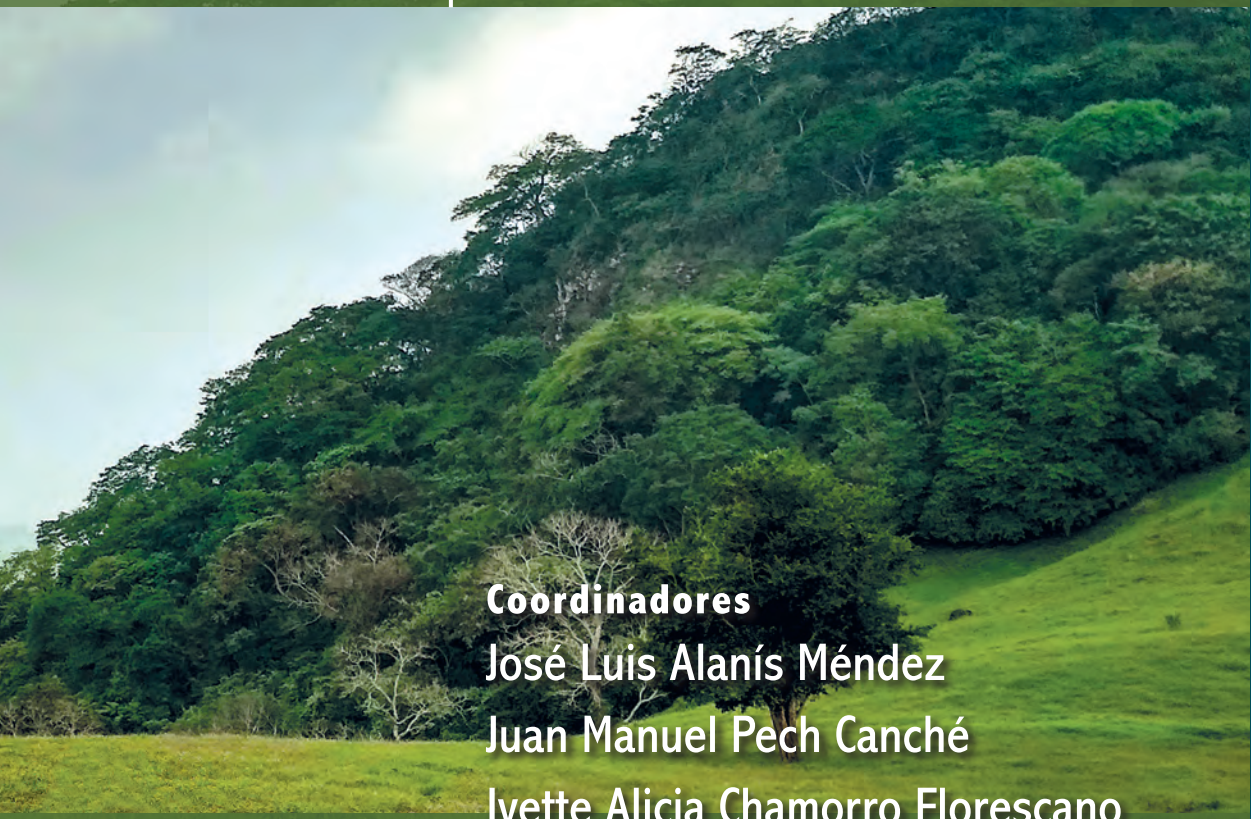
Patrimonio natural del Área Natural Protegida

Sierra de Otontepec

Veracruz, México



Coordinadores

José Luis Alanís Méndez

Juan Manuel Pech Canché

Ivette Alicia Chamorro Florescano

Jorge Luis Chagoya Fuentes

Francisco Limón Salvador

Víctor Soto

Patrimonio natural del área natural protegida Sierra de Otontepec, Veracruz, México

Patrimonio natural del área natural protegida Sierra de Otontepec, Veracruz, México

JOSÉ LUIS ALANÍS MÉNDEZ
JUAN MANUEL PECH CANCHÉ
IVETTE ALICIA CHAMORRO FLORESCANO
FRANCISCO LIMÓN SALVADOR
VÍCTOR SOTO
JORGE LUIS CHAGOYA FUENTES
(coordinadores)

Universidad Veracruzana
Dirección Editorial

Cuerpo Académico
Preservación y Conservación
de los Ecosistemas Tropicales

Clasificación LC: QH77.MX P37 2022
Clasif. Dewey: 577.530972
Título: Patrimonio natural del área natural protegida Sierra de Otontepec, Veracruz, México / José Luis Alanís Méndez, Juan Manuel Pech Canché, Ivette Alicia Chamorro Florescano, Francisco Limón Salvador, Víctor Soto, Jorge Luis Chagoya Fuentes (coordinadores).
Edición: Primera edición.
Pie de imprenta: Xalapa, Veracruz, México : Universidad Veracruzana, Dirección Editorial, 2022.
Descripción física: 326 páginas : ilustraciones, gráficas, mapas ; 23 cm.
Nota: Incluye bibliografías.
ISBN: 9786078858569
Materias: Conservación de la biodiversidad--México--Veracruz-Llave (Estado).
Conservación de los recursos naturales--México--Veracruz-Llave (Estado).
Área Natural Protegida Sierra de Otontepec (México).
Autores relacionados: Alanís Méndez, José Luis.
Pech Canché, Juan Manuel.
Chamorro Florescano, Ivette Alicia.
Limón Salvador, Francisco.
Soto Molina, Víctor Hugo.
Chagoya Fuentes, Jorge Luis.

DGBUV 2022/44

Primera edición, 29 de noviembre de 2022

Dirección Editorial
Nogueira núm. 7, Centro, CP 91000
Xalapa, Veracruz, México
Tels. 228 818 59 80; 228 818 13 88
direccioneditorial@uv.mx
https: //www.uv.mx/editorial

ISBN: 978-607-8858-56-9
DOI: 10.25009/uv.2849.1688

Contenido

Prólogo

Otontepec; la región y su capital natural

Ernesto Rodríguez Luna[1]
José Luis Alanís Méndez[2]

INTRODUCCIÓN

Transformación territorial del planeta y el futuro de la humanidad: el reto universitario

Durante la segunda mitad del siglo XX, las advertencias de los especialistas sobre la desaparición de especies y ecosistemas se incrementaron; al mismo tiempo, este fenómeno se convirtió en un tema de interés público al vincularse con el futuro de la humanidad. Paulatinamente, los gobiernos nacionales asumieron su responsabilidad para detener la tendencia global de transformación territorial antropogénica; entonces, en la reflexión sobre el futuro de la humanidad surgió el concepto de sustentabilidad (sostenibilidad, tal como se usa ahora más comúnmente en español).

Para situarnos en el presente y reflexionar sobre el futuro de una región como Otontepec es necesario entender el escenario local en su

1 Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana.
2 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Poza Rica-Tuxpan, Veracruz. Universidad Veracruzana.

marco global. Por ello, es conveniente recordar la importancia que tuvo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, celebrada en Estocolmo en 1972, para iniciar una agenda internacional sobre la sostenibilidad en un contexto de crecimiento económico y desarrollo. Ese año se publicó el influyente libro *Los límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el predicamento de la humanidad* (Meadows *et al.*, 1972). En este documento se fundamentaba una trascendente estrategia internacional para el desarrollo sostenible; esta visión estratégica se extendió mundialmente mediante el establecimiento de acuerdos multilaterales promovidos por la ONU, aunque con conflictos y disensos entre las partes.

Posteriormente, en 1980, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza publicó un informe titulado *Estrategia mundial para la conservación: la conservación de los recursos vivos para el logro de un desarrollo sostenible*. En este documento se establecía el vínculo entre la promoción del desarrollo sostenible y la conservación de los "recursos vivos". Se trataba de un intento más para articular programas gubernamentales, nacionales e internacionales, con un objetivo común; el progreso y bienestar humano.

Sin embargo, fue hasta 1987 que se logró una conjunción conceptual que perdura hasta nuestros días; la publicación del *Informe de la Comisión sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unida*s, popularmente conocido por el nombre de su presidenta, Gro Harlem Brundtland; entonces se ofreció la definición clásica del concepto de desarrollo sostenible. En el Informe se define esta modalidad de desarrollo en los siguientes términos (Brundtland, 1987: p. 59):

> *El desarrollo duradero es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.*

Resulta interesante la lectura de ese histórico documento (416 páginas), publicado hace más de tres décadas, porque nos permite situarnos en perspectiva para comprender los logros y retos de la actualidad.

Asimismo, nos obliga a reconocer aciertos y errores en la planeación de un mejor futuro para la humanidad.

A partir del Informe Brundtland se han logrado avances y, también, se han acusado retrocesos en la agenda mundial para la sostenibilidad; particularmente, destaca el avance registrado durante la llamada Cumbre de la Tierra de Río (1992), cuando se establecieron los principales acuerdos multilaterales para contrarrestar los efectos negativos de un desarrollo no-sostenible. Fue el momento crítico para reconocer la necesidad de establecer una verdadera alianza mundial con el propósito de revertir la pérdida de la biodiversidad y de los recursos naturales. También, en ese momento, se centró la atención sobre el cambio climático global, que se convirtió en un foco de alerta dentro de la agenda ambiental de las organizaciones gubernamentales y no-gubernamentales.

Tal como lo reseña Sachs (2014), la estrategia mundial para la sostenibilidad ha experimentado una serie de replanteamientos, destacando dos: el Plan de Aplicación de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible en 2002 y la Cumbre Río+20 (El futuro que queremos) en 2012, hasta el pronunciamiento de la ONU más reciente en 2015, la Agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible. Sin embargo, se debe consignar que, durante estas décadas de replanteamientos promisorios, también se han hecho críticas adversas a las sucesivas estrategias para la sostenibilidad global.

