00294-5
- Menéndez, L., & Priego, A. (1994). Los manglares de Cuba: Ecología. En D. O. Suman (Ed.), *El ecosistema de manglar en América Latina y la Cuenca del Caribe: Su manejo y conservación* (pp. 64-75). Miami, Florida: Universidad de Miami, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science & The Tinker Foundation.
- Mitscher, L. A., Leu, R. P., Bathala, M. S., Wu, W. N., Beal, J. L., & White, R. (1972). Antimicrobial agents from higher plants.-I: Introduction, rational, and methodology. *Lloydia*, 35, 157-166.
- National Committee for Clinical Laboratory Standards. (2009). *Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests; Approved Standard: M2-A7*. Wayne: Autor.

- Pantra, J. & Thatoi, H. (2011). Metabolic diversity and bioactivity screening of mangrove plants: a review. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 1051-1061.
- Pérez-Bueno, T., Rodríguez-Perdomo, Y., Morales-Lacarrere, I., Soler-Roger, D. M., & Martín-Viaña, N. (2011). Comportamiento reológico y extensibilidad de una formulación semisólida a partir de extracto acuoso de *Rhizophora mangle* L. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 26(2), 75-79.
- Sánchez, J. (2007). Propiedades antioxidantes del extracto acuoso de *Rhizophora mangle* L. y de su fracción polifenólica mayoritaria evaluadas en sistemas *in vitro* e *in vivo* (Tesis de doctorado). Universidad Agraria de La Habana, Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria, La Habana, Cuba.
- Sánchez, J., Faure, R., Martínez, G., Vega, E., & Fernández, O. (2009). Propiedades antioxidantes de *Rhizophora mangle* (L.) y su relación con el proceso de curación de heridas de ratas. *Revista Salud Animal*, 31(3), 170-179.
- Sánchez, J., Faure, R., & Mitjavila, M. T. (2012). Efecto de *Rhizophora mangle* L. sobre la producción de anión superóxido en macrófagos murinos RAW 264.7. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(3), 223-232.
- Sánchez, J., Martínez, G., & Faure, R. (2011). Efecto protector de los polifenoles de *Rhizophora mangle* L. sobre el daño oxidativo a proteínas y ADN. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(1), 1-12.
- Sánchez, L. M., Escobar, A., & Valcárcel, L. (2005). Caracterización preliminar de la materia prima de *Rhizophora mangle* L. en la obtención de productos farmacéuticos procedentes de tres zonas geográficas de Cuba. *Revista Salud Animal*, 27(2), 115-123.
- Sánchez, L. M., Fraga, I., Macebo, B., & Lorenzo, R. (2008). Toxicidad agua y subaguda oral del extracto acuoso liofilizado de *Rhizophora mangle* L. en ratas. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 13(3), 1-13.
- Sánchez, M. (1998). *Caracterización química y actividad biológica de un extracto acuoso de la corteza de Rhizophora mangle L.* (Tesis de doctorado). Universidad Agraria de La Habana, Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria, La Habana, Cuba.
- Sigüenza, R. R., & Ruíz J. A. (Comps). (1999). Aprovechamiento sostenible de los recursos asociados a los manglares del Pacífico de Guatemala. Guatemala: Plan Maestro de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Centro de Estudios Conservacionistas, Consejo Nacional de Áreas Protegidas.
- Sharma, O. P & Bhat, T. K. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chemistry*, 113 (4), 1202-1205.
- Solís, L. D., & Herrera, C. H. (2005). Desarrollo de un método de análisis de cuantificación ácidos clorogénicos en café. *Agronomía Costarricense*, 29(2), 99-107.
- Stadelmann, W. K., Digenis, A. G., & Tobin, G. R., (1998). Physiology and healing dynamics of chronic cutaneous wounds. *American Journal of Surgery*, 176(2, Supplement 1), 26S-38S. doi: [10.1016/S0002-9610\(98\)00183-4](https://doi.org/10.1016/S0002-9610(98)00183-4)
- Süntar, I., Kúpeli, E., Nahar, L., & Sarker, S. (2012). Wound healing and antioxidant properties: Do they coexist in plants? *Free Radicals and Antioxidants*, 2(2), 1-7. doi: [10.5530/ax.2012.2.2.1](https://doi.org/10.5530/ax.2012.2.2.1)
- Travieso, M., Betancourt, A., Escobar, A., Linares, A., Rodríguez, Y., & Pérez, T. (2011). Validación del método de cuantificación de taninos totales en formulaciones semisólidas de *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(1), 82-93.
- Vogel, H., González, M., Faini, F., Razmilic, I., Rodríguez, J., San Martín, J., & Urbina, F. (2005). Antioxidant properties and TLC characterization of four Chilean Haplopappus-spices known as bailahuén. *Journal of Ethnopharmacology*, 97(1), 97-100. doi: [10.1016/j.jep.2004.10.027](https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.10.027)
- Walters, B. B., Rönnbäck, P., Kovacs, J. M., Crona, B., Hussain, S. A., Badola, R., ... Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forest: A review. *Aquatic Botany*, 89, 220-236. doi: [10.1016/j.aquabot.2008.02.009](https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.02.009)
- Wang, J.-P., Ruan, J.-L., Cai, Y.-L., Luo, Q., Xu, H.-X., & Wu, Y.-X. (2011). In vitro and in vivo evaluation of the wound healing properties of *Siegesbeckia pubescens*. *Journal of Ethnopharmacology*, 134(3), 1033-1038. doi: [10.1016/j.jep.2011.02.010](https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.02.010)

Yang, B., Zhao, M., & Shi, J., Yang, N., & Jiang, Y. (2008). Effect of ultrasonic treatment on the recovery and DPPH radical scavenging activity of polysaccharides from Logan fruit pericarp. *Food Chemistry*, *106*(2), 658-690. doi:10.1016/j.foodchem.2007.06.031

Zhang, L.-L., Lin, Y.-M., Zhou, H.-C., Wei, S.-D., & Chen, J.-H. (2010). Condensed tannins from mangrove species *Kandelia candel* and *Rhizophora mangle* and their antioxidant activity. *Molecules*, *15*, 420-431.

Índice de diversidad biológica urbana de la ciudad de La Antigua Guatemala

Jorge García-Polo*, Fernando Castillo-Cabrera, José J. Vega

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

*Autor al que se dirige la correspondencia: jjgp78@yahoo.com

Recibido: 27 de agosto 2015 / Revisión: 04 de noviembre 2015 / Aceptado: 15 de febrero 2016 / Disponible en línea: 01 de agosto 2016

Resumen

La urbanización es un fenómeno global cuyo pronóstico prevé que para el 2050 hasta el 70% de la población mundial vivirá en ciudades. Esto tendrá un impacto sobre la diversidad biológica, lo que podría generar pérdida de especies y de los servicios ecosistémicos relacionados. Las administraciones municipales deben contemplar este componente para la planificación y desempeño ambiental de sus ciudades y áreas urbanas. El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) ha planteado una nueva herramienta para estimar la diversidad biológica en ciudades: el índice de diversidad biológica urbana. En este proyecto se evaluó este índice para la ciudad de La Antigua Guatemala. De un máximo de 72 puntos, el resultado para la ciudad de La Antigua Guatemala fue de 33 puntos. Se midieron 18 indicadores de tres componentes: (1) biodiversidad urbana con un desempeño alto, (2) servicios ecosistémicos con un desempeño bajo y (3) gobernanza y manejo de la diversidad biológica con un desempeño medio. Los registros para la línea base de la biodiversidad son: 99 especies de aves, 148 especies de plantas vasculares, 46 especies de mariposas y 11 especies de murciélagos. Se recomienda a las autoridades de la ciudad de La Antigua Guatemala y actores involucrados, elaborar de urgencia la estrategia local de diversidad biológica y su plan de acción.

Palabras claves: Ecología urbana, infraestructura verde, gobernanza ambiental, servicios ecosistémicos urbanos, Convenio sobre la Diversidad Biológica

Abstract

The global process of urbanization predicts a 70% of all world citizens living in cities by the year 2050. The result will be a high impact on biological diversity like species loss and degradation of ecosystem services. Local governments have to introduce this component in the environmental planning and performance of their cities. The UN Convention on Biological Diversity (CBD) has proposed a new tool to evaluate the biological diversity in cities: The City Biodiversity Index (CBI). In this project the CBI for the city of La Antigua Guatemala was assessed. The city scores 33 points out of 72. The indicators measured were related to three main components: (1) biological diversity with high value, (2) ecosystem services with low value and (3) governance and management of biological diversity with medium value. Biodiversity base line records were: 99 bird species, 148 plant species, 46 butterfly species and 11 bat species. The project recommends the urgent elaboration of Antigua Guatemala's City Local Biodiversity Strategy and Action Plan (LBSAP).

Keywords: Urban ecology, green infrastructure, environmental governance, urban ecosystem services, Convention on Biological Diversity



Introducción

Los datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), indican que la población urbana del mundo para el año 2050 corresponderá al 67.1% de la población mundial total. Para Guatemala, el 68.5% de la población se estima que habitará en zonas urbanas (United Nations, 2012). Esto significa que siguiendo el mismo patrón de desarrollo urbano del país, habrá impactos en el ambiente y en la diversidad biológica. Esta tendencia le impone retos a la administración pública y a todos los sectores de la población para la búsqueda de modelos que permitan la coexistencia de ciudades y centros urbanos con la naturaleza.

El Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap) define la diversidad biológica como: “la variación de las formas de vida del planeta; al referirnos a sus componentes, hacemos alusión a tres diferentes escalas con atributos propios, siendo estos: diversidad genética, diversidad de especies y diversidad de ecosistemas” (2013). La información sobre el desempeño ambiental de las ciudades y de la diversidad biológica urbana en el país es escasa, los servicios ecosistémicos que proveen, y la falta de reconocimiento de éstos en la planificación ambiental urbana, puede observarse en las prácticas de gobernanza y ordenamiento de las áreas urbanas. Según el Convenio para la Diversidad Biológica (CDB), estos

elementos son clave en el desempeño ambiental de las ciudades y por lo mismo fueron incluidos en el cálculo de un índice que valora el papel de la diversidad biológica en las ciudades (Chan et al., 2014). Este índice fue propuesto en la Reunión mundial de ciudades en Singapur en 2008, por el entonces alcalde de la ciudad, dada la importancia que tienen las ciudades para alcanzar los objetivos del CDB. El desarrollo de este índice para la ciudad de La Antigua Guatemala, será una herramienta crítica de evaluación, para que la planificación ambiental mejore las estrategias de sustentabilidad y para mantener la calidad de vida en la ciudad.

Materiales y métodos

Se aplicó el índice de diversidad biológica urbana para la ciudad de La Antigua Guatemala. El índice consiste en 23 indicadores según esquema de la Figura 1 y está constituido de 3 componentes:

- Componente I: Diversidad biológica en la ciudad, con 10 indicadores;
- Componente II: Servicios ecosistémicos que provee la diversidad biológica en la ciudad, con 4 indicadores; y
- Componente III: Gobernanza y manejo de la diversidad biológica en la ciudad, con 9 indicadores.

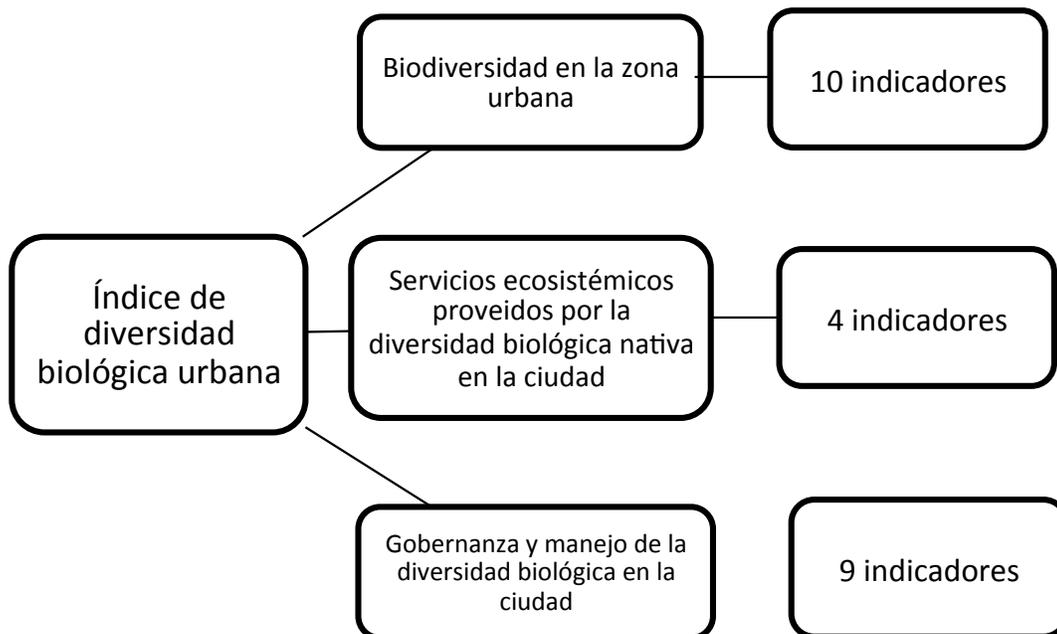


Figura 1. Componentes del índice de diversidad biológica urbana.

Los criterios para evaluar cada indicador se basaron en el Manual de usuarios del índice de diversidad biológica urbana (versión del 25 de enero de 2013), publicado en el año 2014 (Chan et al., 2014). Por ser la primera vez que se aplica el índice, se consideró para la Ciudad de La Antigua Guatemala realizar la línea base, calificándose 18 indicadores. Cada uno de éstos se estimó con un valor máximo de 4 puntos, para obtener una sumatoria de 72 puntos total.

Los indicadores 4-8 fueron registrados y serán utilizados para calcular el cambio en el número de especies (se recomienda aplicar el índice cada tres años para

calcular estos indicadores). En el índice se propone el estudio de las especies de: aves, plantas vasculares, mariposas diurnas y otros grupos taxonómicos. En el presente estudio se estableció la línea base de los grupos propuestos y además se estudió como grupo adicional la diversidad de murciélagos. El sitio de estudio incluyó los siguientes hábitats urbanos y periurbanos: parques, monumentos, cafetales y bosques. Se estudiaron las especies en cuatro localidades de cada hábitat. El sitio de estudio se muestra en la Figura 2, debido a la falta de límites oficiales de la ciudad, se utilizó en un área adicional de 3 km de la zona núcleo.

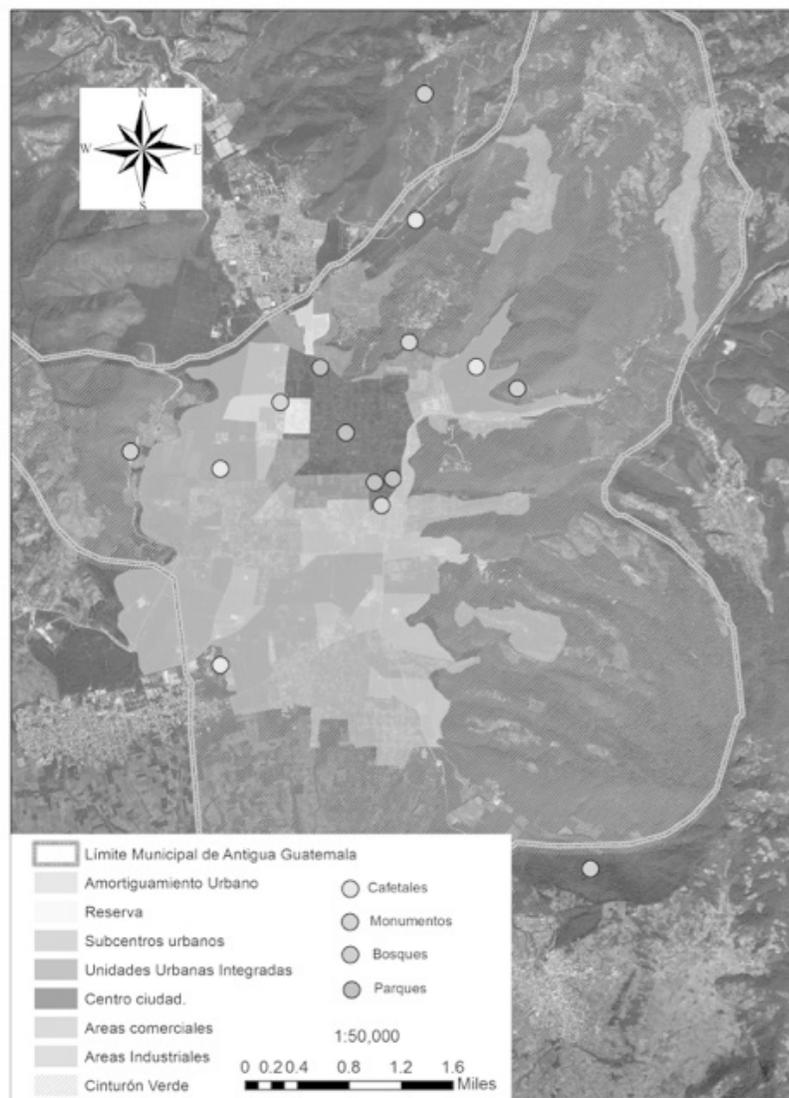


Figura 2. Mapa ubicación de los sitios de estudio.

Se realizaron inventarios de las especies de plantas vasculares en cada hábitat. Las especies de aves se registraron en cada hábitat por medio de puntos de conteo, a través de observación e identificación de cantos. Las mariposas fueron colectadas con redes entomológicas (horas / red) en cada uno de los hábitat. Para la captura de murciélagos se utilizaron redes de niebla. Posterior a su registro todos los murciélagos capturados fueron liberados. Las muestras de plantas fueron depositadas en el Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Herbario USCG) del Centro de Estudios Conservacionistas (número de ingreso 40260 - 40425) y las mariposas colectadas fueron depositadas en la Colección del Museo de Historia Natural, Universidad de San Carlos de Guatemala (Usac).

Los cálculos para generar cada indicador y los criterios de calificación se muestran en el Anexo 1. Posteriormente, se realizó la sumatoria de la calificación de cada indicador para obtener el índice para La Antigua Guatemala. Además, el resultado del índice para la ciudad de estudio se comparó con los índices de otras ciudades del mundo. Los datos fueron proporcionados por el equipo de Singapur. Se calificó cada indicador con los mismos criterios y se utilizaron los porcentajes del total para fines comparativos.

Resultados

El CBI urbano fue calculado por medio de la medición de los indicadores de tres componentes, obteniéndose un total de 33 puntos de un máximo de 72 puntos. La Tabla 1 muestra los valores obtenidos para cada componente y sus indicadores. El resultado consiste en la suma

de las calificaciones de 18 indicadores, la calificación de cada indicador se presentan en la Figura 3. El valor del índice está por debajo de lo previsto al inicio del estudio.

La evaluación de los indicadores ha tenido obstáculos en otros estudios de ciudades, por ejemplo: la falta de claridad en los límites de la ciudad (Kohsaka et al., 2013). En el tema de gobernanza, la ciudad muestra un desempeño medio. Algunos indicadores tienen la calificación más alta y otros con una calificación de cero. Es importante vincular más instituciones, tener más actividades y especificar montos para actividades directamente relacionada con diversidad biológica.

En general la ciudad debe de generar su estrategia y plan de acción de local de diversidad biológica y con esto tener un mejor desempeño en el índice CBI. Para la línea base de diversidad biológica de la ciudad de La Antigua Guatemala se registraron en el sitio de estudio: 99 especies de aves, 148 de plantas vasculares, 46 de mariposas diurnas y 11 de murciélagos.

Según se propone en el Manual del CBI, los 23 indicadores antes mencionados deben ser evaluados tres años después de esta línea base. Con eso será posible calcular y calificar los indicadores del 4 al 8 del componente I. Además, los resultados del índice para La Antigua Guatemala fueron comparados con otras ciudades del mundo.

La Figura 4 muestra el valor del índice en porcentajes del total (debido a que el número de indicadores medidos en las ciudades es variable). Para ninguna ciudad se consideraron los indicadores 4 al 8 del componente I, debido a que ninguna ciudad presentaba el resultado del cambio en número de especies, sino únicamente el número de especies de la línea base.

Tabla 1
Resultados del índice por sus tres componentes e indicadores, La Antigua Guatemala 2013

Indicadores	Calificación
Subtotal Componente I	11
1) Proporción de áreas naturales en la ciudad de La Antigua Guatemala. Total del área terrestre = 253.4 Ha Total del área verde (permeable) = 84.3 ha (el verde urbano) Proporción: 33.3%	4
2) Conectividad para detener fragmentación. EMS* calculado de 614.12 Ha, para obtener este índice se utilizó un área adicional de 3km de la zona núcleo de la ciudad (sitio de estudio).	2
3) Biodiversidad nativa en áreas construidas (aves): 46 especies nativas de aves dentro de la zona núcleo (áreas construidas) de la ciudad de La Antigua Guatemala.	2
4) Cambio en el número de especies nativas en la ciudad: Aves. Se registraron 99 especies de aves en el sitio de estudio (línea base).	NSC**

Tabla 1, continuación

Indicadores	Calificación
5) Cambio en el número de especies nativas en la ciudad: Plantas. Se registraron 148 especies de plantas en el sitio de estudio (línea base).	NSC**
6) Cambio en el número de especies nativas en la ciudad: Mariposas. Se registraron 46 especies de Mariposas en el sitio de estudio (línea base).	NSC**
7) Cambio en el número de especies nativas en la ciudad: Murciélagos. Se registraron 11 especies de murciélagos en el sitio de estudio (línea base).	NSC**
8) Cambio en el número de especies nativas en la ciudad: Insectos y otros (pendiente).	NSC**
9) Proporción de áreas protegidas: No hay áreas protegidas. Dentro del área de estudio.	0
10) Proporción de especies invasoras.	3
Subtotal Componente II	3
11) Regulación del agua. Resultado: 33%	1
12) Regulación climática y secuestro de carbono.	2
13) Servicios de recreación natural y educación ambiental (área/1000 personas): Existen 2.37 has ó 23,718.065 m ² de parques naturales (pero sin área natural sino con vegetación manejada) 52,700 habitantes. 0.045 ha por cada mil habitantes.	0
14) Servicios de recreación natural y educación ambiental (visita educacional): No se realizan visitas a áreas protegidas en el año.	0
Subtotal Componente III	19
15) Presupuesto destinado a diversidad biológica.	4
16) Número de proyectos sobre biodiversidad x autoridades: Menos de 12 por año.	0
17) Políticas, reglas y regulaciones-estrategias y planes de acción locales sobre biodiversidad: No se ha implementado ninguna.	0
18) Capacidad institucional. Número de funciones relacionadas a biodiversidad: Vivero municipal.	1
19) Capacidad institucional. Número de agencias de la ciudad o del gobierno local que participan en la cooperación entre organismos relacionados con la materia de biodiversidad: Más de 5.	4
20) Participación y asociación. Existencia y estado de proceso de consulta pública formal o informal referente a los asuntos relacionados con la biodiversidad. Existe un proceso formal.	4
21) Participación y asociación. Número de entidades/empresas privadas/ONG/instituciones académicas/organizaciones internacionales con las que la ciudad se está asociando en las actividades de biodiversidad, proyectos y programas. Entre 7 a 12 instituciones.	2
22) Educación y sensibilización (currículo escolar). Se ha incluido la educación ambiental dentro de currículo escolar oficial. Se ha intentado incluir temas de diversidad biológica.	2
23) Educación y sensibilización (eventos). De 60 -149 eventos realizados por /1,000 personas/año.	2
Total	33

Nota. *EMS: Métrica del Paisaje (Effective Mesh Size). **NSC: No se calculó (Los datos obtenidos conforman la línea base, el cálculo del cambio de especies se recomienda realizarlo tres años después de la línea base).

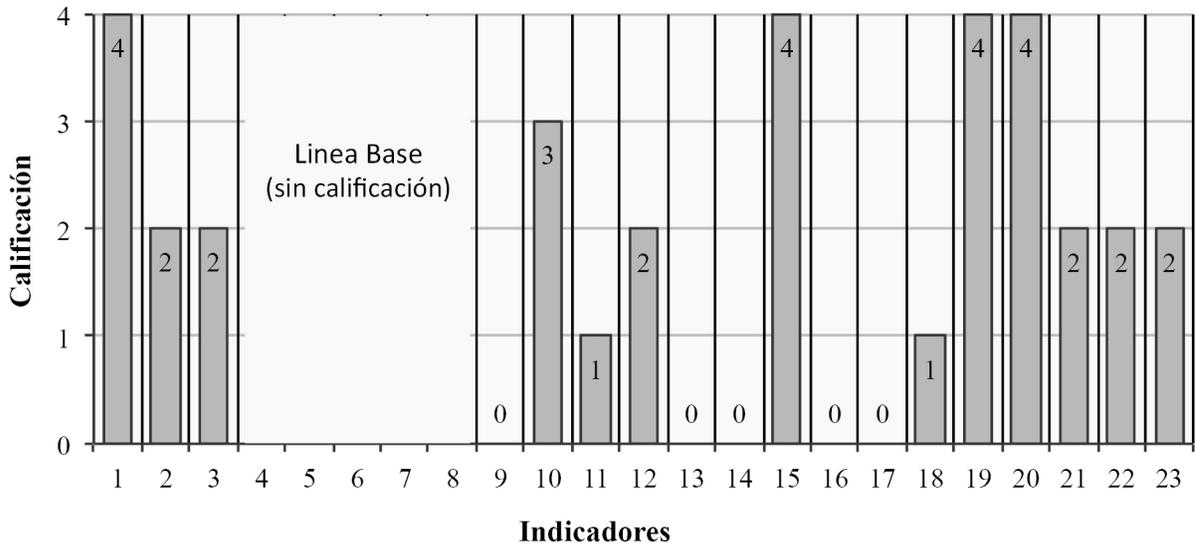


Figura 3. Calificación por indicador del índice de diversidad biológica urbana, de la ciudad de La Antigua Guatemala 2013.

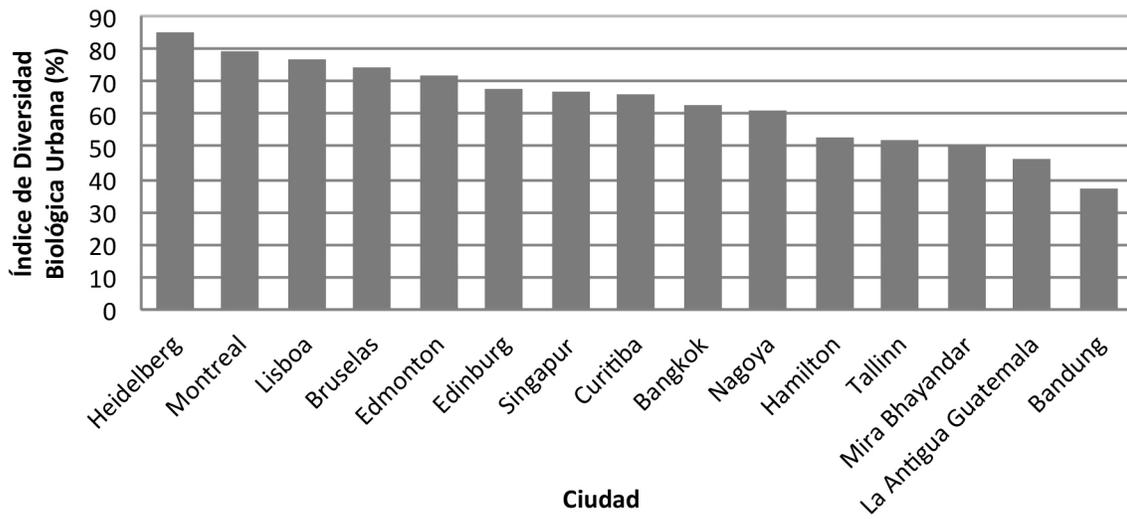


Figura 4. Comparación del índice de La Antigua Guatemala con otras ciudades del mundo.

Discusión

La diversidad biológica nativa en la ciudad de Antigua Guatemala

El componente I para la ciudad de La Antigua Guatemala presentó una calificación alta. Se observó que el límite de la ciudad no está oficialmente definido, lo cual es un obstáculo para la medición de los indicadores. Además, Chan, L. (comunicación personal, 16 de octubre, 2013) autora principal del manual de usuarios, recomendó que por su naturaleza, los indicadores del 4 al 8 se midieran pero que no recibieran calificación, ya que conformarán la línea base del índice. Estos indicadores se calcularán cuando se realice nuevamente la evaluación del índice, 3 años después de ésta evaluación, y tener un puntaje que se contabilizará para el total. El indicador 1 (proporción de áreas verdes) fue calculado para la zona núcleo de la ciudad, basado en los resultados de [Castillo, García, López y Celada \(2013\)](#). Sin embargo, al no existir un límite establecido de la ciudad, este valor es sensible a la escala. Para mejorar el desempeño en este indicador, es necesario incrementar la proporción de áreas naturales públicas. Al incrementar las áreas naturales, es importante mejorar la conectividad entre las áreas verdes en la ciudad, lo cual es necesario según lo documentado con el indicador 2. Para esto se requiere evaluar la conectividad de forma funcional, es decir, el papel de las áreas verdes en la movilidad de diferentes grupos taxonómicos.

En el caso de especies nativas en áreas construidas o zona núcleo de la ciudad (indicador 3), se tomaron en cuenta las especies de aves presentes en monumentos y parques de la ciudad, registrando un número de 46 especies de aves. Este número se considera aceptable, pero se recomienda que se haga un esfuerzo mayor, debido a que en el estudio solamente se logró trabajar en época lluviosa. Es probable que realizando observaciones durante la época seca, puedan surgir otras especies, incluyendo algunas de carácter migratorio. Como se indicó anteriormente, el indicador 4 a 8 sobre el cambio en número de especies, en esta ocasión se estableció la línea base, por lo que en tres años podrá ser estimado. Para la línea base se registraron en todo el sitio de estudio: 99 especies de aves, 148 especies de plantas, 46 especies de mariposas diurnas y 11 de murciélagos. Es importante mencionar que en un estudio anterior ([Kraker-Castañeda & Pérez-Consuegra, 2011](#)) se reportaron 12 especies de murciélagos, lo que

podría indicar que la variación del entorno ecológico se mantiene estable.

El indicador 9 sobre áreas protegidas dentro de la ciudad, obtuvo un puntaje de 0 puntos, debido a la falta de áreas protegidas dentro de La Antigua Guatemala. En Guatemala, el Conap, ha exhortado la creación de áreas protegidas dentro de cascos urbanos y municipales como una forma de beneficiar a los vecinos con espacios para la recreación. Además, el tema ha sido incentivado internacionalmente. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), ha formado un grupo de especialistas enfocados en áreas protegidas urbanas. Las áreas protegidas urbanas son importantes porque promueven la calidad de vida y la salud humana, conectan a las personas con la naturaleza y le dan un sentido de pertenencia, son un espacio para aprender de la naturaleza y la biodiversidad, proveen de servicios ecosistémicos, contribuyen a la infraestructura verde en la ciudad, participan en la mitigación al cambio climático, refuerzan la resiliencia frente al cambio climático, protegen especies que no se protegen en otros lados y apoyan a la economía local ([Trzyna, 2014](#)).

Sobre indicador 10, las especies invasoras encontradas fueron 3; una especie de ave y dos de plantas. En el caso del ave invasora, la especie es *Passer domesticus* (gorrión europeo). Sin embargo, aún y cuando es catalogada como especie invasora en México ([Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras, 2010](#)), en Guatemala se encuentra como especie de la Lista gris de especies exóticas ([Conap, 2011](#)). En el caso de las plantas, las especies invasoras son *Taraxacum officinale* L.) Weber ex F.H.Wigg y *Ricinus communis* L. conocidas como diente de león y ricino, respectivamente. A nivel nacional la primera se encuentra en la Lista gris ([Conap, 2011](#)) y la segunda no se reporta. Otros países si las reportan como especies invasoras, tal es el caso del ricino que es catalogada como altamente invasora, probablemente por su alta plasticidad ([Martins, Hadad, & Semir, 2011](#)). Para el caso del diente de león, se reporta como invasora desde EEUU hasta Chile, lo que podría significar que en Guatemala también sería invasora. Ésta planta compite por los polinizadores y además es resistente a herbicidas ([Quiroz, Pauchard, Marticorena, & Cavieres, 2009](#)).

Esta falta de información sobre especies invasoras abre una importante ventana a la investigación en Guatemala, porque representan un peligro para las especies nativas y deben tener un control para evitar cambios en las interacciones ecológicas.

Los servicios ecosistémicos que provee la diversidad biológica nativa en la ciudad

Como se observa en los resultados obtenidos en esta investigación, la ciudad de La Antigua Guatemala tiene un desempeño bajo en estos indicadores. Además estos son reconocidos por la ciudadanía como importantes, ya que sus beneficios son identificados (Castillo et al., 2013). Esto puede interpretarse como un aspecto negativo de la ciudad y de sus habitantes, debido que el valor sugiere que la provisión de estos servicios, de acuerdo al indicador, no está en un nivel básico (beneficios en materia de regulación del agua, del clima y de la captura de carbono, además de los servicios relacionados a educación y recreación).

En general se evidencia que existe insuficiente espacio de áreas verdes (naturales o manejadas) que permitan mejorar estos indicadores. La ciudad no posee más espacios en propiedad y los que quedan están en diferentes regímenes de propiedad como el Consejo para la Protección de Antigua Guatemala, empresas privadas y personas individuales. Por lo tanto, es necesario definir estrategias para buscar soluciones basadas en la naturaleza (Eggermont et al., 2015) lo que supone reconocer la ciudad como un sistema socio-ecológico que debe resolver los retos de la sociedad mediante el uso sostenible de la naturaleza maximizando el suministro de servicios ecosistémicos.

Hay que reconocer que también la falta de límites oficiales sobre el área que debería ocupar la ciudad, puede modificar el dato obtenido. Al aumentar los límites de la ciudad, es probable que los indicadores 11 y 12 tengan mayor puntaje. La falta de claridad en los límites también es un problema a nivel mundial encontrado en otras ciudades que han llevado a cabo el análisis del índice (Kohsaka et al., 2013) por lo que, tal y como se ha observado en otros estudios, la municipalidad de La Antigua Guatemala debería realizar consultas para demarcar los límites de la ciudad, o bien, realizar cambios en el cálculo del indicador. Esta sugerencia ha sido planteada por otros estudios que han encontrado que servicios ecosistémicos (como los indicadores 11 y 12) provienen de áreas alejadas de los límites de la ciudad. Puesto que las ciudades al ser grandes centros de consumo, afectan regiones más allá de su espacio (tanto regional como globalmente) (Kohsaka et al., 2013).