En este breve resumen histórico de la sostenibilidad, se deben ubicar las contribuciones que han hecho las universidades para el desarrollo de las agendas locales y globales; así como las tareas que las instituciones de educación superior (IES) deberán realizar en el corto y largo plazo. En ese sentido, durante más de 20 años, el *International Journal of Sustainability in Higher Education* ha venido publicando las diversas contribuciones que realizan las universidades en el mundo. A la par que esta revista, hay otras publicaciones con distintos orígenes y alcances institucionales que dan cuenta de las contribuciones universitarias en materia de sostenibilidad. Dado este contexto se deben valorar las aportaciones de este libro como respuesta al reto de la sostenibilidad; el estudio del capital natural de una región como base para su desarrollo sostenible.

Para cerrar esta sección del capítulo y enfatizar la importancia de las universidades en el tránsito hacia sociedades sostenibles, se cita un pronunciamiento de la UNESCO (*Replantear la educación ¿hacia un bien común mundial?*, 2015: p. 95) que enuncia los desafíos educativos para la sostenibilidad;

> *La humanidad ha iniciado una nueva fase de su historia con un creciente y rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología, que ofrecen a la vez posibilidades utópicas y distópicas. Para que puedan beneficiarnos de manera emancipadora, justa y sostenible, es preciso comprender y controlar las oportunidades y los riesgos. Posibilitarlo debería ser la finalidad esencial de la educación y el aprendizaje en el siglo XXI. Asimismo, la labor fundamental de la UNESCO, como laboratorio mundial de ideas, debería consistir en mejorar nuestro entendimiento de esas posibilidades con miras a mantener a la humanidad y su bienestar común.*

Ecología, conservación biológica y desarrollo sostenible

A lo largo de este arco histórico de más de medio siglo, en el tránsito hacia la sostenibilidad se debe reconocer la consolidación de la Ecología (Ghazoul, 2020) y del campo multidisciplinario de la conservación biológica (Sodhi y Ehrlich, 2010), donde la Biología Evolutiva y la Ecología se constituyen en el eje articulador de disciplinas científicas y humanísticas para un nuevo paradigma civilizatorio; asimismo, es notable que durante este periodo cobra mayor importancia la realización de estudios científico-técnicos para fundamentar las políticas ambientales, tal como lo plantea la Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES, 2013), surgida desde el PNUMA-ONU pero que opera como organismo independiente.

El objetivo de la plataforma IPBES es proporcionar, tanto a gobiernos como al sector privado y sociedad civil, evaluaciones actualizadas e independientes con credibilidad científica para tomar decisiones informadas en los niveles local, regional e internacional; tal como se expone en

el informe para el continente americano denominado *The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas* (IPBES, 2018).

También se advierte que, progresivamente, los investigadores científicos están replanteando sus problemas con atención a los factores políticos, socioeconómicos y culturales que inciden en los procesos de transformación territorial. Al respecto, para la comprensión de la compleja y conflictiva problemática que genera la interacción entre las poblaciones humanas y sus entornos naturales, resulta útil el diagrama que se propone en IPBES (2013: p. 7), donde se establece un marco conceptual que relaciona la biodiversidad y las funciones ecosistémicas, así como la relación entre conocimiento científico-técnico y la toma de decisiones políticas; desde esta perspectiva, en el *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (Díaz, Settele y Brondízio, 2019) se desarrolla una serie de marcos conceptuales conducentes a situar la investigación científica en la gobernanza. En estos esquemas se pueden reconocer los elementos y procesos que las universidades deberían estudiar multidisciplinariamente para construir la hoja de ruta hacia la sostenibilidad regional, tal como lo hace esta obra colectiva para la región de Otontepec.

Durante las décadas recientes de desarrollo disciplinario de la ecología, se conectó la biodiversidad con la funcionalidad de los ecosistemas a través de un número creciente de estudios; este aspecto del entorno natural humano ha alcanzado cada vez mayor relevancia y se redefine mediante los conceptos de capital natural y servicios ecosistémicos o ambientales.Estos conceptos son el principal puente entre la ecología y la economía; en este contexto, de concurrencia multidisciplinaria y con interés para participar en la definición y ejecución de políticas ambientales, se replantean los estudios sobre biodiversidad, recursos naturales y servicios ambientales; con tal fin, el concepto de capital natural resulta clave y la escala regional se convierte en el nivel de estudio adecuado. Así, y desde esta perspectiva, las áreas naturales protegidas son el escenario más apropiado para ensayar nuevas estrategias

y tácticas para la conservación de la biodiversidad, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el mantenimiento de los servicios ambientales como condiciones para el desarrollo y bienestar humano.

El reconocimiento del capital natural de las regiones se convierte en una tarea fundamental para la planeación del desarrollo sostenible. A partir del 2015, la ONU ha renovado las alianzas multilaterales para transitar del Antropoceno a la era de la sostenibilidad (Sachs, 2014); la *Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible* marca una hoja de ruta para los gobiernos y sociedades contemporáneas, asumiendo como marco de referencia los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS).

De acuerdo con esta Agenda, el cumplimiento de los 17 ODS es una condición indispensable para la instauración de una nueva era para la humanidad. En este tránsito, se requiere un cambio de conciencia colectiva para concebir una nueva significación del binomio humanidad-naturaleza; ese cambio de percepción será posible mediante la educación. Así, para cumplir esta misión será necesaria una nueva percepción, generada por la visión científico-técnica y humanística sobre la propia humanidad en la naturaleza.

Para enmarcar esta consideración sobre la enseñanza, investigación y vinculación para la extensión de los servicios universitarios, se presenta una reflexión compartida desde la UNESCO (2015: p. 20):

> *Al reconsiderar la finalidad de la educación, predomina en nuestra consideración una preocupación esencial en relación con un desarrollo humano y social sostenible. Se entiende por sostenibilidad la acción responsable de los individuos y las sociedades con miras a un futuro mejor para todos, a nivel local y mundial, un futuro en el que el desarrollo socioeconómico responda a los imperativos de la justicia social y la gestión ambiental. Los cambios que se están produciendo en el mundo interconectado e interdependiente actual dan lugar a niveles nuevos de complejidad, tensiones y paradojas, así como a nuevos horizontes del conocimiento que es preciso tener en cuenta. Estos cambios obligan a esforzarse por estudiar planteamientos alternativos del progreso y el bienestar de la humanidad.*

Estas consideraciones orientan a valorar la importancia que tiene este libro sobre la región de Otontepec. Tal como se ha apuntado anteriormente, se requieren estudios que determinen el capital natural de una región y que sean la base para planear su desarrollo sostenible; en esta tarea, las universidades cumplen uno de sus compromisos más importantes al servicio de su sociedad mediante la investigación. A continuación, se presenta un concepto clave en este libro: el capital natural.

Capital natural

Para profundizar en el significado de las contribuciones que componen este libro es necesario revisar el origen del término capital natural en el marco interdisciplinario de la Economía Ecológica. De acuerdo con Martínez Alier y Roca Jusmet (2001: p. 479), la Economía Ecológica no es una escuela de pensamiento unitaria sino pluralista; es más un campo de estudio interdisciplinario que un conjunto de teorías y propuestas. Desde esta perspectiva, se entiende la economía como un subsistema dentro de un ecosistema global finito; en este marco conceptual se establece la interrelación entre el uso de recursos naturales y los impactos ambientales. Según estos autores, este campo interdisciplinario se definió ampliamente como "la ciencia y gestión de la sostenibilidad" desde 1990, siendo su publicación emblemática el libro de Costanza (*Ecological Economics. The Science and Management of Sustainability,* Columbia University Press, 1991). En lo general, se reconoce que los conceptos, metodologías y preocupaciones son radicalmente diferentes entre la Economía Ecológica y la Economía, entonces calificada como convencional o tradicional.

De acuerdo con la conceptualización y estimación del capital natural mundial, difundida en la prestigiosa revista *Nature* por Costanza *et al.* (1997), se plantean que los servicios de los sistemas ecológicos, provistos por las reservas de capital natural, son fundamentales para el funcionamiento del sistema de soporte vital de la Tierra. Además, estos servicios contribuyen significativamente al bienestar humano, tanto directa como indirectamente, y por lo tanto representan una parte significativa del valor económico total del planeta. Sin embargo, de acuerdo con estos

autores, debido a que estos servicios no se registran completamente en los mercados o no son adecuadamente cuantificados en términos comparables con los servicios económicos tradicionales ni con el capital manufacturado, a menudo se les concede muy poco peso en las decisiones políticas. De esta consideración, surge la importancia de la obra que aquí se presenta, ya que constituye un inventario inicial del capital natural de la región conocida como Otontepec.

Para poner en valor esta conceptualización es necesario tomar en cuenta que las funciones de los ecosistemas se refieren a diversas propiedades biológicas de los hábitats, como sistemas o procesos reconocibles en los ecosistemas. Así, se reconocen *bienes* del ecosistema (por ejemplo, alimentos) y *servicios* (por ejemplo, asimilación de desechos), ambos representan los beneficios que las poblaciones humanas obtienen directa o indirectamente de las funciones de los ecosistemas.

De acuerdo con esta conceptualización promovida por Costanza *et al.* (1997) y ampliamente aceptada, de manera simplificada se refiere a los bienes y servicios ecosistémicos que, en conjunto, se les nombra como servicios de los ecosistemas o ambientales. Desde esta conceptualización se puede identificar un gran número de funciones y servicios; lo que ha generado diversas metodologías para su descripción, medición y valoración. Conforme a lo planteado, los servicios de los ecosistemas se clasifican en 17 categorías principales:

1. Regulación de gases: balance de la composición de gases atmosféricos, como el equilibrio CO^2 / O^2.
2. Regulación climática: mantenimiento de la temperatura global, patrones de precipitación pluvial entre varios procesos climáticos mediados a nivel mundial o a niveles locales.
3. Regulación de perturbaciones ambientales: amortiguación y mantenimiento de la integridad del ecosistema durante fluctuaciones ambientales, como el control de inundaciones y sequía por la vegetación.
4. Regulación hídrica: estabilización de caudales hidrológicos, procurando suministro regular de agua para agricultura o uso industrial.