Para el caso de los indicadores 13 y 14 relacionados al tema de recreación y educación, se puede interpretar esto en dos direcciones: la primera, relacionada siempre al tema de la falta de espacios naturales

o áreas verdes públicas para que sean visitadas por las personas. Es decir, existe insuficiente espacio para que las personas hagan actividades de recreación. De igual manera que los indicadores anteriores, es lo que puede hacer la administración municipal, pero también está el efecto de los límites y de la escala en el cálculo de los indicadores. Por ejemplo, la Finca Florencia, (que está en otro municipio cercano pero es administrada por la municipalidad de La Antigua Guatemala) es visitada por numerosos vecinos, no sólo de la ciudad estudiada, sino también de municipios cercanos, además de ser frecuentemente visitada por habitantes de la ciudad capital. Esto es un problema que debería ser comunicado a los encargados de ir buscando mejoras en el cálculo del índice. Como ejemplo, Kohsaka y colaboradores (2013) encontraron en general para varias ciudades evaluadas, Edmonton, Mira Bhainder, Lisboa, dos ciudades de Japón, existe un problema en cómo definir las áreas naturales que mejor sería realizar un análisis de gradiente lo que significa, expandir la escala.

La segunda dirección está relacionada más con el quehacer de la municipalidad y otras instituciones para facilitar y promover las visitas de estudiantes de todos los niveles a diferentes áreas verdes tanto naturales como manejadas. De manera general se consultó a la delegación departamental de Educación de Sacatepéquez y ellos no autorizan viajes o salidas de escolares fuera de cierto rango. Con ello los escolares pierden la oportunidad de tener contacto con la diversidad biológica del país. Una coordinación más efectiva entre los diversos grupos de la sociedad civil y las instituciones de gobierno junto con la municipalidad, podrían revertir este patrón encontrado.

Sin embargo, ambas conllevan la responsabilidad de claramente realizar una delimitación de los límites de lo que se podría considerar la ciudad de La Antigua Guatemala, o al menos, utilizar límites relacionados a los servicios ecosistémicos que, ya como se mencionó anteriormente, tienen una dimensión espacial regional y hasta global. Asimismo, la decisión de tener más espacio público y privado verde, y hasta con carácter protegido, podría significar un aumento de los beneficios a los habitantes de la ciudad y como consecuencia, mejorar el desempeño ambiental en este componente del índice. De acuerdo a la revisión del índice para varias ciudades y estudios anteriores (Haase, Schwarz, Strohbach, Kroll, & Seppet, 2012; Kohsaka et al., 2013; Martín-López et al., 2012; Raudsepp-Hearne, Peterson, & Bennett, 2010) los servicios ecosistémicos aparecen en grupos y tienen interacciones entre ellos (sinergias,

compensaciones, pérdidas) por lo que se recomienda que en este índice se evalúen también estas características, a mediano y largo plazo y en una escala espacial regional. Especialmente evaluar los efectos de interacción en los cafetales cercanos a la ciudad, pues en estos tipos de agro-ecosistemas se han encontrado efectos de interacción relacionados a las prácticas de manejo (Boreaux, Kushalappa, Vaas, & Ghazoul, 2013) y su impacto sobre la ciudad no se ha estimado.

Además, en nuestro estudio se identificó que los cafetales, como un tipo de área verde, son ambientes relevantes para proveer servicios ecosistémicos a la ciudad. Para mejorar el desempeño de la ciudad en tema de servicios ecosistémicos, será necesaria la vinculación de sociedad civil, fincas de café y gobierno local, con el objetivo de evaluar cuantitativamente (oferta y demanda) los distintos servicios que se obtienen de estas áreas así como su valoración económica, tal y como se ha realizado en otros países con cultivos de café (Taugordeau et al., 2014; Berghöfer, 2011).

Gobernanza y manejo de la diversidad biológica en la ciudad

El componente III de la ciudad tiene indicadores relacionados a la administración, gestión, planificación y diseño de las ciudades, es decir, la gobernanza relacionada a la diversidad biológica en la ciudad. En este aspecto la ciudad muestra un desempeño medio. Algunos indicadores tienen el puntaje alto y otros con puntaje de cero.

En el caso del indicador 15 y 16 (presupuesto y proyectos sobre biodiversidad, respectivamente) los cuales están directamente relacionados, se observa una contradicción muy evidente: se tiene un presupuesto que de acuerdo al CBI es adecuado para temas ambientales en general. Pero al evaluar la información sobre los proyectos específicos al tema de diversidad biológica, estos son muy escasos y la diversidad biológica aparece en un plano secundario.

Este problema, que los presupuestos son generales y no evidencian acciones directas sobre la diversidad biológica, se ha reportado para otras ciudades, en donde, debido a la estructura administrativa, es difícil especificar los montos exactos para tales acciones (Kohsaka et al., 2013). Los proyectos que la municipalidad de la Antigua Guatemala tiene en relación a la diversidad biológica son escasos y una forma de mejorar en este aspecto sería de convocar a todos los sectores involucrados para planificar y diseñar una estrategia

local y un plan de acción local de biodiversidad, recomendado por el CDB. En unas ciudades de Japón se implementó la norma ISO 14001 y tuvo un efecto positivo en la administración de la ciudad, haciendo que todos los departamentos (que en general desconocen el tema de diversidad biológica, salvo los relacionados al tema ambiental) tuvieran acceso a la importancia de la gestión y manejo de la diversidad biológica en la ciudad (Kohsaka et al., 2013). Esta misma situación podría recomendarse para la ciudad de la Antigua Guatemala. Esto básicamente, significa que la diversidad biológica constituya un eje transversal en el quehacer de las autoridades a nivel local, y en este caso de las ciudades (Avlonitis et al., 2013)

También con el indicador 17 ocurre un desconocimiento de cierta normativa internacional suscrita por el país en materia de diversidad biológica. Las acciones que recomienda el CBD no han sido implementadas por la ciudad de Antigua Guatemala. Una lectura cuidadosa de estos compromisos de Estado, y que benefician a los habitantes y turistas en la ciudad, (además de mejorar el manejo y gestión de la diversidad biológica), es necesaria para realizar acciones locales sobre este tema. Se deben desarrollar actividades participativas para evaluar la política ambiental de la municipalidad e implementar las acciones recomendadas como la estrategia local y plan de acción sobre diversidad biológica (Avlonitis et al., 2013).

En cuanto a las funciones institucionales relacionadas a diversidad biológica (indicador 18) también la ciudad obtuvo un puntaje bajo. Esto se debe a la falta de implementación de acciones recomendadas en el Plan Maestro de la Ciudad (López García & Martín Hernández, 2010) tales como mariposarios, jardines botánicos y otras que visibilizarían el papel fundamental de la diversidad biológica en la vida de las personas. Estas acciones además cumplirían un papel educador para los diferentes sectores sociales locales y regionales. Otras ciudades (Figura 4) han tenido un puntaje alto porque tienen diferentes instituciones realizando funciones relacionadas a la diversidad biológica. Por ejemplo, las ciudades de Bangkok y Nagoya poseen instituciones como museos, jardines botánicos, centros de investigación, centros de educación ambiental y diversidad biológica (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2012).

En relación al indicador 19, la cooperación de otras agencias o instituciones de gobierno con la municipalidad para realizar acciones concretas en diversidad biológica, obtuvo el puntaje máximo de 4 puntos. Sin

embargo, deben de vincularse más agencias y especificar las acciones. Esto fortalecería a las partes involucradas en uso eficiente de los recursos, transmisión de conocimiento y capacidad técnica.

Los indicadores 20 y 21 sobre participación y asociación, en cuanto a procesos formales de consulta, son implementados como parte del proceso rutinario en cualquier tipo de proyecto que pueda tener un impacto ambiental. Además, son necesarias acciones y procesos locales para evaluar impactos en la diversidad biológica y servicios ecosistémicos por medio de mecanismos participativos. En cuanto, a consorcios formales o informales de la ciudad con otras entidades (agencias nacionales, subnacionales, empresas privadas, sociedad civil), es necesario formalizar las acciones que realiza la municipalidad, por ejemplo como las acciones de investigación que realiza la Universidad de San Carlos de Guatemala; además, formalizar la colaboración con la iniciativa privada como fincas cafetaleras, que es relevante para la conservación de la biodiversidad de los alrededores de la ciudad (Taugourdeau et al., 2014).

La educación y sensibilización fue evaluada, determinando la inclusión de temas de biodiversidad en el currículo de las escuelas en la ciudad (indicador 22) donde se está implementando la inclusión de estos temas por medio del gobierno central, el gobierno local no tiene participación determinante en los planes de estudio de las escuelas. Sin embargo, de acuerdo al Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2012), en otros países (Escocia y Singapur) se han implementado programas informales o programas extra-aula donde se trabajan temas de ecología, ambientales y de biodiversidad.

En el mismo tema, el indicador 23 relacionado a los eventos sobre diversidad biológica es necesario mejorarlo, desarrollando más actividades de educación, capacitación y divulgación sobre la diversidad biológica local. Para hacer efectivo un programa que incluya eventos sobre diversidad biológica es necesario realizar un proceso participativo. El proceso deberá incorporar a los diferentes sectores de la ciudad de La Antigua Guatemala, y de esa manera formular e implementar una Estrategia Local de Diversidad Biológica y su Plan de Acción congruente con las iniciativas del CDB y la Estrategia Nacional de Diversidad Biológica (Avlonitis et al., 2013; Conap, 2012).

En general en este estudio encontramos varias “dificultades” para evaluar el Índice de Diversidad Biológica Urbana, como la falta de datos exactos, aspectos de escala (local-regional) y límites. Todos estos problemas han sido reportados por el trabajo más reciente sobre el índice realizado por Kohsaka y colaboradores

(2013) y en el cual se indican otras sugerencias para mejorar el índice como:

- incorporar la dimensión espacial para el caso de servicios ecosistémicos, además de aumentar el número de servicios a ser evaluados, y
- utilizar un enfoque de gradiente para analizar la diversidad biológica (hecho ya realizado por este estudio) y además utilizar grupos funcionales.

De acuerdo a los resultados de Castillo y colaboradores (2013) la ciudadanía tiene interés en participar en aspectos relacionados a diversidad biológica y tienen conocimiento sobre el papel que desempeñan en la calidad de vida para las sociedades. El índice no incluye hasta el momento este aspecto y se considera que esto es importante, porque permite sugerir que el índice incorpore en su evaluación del componente III de gobernanza, aspectos de la participación activa de la ciudadanía, pues esta es parte esencial en las relaciones que se establecen entre la sociedad y su entorno.

Agradecimientos

Al Herbario USCG. A la Dra. Lena Chan, Directora del Consejo de Parques Nacionales de Singapur (responsable del grupo de especialistas del CDB de las Naciones Unidas para implementación del CBI), por proporcionar los manuales actualizados y por el asesoramiento de ella y de su equipo en Singapur. Al CDB por avalar los resultados de esta investigación. A la Dirección General de Investigación, Usac por el financiamiento del Proyecto Digi 4.8.63.2.34., a la Municipalidad de La Antigua Guatemala, en especial al Ing. Vitelio Contreras. A los colaboradores de la investigación: Hugo Enríquez, Astrid Jump, Christian Kraker, Mauricio García, Vivian González y Juan Carlos Nájera.

Referencias

- Avlonitis, G., Doll, C., Galt, R., Mader, A., Moreno-Penaranda, R., Patrickson, S., ... Shih, W. (2013). *Local biodiversity strategy and action plan guidelines: An aid to municipal planning and biodiversity conservation*. Recuperado de http://collections.unu.edu/eserv/UNU:1494/LB-SAP_Guidelines.pdf

- Berghöfer, A. (Coord.). (2011). *TEEB Manual for cities: Ecosystem services in urban management*. The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Recuperado de http://doc.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Additional%20Reports/Manual%20for%20Cities/TEEB%20Manual%20for%20Cities_English.pdf
- Boreaux, V., Kushalappa, C. G., Vaast, P., & Ghazoul, J. (2013). Interactive effects among ecosystem services and management practices on crop production: Pollination in coffee agroforestry systems. *Proceedings of the National Academy of Science*, 110(21), 8387-8392. doi: 10.1073/pnas.1210590110
- Castillo, F., García, J., López, A., & Celada, M. (2013). *Los servicios ecosistémicos urbanos en las ciudades de Quetzaltenango y la Antigua Guatemala* (Inf-2012-36). Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente.
- Chan, L., Hillel, O., Elmqvist, T., Werner, P., Holman, N., Mader, A., & Calcaterra, E. (2014). *User's Manual on the Singapore Index on Cities' Biodiversity (also known as the City Biodiversity Index)*. Singapore: National Parks Board, Singapore. Recuperado de <https://www.nparks.gov.sg/~media/nparks-real-content/biodiversity/singapore-index/users-manual-on-the-singapore-index-on-cities-biodiversity.ashx?la=en>
- Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. (2010). *Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación*. México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2011). *Fortalecimiento de las Capacidades Institucionales para Abordar las Amenazas Provocadas por la Introducción de Especies Exóticas en Guatemala*. Guatemala. Documento técnico No. (79-2010). Recuperado de <https://www.cbd.int/invasive/doc/meetings/isaem-2015-01/DECISION%20SUPPORT%20TOOLS/iasem-guatemala-dst-04-esp.pdf>
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2013). *Política Nacional de Diversidad Biológica (Acuerdo Gubernativo 220 -2011). Estrategia Nacional de Diversidad Biológica y su Plan de Acción (Resolución 01-16-2012)*. La Década de la Vida y el Desarrollo (Políticas, Programas y Proyectos No. 03 [01-2013]). Recuperado de <http://www.chmguatemala.gob.gt/Members/esolorzano/mis-documentos-2012/estrategia-nacional-de-diversidad-biologica-y-plan-de-accion-2012-2022/estrategia-nacional-de-diversidad-biologica-y-plan-de-accion-version-hconap.pdf/view>
- Eggermont, H., Balian, E., Azevedo, J. M., Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., ... Le Roux, X. (2015). Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe. *GAIA*, 24(4), 243-248.
- Haase, D., Schwarz, N., Strohbach, M., Kroll, F., & Seppelt, R. (2012). Synergies, trade-offs, and losses of ecosystem services in urban regions: an integrated multiscale framework applied to the Leipzig-Halle Region, Germany. *Ecology and Society*, 17(3), 1-22. doi: 10.5751/ES-04853-170322
- Kohsaka, R., Pereira, H., Elmqvist, T., Chan, L., Moreno-Peñaranda, R., Morimoto, Y., ... Pearsell, G. (2013). Indicators for management of urban biodiversity and ecosystem services: City biodiversity index. In T. Elmqvist, M. Fragkias, J. Goodness, B. Güneralp, P. Marcotullio, R. McDonald, ... C. Wilkinson (Eds.). *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities* (Chapter 33, pp. 669-718). Netherlands: Springer.
- Kraker-Castañeda, C., & Pérez-Consuegra, S. G. (2011). Contribución de los cafetales bajo sombra en la conservación de los murciélagos de la Antigua Guatemala, Guatemala. *Acta Zoológica Mexicana*, 27(2), 291-303.
- López García, J.S. & Martín Hernández, M.J. (2010). Plan Maestro de La Antigua Guatemala, República de Guatemala. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Consejo Nacional para la Protección de La Antigua Guatemala y Municipalidad de La Antigua Guatemala.

- Martín-López, B., Iniesta-Arandia, I., García-Llorente, M., Palomo, I., Casado-Arzuaga, I., García, D., ... Montes, C. (2012). Uncovering ecosystem service bundles through Social preferences. *PLoS ONE*, 7(6), 1-11. doi: [10.1371/journal.pone.0038970](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038970)
- Martins, V., Haddad, C. R., & Semir, J. (2011). Responses of the invasive *Ricinus communis* seedlings to competition and light. *New Zealand Journal of Botany*, 49(2), 263-279. doi: [10.1080/0028825X.2010.548069](https://doi.org/10.1080/0028825X.2010.548069).
- Quiroz, C., Pauchard, N., Marticorena, A. I. & Cavieres, L. (2009). *Manual de plantas invasoras del centro-sur de Chile* (Proyecto CONICIT PFB-23). Concepción, Chile: Universidad de Concepción, Laboratorio de Invasiones Biológicas. Recuperado de http://www.academia.edu/13481327/Manual_de_Plantas_invasoras_del_centro-sur_de_Chile
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D., & Bennett, E. M. (2010). Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Science* 107(11), 5242-5247. doi: [10.1073/pnas.0907284107](https://doi.org/10.1073/pnas.0907284107)
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2012). *Cities and Biodiversity Outlook*. Montreal, Canada: Autor. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/publications/cbo-booklet-2012-en.pdf>
- Taugourdeau, S., Le Maire, G., Avelino, J., Jones, J. R., Ramírez, L. G., Jara, M., ... Roupsard, O. (2014). Leaf area index as an indicator of ecosystem services and management practices: An application for coffee agroforestry. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 192, 19-37. doi: [10.1016/j.agee.2014.03.042](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.042).
- Trzyna, T. (2014). *Urban protected areas: Profiles and best practice guidelines* (Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 22). Gland, Switzerland: IUCN. Recuperado de https://cmsdata.iucn.org/downloads/bpg_urban_protected_areas.pdf
- United Nations. (2012). *World urbanization prospects: The 2011 Revision*. Recuperado de http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/WUP2011_Report.pdf

Anexo 1.

Cálculos para la generación y calificación de los indicadores del índice de diversidad biológica urbana de la ciudad de La Antigua Guatemala

Componente I. Diversidad biológica nativa la ciudad

1. Proporción de áreas naturales en la ciudad	0 puntos: < 1.0% 1 punto: 1.0% – 6.9% 2 puntos: 7.0% – 13.9% 3 puntos: 14.0% – 20.0% 4 puntos: > 20.0%	Total del área terrestre = 253.4 Ha Total del área verde (permeable) = 84.3 Ha (el verde urbano) Proporción: 33.28%
2. Conectividad para detener fragmentación	0 puntos: < 200 ha 1 puntos: 201 - 500 ha 2 puntos: 501 - 1000 ha 3 puntos: 1001 - 1500 ha 4 puntos: > 1500 ha	Effective Mesh Size calculado de 614.12 ha., para obtener este índice se utilizó un buffer de 3km alrededor de la ciudad.
3. Biodiversidad nativa en áreas construidas	0 puntos: < 19 especies de aves 1 puntos: 19 - 27 especies de aves 2 puntos: 28 - 46 especies de aves 3 puntos: 47 - 68 especies de aves 4 puntos: > 68 especies de aves	46 especies nativas de aves dentro de las áreas construidas de la ciudad.
4 al 8. Cambio en el número de especies nativas en la ciudad	0 puntos: el número de especies se mantiene o disminuye 1 puntos: incrementa 1 especie 2 puntos: incrementa 2 especies 3 puntos: incrementa 3 especies 4 puntos: incrementa 4 o más especies	Estos son datos de la línea base. Se recomienda calcular el indicador tres años despues.
9. Proporción de áreas protegidas	0 puntos: < 1.4% 1 punto: 1.4% - 7.3% 2 puntos: 7.4% - 11.1% 3 puntos: 11.2% - 19.4% 4 puntos: > 19.4%	No hay áreas protegidas
10. Proporción de especies invasoras	0 puntos: > 30.0% 1 punto: 20.1% - 30.0% 2 puntos: 11.1% - 20.0% 3 puntos: 1.0% - 11.0% 4 puntos: < 1.0%	3 especies invasoras: 1 de aves (<i>Passer domesticus</i>) y 2 de plantas (<i>Ricinus communis</i> y <i>Taraxacum officinale</i>) del total de 256 especies encontradas. 1%

Componente II. Servicios Ecosistémicos en la ciudad

11. Regulación del agua	0 puntos: < 33.1% 1 punto: 33.1% - 39.7% 2 puntos: 39.8% - 64.2% 3 puntos: 64.3% - 75.0% 4 puntos: > 75.0%	Total del área terrestre = 253.4 Ha Total del área verde (permeable) = 84.3Ha Proporción: 33.28%
-------------------------	--	--

12. Regulación climática y secuestro de carbono	0 puntos: < 10.5% 1 punto: 10.5% - 19.1% 2 puntos: 19.2% - 29.0% 3 puntos: 29.1% - 59.7% 4 puntos: > 59.7%	$[273,452 \text{ (celdas)} * 0.52] \div (253,400) \times 100 =$ $(68,363\text{m}^2/253,400\text{m}^2) \times 100 = 26.97\%$
13. Servicios educativos y recreativos	Área de Parques Naturales por 1000 personas 0 puntos: < 0.1 ha/1000 personas 1 punto: 0.1 - 0.3 ha/1000 personas 2 puntos: 0.4 - 0.6 ha/1000 personas 3 puntos: 0.7 - 0.9 ha/1000 personas 4 puntos: > 0.9 ha/1000 personas	Existen 2.37 Has ó 23,718.065297 m2 de parques naturales (pero sin área natural sino con vegetación manejada) 52,700 Habitantes. 0.045 has por cada mil habitantes.
14. Servicios educativos y recreativos	Visitas Educativas a Parques Naturales 0 puntos: 0 visitas educacionales formales/año 1 punto: 1 visita educacional formal/año 2 puntos: 2 visitas educacionales formales/año 3 puntos: 3 visitas educacionales formales/año 4 puntos: > 3 visitas educacionales formales/año	No se realizan visitas a áreas protegidas en el año

Componente III. Gobernanza y manejo de la diversidad biológica en la ciudad

15. Presupuesto destinado a diversidad biológica	0 puntos: < 0.4% 1 punto: 0.4% - 2.2% 2 puntos: 2.3% - 2.7% 3 puntos: 2.8% - 3.7% 4 puntos: > 3.7%	Monto destinado a biodiversidad) ÷ (Presupuesto total de la ciudad) × 100% Mayor a 3.7% (para temas ambientales en general)
16. Número de proyectos sobre biodiversidad implementados por las autoridades de la ciudad	0 puntos: < 12 programas/proyectos 1 punto: 12 - 21 programas/proyectos 2 puntos: 22 - 39 programas/proyectos 3 puntos: 40 - 71 programas/proyectos 4 puntos: > 71 programas/proyectos	Menos de 12 por año
17. políticas, reglas y regulaciones-estrategias y planes de acción locales sobre biodiversidad	0 puntos: No LBSAP 1 punto: LBSAP no se alinea a NBSAP 2 puntos: LBSAP incorpora elementos de NBSAP, pero no incluye ninguna iniciativa del CBD 3 puntos: LBSAP incorpora elementos de NBSAP, e incluye 1 a 3 iniciativas del CBD 4 puntos: LBSAP incorpora elementos de NBSAP, e incluye 4 o más iniciativas CBD	No se tiene implementado nada.
18. Capacidad institucional	0 puntos: Sin funciones 1 punto: 1 función 2 puntos: 2 funciones 3 puntos: 3 funciones 4 puntos: > 3 funciones	Vivero municipal

19. Capacidad institucional	<p>0 puntos: 1 o 2 agencias coopera en asuntos sobre biodiversidad 1 punto: 3 agencias coopera en asuntos sobre biodiversidad 2 puntos: 4 agencias coopera en asuntos sobre biodiversidad 3 puntos: 5 agencias coopera en asuntos sobre biodiversidad 4 puntos: Más de 5 agencias coopera en asuntos sobre biodiversidad</p>	Más de 5.
20. Participación y asociación	<p>0 puntos: No tiene procesos de rutina formales o informales de consulta y participación 1 punto: Procesos formales o informales están siendo considerados como parte del proceso rutinario. 2 puntos: Procesos formales o informales están siendo considerados como proceso de rutina 3 puntos: Procesos formales e informales están en proceso de ser implementados como parte del proceso rutinario 4 puntos: Procesos formales o informales existen como parte del proceso rutinario.</p>	Existen procesos formales
21. Participación y asociación	<p>0 puntos: No hay consorcios formales/ informales 1 punto: La ciudad en consorcio con 1 - 6 otras agencias nacionales o subnacionales /empresas privadas/ONG/ instituciones académicas/organizaciones internacionales 2 puntos: La ciudad en consorcio con 7-12 otras agencias 3 puntos: La ciudad en consorcio con 13-19 otras agencias 4 puntos: La ciudad tiene convenios con 20 otras agencias</p>	Entre 7 a 12 instituciones.
22. Educación y sensibilización	<p>0 puntos: Biodiversidad o sus elementos no están incluidos en el curriculum de las escuelas 1 punto: Biodiversidad o sus elementos son considerados para incluirlos en el curriculum de las escuelas 2 puntos: Biodiversidad o sus elementos se ha planificado incluirlos en el curriculum de las escuelas 3 puntos: Biodiversidad o sus elementos están en proceso de implementación en el curriculum de las escuelas 4 puntos: Biodiversidad o sus elementos están incluidos en curriculum de las escuelas</p>	Aparentemente varias instituciones están tratando de impulsar el tema para el curriculum nacional de base.
23. Educación y sensibilización	<p>0 puntos: 0 eventos de divulgación /1000 personas/año 1 punto: 1 - 59 eventos de divulgación /1000 personas/año 2 puntos: 60 -149 eventos de divulgación /1000 personas/año 3 puntos: 150-300 eventos de divulgación /1000 personas/año 4 puntos: > 300 eventos de divulgación /1000 personas/año</p>	De 60 -149 eventos realizados por /1000 personas/año

Medicina tradicional y fitoterapia una alternativa para el mejoramiento de la salud en Guatemala

Sully M. Cruz*

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

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

Recibido: 12 de agosto 2015 / Revisión: 13 de agosto 2015 / Aceptado: 13 de mayo 2016 / Disponible en línea: 17 de junio 2016

Resumen

El empleo de las plantas medicinales con fines curativos es una práctica que se ha utilizado ancestralmente. Durante mucho tiempo los remedios naturales fueron el principal recurso disponible, esto hizo que se profundizara en el conocimiento de las especies vegetales, surgiendo así como una disciplina la fitoterapia. En todo el mundo, la medicina tradicional, complementaria o no convencional ha constituido un pilar importante en la prestación de servicios de salud. Muchos países reconocen actualmente la necesidad de elaborar un enfoque coherente e integral de la atención de salud que facilite el acceso de la medicina tradicional de manera segura, respetuosa, asequible y efectiva, por lo que surge la estrategia de la Organización Mundial de Salud 2002-2005, que por su importancia fue actualizada para 2014-2023. En Guatemala existe una práctica tradicional de uso de plantas medicinales, además se cuenta con un Programa Nacional de Medicina Tradicional y con el *Vademécum Nacional de Plantas Medicinales*, el cual contiene la información sobre plantas medicinales validadas y con suficiente evidencia científica. Derivado del análisis de la situación del sistema de salud, se plantea como una de las estrategias para mejorar el acceso, la calidad de la atención y la promoción de la salud, un abordaje intercultural, dándole un nuevo enfoque al sistema de salud de una forma integrada, incluyente y pluricultural, que promueva la calidad en el servicio y que responda a las necesidades de la comunidad con los recursos que le brinda su ambiente.

Abstract

Traditional use of herbal medicines refers to the long historical use of these medicines, for a long time natural remedies were the main resource available, making the knowledge of plant species an emerging discipline, phytotherapy. Worldwide, traditional, complementary or unconventional medicine has constituted an important pillar in the provision of health services, many countries recognize the need to develop a coherent and comprehensive approach in health care, facilitating access of traditional medicine in a safe, friendly, affordable, and effective way. From this reason arise the strategy of the World Health Organization 2002-2005, because of its importance it was updated for 2014-2023. In Guatemala there is a traditional practical use of medicinal plants, also there is a National Program on Traditional Medicine and the National Vade mecum on Medicinal Plants, which contain validated information about medicinal plants and with sufficient scientific evidence. Derived from the analysis of the national health system, medicinal plants are proposed as one of the strategies to improve access to health care quality, and health promotion of intercultural approach, giving a new proposal to health care systems as integrated, inclusive, accessible and multicultural that promotes quality in service and to answer the needs of the community with the resources provided by the environment.

Segundo lugar del Segundo Concurso de Ensayo Científico (2014) de la Dirección General de Investigación



Introducción

En muchas partes del mundo, las instancias normativas, los profesionales de la salud y el público están enfrentando asuntos relativos a la seguridad, eficacia, calidad, disponibilidad, preservación y reglamentación tanto de la medicina tradicional y complementaria (MTC), como la utilización racional de los productos naturales medicinales comercializados. La utilización de la MTC sigue siendo amplia en la mayoría de los países, y está creciendo rápidamente. Al mismo tiempo, el interés por la MTC se está extendiendo más allá de los productos naturales, y abarca también las prácticas y los profesionales.

El público y los usuarios de servicios de salud en todo el mundo siguen incluyendo la MTC y los productos naturales entre sus decisiones relacionadas con la salud. El aumento del interés por la MTC exige su integración en los sistemas de salud. Las instancias normativas y los usuarios deberían examinar de qué manera la MTC puede mejorar la experiencia del paciente y la salud de la población. Se deben considerar importantes cuestiones relativas al acceso, así como a la población y la salud pública.

Cuando se analizan las causas de la mortalidad general en Guatemala, para el período 2001-2012, se observa que el perfil epidemiológico sufre una transición de las causas infecciosas a las causas crónicas (no transmisibles) y las lesiones externas (muchas de estas son producto de la violencia).

Para el abordaje de los principales problemas de salud en Guatemala se propone por parte del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) la implementación de la estrategia de atención primaria en salud renovada, la cual integra la organización del sistema de atención a la salud y el desarrollo social, para actuar sobre los determinantes de la salud bajo principios de equidad, justicia social, respeto a la diversidad cultural, cobertura y acceso universal, promoción de la salud, prevención de enfermedades, atención oportuna y resolutive, empleo de tecnologías apropiadas e impulso a la participación social y comunitaria.

Por lo anteriormente indicado se sugiere que la implementación de la MTC y la utilización de los productos naturales constituyen una opción viable para la población ya que hay aceptación, interés y disponibilidad y ha formado parte de la cultura desde tiempos ancestrales.

Contenido

La medicina es parte de la cultura de un pueblo. No hay pueblo, que no haya desarrollado algún sistema de medicina, es decir, un cuerpo ideológico o doctrinario acerca de la vida y la muerte, la salud y la enfermedad, y más concretamente sobre las causas de las afecciones, la manera de reconocerlas y diagnosticarlas, así como las formas o procedimientos para aliviar, curar o prevenir las enfermedades, y además para preservar y promover la salud (Cotton, 2004; Organización Mundial de la Salud [OMS], 1991). Para la OMS, la salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades. Es el bienestar biológico, psicológico, social y espiritual del individuo y de la comunidad. También es la expresión individual y colectiva de calidad de vida y bienestar; y producto de las determinaciones sociales. Comprende el conjunto de condiciones biológicas, psicológicas, materiales, sociales y culturales; que tienen como determinantes, entre otros, la alimentación, la vivienda, el saneamiento básico, el medio ambiente, el trabajo, la renta, la educación, el transporte y el acceso a bienes y servicios esenciales. Su realización define la condición de estar y permanecer sano, ejerciendo cada cual a plenitud sus capacidades potenciales a lo largo de cada etapa de la vida. Se alcanza a través del esfuerzo colectivo, intersectorial y participativo de todos y todas, orientado hacia la conquista y defensa de oportunidades equitativas materiales y sociales de vida, para mejorar el bienestar social y económico de toda la población (OMS, 1991, 2002).

La salud, es además, un derecho humano que asiste a todas las personas, indistintamente de su género, religión, color, etnia o idioma. Es el derecho que existe a la oportunidad de recibir atención de salud en lo personal, lo familiar y en la comunidad, y es un deber y responsabilidad del Estado, asegurar efectivamente los derechos a la salud de las poblaciones indígenas (OMS, 2002).

Actualmente, según la OMS alrededor de cuatro mil millones de personas, aproximadamente el 80% de la población mundial, utiliza las plantas como remedio, siendo varias las razones por las que socialmente el uso de las plantas medicinales está tomando un cariz hasta hace unas décadas insospechado, entre ellas como respuesta a una medicina alopática, muchas veces iatrogénica, en otros casos por el reducido o inexistente acceso económico de la población a los medicamentos de síntesis, aunado al hecho irrefutable de que los países

en vías de desarrollo, no tienen una industria farmacéutica poderosa.

La utilización de plantas medicinales como materia prima para la producción de extractos o para el aislamiento de sustancias naturales puras, representa un sector en franca expansión. Para 1995 según datos estadísticos, Según datos estadísticos de 1995, el mercado de plantas medicinales y preparados fitofarmacéuticos alcanzaba la cifra de 6,500 millones de USD en Europa, 4,600 millones de USD en Asia y 1,500 millones de USD en América del Norte, totalizando 12,600 millones de USD. En Alemania, el porcentaje de población que emplea medicamentos fitoterápicos ha experimentado un aumento, entre 1970 y 1997, de entre un 4% y un 92% según las patologías (Cañigüeral, 2002; Cañigüeral & Vila, 2003).

Esta creciente utilización, propiciada por el regreso general de la sociedad a lo natural, va más allá de una simple moda y no se debe solamente a un aumento en el interés por los “tratamientos naturales” de los problemas de salud, sino también a la creciente evidencia sobre su seguridad y eficacia. Entre las razones que justifican el creciente interés por las plantas medicinales y por los preparados fitoterápicos en los países desarrollados están el cambio en las preferencias del consumidor, que muestra su predilección por los productos naturales, la escasez de nuevos descubrimientos, mediante los procesos tradicionales de síntesis química, de moléculas farmacológicamente activas con posible aplicación terapéutica y los efectos secundarios derivados del uso correcto de algunos fármacos sintéticos (talidomida, clioquinol, hexaclorofeno, etc) (Bonati, 1990; Cañigüeral, 2002; Cañigüeral & Vila, 2003).

En los países en vías de desarrollo, donde vive el 75% de la población mundial, se consumen menos del 15% del mercado total de medicamentos. Las plantas medicinales representan, por tanto, el único recurso terapéutico disponible para los sectores más desfavorecidos de esta población. Teniendo en cuenta el crecimiento constante de la población en los países del tercer mundo, la importancia de las plantas medicinales y de su uso, con diferentes niveles de industrialización, es cada vez mayor en los países en vías de desarrollo (Cañigüeral & Vila, 1998; Mendoza, León & Figueroa-Hernández, 2005).