5. Suministro de agua: proveyendo de abastecimiento de agua a cuencas hidrográficas, embalses y acuíferos.
6. Control de erosión y sedimentación: retención de suelo dentro de un ecosistema, previniendo la pérdida de suelo por viento, escorrentía u otros procesos de remoción.
7. Formación de suelos: meteorización de rocas y acumulación de material orgánico.
8. Ciclo de nutrientes: procesamiento y adquisición ecosistémica de nutrientes.
9. Tratamiento de residuos: recuperación y eliminación de nutrientes móviles o descomposición de nutrientes en exceso, haciendo posible el control de la contaminación.
10. Polinización y propagación de gametos florales: suministro de polinizadores para la reproducción de poblaciones de plantas.
11. Control biológico: regulaciones trófico-dinámicas de poblaciones, como el balance entre depredadores y presas.
12. Refugio o hábitat para especies residentes y migratorias: contribuyendo al mantenimiento de procesos evolutivos y ecológicos que determinan la biodiversidad y el suministro de recursos naturales.
13. Producción de alimentos: generando la producción primaria bruta extraíble de alimentos, mediante la recolección, caza y pesca, entre otras actividades para la subsistencia humana.
14. Materias primas: proveyendo de materias primas, como la producción de madera, combustible o forrajes.
15. Recursos genéticos: fuente de materiales biológicos únicos para uso humano, como en la industria farmacéutica y agropecuaria, entre otros.
16. Recreación: brindando oportunidades para actividades recreativas y otras actividades al aire libre.
17. Cultural: proporcionando oportunidades para usos no comerciales, en un sentido estético, artístico, educativo, espiritual y/o científico.

En esta esquematización, se refieren solo los servicios ecosistémicos renovables y se excluyen los combustibles no-renovables, así como los minerales. Se debe tomar en cuenta que los servicios y funciones de los ecosistemas no necesariamente mantienen una correspondencia uno a uno, en algunos casos un solo servicio ecosistémico es el producto de dos o más funciones del ecosistema, mientras que en otros casos una sola función del ecosistema contribuye a dos o más servicios ecosistémicos. También es importante enfatizar la naturaleza interdependiente de muchas funciones del ecosistema, Costanza *et al.* (1997), realizaron una primera estimación que revelaba la pérdida de funciones ecosistémicas o servicios ambientales a nivel global.

Posteriormente, la misma Costanza *et al.* (2014) replicaron su estimación global de 1997 y encontraron una pérdida económica asociada a la de los servicios ecosistémicos. Más allá de la discusión de la metodología aplicada y de los resultados numéricos, se debe valorar la utilidad de un instrumento de este tipo, que correlaciona variables ecológicas con económicas. Hay que añadir que enfoques similares se han venido aplicando en años recientes, como en el *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) en el 2005 y en las sucesivas estimaciones del PNUMA (*The Economics of Ecosystems and Biodiversity*: TEEB, 2010). Más recientemente, Kubiszewski *et al.* (2017) han realizado adaptaciones para el análisis a nivel país, entre otras diversas variantes del enfoque original.

En general, se considera que el capital es un conjunto (*stock*) de materiales o información que existe en un punto y en cierto tiempo. Cada forma de capital genera, ya sea de forma autónoma o en conjunto con servicios de otras acciones de capital, un flujo de servicios que puede utilizarse para transformar materiales y mejorar el bienestar humano. El uso humano de este flujo de servicios puede dejar o no intacto el capital original. El capital puede consistir en diferentes formas identificables, sobre todo en formas físicas, incluido el capital natural, como árboles, minerales, ecosistemas, atmósfera, entre otros. Sin embargo, lo que comúnmente se reconoce es el capital manufacturado, como máquinas y edificios. Además, recientemente las acciones de capital pueden tomar formas intangibles, sobre todo como información almacenada en com-

putadoras y en cerebros humanos. La expresión más reciente de esta conceptualización que vincula Ecología y Economía es la presentada por la ONU en 2021, a través del Committee of Experts on Environmental-Economic Accounting; el nuevo instrumento o marco se denomina System of Environmental-Economic Accounting—Ecosystem Accounting (SEEA EA).

Este Sistema de Contabilidad Ambiental-Económica (SEEA EA) es un marco estadístico integrado y basado en el espacio para organizar la información biofísica sobre ecosistemas; medir los servicios ecosistémicos y rastrear sus cambios en extensión y condición, valorando los servicios y vinculando medidas de actividad económica y humana. Este enfoque fue desarrollado por un grupo multidisciplinario de expertos para evaluar la dependencia y los impactos de la economía y actividad humana sobre el medio ambiente. Este instrumento para medir ecosistemas integra los conocimientos, métodos y técnicas más recientes (SEEA EA, 2021).

Aquí es necesario colocar una nota de advertencia sobre el uso del término capital natural, ya que no todos los expertos están de acuerdo con su uso. Por ejemplo, desde hace 20 años, Martínez Alier y Roca Jusmet (2001: p. 75) plantean el desacuerdo en los siguientes términos:

> *Por eso al usar el término capital natural en vez de recursos naturales o de patrimonio natural se ha querido llamar la atención sobre el distinto tratamiento contable de la pérdida de ambas formas de recursos, los naturales y los producidos por los humanos. Ahora bien, ese salto terminológico de "recursos naturales" a "capital natural" puede también responder a un deseo de mercadeo generalizado de la naturaleza y, en este sentido, la nueva terminología ("capital natural") no es tan benévola; puede reflejar también una visión de la naturaleza como algo cuyo único valor es la posibilidad de ser explotado como recurso productivo (de la misma forma que cuando se habla de "capital humano" se tiende a considerar a las personas y a su formación cultural y profesional como algo que sólo tiene valor en la medida en que se rentabiliza como recurso productivo).*

La crítica al concepto de capital natural se ha practicado desde distintos campos disciplinarios y puntos de vista, sin embargo, el enfoque analítico sobre los bienes y servicios de los ecosistemas se ha venido utilizando por distintas organizaciones internacionales (como la propia ONU o el Banco Mundial). Así, y como resultado de estos análisis, se han desarrollado nuevos indicadores para estimar la sostenibilidad, por ejemplo, distinguiendo entre sostenibilidad fuerte y débil. Desde el campo disciplinario de la ecología, la postrera revisión que hace Mace (2019) es particularmente esclarecedora para destacar la centralidad del conocimiento científico. Por distintas vertientes, la discusión (*The natural capital controversy*) se ha prolongado a lo largo de varios años (Read y Cato, 2014); al margen del debate, en este libro se utiliza el término *capital natural*, tal como lo ha venido haciendo la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) del gobierno mexicano.

El capital natural de México

De acuerdo con Conabio (Sarukhán *et al.*, 2012), México ha sido el primer país del mundo en llevar a cabo un estudio de envergadura nacional para evaluar su capital natural. Al respecto, se refiere la obra *Capital natural de México* (publicada entre 2008 y 2009 en tres volúmenes); en este primer estudio de país participaron más de 650 académicos y profesionales mexicanos de unas 230 instituciones; sobre esa base se han venido realizando estudios para los estados de la República mexicana. En estas publicaciones se documenta el conocimiento de la diversidad biológica de México, su conservación y utilización sustentable con beneficios económicos para la población, así como la prestación de servicios ambientales a toda la sociedad mexicana. Tal como lo explicita Conabio (2012; p.10):

> *El concepto de capital natural de un país es tan importante que está reflejado en una propuesta de la Organización de las Naciones Unidas hacia la sustentabilidad como una medida del bienestar social y de la*

> *riqueza de las naciones que comprende el "estado de salud" de los ecosistemas, y es mejor indicador de la riqueza nacional que el parámetro económico clásico del producto interno bruto. Un buen número de naciones emplean ya este criterio de análisis para medir su progreso económico y social.*

Desde esta perspectiva, en la obra de Conabio se reconocen cinco tipos de capital en un país, que son presentados en forma de triángulo, situándose en la base al capital natural, sobre el que se disponen el capital humano, el capital social, el capital manufacturado y el capital financiero.

En la obra *Capital natural de México* se presenta un panorama que permite identificar las prioridades de atención política y las nuevas áreas de investigación requeridas para fundamentar una mejor toma de decisiones sobre el uso de este capital. También se analizan los posibles cambios en las políticas públicas para consolidar o ampliar los logros obtenidos hasta ahora y que asegurarían el tránsito hacia la sostenibilidad nacional.

Las principales conclusiones de la obra *Capital natural de México* se pueden reseñar de la siguiente manera:

El patrimonio biológico de México ha experimentado un impacto antropogénico profundo que ha generado una crisis ambiental, siendo notable la sobreexplotación de la biodiversidad y un severo deterioro de los ecosistemas, tanto en sus bienes como en los servicios ambientales, por ello, es esencial entender y valorar la biodiversidad para conservar y utilizar de manera inteligente los ecosistemas del país, basándose en la mejor información científica disponible.

El actual cuerpo de conocimientos sobre la diversidad biológica debe servir de base para tomar decisiones mejor informadas para la conservación y el uso sustentable de los recursos naturales; asimismo, este conocimiento debe permitir que la ciudadanía evalúe las diferentes opciones y las consecuencias de las decisiones tomadas en los diversos niveles de gobierno, así como por otros actores sociales, ya que existe un capital humano e institucional en el país dispuesto a contribuir en la generación del conocimiento necesario; considerar que el desarrollo económico equitativo es compatible con la conservación y uso sustentable de la diversidad

biológica del país; las estrategias de conservación y uso sustentable de la biodiversidad deben considerarse en la planificación del desarrollo regional del paisaje con eje en los habitantes locales, reconociendo que una parte mayoritaria del capital natural de México se encuentra en territorios que son propiedad de comunidades indígenas y rurales, cuyo aporte al conocimiento y conservación de ese capital debe valorarse; también, deben valorarse las prácticas productivas compatibles con la conservación y uso sustentable de la vida silvestre que, a su vez, incrementan el bienestar social; el Estado debe fijar metas cuantitativas y temporales concretas para lograr la conservación, el manejo sustentable y la restauración de los ecosistemas naturales de México, al igual que a los bienes y servicios ambientales que éstos proporcionan a toda la sociedad (tanto la rural como urbana), mediante instrumentos regulatorios, económicos y de mercado que valoren tanto a la biodiversidad como a sus servicios ambientales, para ello, se debe procurar la realización de acciones integrales, eficazmente gestionadas y coordinadas, de manera transversal dentro del conjunto de las políticas públicas del país (Sarukhán *et al.*, 2012; pp. 11-12).