Dentro de este virtual auge de las llamadas terapias naturales, estamos recién en los pasos iniciales para una correcta integración, avance y difusión de éstas al servicio de la salud humana, frente a un futuro en el cual no es ilusorio imaginar que paulatinamente

los países de cualquier continente aplicarán no sólo el marco legal-normativo para plantas medicinales en su política de salud, sino también serán de rigor las enseñanzas universitarias oficiales de disciplinas que ahora en el presente (exceptuando algunos países) son marginales, tales como: fitoterapia, acupuntura, homeopatía, terapias florales, fitoterapia, hidroterapia, terapia ortomolecular, entre otras del actual grupo denominado medicinas alternativas (Cañigüeral, 2002; Tyler, 1999).

El avance de la fitoterapia como parte esencial del sistema de salud se logrará con la participación multidisciplinaria de botánicos, químicos, farmacólogos, médicos, industriales, agrónomos, forestales, técnicos, ecologistas, educadores, etcétera, además de una acción multisectorial, de tal modo que se constituya en determinado momento no sólo en una terapia complementaria del médico convencional autodidacta en esta disciplina sino fundamentalmente en una alternativa de salud al servicio de los pueblos, en un marco de ética y filosofía humanistas (Cañigüeral & Vila, 2003; Obregón, 2000).

Si se efectuara un estudio comparativo basado en las prácticas medicinales de la cultura indígena tradicional de la actualidad, este revelaría sin duda alguna que al 100% de los indígenas utilizan las plantas medicinales en sus tratamientos curativos, pero al mismo tiempo las entrelazan estrechamente con muchas creencias supersticiosas y religiosas. Por otra parte, el estudio de la cultura ladina mestiza constituye un cuadro diferente y más complicado, debido a los diversos grados de ladinización, que fueron surgiendo como fruto de un complejo proceso de conquista y colonización de Guatemala, constituyéndose así los ladinos en una población heterogénea, en sus manifestaciones físicas y culturales, con una estructura social y étnica desigual y diferenciada presentando contradicciones de origen económico, tratando de mantener un estatus étnico y social que se originó entre los mestizos rurales, urbanos y criollos, los cuales formaron un solo bloque frente al indígena. Por lo que resulta muy difícil y casi imposible puntualizar el grado exacto de los cambios culturales en un individuo, mucho menos en un grupo de individuos. De los estudios que se han hecho, así como de los resultados obtenidos a través de entrevistas y diversas fuentes, se ha establecido una relación entre el tipo de tratamiento medicinal utilizado por un individuo y el grado de ladinización, la situación económica y el grado de educación del individuo (Bruhn & Holmstedt, 1981; Eder & García, 2003; Villatoro, 1982).

Guatemala es un país de contrastes y de diversidad cultural, determinada esta última por la existencia de una población pluricultural, pluriétnica y multilingüe, lo que se manifiesta a través de la coexistencia de cuatro grupos culturales principales: Los de origen maya, los garífunas, los xincas y los mestizos. Para el año 2012 la población proyectada fue 15,073,397 habitantes, con una densidad poblacional de 138 hab/km²; el 51.5% de la población vive en áreas rurales y el 23% en el área metropolitana, lo que implica una mayor demanda de servicios de salud en estas áreas. El país presenta los siguientes índices: Analfabetismo 18%, pobreza 56% y pobreza extrema 24%. En el área metropolitana existe una intensa y desordenada urbanización, la cual contribuye a que la población sea más vulnerable a riesgos, enfermedades transmisibles infecciosas y desarrollo de enfermedades crónicas degenerativas. En el área rural una población más dispersa dificulta la prestación de los servicios de salud ([Instituto Nacional de Estadística \[INE\], 2009](#); [MSPAS, 2012](#); [Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia \[SEGEPLAN\], 2011](#)).

El sistema de salud de Guatemala está segmentado en varios sub-sistemas, los cuales brindan atención a diferentes usuarios. A pesar del funcionamiento de los sub-sistemas no existe la cobertura total. Asimismo, los subsistemas en su interior están fragmentados, con vacíos reales de integración y coordinación lo cual posibilita la dualidad de funciones, mayor consumo de recursos, bajo rendimiento y grados altos de ineficiencia e ineficacia. Aunado a esto, se observa también una débil función rectora del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social ([MSPAS, 2012](#)).

Se podría caracterizar que actualmente el sector salud es de naturaleza mixta, conformado por el MSPAS y el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), el Sector Privado, la Sanidad Militar y un significativo sector, principalmente en el interior del país, que practica la medicina tradicional basada en prácticas culturales ancestrales. En el análisis histórico se evidencia que el tema del financiamiento de la salud en Guatemala, no ha sido una preocupación institucional y responde al comportamiento de la oferta política expuesta en las diferentes coyunturas de Gobierno. El principal problema ha sido la asignación de recursos y manejo del gasto, que a lo largo de los años no se ha logrado las condiciones para fortalecer al Sistema de Salud Pública de Guatemala y satisfacer la demanda de la población ([MSPAS, 2012](#)).

Históricamente ha existido una tendencia a la segmentación de la población por su capacidad de pago

o su inserción en el proceso productivo (los pobres e indigentes atendidos por el MSPAS, los asalariados por el IGSS, y la población de mayores recursos por el sector privado. No existe pues una organización del sistema alrededor de funciones y de hecho cada una de estas instituciones regula, financia y provee servicios ([Cotton, 2004](#)).

La cobertura de los servicios de salud para muchas poblaciones del área rural se encuentra extremadamente limitada. Estas poblaciones solamente reciben del Programa de Extensión de Cobertura (PEC) un paquete básico que no se ha modificado en más de 15 años. En algunos casos dicho paquete consiste en, una visita mensual única del médico o enfermera profesional a la comunidad. Dicho personal es contratado a través de las prestadoras y administradoras de los servicios de salud (organizaciones no gubernamentales, [ONG]) con funciones mayoritariamente curativas y poco preventivas. En el tema del recurso humano, son insuficientes y el equipo que utilizan está en obsolescencia en los tres niveles de atención. El MSPAS cuenta con pocos incentivos para reclutar y mantener el personal capacitado en especialidades (de salud pública y clínicas) que fortalezcan el enfoque de la salud integral en la práctica ([MSPAS, 2012](#)).

El actual presupuesto del MSPAS es totalmente insuficiente para brindar los servicios mínimos de salud a toda la población. El presupuesto asignado a esta institución para el año 2012 representa el 1.08% del producto interno bruto (PIB). La red de servicios de salud del MSPAS se encuentra con problemas de organización, categorización, legalización, financiamiento, políticas de desarrollo del recurso humano, equipamiento e insumos médicos ([MSPAS, 2012](#)).

El Sistema de Salud de Guatemala tiene como propósito trabajar por la atención primaria de salud, dentro de la normativa de salud, se cuentan 21 programas de salud, cada uno de ellos con lineamientos de ejecución específicos para cada ciclo de vida, sin embargo, la mayoría de sus acciones se han centrado en el tratamiento de la enfermedad y son pocos los esfuerzos por establecer programas de prevención. Se puede decir que el sistema de salud se formó como una mezcla de modelos de salud occidentales, que han ido orientando sus acciones hacia determinados procesos o grupos de enfermedades, no se tiene un enfoque integral de abordar la salud ([MSPAS, 2012](#)).

Los indicadores de salud son alarmantes, Guatemala es una de las naciones latinoamericanas, que tiene los índices más altos de desnutrición crónica, a nivel

mundial está dentro de los primeros cinco lugares, con un 49.3% de acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud Materno-Infantil (ENSMI) 2002. Según estadísticas de la ENSMI 2008-2009 se indica que la desnutrición crónica en niños menores de 5 años, corresponde a 43.4%, mientras que datos proporcionados por la OMS, se indica que la desnutrición es aún mayor llegando a un 49.8%; también es importante resaltar las principales causas de mortalidad en menores de 5 años, entre las cuales sobresale la neumonía y la bronconeumonía (164 por cada 100,000 habitantes) y en las mujeres hay una alto riesgo de morir durante el embarazo, parto y puerperio (razón de mortalidad materna de 140 por cien mil nacidos vivos).

Las enfermedades de transmisión vectorial constituyen una problemática seria, durante el 2011, se reportaron 3,281 casos de dengue, de los cuales 29 casos fueron confirmados como dengue hemorrágico. Respecto a la malaria se concentra en dos departamentos, Escuintla y Zacapa y dentro de estos, en los municipios de La Gomera (64%) y Gualán (24%). Según reportaje presentado en Prensa Libre (Muñoz, 2016) se han confirmado un total de 90 casos de zika, y se reportan 276 casos sospechosos, según datos proporcionados por el MSPAS, siendo los departamentos de Suchitupéquez y Zacapa los que presentan mayor número de casos.

El 90% del agua superficial (ríos, manantiales y lagos) presenta diversos grados de contaminación fecal, igualmente el agua entubada reporta contaminación ya que se ha detectado que la mayoría de municipalidades no realiza acciones para clorar el agua de consumo humano, lo que genera enfermedades transmitidas por agua y alimentos. Guatemala presenta enfermedades infecciosas principalmente atribuidas a la carencia de condiciones sanitarias y el desarrollo de enfermedades crónicas degenerativas y de estilos de vida, los que se suman a los riesgos ambientales (INE, 2009).

Garantizar la salud en Guatemala se ha convertido en un gran problema por falta de planes estratégicos y por el modelo adoptado de tipo biólogo, curativo, reactivo y desintegrado, esto se evidencia a lo largo del tiempo ya que persisten los problemas de cobertura, accesibilidad y calidad en la atención y los servicios que se prestan, por lo que hay que considerar la participación multisectorial en la planeación, formulación y ejecución de las acciones para el mejoramiento del sistema de salud y la introducción de elementos de desarrollo comunitario y de salud pública.

El analfabetismo, la pobreza, el desempleo, la carencia de tierra y territorio, las altas tasas de mor-

bilidad por causas evitables y las grandes limitantes obligan a despojarse de las pretensiones de objetividad y universalismo del sistema médico oficial y adoptar la fitoterapia como una opción viable para la población dentro del sistema de salud.

En tanto que la población dispone y utiliza distintos elementos terapéuticos provenientes de distintas tradiciones culturales, se requiere de una visión pluralista al interior del sistema. Las opciones terapéuticas de la gente son, por decirlo de alguna forma “democráticas” y que el sistema debe ser consecuente con esta realidad (Balick, 1990; Bruhn & Holmstedt, 1981; OMS, 1991).

En Guatemala existe el Programa Nacional de Medicina Tradicional y Alternativa, el cual tiene como fin contribuir a la creación de condiciones políticas y estratégicas para el reconocimiento, valoración y rescate de la medicina popular tradicional y alternativa de atención; y del desarrollo del enfoque intercultural en salud, desde un abordaje en los niveles políticos, técnico normativo y operativo. Sin embargo, este programa ha sido ignorado y muy poco tomado en cuenta por los diferentes sectores, no ha logrado una incidencia eficaz dentro del sistema de salud para una integración y armonización que permita su incorporación formal en la solución de la problemática. Hay esfuerzos de lograr que tanto el sistema médico occidental como el etnomédico maya puedan convivir en mutuo respeto y entendimiento con acciones conjuntas, pero falta mucho trabajo por hacer, se necesita mayor participación, divulgación del programa y contar con el personal capacitado, ya que al estar integrado dicho programa por una sola persona, no ha logrado los recursos, impactos y resultados que le permitan avanzar como se esperaría.

Un avance importante fue la publicación del *Vademécum Nacional de Plantas Medicinales* obra realizada por Armando Cáceres (2009) de la Universidad de San Carlos y avalada por el MSPAS, el cual brinda información científica de especies medicinales, por lo que se constituye en una herramienta valiosa de referencia para que el personal de salud y la comunidad en general puedan utilizar apropiadamente las plantas medicinales en el tratamiento de enfermedades comunes basadas en la evidencia.

En general el sistema de medicina tradicional comunitaria ha sobrevivido con los servicios de los chamanes, los curanderos, los hierberos, los hueseros, los ancianos, las comadronas que desde la sabiduría de la cultura maya utilizan consejos, rituales, baños, plantas medicinales y productos animales y minerales para solucionar sus problemas de salud.

Pero no se ha cuantificado estadísticamente, la mayoría de la población ha utilizado por muchos años incluso desde la época precolombina, las prácticas y medicinas tradicionales para la recuperación de su salud, lo cual todavía es una práctica cotidiana ante la falta de servicios y ante el abuso de los costos para acceder a las formas occidentales de curación. Así también, no existen registros estadísticos de la cobertura dada por las ONG, considerándose por parte del MSPAS, que estas tienen una cobertura aproximada del 18% de la población, pero que con frecuencia atienden a grupos que también reciben atención de otras instituciones (Cotton, 2004).

Acorde a la Iniciativa de Salud de los Pueblos Indígenas (Sapia), la salud expresa relaciones dinámicas entre componentes inseparables, en lo individual (físico, mental, espiritual y emocional), lo colectivo (político, económico, cultural y social) y entre lo natural y lo social. La concepción de los pueblos indígenas respecto a la salud, está ligada a una perspectiva integral del mundo, como consecuencia, se prefiere definir la salud en términos de un bienestar integral que incorpora, infaliblemente, la dimensión espiritual. De esta manera, el concepto de salud integral abarca, el bienestar biológico, el psicológico, el social y el espiritual del individuo y de su comunidad en condiciones de equidad (Cotton, 2004).

Visto así, la salud de las poblaciones indígenas es una resultante de la integración de elementos fundamentales, como el acceso a la tierra, el nivel de participación en la sociedad nacional y la libertad para vivir su propia singularidad cultural en lo que respecta a su alimentación, vestimenta, vivienda, trabajo, educación y, especialmente, sus posibilidades de acceso, acorde al derecho que les asiste, a los servicios públicos de atención de la salud en condiciones de equidad y dignidad (Bruhn & Holmstedt, 1981; Gómez-Pompa, 1993).

Guatemala es un país que posee una gran riqueza natural de especies vegetales, lo cual ha dado lugar al uso de plantas en diferentes grupos étnicos de la población, por su accesibilidad y bajo costo. Desde épocas prehispánicas, a un sin número de plantas de la flora guatemalteca se les atribuyen propiedades medicinales, las cuales han sido adjudicadas en base a experiencias y uso tradicional (Cáceres, 1996; Martínez, 1964). Además por ser un país que presenta un rico acervo de conocimientos populares, obtenidos de una herencia cultural acumulada a través de su historia, se puede decir que cada grupo social o étnico ha seleccionado sus elementos, y los ha jerarquizado de acuerdo con sus

necesidades, las cuales han sido condicionadas por el ambiente y su cultura.

Respecto a las creencias, prácticas y recursos médicos, se puede decir que cada grupo étnico ha seleccionado sus elementos y los ha jerarquizado de acuerdo a sus necesidades, en Guatemala existen cuatro etnias y 25 grupos culturales (22 mayas, un garífuna, un xinca y mestizo) con diferentes idiomas, costumbres y creencias mágico-religiosas. Entre los mayas, la práctica médica o el arte de curar alcanzó altos niveles de desarrollo, seguramente por las grandes epidemias de que fueron víctimas, por lo que se sintieron obligados a encontrar los recursos necesarios para aliviar sus dolencias. Como en otras culturas antiguas, la civilización maya muestra el carácter sagrado de la medicina. Los mayas desarrollaron amplios conocimientos sobre la flora y la fauna de las tierras que habitaron, lograron seleccionar y aprovechar todas aquellas a las que les descubrieron propiedades terapéuticas. Muchas de las plantas utilizadas con fines terapéuticos en la cultura maya, son actualmente motivo de estudio, con la finalidad de conocer su composición química y sus propiedades farmacológicas (Cleaves, 1999; Eder & García, 2003; Taracena, 1983; Thompson 1977).

El conocimiento de las muchas enfermedades que afectaban a la población nativa y su cura a través de uso de plantas, animales y minerales fue una de las grandes virtudes de los antiguos pueblos de Guatemala, conocimiento que a pesar de varios intentos por erradicarlo o desaparecerlo ha perdurado hasta nuestros días (Villatoro, 1984).

La conquista llevada a cabo por los españoles en Guatemala fue una época de cambios bruscos, en donde los indígenas tuvieron que transformar sus costumbres, ritos, religión y autoridades. Varios autores indican que poco después de la conquista hubo en toda Mesoamérica una lamentable y brusca pérdida de los conocimientos. La destrucción de códices y la muerte de los científicos y sabios locales por enfermedades y violencia fueron pérdidas irreparables. Pero la civilización de los pueblos indígenas mantuvo y ha mantenido sus conocimientos ancestrales en el uso de plantas medicinales, por lo que en la constante lucha de dominación hubo una fusión de conocimiento, en donde ganaron ambos grupos. En el período colonial la medicina tradicional conservó rasgos muy similares, a los de la época prehispánica, tanto en la concepción de las enfermedades como en las técnicas y recursos empleados para el tratamiento de las mismas (Eder & García, 2003; Figueroa, 1955; Gómez-Pompa, 1993; Morley, 1980; Orellana, 1987).

Para enfrentar las brechas existentes derivadas de condiciones históricas, económicas, sociales y políticas, es necesario iniciar un proceso de cambio para contribuir a mejorar la calidad de vida de la población, establecer estrategias funcionales que permitan obtener mayores beneficios, reducir riesgos y optimizar resultados. Hay que tomar en consideración la equidad en la distribución de recursos dirigidos a la atención primaria de la salud, ofreciéndole a la población guatemalteca el acceso universal a los servicios con un enfoque eficaz, incluyente y digno.

Tomando en cuenta el perfil epidemiológico que se presenta en el país, la educación y la promoción de la salud se convierten en una estrategia importante para impulsar la cultura de la prevención y mantenimiento de la salud. El análisis presupuestario del MSPAS señala la necesidad de asignar un presupuesto específico para dichas actividades, y la necesidad de mejorar la coordinación intersectorial para hacer más eficiente el gasto público.

La interculturalidad es una oportunidad para que el sistema médico oficial también aprenda del sistema médico indígena y que este último pueda aportarle al primero conceptos y herramientas que permitan mejorarlo. Hay que asumir que el sistema médico oficial no es el único llamado a “salvar” a los pueblos indígenas, incorporándolos a sus propios referentes, a sus ideas de modernidad, de conocimiento científico, de universalismo; sino que es posible que también se aprenda del sistema indígena (Cotton, 2004).

Existe un enfoque de derechos en la salud que es concomitante al reconocimiento por la mayoría de los países de la diversidad cultural de los pueblos indígenas y a los derechos específicos en materia de salud indígena, acorde a dos instrumentos fundamentales, los cuales se encuentran en los Arts. 6, 24 y 25 del Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) (obligación del Estado a extender progresivamente la seguridad social a los pueblos indígenas y la responsabilidad de que los servicios de salud sean adecuados y tomen en cuenta las medicinas tradicionales), y la iniciativa Sapia de la Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS, que establece un conjunto de principios para el trabajo con las comunidades indígenas: El abordaje integral de la salud, la autodeterminación de los pueblos indígenas, la participación sistemática, el respeto y la revitalización de las culturas indígenas y la reciprocidad en las relaciones (Cotton, 2004).

Estos derechos avalan la necesidad de un desarrollo institucional apropiado y que los servicios de

salud se centren en las personas a quienes se les deben reconocer sus derechos específicos, tanto como personas individuales como a colectividades específicas que poseen una identidad particular. En este contexto, el bienestar es concebido por los indígenas como: la armonía de todos los elementos que hacen la salud, es decir el derecho a tener su propio entendimiento y control de su vida, y el derecho a la convivencia armónica del ser humano con la naturaleza, consigo mismo y con los demás, encaminada al bienestar integral, a la plenitud y tranquilidad espiritual, individual y social (Cotton, 2004; Villatoro, 1984).

En ese sentido, el enfoque intercultural de la salud, es una de las estrategias para mejorar el acceso y la calidad de la atención y la promoción de la salud, es también una de las estrategias para proporcionar a los pueblos los medios necesarios para mejorar su salud y tener mayor control de sus vidas. El tema de la interculturalidad ha traspasado los límites de la educación y empieza a asentarse en el ámbito de la salud. La discusión y acciones en torno a la problemática de salud y pueblos indígenas, ha generado, al menos cuatro enfoques (Cotton, 2004):

El enfoque que surge al interior de los servicios oficiales de salud, se asume liberal y declara que los usuarios son iguales, sean éstos indígenas o no indígenas, bajo esa premisa rechazan cualquier posibilidad de considerar las especificidades culturales y sociales de la población indígena, a la hora de definir e implementar programas de salud.

El enfoque que señala que hay “variables culturales” en los indígenas que condicionan la situación crítica de la salud. Dichas variables son vistas más como barreras a superar que como una potencialidad a desarrollar. En ese sentido, se tiende a una instrumentalización de elementos culturales; de forma que, el problema se centra a nivel de la comunicación. Se trata de mejorar tales relaciones, exigiendo a los pacientes indígenas una adherencia absoluta y total a los programas que se implementan.

El enfoque de algunas organizaciones indígenas, que plantean el rescate y la revalorización de la medicina tradicional, se centra en el sistema de salud como elemento de identidad étnica; sin embargo, olvida que los indígenas de hoy no son los mismos de antes, que no existe una única identidad indígena, existe un pueblo disperso que se posesiona en distintos pisos ecológicos y, según donde se poseione, se identifica como indígena o como campesino.

El enfoque que busca articulaciones entre el sistema médico indígena y el sistema médico oficial. Busca desarrollar espacios interculturales para el desarrollo regional con un enfoque sectorial. Asume que existe una

interrelación práctica entre los problemas de salud y los distintos elementos del desarrollo social (Cotton, 2004).

Una experiencia que se tiene en Guatemala es el trabajo desarrollado por Médicos Descalzos de Guatemala, la cual está avocada al desarrollo endógeno de la Medicina Tradicional en las áreas rurales. Se propone rescatar los conocimientos tradicionales en salud herbolaria, mejorar la accesibilidad del primer nivel de atención con la incorporación de la medicina natural herbolaria de acceso local. También pretende aumentar la participación comunitaria en la resolución de los problemas básicos de salud y promueven la articulación entre los actores de la medicina tradicional y el sistema integral de atención en salud.

Otra experiencia consolidada es la de la Asociación de Servicios Comunitarios de Salud (Asecsa), que difunde servicios interculturales en varios municipios indígenas, siendo una de sus actividades más sobresalientes la capacitación. Actúan básicamente a través de organizaciones de base como Cosprek, Aprosade y Aprosadec. También son destacables los proyectos de la Asociación CDRO para el fortalecimiento de la medicina indígena y sobre todo la disseminación de medicamentos indígenas mediante la red de farmacias de CDRO (Eder & García, 2003).

A principios del 2012 se definió en el Sistema Integral de Atención en Salud (Sias), material que impulsa la estrategia de municipios saludables, definida como aquel municipio donde todas sus autoridades, instituciones, organizaciones y ciudadanos trabajan conjuntamente para mejorar la salud y la calidad de vida de su población, mediante la promoción y el fortalecimiento de la participación ciudadana; la promoción e implementación de políticas públicas saludables; el mejoramiento de los ambientes y entornos; la promoción de prácticas de vida saludables y la mejora continua de la calidad de sus servicios públicos (salud, educación, etcétera.). Sin embargo, la estrategia municipios saludables, aunque es una estrategia de promoción encaminada a desarrollar aquellos elementos de los determinantes de la salud que son responsabilidad de los gobiernos y sociedad civil, no tiene respaldo presupuestario.

Es necesario priorizar el gasto, enfocar la investigación en las patologías más frecuentes por región, aprovechar esa biodiversidad con que cuenta el país para el desarrollo de productos naturales medicinales, orientarse a la promoción de la salud y prevención de enfermedades como lo indica el diagnóstico realizado por el MSPAS en el 2012. Es recomendable una política de desarrollo del recurso humano que permita la dig-

nificación del personal de la salud y reducir la tasa de rotación del personal, así como fortalecer los servicios del sector salud con perspectiva de género y pertinencia cultural. Se recomienda introducir dentro del sistema de salud un programa de mejoramiento continuo de la calidad, que permita mejorar las condiciones en que se brinda y se recibe la atención de salud, mejorar sustancialmente el financiamiento de la salud por parte del Estado para disminuir el gasto.

Se plantea la necesidad de redefinir y reasignar de manera prioritaria las metas contenidas en los Acuerdos de Paz, con la finalidad de superar en el mediano plazo las brechas que se generan en el financiamiento de la salud. El tema del financiamiento de la salud en Guatemala debe institucionalizarse y monitorearse a través de las cuentas nacionales de salud, de tal forma que la información dé respuestas a las instancias políticas de coyuntura. Se resalta el implementar y garantizar el funcionamiento y sostenibilidad del Modelo Básico de Salud (MBS) para fortalecimiento del primer nivel de atención y la estrategia de Atención Primaria de Salud Renovada de la OMS, así como institucionalizar las perspectivas de género y étnicas en materia de salud e implementar la estrategia mundial de medicina tradicional de la OMS.

Es importante señalar aspectos prioritarios que se deben modificar dentro del sistema (en el nivel local) para mejorar su calidad y eficiencia. Como lo es la participación social para que en conjunto se asuma la salud como una opción de todos y un objetivo dentro de una perspectiva de desarrollo en el contexto histórico y sociocultural local, donde se conozca la realidad de salud local, se definan los intereses y soluciones a las dificultades presentes de forma coordinada y planificada.

Se debe de planificar en la medida de lo posible de manera conjunta con los sectores involucrados, en cada uno de los subcomponentes del sistema de salud y socializar los planes para incorporarlos al desarrollo local, desde los conceptos y percepciones de salud y enfermedad para que respondan a la problemática local.

En los sistemas de salud de todo el mundo, los niveles de enfermedades crónicas y los costos de atención sanitaria son cada vez más elevados. Tanto los pacientes como los dispensadores de atención de salud están exigiendo la revitalización de los servicios de salud y haciendo hincapié en la atención individualizada centrada en la persona. La recopilación, el análisis y la síntesis de datos sobre la utilización de la MTC son prioridades esenciales, junto con una estrategia de gestión de la información que asegure su actualización y

su máxima calidad. Esto se puede conseguir mediante la inclusión, en las encuestas nacionales, de preguntas sobre la incorporación de la MTC; la utilización de bases de datos existentes; el establecimiento de centros de investigación especializados; o el desarrollo de redes nacionales de investigación y de múltiples partes interesadas (OMS, 2013).

Conclusiones

La medicina tradicional y la fitoterapia deben constituirse como una alternativa que se debe integrar al sistema de salud para lograr mayor accesibilidad y cobertura principalmente en la atención primaria.

El uso de las plantas medicinales y productos naturales medicinales en el contexto de la fitoterapia clínica permite abordar el tratamiento de las afecciones más comunes, por lo que constituye una medicina complementaria de acción y de asociación terapéutica posible.

El uso apropiado de los productos naturales sobre bases científicas, teniendo en cuenta los conocimientos actuales y la integración de la medicina tradicional y fitoterapia clínica en el sistema de salud, puede ayudar a resolver problemas relacionados con el costo de la salud y responder a la demanda de la población.

Preconizar o promover el uso de la medicina tradicional y productos naturales sin integrar este saber dentro de los conocimientos científicos y médicos actuales, y si las prácticas no se realizan dentro de un abordaje clínico integrativo, sólo puede revelar rápidamente sus deficiencias y terminar en el abandono o desprestigio dichas terapias y productos.

El avance científico de la medicina tradicional y fitoterapia estimula su desarrollo y propagación en la población, dándole un realce a las opciones terapéuticas disponibles para distintas enfermedades pero basados en la evidencia.

Es importante resaltar que la utilización de los productos naturales medicinales, consideran diversas terapias como la fitoterapia, zooterapia, micoterapia y mineraloterapia, que es la forma en que se está regulado su uso actualmente en Guatemala y está en proceso de armonización a nivel centroamericano.

Resulta de importancia incluir en los sistemas de salud tanto las prácticas, como a los profesionales capacitados para ejercer este tipo de terapias, que a largo plazo, permitan alcanzar un estándar de calidad para que sea una alternativa viable para el mejoramiento de la salud en Guatemala y no sea concebida como algo que practican solamente los indígenas, sino que esté incorporada dentro del sistema nacional de salud al alcance de toda la población.

Referencias

- Balick, M. J. (1990). Ethnobotany and the identification of therapeutic agents from the rainforest. En D. J. Chadwic & J. Marsh (Eds.), *Bioactive compounds from plants* (pp. 22-31). Ciba Foundation Symposium 154, Chichester: John Wiley & Sons.
- Bonati, A. (1990). How and why should we standardize phytopharmaceutical drugs for clinical validation?. *Journal of Ethnopharmacology*, 32(1-3), 195-197. doi 10.1016/0378-8741(91)90117-V
- Bruhn, J. & Holmstedt, B. (1981). Ethnopharmacology: Objectives, principles and perspectives. En J. L. Beal & E. Reinhard (Eds.), *Natural products as medicinal Plants* (pp 405-430). Hippocrates-Verlag, Stuttgart, Germany.
- Cáceres, A. (1996). *Plantas de uso medicinal en Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria.
- Cáceres, A. (2009). *Vademécum Nacional de Plantas Medicinales*. Guatemala: Editorial Universitaria. 313 p.
- Cañigüeral, S. (2002). La Fitoterapia: ¿Una terapéutica para el tercer milenio? *Revista de Fitoterapia*, 2(2), 101-121.
- Cañigüeral, S. & Vila, R. (1998). Fitoterapia: Concepto, límites y fuentes de información. En A. Arteché, B. Vanaclocha, J. I. Güenechea, & R. Martínez (Eds.). *Fitoterapia. Vademécum de prescripción: Plantas medicinales* (3ª ed.). Barcelona: Masson.
- Cañigüeral, S. & Vila, R. (2003). La Fitoterapia racional. En B. Vanaclocha & S. Cañigüeral (Eds.). *Fitoterapia. Vademécum de prescripción* (4ª ed.). Barcelona: Masson.
- Cleaves, C. (1999). *Medicina que está en las plantas. Salud preventiva y uso de plantas medicinales en el alivio o cura de algunas de las enfermedades más comunes en Guatemala*. Guatemala: Ediciones CEIBAS.
- Cotton, H. L. (2004). *Análisis crítico del Sistema Nacional de Salud en Guatemala* (Tesis de maestría). Universidad Rafael Landívar, Quetzaltenango, Guatemala.
- Eder, K. & García, M. M. (Coord.). (2003). *Modelo de la medicina indígena maya guatemalteca: Investigación participativa en Sipacapa, San Marcos, San Martín Jilotepeque, Chimaltenango y San Juan Ixcay Huehuetenango* (2ª. ed.). Guatemala: Asociación de Servicios Comunitarios de Salud.

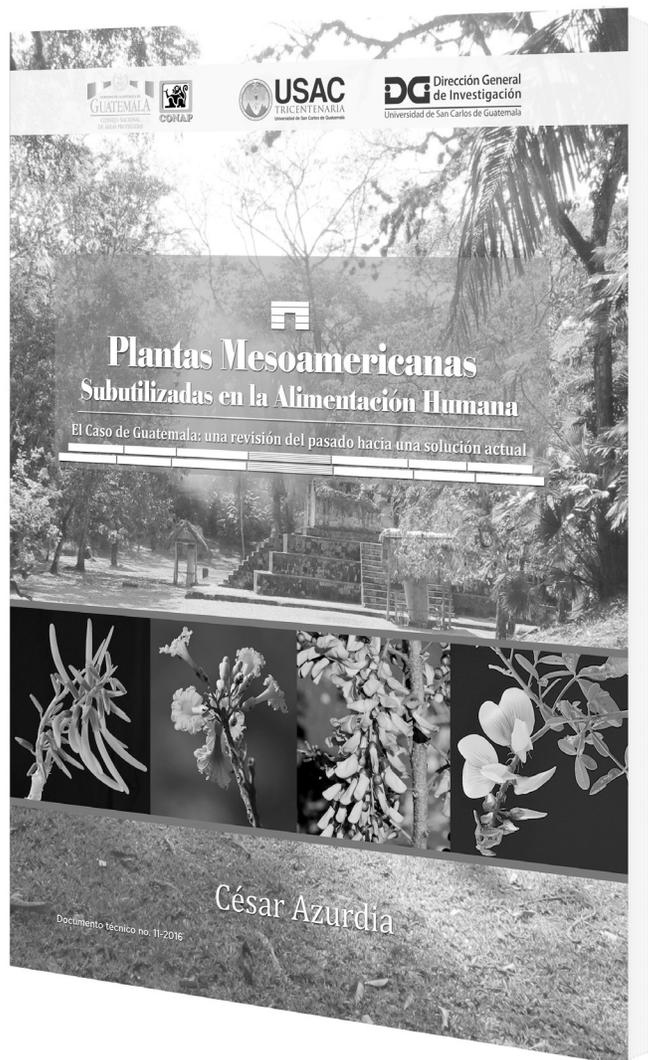
- Figueroa, H. (1955). *Enfermedades de los conquistadores*. San Salvador, El Salvador: Ministerio de Cultura, Departamento Editorial.
- Gómez-Pompa, A. (1993). Las raíces de la etnobotánica mexicana. En S. Guevara, P. Moreno-Casasola, & J. Rzedowski (Comp.), *Logros y perspectivas del conocimiento de los recursos vegetales de México en vísperas del Siglo XXI* (pp. 26-37). Xalapa, Veracruz, México: Instituto de Ecología y Sociedad Botánica de México.
- Martínez, C. (1964). *Las ciencias médicas en Guatemala, origen y evolución* (3ª. ed.). Guatemala: Editorial Universitaria.
- Mendoza, N., de León, J., & Figueroa-Hernández, J. L. (2005). Herbolaria. *Revista Facultad de Medicina UNAM*, 48(6), 248-249
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2012). *Diagnóstico Nacional de Salud*. Guatemala: Autor. Recuperado de <http://www.mspas.gob.gt/files/Descargas/UNIDADES/CuentasNacionalesSalud/Publicaciones/11%20MSPAS%20%282012%29%20Diagnostico-Salud-marzo.pdf>
- MSPAS. (2011). Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil 2008 (ENSMI-2008/09). Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS)/Instituto Nacional de Estadística (INE)/Centros de Control y Prevención de Enfermedades (CDC). Guatemala.
- Morley, S. G. (1980). *La civilización Maya*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Muñoz, G. (19 de febrero de 2016). Salud confirma 90 casos de Zika. *Prensa Libre*. Guatemala.
- Obregón, L. (2000). Fitoterapia: Una alternativa al servicio de los pueblos en el tercer milenio. En *Memoria del I Curso Iberoamericano de Fitoterapia Clínica y III Reunión de Coordinación Internacional de RIPROFITO* (Red Iberoamericana de Productos Fitofarmacéuticos). Guatemala: Cyted, Conaplamed y Concyt.
- Organización Mundial de la Salud. (1991). *Programa de medicina tradicional*. Ginebra, Suiza: Autor
- Organización Mundial de la Salud. (2002). *Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2002-2005*. Ginebra, Suiza: Autor.
- Organización Mundial de la Salud. (2013). *Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023*. Ginebra. Suiza: Autor.
- Orellana, S. (1987). *Indian medicine in highland Guatemala: The pre-Hispanic and colonial periods*. Albuquerque: University of New Mexico Press.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, & Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (2011). *Estudio Nacional de Mortalidad Materna 2007*. Guatemala: Serviprensa.
- Taracena, J. A. (1983). *La expedición científica al reino de Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria.
- Thompson, J. E. (1977). *Historia y religión de los Mayas* (2ª. ed.). México: Siglo Veintiuno.
- Tyler, V. E. (1999). Phytomedicines: Back to the future. *Journal of Natural Products*, 62(11), 1589-1592. doi: 10.1021/np9904049
- Villatoro, E. M. (1982). Vida y obra de los curanderos de Petén. *La Tradición Popular*, 38, 1-18.
- Villatoro, E. M. (Comp.). (1984). *Etnomedicina en Guatemala*. Guatemala: Centro de Estudios Folklóricos.