Después de 10 años de la publicación de la obra *Capital natural de México*, Sarukhán *et al.* (2017: p. 13) sentencian:

> *Por largo tiempo ha dominado en nuestro país el argumento de que el desarrollo está confrontado con el manejo racional y sustentable de nuestros recursos y con la conservación del capital natural. En el caso de México, la diversidad biológica representa un gran potencial para el desarrollo y la generación de beneficios para toda la población. A pesar de ello, históricamente hablando, las políticas de utilización de los recursos naturales no han favorecido la conservación de ese patrimonio ni su uso sustentable, y tampoco han mejorado el bienestar social de quienes viven de ese capital natural, es decir, la población rural del país.*

No obstante, los autores de la revisión consignan un avance significativo en el conocimiento de la diversidad biológica de México (Sarukhán *et al.*, 2017: p. 43):

> *La enorme diversidad biológica y ecológica del país es de tal magnitud que aún tenemos lagunas enormes de conocimiento acerca de ella. Esta percepción es ciertamente correcta, sin embargo, no podemos dejar de reconocer que en relación con la dimensión de esa diversidad y en especial con la relativa juventud de nuestros esfuerzos de desarrollo científico, el trabajo realizado por científicos extranjeros y el que poseen grupos indígenas, hemos logrado acumular un significativo cuerpo de información. En este sentido, México cuenta con una infraestructura de información que, comparada con otros países de similar riqueza biológica y de comparable desarrollo científico, es particularmente favorable. Este cuerpo de conocimiento debe servir de base para que quienes tienen la responsabilidad en los diversos niveles de gobierno tomen decisiones correctas sobre el uso de nuestros recursos naturales, y para que una ciudadanía mejor educada por ese conocimiento pueda evaluar las opciones y consecuencias de las diferentes acciones tomadas tanto por el gobierno como por otros actores sociales.*

Este reconocimiento de avances, con atención en una mayor y más rica información para entender la problemática de la conservación de la biodiversidad, alienta la realización de estudios regionales. Por ende, se asume que para plantear correctamente los problemas de conservación y aprovechamiento sostenible es necesario entender la erosión o pérdida de los productos de la evolución orgánica expresada en las poblaciones, cultivares, especies y ecosistemas de México; también, se debe entender que el deterioro antropogénico de la funcionalidad de los ecosistemas se traduce en una pérdida de servicios ambientales, de los cuales depende el bienestar social de todos los pobladores del país (ob. cit.; p. 45).

Conabio (2020) informa que existen distintos indicadores para evaluar el estado del ambiente a distintas escalas geográficas y con diferentes recursos de información, pero pocos utilizan a la biodiversidad como el parámetro que determina la condición de los ecosistemas; en ese orden de ideas, la Comisión consideró necesario usar un indicador sintético que integre el papel de la biodiversidad para mantener a largo plazo procesos ecológico-evolutivos.

Conabio decidió utilizar el índice de capital natural (ICN), siguiendo a Czúcz *et al.* (2012). Este índice es una aproximación de la biodiversidad terrestre y acuática de los ecosistemas naturales y ecosistemas agrícolas. El ICN es producto del tamaño del ecosistema remanente (cantidad) y su calidad (integridad ecológica), por tanto, es un indicador del estado y cambio en la biodiversidad.

Utilizando el ICN resulta que México tiene 34% de capital natural, 33% de capital natural degradado y 33% de capital transformado, determinados con base en un par de estudios de Mora (2017, 2019); de acuerdo con esta evaluación (Conabio, 2019), se puede deducir que dos tercios del país presentan altos niveles de degradación, y solo 12 estados mantienen condiciones de sustentabilidad, donde aún pueden generarse bienes y servicios ecosistémicos sin poner en riesgo el capital natural de futuras generaciones.

Nueve estados tienen su capital natural en riesgo, es decir, con una alta probabilidad de alcanzar niveles no sustentables, y 11 estados han agotado prácticamente su capital natural, lo que representa un vacío importante en el legado ecológico-evolutivo para mantener el capital natural de futuras generaciones. En esta evaluación, el estado de Veracruz obtuvo uno de los valores más bajos en la condición de su capital natural (0.8) y se le calificó como no sustentable, en el índice de transformación antropogénica.

Según Mora (2019: p. 88), los estudios sobre servicios ecosistémicos en México todavía son insuficientes, ya que la mayor parte del valor del capital natural permanece desconocido; y reconoce que aunque el esquema utilizado en su análisis puede parecer demasiado general, sus resultados ofrecen una visión de conjunto del estado en que se encuentran los biomas que existen en México, admitiendo que el valor económico obtenido con este esquema aún puede estar subestimado, pero que ayuda a dimensionar la importancia del capital natural remanente.

Con base en estas conclusiones reseñadas es posible reconocer la tarea fundamental que tienen las universidades para enfrentar el reto que plantea Conabio:

> *Contar con información y conocimiento relevantes y accesibles a toda la sociedad sobre el capital natural para apoyar a los tres órdenes de gobierno y a los distintos sectores de la economía y de la sociedad civil en la toma de decisiones.*

Para tal fin, es necesario fortalecer y aumentar la capacidad institucional existente en México, con el propósito de obtener mayor y mejor conocimiento en temas estratégicos relativos a la conservación y el uso sustentable del capital natural para el desarrollo del país, siguiendo dos líneas de acción: Generación, documentación y desarrollo de capacidades, y Difusión y acceso a la información (Sarukhán *et al.*, 2012: pp. 31-34).

En ese sentido se orienta a la contribución de este libro sobre Otontepec: generar conocimiento científico-técnico sobre el capital natural de la región para su desarrollo sostenible, tal como se plantea en el PTE 2017-2021, que declara a la investigación como una política institucional de la Universidad Veracruzana para la generación de conocimiento y formación de recursos humanos a través de la publicación de artículos de alumnos de licenciatura y posgrado.

EL CAPITAL NATURAL DE LA REGIÓN DE OTONTEPEC: CONSERVACIÓN Y DESARROLLO SOSTENIBLE

La transformación territorial en el estado de Veracruz

En el paisaje contemporáneo del estado de Veracruz, donde se combina lo natural con lo cultural, se resume la historia ambiental del territorio: a lo largo de milenios, las poblaciones humanas que lo han habitado se convirtieron en agentes modeladores del paisaje, imponiendo su visión territorial para satisfacer sus necesidades en una interacción dinámica sujeta a influencias de distinta índole (Rodríguez Luna *et al.*, 2011). El territorio veracruzano (aproximadamente 72 420 km^2) tiene una larga historia geológica, durante la cual se han gestado profundas transformaciones que definieron un escenario cambiante en donde los

habitantes humanos, desde los primeros pobladores hasta las poblaciones humanas contemporáneas han contribuido en las transformaciones más recientes.

> *Fenómenos geológicos, evolutivos, ecológicos y recientemente antrópicos han propiciado cambios en el paisaje natural del territorio veracruzano, algunas veces son graduales y delicados, y otras repentinos y violentos. Para entender la diversidad paisajística del territorio veracruzano asociada a los cambios geológicos se debe explicar la influencia de la migración de flora y fauna provenientes del Neártico (parte norte del continente americano), así como de la biota originada en el Neotrópico (parte sur del continente). Esta confluencia biogeográfica en la corteza terrestre del espacio veracruzano ha sido propiciada por la conexión con el istmo centroamericano (Rodríguez Luna et al., 2011: p. 32).*

La ocupación humana del territorio veracruzano ha condicionado una incesante reconfiguración paisajística regulada por distintas y alternantes visiones que determinan el reconocimiento, apropiación y transformación de los recursos naturales, para cubrir necesidades básicas de alimentación, provisión de agua dulce, energía, obtención de madera, fibras, combustibles, entre otros satisfactores. Este conjunto de bienes y servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas constituye el capital natural de las naciones.

> *En resumen, pudiera entenderse que los usos agropecuarios, industriales y urbanos tienen como propósito final la obtención de riqueza material y atender las demandas de una población humana en crecimiento. Sin embargo, en la evaluación del capital natural del país no debe ignorarse más a las culturas que se desarrollan en nuestro territorio en una estrecha relación con la diversidad biológica de su entorno, en términos de su cosmovisión, así como la manera en que han aprovechado los recursos naturales disponibles. Esto les ha hecho apropiarse de sus recursos y modificarlos para su beneficio, tal*

> *como sucedió con las especies que se acriollaron y diversificaron en nuestro territorio a partir del siglo XVI (Rodríguez Luna et al., 2011: p. 74).*

En el estado de Veracruz hay una notable concentración de riqueza biológica y cultural; sin embargo, estos patrimonios están siendo deteriorados. Por ello, es crucial determinar el capital natural de las regiones veracruzanas como punto de partida para una hoja de ruta hacia la sostenibilidad. En este sentido, Conabio ha realizado dos contribuciones fundamentales; *La biodiversidad en Veracruz: estudio de Estado* (Conabio, 2011) y *Estrategia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del estado de Veracruz* (Conabio, 2013). No obstante, este conocimiento no es suficiente para garantizar la permanencia del capital natural de regiones como Otontepec, ya que resulta necesario un cambio de escala para el análisis, planeación y gestión sostenible regional.

Otontepec

Otontepec se encuentra ubicada dentro de la región Huasteca, al norte del estado de Veracruz. Representa una formación montañosa aislada de la Sierra Madre Oriental. La superficie abarca 15 152 ha, dentro de los municipios de Ixcatepec, Tepetzintla, Chontla, Citlaltépetl, Tantima, Tancoco, Cerro Azul y Chicontepec (21° 19’ 19” y 21° 09’ 34” N, 97° 58’ 30” y 97° 48’ 00” O) y cubre un gradiente altitudinal que va de los 350 a los 1,320 msnm, por lo que presenta condiciones ambientales muy variables; la zona forma parte de las cuencas hidrológicas de la laguna de Tamiahua, río Tuxpan y río Pánuco, y de las subcuencas de Buenavista, Pantepec, La Puerta, La Potosina, Naranjos-Amatlán y parcialmente de Encarnación y Cerro Azul. Los principales ríos que se originan en la Sierra de Otontepec son el Tantoco, Tancochin, Buena Vista y Otontepec, los cuales contribuyen de manera directa o indirecta al abastecimiento de agua en al menos 17 municipios (Figura 1).

Se convirtió en área natural protegida de competencia estatal mediante decreto el 2 de marzo de 2005, bajo la categoría de reserva ecológica.

Este decreto se emitió con el propósito de conservar una región con amplia variación climática y topográfica que alberga importantes ecosistemas, como los bosques caducifolios, además de una importante cantidad de especies de flora y fauna amenazadas o en peligro de extinción, y de proteger los servicios ambientales que proporciona a la región, recarga de mantos acuíferos y regulación climática. Con este decreto se pretendió evitar el avance de la frontera agropecuaria y urbana, así como la regulación de los usos de suelos, actuales y futuros. En ese momento (Rodríguez Luna *et al*., 2011: pp. 111-121), dentro del área protegida la tenencia de la tierra se distribuía de la siguiente manera: 66% de la superficie (10,000 ha) correspondía a propiedades privadas; mientras que 19% eran terrenos ejidales (2,898.7 ha); 12% formaba parte de los terrenos nacionales (1,793.25 ha) y 3% de la superficie estaba ocupada por caminos vecinales (101.5 ha).

> *En general, la Sierra de Otontepec ostenta importantes elementos ecológicos, orográficos y paisajísticos, que conjugados ofrecen a la región un flujo valioso de bienes y servicios ambientales; sobresalen aquéllos relacionados con la estabilidad hidrológica y la disponibilidad de agua, la captación de carbono y su impacto favorable en el balance de gases de efecto invernadero, hábitat para numerosas especies significativas por su papel en las cadenas ecológicas o por su valor emblemático. Esta reserva cuenta con grandes valores escénicos o paisajísticos, fundamentales para la identidad regional y para el posible desarrollo de actividades turísticas (ob. cit.: p. 120).*

La publicación de este libro, después de 15 años de la declaratoria de Reserva Ecológica (2005) y de la publicación del *Programa de manejo de la reserva ecológica Sierra de Otontepec* (2007), aporta un marco que permite colocar en perspectiva los logros y los retos para el mantenimiento del capital natural de la región, y trazar su hoja de ruta hacia la sostenibilidad. A continuación, se presenta un resumen de las contribuciones que componen este libro:

1) El capítulo titulado Caracterización hidrometeorológica, escrito por Chagoya Fuentes, Soto, Sosa Azuara, Hernández Ramírez y Benítez Molina, ofrece una visión de conjunto de la región y presenta información clave para interpretar el paisaje de Otontepec, desde una perspectiva geológica hasta el análisis de la ocurrencia de fenómenos climatológicos recientes. En este capítulo se resumen diversos estudios parciales y se compone un mosaico que explica la complejidad de la región en su interacción con los habitantes humanos; adquiere especial importancia el análisis de las necesidades hídricas de las poblaciones asentadas en la región y de los eventuales conflictos socioambientales que la demanda del recurso podría provocar (particularmente en relación al uso de los manantiales y su gestión); también se presenta una nota de atención sobre el reconocimiento de los servicios ambientales que se generan, tanto en el macizo montañoso como en la cuenca del Tancochín y las microcuencas hidrológicas que se ubican dentro del área protegida, cuya influencia se extiende más allá de esta región.
2) El capítulo La diversidad vegetal, escrito por Domínguez Barradas, Cruz Morales, Reyes Ortiz y Jordán Garza, reseña recolectas botánicas y muestreos efectuados de 2005 a 2018 (aproximadamente 50 expediciones) y que resultó en un listado florístico que contiene 258 especies, que representan 3.7 % de la flora estatal. En el listado se encuentran 149 nuevos registros para la sierra; con esta aportación se incrementa el número de especies vegetales registradas para la región, que cambió de 365 a un total de 509. En este reporte se documenta que gran parte de la vegetación nativa ha sido modificada por la antropización del paisaje, generando parches de vegetación secundaria, potreros y áreas de cultivo agrícola; aun así, en el área de estudio se distinguen nueve tipos de vegetación, considerando otras comunidades como cultivos y vegetación semiurbana. Para dimensionar esta parte del capital natural de la región es necesario reconocer el irregular relieve topográfico y las variaciones en su gradiente altitudinal, que va desde los 250 hasta los 1,320 msnm en una superficie de 15,152 hectáreas.

3) La contribución de Soto, Vega Cortés y Raya Cruz, titulada Dinámica espacio-temporal de la cobertura forestal de la Reserva Ecológica de la Sierra de Otontepec durante los años 2000-2011-2019, expone la serie de cambios ocurridos en el paisaje de la región y orienta la atención sobre los procesos de transformación territorial que inciden en el capital natural de la zona. El análisis de las ganancias y pérdidas en cobertura forestal es interpretado en relación con la aplicación de políticas gubernamentales (pago por servicios ambientales), y da atención especial al bosque mesófilo de montaña. En este capítulo se presenta un enfoque metodológico que combina técnicas de percepción remota satelital con verificación en campo, dando oportunidad para análisis complementarios (como el de escenarios posibles de cambio climático o de intervención mediante programa de pago por servicios ambientales).
4) El estudio que presentan Alanís Méndez, Limón y Raya Cruz, llamado Abundancia y distribución espacial de la familia Orchidaceae, expone el valor del trabajo de campo; esta investigación sobre la diversidad y distribución espacial de orquídeas silvestres dentro del área protegida determinó la ocurrencia de 38 especies de orquídeas, distribuidas en 27 géneros y 2,502 organismos dentro de la reserva. Adicionalmente, en este capítulo se presentan resultados del modelaje de especies clave, lo que constituye un avance significativo en la comprensión de la diversidad biológica de la región. Este ejemplo revela la importancia de incrementar el esfuerzo de exploración en la región, reconociendo que esta diversidad es un componente fundamental y en riesgo de su capital natural.
5) El trabajo de investigación, Caracterización ambiental de *Ceratozamia huastecorum* (Zamiaceae) empleando Sistemas de Información Geográfica, realizado por Limón, Alanís Méndez, Chamorro Florescano y Ortiz Domínguez, centra su atención sobre una especie de cícada, microendémica y de la que existe poca información; el estudio tuvo como objetivo la descripción de las condiciones ambientales donde se distribuye *C. huastecorum*, usando sistemas de información geográfica. Se describieron 58 variables ambienta-

les (temperatura, precipitación, edáficas, entre otras) y se registró una ocurrencia en un área muy restringida. Entre las conclusiones, que confirman su estatus de especie críticamente amenazada (según los criterios de IUCN), se hacen recomendaciones para la conservación *in situ* y *ex situ*; el resultado de este trabajo enfatiza la importancia de preservar un singular proceso evolutivo-ecológico que se expresa en las subpoblaciones remanentes de *C. huastecorum*.

6) En el capítulo titulado Biomasa fustal de especies forestales del ejido San Nicolasillo, escrito por Melchor Marroquín y Chagoya Fuentes, se presenta una contribución fundamental para la valoración de la biomasa forestal de la región; además, se brinda una revisión de las herramientas disponibles para la cuantificación, manejo y aprovechamiento sostenible de las especies arbóreas. Aquí se debe destacar que, en lo general, se desconocen los reservorios y el potencial de almacenamiento de biomasa en los bosques neotropicales de México. Por ello, estudios como éste conducen al establecimiento de información base para el análisis de productividad, ciclo de nutrientes, flujos de energía, almacenamiento y captura de carbono; también aportan un marco de referencia para determinar disturbios naturales y antrópicos que influyen sobre el capital natural de la región. En este caso particular, el sitio de estudio se encuentra en el municipio de Chontla y dentro de un área natural protegida, lo cual es relevante para la planeación del aprovechamiento forestal sostenible y el eventual pago por servicios ambientales en correlación con diferentes funciones ecosistémicas (como captura de carbono o mantenimiento de cuencas hidrológicas, entre otras).

7) Campos Mariano, Chamorro Florescano, Beda Gómez y Ortiz Domínguez, presentan el estudio Riqueza y abundancia de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea) en el municipio de Chontla. Los autores indican que son pocos trabajos sobre este grupo taxonómico desarrollados en la región y enfatizan que el avanzado conocimiento biológico de las mariposas las convierte en un taxón indicador del estado de los hábitats y su riqueza; además de que

son altamente sensibles a los cambios de clima, temperatura, humedad relativa y nivel de luminosidad, lo que permite monitorear los cambios que se puedan generar dentro de los diferentes tipos de vegetación que conforman el área natural protegida. En este estudio se determinaron 43 especies que corresponden a cinco familias, resaltando que la mayor riqueza está concentrada en el área destinada al jardín botánico regional que alberga diferentes plantas de la región. Es interesante la anotación que se hace sobre este jardín regional establecido en 2012 por la Fundación Pedro y Elena Hernández A. C., dentro de la estación de campo Sierra de Otontepec, en colaboración con la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, campus Tuxpan, de la Universidad Veracruzana, que se convierte en un ejemplo de la vinculación para la conservación del capital natural de la región.

8) En Las mariposas diurnas (Insecta: Lepidoptera: Papilionoidea) del bosque mesófilo de montaña de Citlaltépetl, los autores Beda Gómez y Ortiz Domínguez destacan que se trata del primer inventario de Papilionoidea para esta región, particularmente enfocado a las mariposas diurnas que habitan en el bosque mesófilo de montaña, en el municipio de Citlaltépetl. Como resultado del estudio se integró una lista de 110 especies que corresponden a 76 géneros y 16 subfamilias, agrupadas en cuatro familias (Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae y Lycaenidae), que conforman la superfamilia Papilionoidea. Como aportación significativa se consigna que la especie *Strymon sedecia* constituye un nuevo registro para el estado de Veracruz.