Plantas mesoamericanas subutilizadas en la alimentación humana. El caso de Guatemala: una revisión del pasado hacia una solución actual (ISBN: 978-9929-620-12-4)

José V. Martínez Arévalo*

Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

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



Recientemente se ha publicado el libro *Plantas mesoamericanas subutilizadas en la alimentación humana. El caso de Guatemala: una revisión del pasado*

hacia una solución actual. Esta es una interesante obra por el tema que trata, pero más interesante cuando se lee el capítulo II, que se refiere a la relación entre la



biodiversidad y la seguridad alimentaria. Esta sección proporciona un elemento diferencial con otras obras similares, ya que pone en relieve la relación cultural con las especies locales poco conocidas. A este respecto es importante considerar que Guatemala como país megadiverso, tiene en la parte de la agro biodiversidad muchas especies útiles en la alimentación, algunas de ellas como el maíz y el frijol de amplio uso. Sin embargo, hay otro gran número que tiene un uso restringido, unas menos conocidas y utilizadas que otras.

En este libro identifico varias de esas especies que es importante incluirlas en la dieta del área rural. La propuesta del autor, César Azurdía, de utilizar las especies en tres niveles: consumo local, para su comercialización y en la investigación científica para permitir su proceso de domesticación, es importante tomarla en consideración en los programas de seguridad alimentaria estatal de los países mesoamericanos. Los graves problemas en alimentación y nutrición que se vienen dando con más frecuencia y en más regiones de Guatemala, debería ser una preocupación constante de las instituciones del Estado, para promover políticas públicas encaminadas hacia una verdadera soberanía alimentaria, basada en los recursos naturales que tiene el país. Para esto es imprescindible el conocimiento de la biodiversidad útil y su valoración. El libro está elaborado con información de experiencias del autor y una revisión exhaustiva de bibliografía especializada. Se hace el tratamiento de especies nativas de Guatemala poco conocidas y con alto potencial alimenticio y algunas otras especies introducidas.

La obra contiene información de 41 especies, identificadas por su nombre común y nombre científico.

Se describen agrupadas en aquellas plantas o vegetales utilizadas por sus hojas, por ejemplo Malvilla (*Anoda cristata*), Mozote (*Bidens pilosa*) y Tunay (*Dahlia imperialis*); flores e inflorescencias, por ejemplo chufle (*Calathea allouia*), Muta (*Bromelia pinguin*) y Tepejilote (*Caludovica utilis*); frutos, por ejemplo Árbol de Campeche (*Prosopis juliflora*), Cericote (*Cordia dodecandra*) y Manzanita (*Vaccinium confertum*); semillas, por ejemplo Chan (*Salvia hipanica*) y Morro (*Crescentia alata*) y rizomas, por ejemplo Yuquilla (*Maranta arundinacea*). Cada ficha contiene la descripción de la especie auxiliada con fotografías de alta calidad, distribución, origen y uso en la alimentación.

Cabe resaltar de cada ficha el mapa de distribución en Mesoamérica, que es una parte novedosa en este documento, por la metodología utilizada para su generación. También es importante la información del contenido nutricional actualizado de la mayoría de especies. Por último sus usos en alimentación, que en varios casos llega al nivel de recetas, lo que permite valorar mejor su uso.

El autor tiene una amplia experiencia en el tema de los recursos fitogenéticos, que inicia desde la década de 1980. En otras oportunidades ha aportado para el conocimiento y utilización de otras especies nativas. Esto garantiza la calidad de la información presentada. Es una obra producto del esfuerzo editorial conjunto de la Dirección General de Investigación (Digi) de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap), que contribuyen al conocimiento de nuestra rica biodiversidad mesoamericana.

Políticas de acceso a la tierra rural y sostenibilidad ambiental Comunidades agrarias Sechina, La Ensenada y Cerro San Gil, Izabal, Guatemala

Eddi A. Vanegas-Chacón¹, Mario E. Díaz-Visquera²

¹Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala y ²Consultor independiente, Guatemala.

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

Recibido: 23 de septiembre 2015 / Revisión: 01 de diciembre 2015 / Aceptado: 23 de febrero 2016 / Disponible en línea: 06 de julio 2016

Resumen

En Guatemala pocas temáticas son abordadas con tanta vehemencia, como el acceso, uso de la tierra y sus implicaciones sobre las relaciones sociales, laborales y recientemente ambientales. Las políticas agrarias del acceso a la tierra de los últimos 50 años, propiciadas por la Ley de Transformación Agraria y Ley del Fondo de Tierras, si bien mitigaron la pobreza en el agro rural, en su conjunto conllevaron daños ambientales irreversibles y deudas agrarias, comprometiendo la sostenibilidad ambiental de los procesos de producción agropecuarios en el país. Este estudio mediante técnicas de fotointerpretación analiza los cambios de uso de la tierra y cobertura boscosa, como expresión del desarrollo agropecuario en las comunidades agrarias Sechina, La Ensenada y Cerro San Gil, ubicadas en el departamento de Izabal y beneficiarias de la Ley de Transformación Agraria entre 1960 hasta 1999 y sus implicaciones al 2010, bajo la Ley del Fondo de Tierras. Se concluyó que bajo la premisa de “mejora a la tierra” de actividades agropecuarias, se produjo cambio de uso de la tierra, de forestal a agropecuario en la comunidad Sechina 42%, La Ensenada 46.2% y Cerro San Gil 48.6%. Lo anterior conllevó al sobreuso de las tierras en 42, 78 y 30%, respectivamente; lo que comprometió la sostenibilidad del proceso agropecuario, generando degradación ambiental de carácter irreversible.

Palabras claves: Agrarismo, medio ambiente, Franja Transversal del Norte, deforestación, uso y cobertura de la tierra

Abstract

In Guatemala few themes are dealt with such strength, such as land use and access, and its implications on labor, social and environmental relations. Agricultural policies of access to rural land of the last 50 years, were propiciated by Agrarian Transformation Law and the Land Fund Law, although mitigated poverty in the rural agro, entailed irreversible environmental damage compromising the environmental sustainability of agriculture production processes in the country. This study by photointerpretation techniques analyzes the changes in land use and forest cover, as an expression of agricultural development in farming communities Sechina, La Ensenada and Cerro San Gil, located in the department of Izabal, and beneficiaries of the Agrarian Reform Law, between 1960 and 1999 and its implications to 2010, under the Land Fund Law. It was concluded that under the premise of “land improvement” of agricultural activities occurred change on land use from forestry to agriculture in the community Sechina 42%, La Ensenada 46.2% and Cerro San Gil 48.6%. This led to overuse of land in 42, 78 and 30%, respectively. This undermined the sustainability of the farming process, producing irreversible environmental degradation.

Keywords: Agrarianism, environment, Northern Transversal Strip, deforestation, land-use and land-coverage



Introducción

Desde la Época Colonial, la tenencia y uso de las tierras rurales en Guatemala ha sido la expresión de hechos históricos paralelos al surgimiento y desarrollo del Estado (Bertrand, 1992). Las políticas agrarias del acceso a la tierra de los últimos 50 años en el país, se resumen en, la Ley de Transformación Agraria de 1962 (Ley No. 1551, 1962) y la Ley del Fondo de Tierras de 1999 (Ley No. 24, 1999). Estas leyes fueron conducentes a la creación de las zonas de desarrollo agrario en territorios despoblados del norte del país, dando lugar a lo que posteriormente se denominó Franja Transversal del Norte (un cinturón de 9,000 km² que comprende parte de los departamentos de Izabal, Alta Verapaz, Quiché y Huehuetenango) (Handy, 1996) y la Ley del Fondo de Tierras, que surgió como producto de la firma de los Acuerdos de Paz, la que propició el acceso a la tierra vía crédito en todo el país (Herrán, 2010).

A lo largo de la historia estas políticas se constituyeron en instrumentos para mitigar la pobreza rural, sin embargo, sobrellevaron alteraciones irreversibles sobre la cobertura boscosa del país, modificando el paisaje y generando conflictividad entre los actores sociales (Cambranes, 1992; Palma, 2007; Peralta, 2005). Se estima que entre 1970 y 1992 más de 752,000 ha de bosque fueron derrumbadas para incorporar tierras a la producción agropecuaria (Oyarzun, 2002). Lo que evidencia que estas políticas debieron de ser acompañadas de instrumentos que garantizaran la sostenibilidad ambiental del desarrollo agropecuario, como actividad productiva. Esta situación en la realidad no ocurrió; es más, la extensión agrícola y pecuaria fue paralizada en los años 90 como producto del colapso de los aparatos públicos de extensión agrícola en Guatemala (Ortiz, Rivera, Cifuentes, & Morrás, 2011). Por lo que reviste importancia la evaluación de la sostenibilidad ambiental de comunidades beneficiadas por las leyes agrarias, a través de estudios de cambio del uso de la tierra y reducción de la masa boscosa.

Presentación del caso

Las comunidades agrarias Sechina y La Ensenada se ubican en El Estor y Cerro San Gil en Puerto Barrios, Izabal, en la Franja Transversal del Norte. Localizadas en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido, con temperatura media anual entre 22 y 25°C, precipitación media anual entre 2,000 y a

4,000 mm, con lluvia durante todo el año, humedad relativa media anual entre 80 y 85% (Aguilar, Aguilar, & Aguilar, 2010). Entre 1912 y 1950 fueron terrenos baldíos q'eqchi's, donde predominaron áreas boscosas latifoliadas, cultivos de chicle, cacao y cardamomo. Los usos de la tierra eran diversos, lo que garantizó la sostenibilidad de las áreas de recarga hídrica, de las muchas fuentes de agua superficial que caracterizaron a esta región geográfica del país. A partir de 1962 estas comunidades fueron beneficiarias de la Ley de Transformación Agraria, que bajo la premisa de "mejora a las tierras" propició cambios en el uso de la tierra y pérdida de cobertura boscosa, regularmente de bosque secundario y cultivos de amplia cobertura, a uso agropecuario. Estos cambios fueron cuantificados a través de análisis fotointerpretativo entre los años 1964 a 1999 periodo de vigencia de la Ley, y su repercusión al año 2010 bajo la Ley del Fondo de Tierras.

Se trabajó sobre la base de tres grandes periodos 1964, 2006 y 2010, en función de la viabilidad de información y vigencia de las leyes, mediante el uso de fotografías aéreas Hunting 1962; DGC-1956, 1958 y 1960; Mark Hurd 1964; IGN-1982; IGM-1984 y 1990; JICA-IGN-2001; ortofotos-2006; imagen satelital LANDSAT7-2010. Estas formas análogas fueron llevadas a ortofotos, creando imágenes digitales de cada par estereoscópico. Las fotografías fueron integradas por medio del software Adobe Photoshop (versión 7), la georreferenciación de las imágenes se realizó por el software (ArcGis 9.3). Con base en las imágenes georreferenciadas de cada comunidad se crearon "formas" de tipo polígono para delimitar los componentes de los usos y coberturas de la tierra. Adicionalmente, se realizó un estudio de capacidad de uso de la tierra según Klingebiel y Montgomery (1961), para contrastarlo con el uso actual de la tierra (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, 1994) para determinar la intensidad de uso, se identificaron tres categorías, uso correcto, subuso y sobreuso.

Discusión

En la República de Guatemala la tenencia, uso y acceso a la tierra es uno de los principales móviles del desarrollo de los procesos sociopolíticos y económicos que iniciaron en la Época Colonial de 1523 a 1821, el establecimiento del latifundio-minifundio durante la Reforma Liberal de 1871, la Revolución de 1944, la Reforma y Contrarreforma Agraria de 1952 a 1955, el conflicto armado de 1960 a 1996 y la firma de los

Acuerdos de Paz, que conllevó a la creación del Fondo de Tierras en 1999, institución que actualmente regula el acceso a la tierra rural ([Centro de Investigaciones Económicas Nacionales, 2003](#)). Sin embargo, 16 años después, todavía se carece de métodos e instrumentos que permitan evaluar y valorar las tierras rurales de manera técnica y científica para facilitar su acceso y garantizar el uso racional de los recursos naturales, conducente a la sostenibilidad ambiental de los ecosistemas existentes en las propiedades adquiridas ([Díaz, 2015](#)).

Según el análisis de la dinámica del cambio del uso de la tierra y pérdida de la cobertura boscosa, en la comunidad Sechina para el año 1964, se tenía una cobertura forestal del 91.6% del área total, para el año 2006, el 64.6%, y para el año 2010, la cobertura forestal se había reducido a un 49.6% como resultado del avance de la frontera agrícola, ([Figura 1](#)). El estudio de capacidad de uso de la tierra indicó 1.68% para sistemas silvopastoriles, 3.42% para sistemas forestales de producción y 94.82% de vocación forestal de protección. Por lo que la intensidad del uso de la tierra mostró que 68.98% está en uso correcto y 30.44% en sobreuso por agricultura limpia, principalmente maíz.

En la comunidad La Ensenada para el año 1964 ya se tenía solo un 59% de su área total con cobertura boscosa, para el año 2006, el 17.9%; sin embargo, al año 2010 ésta ya se había reducido a 13% como resultado del cambio de uso de la tierra para ganadería extensiva ([Figura 2](#)). Según el estudio de capacidad de uso de la tierra el 8.6% tiene capacidad para sistemas silvopastoriles y el restante 91.46% son de vocación forestal de protección. De conformidad con la intensidad de uso de la tierra, 36.10% tiene uso correcto, 32.49% sobreuso por ganadería extensiva y 29.12% están subutilizados.

En la comunidad Cerro San Gil, en el año 1958, se tenía una cobertura boscosa del 98% de su área total,

para el año 2006, el 75.8%, y para el año 2010, ésta ya se había reducido a un 49% como resultado del avance de la frontera agrícola ([Figura 3](#)). Según el estudio de capacidad de uso de la tierra 17.58% son de vocación para agricultura con mejoras, 43.28% para cultivos agroforestales, 9.21% para forestal de producción y 29.92% para forestal de protección. Con base en el estudio de intensidad de uso de la tierra, 38.93% está en uso correcto, 46.86% en sobreuso y 40.35% en subuso.

En todos los casos se observó que existió un incremento anual de la tasa de deforestación desde 1.2 hasta 6.6 veces más en el periodo 2006-2010, con relación al periodo 1962-2006; lo cual se puede vincular, entre otros, con la reducción de los programas de extensión agrícola del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación a partir de los años noventa, al sobreuso de la tierra y a la falta de aplicabilidad de las políticas conservacionistas y de uso racional de los recursos naturales en el país. Lo acontecido, como modelo de acceso a las tierras rurales en el país, representó un proceso de aprendizaje en la institucionalidad pública, que se tradujo en insostenibilidad ambiental de las propiedades adquiridas, fundamentalmente por la adquisición de fincas que no eran adecuadas para la producción agrícola sostenible y el desarrollo integral de las comunidades asentadas, lo que posteriormente conllevó como proceso a la deuda agraria. Se concluye que existe suficiente evidencia para vislumbrar que paralelo a las políticas y leyes agrarias implementadas en el país durante la segunda mitad del siglo XX a la fecha, faltaron mecanismos operativos que garantizaran la constitución de comunidades agrarias, social y económicamente productivas de manera sostenible y amigable con el ambiente.