9) Los autores del capítulo Diversidad de mamíferos terrestres, Solares del Ángel, Pech Canché y Chamorro Florescano, se propusieron evaluar la diversidad y el recambio espacio-temporal de mamíferos terrestres en la Sierra, encontrando 17 especies pertenecientes a seis órdenes, 13 familias y 16 géneros; entre los tipos de vegetación de la región, fue la selva alta subperennifolia el sitio con mayor riqueza en mastofauna; el estudio presenta un análisis de diversidad alfa y beta, comparando entre tipos de vegetación.

En el registro, usando métodos directos e indirectos, tanto en temporada de secas como de lluvia, se encontraron tres especies bajo algún estatus de conservación dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010: *Leopardus pardalis, Puma concolor* y *Pecari tajacu*. Los autores concluyen que se requiere un mayor esfuerzo de muestreo para tener el inventario completo de los mamíferos terrestres de la región.

10) En el estudio, Abundancia, importancia cultural y uso del venado cola blanca *(Odocoileus virginianus)* en tres ejidos, realizado por Esteban Santiago, Hernández Rivera, Mejenez López, Chagoya Fuentes y Alanís Méndez, se presenta el caso de una especie que es ecológica y económicamente importante en México. Sin embargo, tal como se expone en este capítulo, el vínculo entre comunidades de plantas, venados y humanos se ha quebrantado como consecuencia de la cacería excesiva y degradación del hábitat. Mediante este estudio se calculó la abundancia poblacional de *O. virginianus* en un área que corresponde a tres ejidos de la Sierra, también se identificó la importancia cultural y el uso que los ejidatarios dan a este mamífero. En este sentido, y como resultado de las entrevistas con los habitantes locales, se plantea la posibilidad de establecer unidades de manejo ambiental para asegurar un aprovechamiento sostenible de las poblaciones de esta especie; para tal fin será necesario contar con investigaciones de ecología poblacional, tal como se ilustra en este estudio.

11) En el capítulo, Diversidad de murciélagos, los autores Rivera Vázquez, Pech Canché y Ortiz Domínguez trabajaron en tres ecosistemas naturales: bosque de encino, bosque mesófilo de montaña y selva mediana subperennifolia; durante el estudio se registraron 22 especies de cuatro familias, reconocibles en cinco gremios tróficos. La mayor riqueza se registró en el bosque mesófilo de montaña. Se reconoce que los murciélagos son un grupo ecológicamente importante debido a que brindan una gran variedad de servicios ecosistémicos; dispersión de frutos y semillas, polinización de muchas especies de plantas, control de poblaciones

de insectos que pueden ser considerados plagas, además, han sido reportados como grupo bioindicador. El estudio enfatiza la importancia ecológica de los murciélagos y plantea alternativas para su conservación biológica.

Este conjunto de contribuciones abarca distintos aspectos del capital natural de Otontepec, desde biodiversidad y recursos naturales hasta funciones ecosistémicas complejas y de escala regional. También, se presenta como un repertorio de enfoques, métodos y técnicas de estudio ecológico que, eventualmente, serán de utilidad para desarrollar estudios inter y multidisciplinarios. Tal como se planteó en la introducción de este capítulo, donde la concurrencia disciplinaria hace posible la comprensión del capital natural de una región (por ejemplo, de acuerdo con el System of Environmental-Economic Accounting—Ecosystem Accounting), así como el diseño y ejecución de políticas conducentes a la gobernanza regional (como se propone en la Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), usando un enfoque como el presentado por Conabio (Índice de Capital Natural).

LA HOJA DE RUTA HACIA LA SOSTENIBILIDAD

El inicio del siglo XXI ha sido un espacio para la discusión de los modelos de desarrollo socioeconómico, teniendo como trasfondo el paradigma de la sostenibilidad. En esta discusión, las universidades han sido protagonistas importantes, tanto en la formación de nuevos profesionistas como en el cambio cultural de la sociedad, con base en investigación científica y humanística. Se ha anunciado que la humanidad está saliendo de la era del Antropoceno para transitar hacia la de la sostenibilidad. En este cambio de época, la UNESCO (2015: p. 21) ha expresado así la cuestión entre crecimiento económico y desarrollo sostenible:

> *Se ha dado por sentado durante mucho tiempo que asegurar el crecimiento era el objetivo de desarrollo, basándose en la premisa de que*

> *el crecimiento económico tiene efectos positivos que pueden llegar a garantizar un mayor bienestar para todos. Sin embargo, los modelos insostenibles de producción y consumo presentan contradicciones básicas en el modelo predominante de desarrollo centrado en el crecimiento económico. Debido a un crecimiento sin obstáculos y a la sobreexplotación de las zonas naturales, el cambio climático está dando lugar a un aumento de las catástrofes naturales que representan un grave peligro para los países pobres. La sostenibilidad ha surgido como preocupación esencial del desarrollo para hacer frente al cambio climático, el deterioro de recursos naturales vitales, como el agua, y la pérdida de la biodiversidad.*

Se ha propuesto que las universidades sean instituciones ejemplares en este cambio de paradigma civilizatorio. Para ello se han planteado distintas estrategias universitarias (Rodríguez Luna y Vázquez Karnsted, 2010). Las hay desde la perspectiva regional, en donde las contribuciones fundamentales de la investigación universitaria se orientan con base en distintos marcos disciplinarios. Sin esta investigación regional no es posible vislumbrar un futuro mejor; los estudios regionales sobre biodiversidad, recursos naturales y servicios ambientales son condiciones necesarias para imaginar el desarrollo socioeconómico y bienestar humano en Otontepec.

Al respecto, la UNESCO (2015: p. 28) declara:

> *Al mismo tiempo, la educación es un componente esencial de la capacidad de adaptación, por lo que hay que transmitir a las generaciones actuales y futuras el conocimiento, las habilidades y los comportamientos necesarios para adaptar la vida y la subsistencia a las realidades ecológicas, sociales y económicas de un medio cambiante.*

La investigación universitaria, como la que se presenta en este libro, además de contribuir al conocimiento de una región crea las condiciones para el rediseño de los programas educativos mediante modelos de enseñanza-aprendizaje mixtos y basados en estudios de caso.

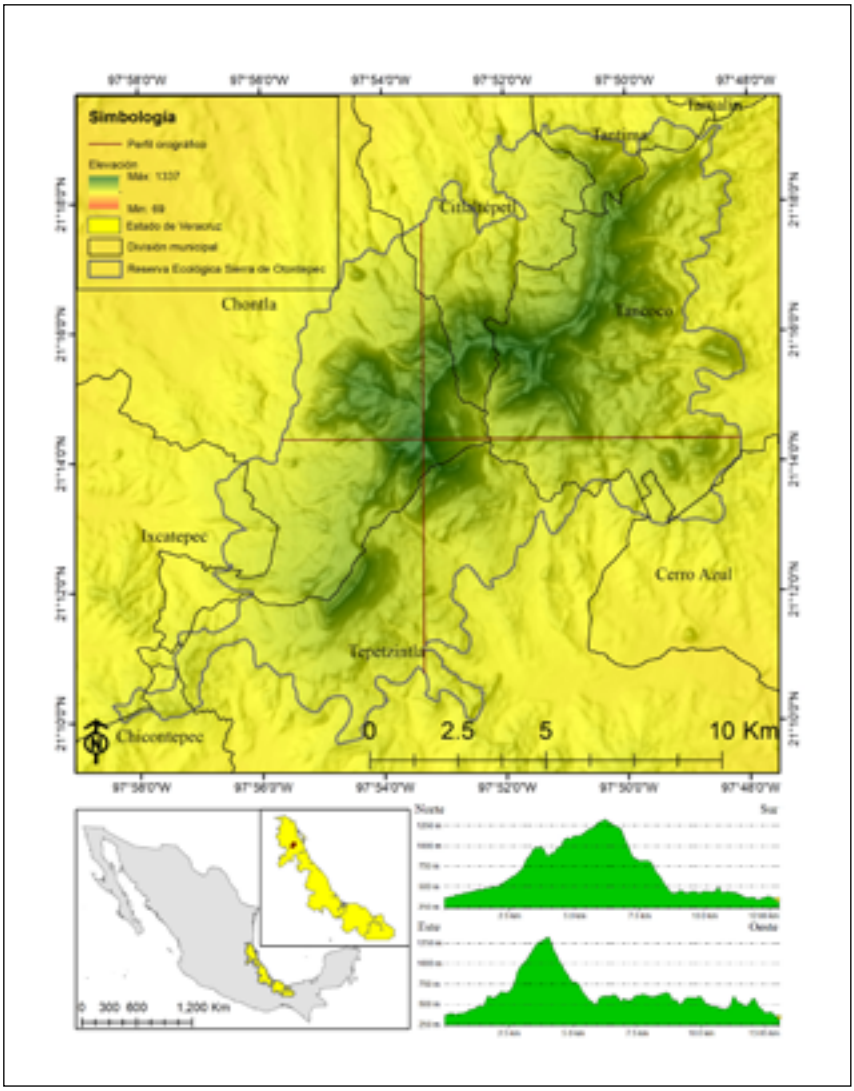


Figura 1. Ubicación general de la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz (elaborado por V. Soto).

De acuerdo con la UNESCO (2015: p. 86): "La educación es el proceso deliberado de adquisición del conocimiento y del desarrollo de las competencias para aplicarlo en las situaciones correspondientes. La adquisición y la utilización del conocimiento son los fines últimos que persigue la educación, orientada por los principios del tipo de sociedad al que aspiramos".

Los estudios realizados por la Universidad Veracruzana en Otontepec, pueden ser el soporte para diseñar y ejecutar una estrategia que facilite el cumplimiento de los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible y propiciar un cambio en la percepción de los habitantes de la región, eso que los convierta en agentes activos para la transición hacia el desarrollo sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, M., LÁZARO, C., DE LAMO, X., JUFFE-BIGNOLI, D., CAO, R., BUENO, P., SOFRONY, C., MARETTI, C., GUERRA, F. (Editores). (2021). *Informe Planeta Protegido 2020: Latinoamérica y el Caribe*. Ciudad de México, México; Cambridge UK; Gland, Switzerland; Bogotá, Colombia: RedParques, UNEP-WCMC, CMAP-UICN, WWF, CONANP y Proyecto IAPA.

BRUNDTLAND, G. H., Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (ONU). (1987). "Nuestro Futuro Común". *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo «Nuestro futuro común»*. Documentos Oficiales de la Asamblea General, cuadragésimo segundo período de sesiones, Suplemento N. 25 (A/42/25). Recuperado de: http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf

COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO). (2008-2009). *Capital natural de México*. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad; Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio; Vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO). (2013). *Estrategia para la conservación y uso susten-*

table de la biodiversidad del estado de Veracruz. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO). (2020). *Índice de Capital Natural*. Recuperado de: https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/indice_capnat.html

COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO). (2011). *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.

COMMITTEE OF EXPERTS ON ENVIRONMENTAL-ECONOMIC ACCOUNTING. (2021). System of Environmental-Economic Accounting-Ecosystem Accounting/final draft. Department of Economic and Social Affairs Statistics Division United Nations. Recuperado de: https://unstats.un.org/unsd/statcom/52nd-session/documents/BG-3f-SEEA-EA_Final_draft-E.pdf

CZÚCZ, B., Z. MOLNÁR, F. HORVÁTH, G. NAGY, Z. BOTTA-DUKÁT, K. TÖRÖK, K. (2012). Using the natural capital index framework as a scalable aggregation methodology for regional biodiversity indicators. *J. Nat. Conserv*. 20, 144-152.

DÍAZ, S., J. SETTELE., E. BRONDÍZIO (Coord.). (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES. Recuperado de: https://www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/spm_unedited_advance_for_posting_htn.pdf

GACETA OFICIAL. (02 de marzo de 2005). Decreto por el que se declara Área Natural Protegida con categoría de Reserva Ecológica el área que conforma la Sierra de Otontepec, en el estado de Veracruz. Recuperado de: http://repositorio.veracruz.gob.mx/medioambiente/wp-content/uploads/sites/9/2018/02/Sierra-de-Otontepec_2005.pdf

GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ. *Registro Estatal de Espacios Naturales Protegidos*. Recuperado de: http://transparencia.chontla.gob.mx/uploads/transparencia/70d67fd6f207908c00d10c1f15bfaf77.pdf

GHAZOUL, J. (2020). *Ecology. A very short introduction*. Oxford University Press.

INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABILITY IN HIGHER EDUCATION. Recuperado de: https://www.emerald.com/insight/publication/issn/1467-6370

INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES (IPBES). (2013). Decision IPBES-2/4: Conceptual framework for the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Recuperado de: https://www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/Decision%20IPBES_2_4.pdf

KUBISZEWSKI, I., COSTANZA, R., ANDERSON, S., SUTTON, P. (2017). *The future value of ecosystem services: Global scenarios and national implications, Ecosys-*

tem Services. Volume 26, Part A, Pages 289-301. Recuperado de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212041617300827

MACE, G. (2019). *The ecology of natural capital accounting*. Oxford Review of Economic Policy, Oxford University Press, vol. 35(1), 54-67.

MARTÍNEZ, J., ROCA, J. (2001). *Economía Ecológica y política Ambiental*. Fondo de Cultura Económica. Mexico.

MEADOWS, D. H., MEADOWS, D. L., RANDERS, J., BEHRENS, W. (1972). *Los límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el predicamento de la humanidad*. Fondo de Cultura Económica. México.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington.

MORA, F. (2017). Nation-wide indicators of ecological integrity in Mexico: The status of mammalian apex-predators and their habitat. *Ecol. Indic*. 82, 94–105. Recuperado de: https://www.biodiversidad.gob.mx/assets/pdf/pais/indicecn/FMora-2017-EcolInd-V82-94-105.pdf

MORA, F. (2019). The use of ecological integrity indicators within the natural capital index framework: The ecological and economic value of the remnant natural capital of Mexico. *Journal for Nature Conservation* 47:77-92. Recuperado de: https://www.biodiversidad.gob.mx/assets/pdf/pais/indicecn/FMora-2019-JNatCons-v47.pdf

SODHI N., EHRLICH, P. (2010). *Conservation Biology for All*. Oxford University Press. Recuperado de: http://ukcatalogue.oup.com/product/9780199554249.do

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). (2015). *Agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible*. Recuperado de: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO). (2015). *Replantear la educación ¿hacia un bien común mundial?* Recuperado de: https://www.unbosque.edu.co/sites/default/files/autoevaluacion_docs/replantear_la_educacion.pdf

OSMOND, P., DAVE, M., PRASAD, D., LI. F. (2013). *Greening Universities Toolkit*. United Nations Environment Programme. Recuperado de: https://ipbes.net

READ, R., CATO, M. S. (2014). A price for everything?': The 'natural capital controversy'. *Journal of Human Rights and the Environment*, 5(2): 153-167.

RICE, J., SEIXAS, C., ZACCAGNINI, M., BEDOYA-GAITÁN, M., VALDERRAMA, N. (2018). *The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas*. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 656 pp. Recuperado de: https://doi.org/10.5281/zenodo.3236252

CONTANZA, C., DE GROOT, R., SUTTON, P., VAN DER PLOEG, S., ANDERSON, S., KUBISZEWSKI, I., FARBER, S., TURNER, K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26, 152-158.

ROBERT, C., D'ARGE, R., DE GROOT, R, FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., SHAHID, N., O'NEILL, R., PARUELO, J., RASKIN, R., SUTTON, P., VAN DEN BELT, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387 253-260. Recuperado de: https://mro.massey.ac.nz/bitstream/handle/10179/9476/Costanza%20et%20al%20%20Nature%201997%20prepublicaton.pdf

RODRÍGUEZ-LUNA, E., A. GÓMEZ-POMPA, J. C. LÓPEZ-ACOSTA, N. VELÁZQUEZ-ROSAS, Y. AGUILAR-DOMÍNGUEZ Y M. VÁZQUEZ-TORRES. 2011. *Atlas de los espacios naturales protegidos de Veracruz*. Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana. México. 352 pp.

RODRÍGUEZ, E., VÁZQUEZ, P. (2010). La sustentabilidad desde las universidades. En C. Vergara Tenorio, E. Silva Rivera y E. Rodríguez Luna (coords.). *Estrategias educativas e institucionales para sociedades sustentables*. Universidad Veracruzana. Xalapa, México. Pp. 189-212.

SACHS, J. (2014). *La era del desarrollo sostenible*. Deusto. Barcelona, España.

SARUKHÁN, J., CARABIAS, J., KOLEFF, P., URQUIZA-HAAS, T. (2012). *Capital natural de México: acciones estratégicas para su valoración, preservación y recuperación*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

SARUKHÁN, J., KOLEFF, P., CARABIAS, J., SOBERÓN, J., DIRZO, R., LLORENTE, J., HALFFTER, G., GONZÁLEZ, R., MARCH, I., MOHAR, A., ANTA, S., MAZA, J., PISANTY, I., URQUIZA-HAAS, T. GONZALEZ, S., MÉNDEZ, G. (2017). *Capital natural de México. Síntesis: evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL Y MEDIO AMBIENTE. (2007). *Programa de Manejo de la reserva ecológica Sierra de Otontepec*. Serie: "Protegamos Nuestro Medio Ambiente".

TEEB Foundations. (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, London and Washington.

UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (UICN). (1980). *Estrategia mundial para la conservación: la conservación de los recursos vivos para el logro de un desarrollo sostenido*. Recuperado de: https://www.iucn.org/es/content/estrategia-mundial-para-la-conservacion-la-conservacion-de-los-recursos-vivos-para-el-logro-de-un-desarrollo-sostenido

UNIVERSIDAD VERACRUZANA. (2017). *Programa de Trabajo Estratégico (PTE) 2013-2017. Pertenencia y Pertinencia*. Recuperado de https://www.uv.mx/documentos/files/2019/05/pte-2017-2021.pdf

Capítulo 1

Caracterización hidrometeorológica

Hydrometeorological characterization

Jorge Luis Chagoya Fuentes[1*]
Víctor Soto[1]
Juan Sosa Azuara[2]
Bárbara Gabriela Hernández Ramírez[3]
Gaudencio Benítez Molina[4]

Resumen. El área natural protegida Sierra de Otontepec se encuentra en una zona de convergencia de distintos procesos atmosféricos; algunos recurrentes, mientras que otros, aunque eventuales, han tenido impacto extremo en la zona y generalmente provienen del Golfo de México. Adicionalmente, su origen volcánico le confiere características hidrogeológicas particulares que permiten en su estrato rocoso la retención y posterior liberación del agua de lluvia a través de múltiples manantiales. En el presente trabajo se muestra

1 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica-Tuxpan, Universidad Veracruzana. carretera Tuxpan-Tampico km. 7.5, col. Universitaria, CP 92860, Tuxpan, Veracruz, México. Email: jochagoya@uv.mx (JLCHF). * Autor para correspondencia.

2 Asociación Regional de Silvicultores de la Unidad de Manejo Forestal Sierra de Otontepec. Benito Juárez núm. 503. Chontla, Veracruz. Email: juansosaazuara@hotmail.com (JSA).

3 Fundación Pedro y Elena Hernández, A.C. Sierra Nevada 712. Lomas de Chapultepec. CP 11000. del. Miguel Hidalgo. CDMX. (BGHR).