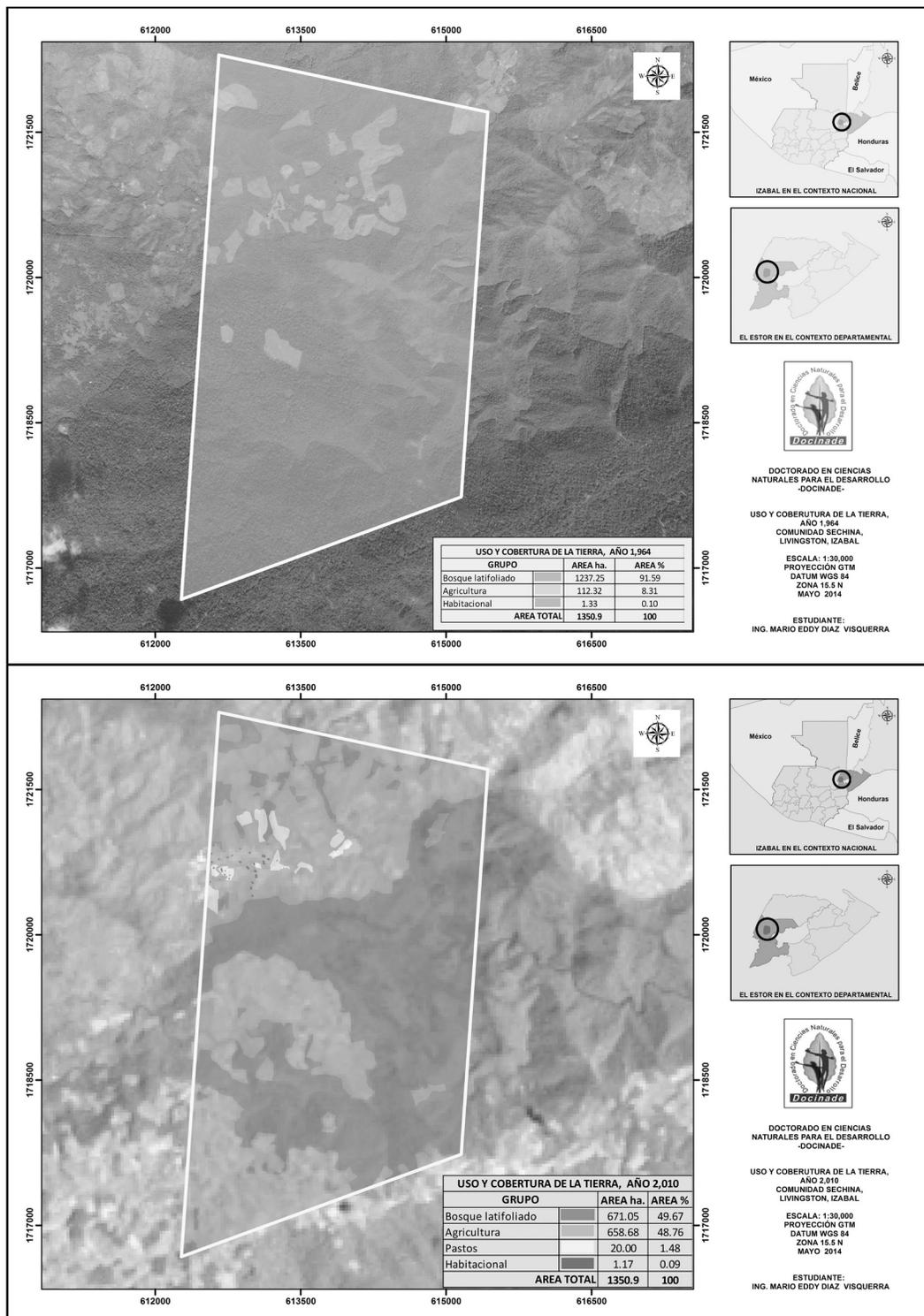


Figura 1. Cuantificación de la dinámica del cambio del uso de la tierra y pérdida de la cobertura boscosa en la comunidad agraria, Sechina, Izabal (1964-2010), Escala 1:30,000.

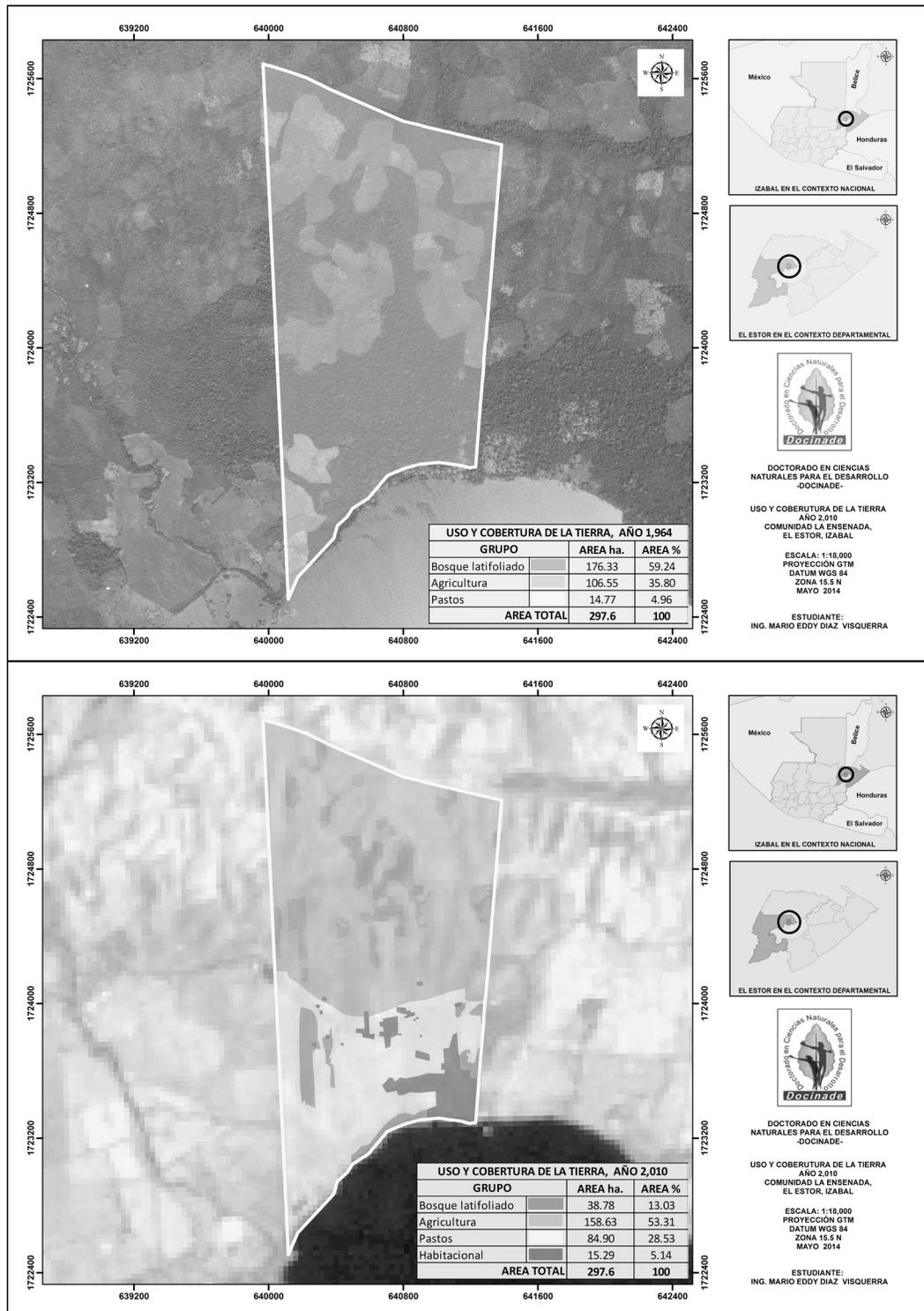


Figura 2. Cuantificación de la dinámica del cambio del uso de la tierra y pérdida de la cobertura boscosa, en la comunidad agraria La Ensenada, Izabal (1964-2010), Escala 1:18,000.

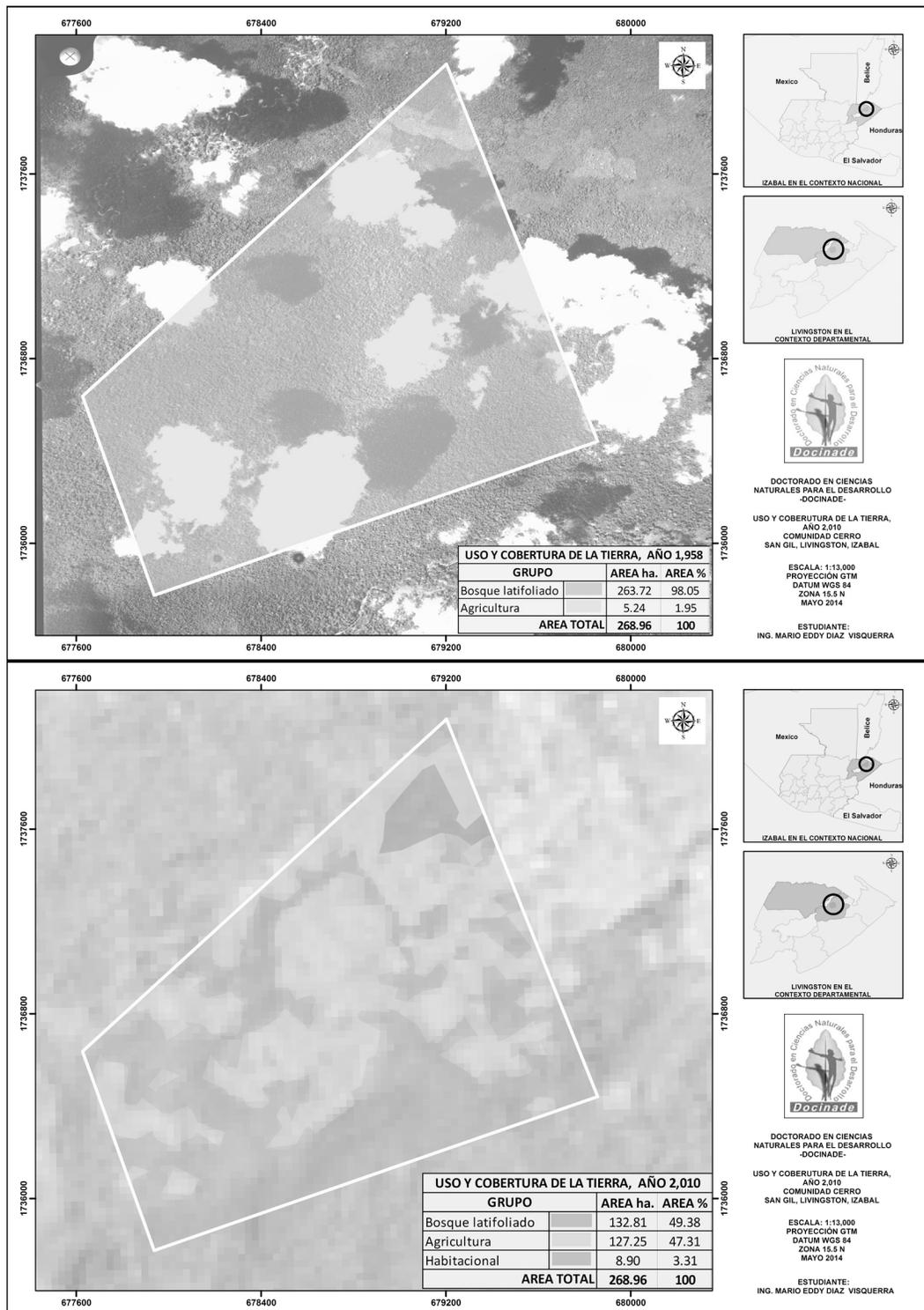


Figura 3. Cuantificación de la dinámica del cambio del uso de la tierra y pérdida de la cobertura boscosa, en la comunidad agraria Cerro San Gil, Izabal (1958-2010), Escala 1:13,000.

Referencias

- Aguilar, M. A., Aguilar, J. M., & Aguilar, J. M. (2010). *Ecosistemas de Guatemala: Un enfoque por zonas ecológicas*. Guatemala: Don Bosco.
- Bertrand, M. (1992). La lucha por la tierra en Guatemala colonial. La tenencia de la tierra en la Baja Verapaz en los siglos XVI-XIX. En J. C. Cambranes (Ed.), *500 años de lucha por la tierra* (V.1, pp. 71-140). Guatemala: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Cambranes, J. C. (1992). Democratización y movimientos campesinos pro-tierras en Guatemala. En J. C. Cambranes (Ed.), *500 años de lucha por la tierra. Estudios sobre propiedad rural y reforma agraria en Guatemala* (V.2, pp. 39-72). Guatemala: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Centro de Investigaciones Económicas Nacionales. (2003). *Tierra del mito a la realidad*. Guatemala: Autor.
- Decreto del Congreso de la República de Guatemala número 1551-1962. Ley de Transformación Agraria. 11 de octubre 1962. Recuperado de http://www.infile.com/leyes/index.php?id=175&id_publicacion=8394
- Decreto del Congreso de la República de Guatemala número 24-1999. Ley del Fondo de Tierras. 8 de junio de 1999. Recuperado de http://www.infile.com/leyes/index.php?id=175&id_publicacion=21179
- Díaz, M. (2015). *Evaluación y valoración de tierras rurales en el marco de las políticas agrarias de Guatemala* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Costa Rica, Instituto Tecnológico, Programa DOCINADE, Cartago.
- Handy, J. (1996). Reforma y Contrarreforma: La política agraria en Guatemala, 1952 – 1957. En J. C. Cambranes (Ed), *500 años de lucha por la tierra*. (V.1, pp. 379-400). Guatemala: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Herrán, M. (2010). *El problema agrario en Guatemala y el papel de la cooperación oficial en la configuración del catastro nacional*. España: Universidad de Oviedo.
- Klingebiel, A. A., & Montgomery, P. H. (1961). *Land capability classification*. (Agricultural Handbook No. 210). Washington, D. C: Government Printing Office.
- Ortiz, R., Rivera, O., Cifuentes, I., & Morrás, E. (2011). *Estudio de sistematización de buenas prácticas de extensión en Guatemala*. Guatemala: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Oyarzun, J. (2002). Los derechos indígenas a la tierra hasta los Acuerdos de Paz. En G. Palma, A. Taracena & J. Oyarzun. (Eds.). *Procesos agrarios desde el siglo XVI a los Acuerdos de Paz* (pp. 73-110). Guatemala: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Misión de Naciones Unidas en Guatemala, Comisión Presidencial para la Resolución de Conflictos de Tierra.
- Palma, G. (2007). *Ensayo sobre la problemática Agraria ayer y hoy: Cambios y permanencias en uno de los ejes fundamentales de la sociedad guatemalteca*. Guatemala: Asociación para el Avance de las Ciencias Sociales de Guatemala.
- Peralta, O. (2005). Compendio de propuesta de ley para la solución de la problemática agraria en Guatemala. Guatemala: Coordinadora Nacional Permanente de Derechos Relativos a la Tierra de los Pueblos Indígenas, Magna Terra Editores.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (1994). *Conceptos y definiciones fundamentales de geografía temática para planificación regional*. Guatemala: Autor.

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. Para el caso de mapas, se debe colocar los créditos, sistema de coordenadas y escala.

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: 2409-3459

Vol. 3 Num. 1 ene/jun 2016

Revisores de este número

Raúl Erberto Alfaro-Ortíz

Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Guatemala

Héctor Alvarado

Centro Universitario de Quetzaltenango, Usac, Guatemala

Luis Aguilar Cumes

Escuela Superior de Arte, Usac, Guatemala

Rolando Cifuentes,

Laboratorio de Entomología Aplicada, Universidad del Valle de Guatemala

Fredy Araya

Doctorado en Ciencia para el desarrollo Sostenible, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

Walter Bardales

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala

Nick Estrada

Centro Universitario de San Marcos, Usac, Guatemala

Rafael Haessler

Viceministerio Técnico, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Guatemala

Juan Fernando Hernández

Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Usac, Guatemala

Elfego Orozco

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Usac, Guatemala

Neptalí Ramirez-Marcial

Departamento de Conservación de la Biodiversidad, Colegio de Frontera Sur, México

Margarita Paz

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Usac, Guatemala

Benito Soler

Laboratorios Lafco, Guatemala

Mario Velásquez

Centro Universitarios de Huehuetenango, Usac, Guatemala

Mario Veliz, Herbario Bigu

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Usac, Guatemala

Editorial

Artículos Científicos

Evaluación de la regeneración natural de tres especies coníferas en áreas de distribución natural en el altiplano occidental de Guatemala
Sergio M. Godínez, Fabio A. Rodríguez, Nancy P. López, Jorge Camposeco

La importancia del bosque en la recarga hídrica natural del acuífero noreste de la ciudad de Guatemala
Isaac R. Herrera Ibáñez

Los bosques de Abies guatemalensis Rehder de San Marcos, Guatemala: una oportunidad para su restauración ecológica
José V. Martínez-Arévalo

Aplicación del índice de calidad de suelos en plantaciones forestales de palo blanco (Tabebuia donnell-smithii Rose) y Matiliguat (Tabebuia rosea Bertol) en Guatemala
Eddi A. Vanegas-Chacón, Boris A. Méndez-Paiz

Actividad biológica y caracterización química de los extractos de las hojas y corteza de Rhizophora mangle L.
Nereida Marroquín, Sully M. Cruz.

Índice de diversidad biológica urbana de la ciudad de La Antigua Guatemala
Jorge García-Polo, Fernando Castillo-Cabrera, José J. Vega

Ensayos Científicos

Medicina tradicional y fitoterapia una alternativa para el mejoramiento de la salud en Guatemala
Sully M. Cruz

Reseña

Plantas mesoamericanas subutilizadas en la alimentación humana. El caso de Guatemala: una revisión del pasado hacia una solución actual
José V. Martínez-Arévalo

Reporte de Casos

Políticas de acceso a la tierra rural y sostenibilidad ambiental Comunidades agrarias Sechina, La Ensenada y Cerro San Gil, Izabal, Guatemala
Eddi A. Vanegas-Chacón, Mario E. Díaz-Visquerra

Los artículos científicos son indexados en:

latindex ROAD

DOAJ DIRECTORY OF OPEN ACCESS JOURNALS

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