4 Comisión Nacional Forestal. Boulevard Xalapa-Banderilla, km 5.5. CP 91300. Banderilla, Veracruz. Email: gbenitez@conafor.gob.mx (GBM).

la intensidad de la lluvia (mm/h) de dos huracanes (Dean y Lorenzo) que han impactado el norte del estado de Veracruz; además, se presentan las condiciones térmicas y la precipitación de tres frentes fríos, uno de ellos intenso. Es necesario indicar que el aporte de lluvia de los eventos meteorológicos mencionados anteriormente pueden ser importantes para la recarga del manto rocoso y para la presencia de caudal de los diversos manantiales que brotan en las laderas. En este contexto, se presenta la oferta en flujo base (l/s) de los manantiales que son utilizados por las comunidades que rodean el ANP. Los resultados indican que ambos huracanes aportaron una gran cantidad de lluvia en poco tiempo (Dean: 220 mm en 18 hrs, Lorenzo: 99 mm en 16 hrs), y fue más intensa la lluvia del huracán Dean (50 mm/hr). Además, se aprecia que el aporte de los frentes fríos es importante, ya que llegan a generar mas de 500 mm de lluvia por año. En cuanto al aforamiento de los manantiales se identificaron 25 que abastecen directamente a una población de 56,130 habitantes. La oferta diaria cuantificada fue de 11.4 x 106 litros/día, lo cual representa 204 l/hab/día. Cabe resaltar que la oferta diaria por habitante es inferior a la recomendada (390 l/hab/día). Aunado a lo anterior, es relevante indicar que la oferta hídrica no es equitativa entre las diferentes comunidades, ya que está modulada entre volumen hídrico aforado y la cantidad de población que abastece. Con base en los resultados obtenidos se concluye que la zona del ANP Sierra de Otontepec es susceptible al impacto de fenómenos naturales extremos con lluvias de fuerte intesidad y que aún en época de sequía, posee una oferta hídrica que abastece a las diferentes comunidades que la rodean pero que en agunos casos no cubre el mínimo requerido.

Palabras clave: huracán Dean, oferta hídrica, Sierra de Otontepec.

Abstract. The Sierra de Otontepec Protected Natural Area is located in a convergence zone of different atmospheric processes; some recurring, while others, although occasional, have had an extreme in the area, generally impact coming from the Gulf of Mexico. In addition, its volcanic origin gives it particular hydrogeological characteristics that allow the retention and subsequent release of rainwater in its rocky stratum through multiple springs.

The present work shows the intensity of the rain (mm/h) of two hurricanes (Dean and Lorezo) that have impacted the north of the state of Veracruz; in addition, the thermal conditions and precipitation of three cold fronts are presented, one of them intense. It is necessary to indicate that the contribution of rain from the meteorological events mentioned above may be important for the recharge of the rocky mantle and for the presence of flow from the various springs that sprout on the slopes. In this context, the offer in base flow (l/s) of the springs that are used by the communities surrounding the ANP is presented. The results indicated that both hurricanes contributed a large amount of rain in a short time (Dean: 220 mm in 18 hrs, Lorenzo: 99 mm in 16 hrs), the rain from hurricane Dean was more intense (50 mm/hr). In addition, it is appreciated that the contribution of cold fronts is important since they generate more than 500 mm of rain per year. As for the refining of the springs, 25 were identified that directly supply a population of 56,130 inhabitants. The quantified daily supply was 11.4 x 106 liters/day, which represents 204 l/inhab/day. It should be noted that the daily supply per inhabitant is lower than the recommended one (390 l/inhab/day). In addition to the above, it is relevant to indicate that the water supply is not equitable between the different communities, since it is modulated between the volume of water measured and the amount of population that it supplies. Based on the results obtained, it is concluded that the area of the ANP Sierra de Otontepec is susceptible to the impact of extreme natural phenomena with heavy rains and that even in the dry season, it has a water supply that supplies the different communities that they surround it but in some cases it does not cover the minimum required.

Keywords: hurricane Dean, water supply, Sierra de Otontepec.

INTRODUCCIÓN

En el norte del estado de Veracruz, se localiza un macizo montañoso denominado Sierra de Otontepec, el cual se encuentra localizado en las

coordenadas 97°58'30'' y 97°48'00'' de longitud oeste y coordenadas 21°19'19'' y 21°09'34'' de latitud norte.

Debido a su importancia ecosistémica, particularmente en la provisión de diversos servicios ambientales (provisión de agua, conservación de la biodiversidad, retención de carbono, entre otros), en marzo del 2005 fue decretada por el gobierno del estado de Veracruz, Área Natural Protegida en su categoría de Reserva Ecológica, la cual comprende 15,152 hectáreas (Gaceta del Estado, 2005).

Con base en su origen volcánico, esta montaña posee características edafológicas determinantes, las cuales permiten que sus suelos tengan una gran capacidad de infiltración (Chagoya, 2009). Adicionalmente, y como consecuencia de los tipos de lava que la formaron, el estrato rocoso presenta una gran cantidad de grietas y fisuras (Robin, 1976), producto de la deformación plástica basal y su ruptura. Dicha conformación le permite, por el fenómeno de capilaridad (cohesión y adhesión), en primera instancia contener temporalmente el agua que recibe, después dejarla escurrir entre las grietas y, al final, permitirle surgir al exterior en forma de manantiales y arroyos.

Dichos manantiales, los cuales se localizan generalmente en las zonas altas de la montaña, abastecen a diversas comunidades de seis municipios que comparten sus límites en la zona de estudio; estos asentamientos se encuentran ubicados en las partes bajas y hacen llegar el agua por un sistema de líneas de conducción y depósitos, aprovechando el cambio de gradiente altitudinal (Hernández, 2010; Sandoval, 2010).

Debido a la importancia en la provisión de servicios ambientales hídricos del ANP Sierra de Otontepec, resulta imperativo la obtención de información de carácter hidrometeorológico que ayude a comprender las características hidrogeológicas de la montaña y su implicación con la demanda del recurso hídrico por parte de la población periférica.

Con base en lo anterior, el objetivo de este documento es presentar información meteorológica puntual, la cual corresponde al registro de la intensidad de la lluvia (mm/h) de dos eventos extremos (huracanes) que impactaron en el ANP Sierra de Otontepec, y del aporte de

lluvia de los frentes fríos registrados durante el periodo 2007–2009. Cabe resaltar que el aporte de lluvia de eventos de tal magnitud son indispensables para la adecuada recarga del manto rocoso y para mantener el caudal de los diversos manantiales que brotan en sus laderas. En adición a lo anterior, se presenta información hidrológica, la cual corresponde al comportamiento del caudal en flujo base (l/seg) de 25 manantiales que son utilizados directamente por las comunidades que rodean el ANP, así como la disponibilidad de agua por habitante, por día (l/hab/día) en cada comunidad. Finalmente, se discuten los dos escenarios en función de la oferta-demanda hídrica en la zona de estudio.

ANTECEDENTES

Características generales

La Sierra de Otontepec se encuentra posicionada en la llanura costera del Golfo de México. Presenta una forma alargada, la cual sigue una trayectoria del norte a sur, con una inclinación aproximadamente de 50º, lo cual genera una orientación del noreste al suroeste. Lo anterior le permite recibir los vientos dominantes del mar (barlovento) en la cara oriente y los vientos del norte en la vertiente norponiente. Presenta una altitud máxima de 1,300 msnm (INEGI, 2017) y tiene una topografía compleja debido a los procesos geológicos que le dieron origen, así como por la dinámica geomorfológica, como la remoción en masa que ha presentado a travéz del tiempo (Robin, 1976).

Desde el punto de vista hidrológico y debido a su posición geográfica, pertenece a las regiones hidrológicas 26 Pánuco y 27 Tuxpan-Nautla, las cuales drenan al Golfo de México (Conagua, 2015). Adicionalmente, se puede comentar que el ANP es cabecera de la cuenca del río Tancochín, el cual es el principal tributario a la laguna de Tamiahua.

El clima de la región baja de Otontepec, según la clasificación de Köppen, modificada por García (2004) es Am (caliente húmedo con llu-

vias en verano, con una media anual térmica superior a 22 °C y una precipitación total acumulada al año de ~1,000 mm). Los tipos de vegetación van cambiando según el grado altitudinal de la montaña, en su base se encuentran bosques de encinos (*Quercus oleoides*) con pastizales, selva mediana subperenifolia (*Brosimun alicastrum, Cedrela adorata, Manilkara zapota* y *Bursera simaruba*, entre otros) en su parte intermedia y bosque mesófilo (*Nephelea mexicana*) en su parte mas alta (Cgema, 2007). En cuanto a los suelos también varían de acuerdo con su grado altitudinal y en función del grado de intemperismo de la roca madre. Los regosoles se encuentran en su parte media-baja y los cambisoles en su parte más alta (Conabio, 2013).

En cuanto a su origen geológico se puede comentar que su base se encuentra aproximadamente a los 200 msnm, y está formada por roca sedimentaria producto del surgimiento del lecho marino por subducción de placas tectónicas durante el periodo Oligoceno tardío (23–27 millones de años) (de Cserna, 1981). Su elevación se debe a un proceso de vulcanismo extrusivo fisural durante el Plioceno (5.3 millones de años), de los cuales, estudios petrográficos del área indican que se desarrollaron aproximadamente 12 derrames de lava basáltica secuenciados en el tiempo. Las principales rocas magmáticas son los basaltos de tipo calcoalcalinos (entre los 300 a los 800 msnm) y tefrita nefelínica (arriba de los 800 msnm) (Robin, 1976).

Decreto del área natural protegida Sierra de Otontepec

En marzo 2005, la Sierra de Otontepec fue decretada por el Gobierno del Estado de Veracruz, como Área Natural Protegida en su categoría de Reserva Ecológica. Su extensión comprende un total de 15,152 hectáreas e involucra a ocho municipios (Chicontepec, Chontla, Citlatépetl, Cerro Azul, Tancoco, Tantima, Tepetzintla e Ixcatepec). Asimismo, en el decreto se mencionan las tres zonas en las que se divide el ANP: *a)* zona núcleo dedicada a la conservación y protección, la cual da inicio por arriba de los 750 msnm; *b)* zona de amortiguamiento dedicada a la reconversión productiva, la cual comprende entre los 550 y los 750 msnm; y

c) zona de aprocechamiento sustentable, la cual inicia en los 350 y termina a los 550 msnm. Cabe indicar que para cada una de las zonas indicadas anteriormente existen recomendaciones sobre el uso que debe tener el suelo y los recursos naturales.

Posteriormente, a inicios del 2007 la Coordinación General del Medio Ambiente (Cgema) publicó el *Plan de Manejo del* ANP *Sierra de Otontepec* en el que se indican con detalle sus características biogeográficas. Además, menciona las zonas y subzonas que en ella existen y las actividades recomendadas o restringidas en cada una. Asimismo, se presentan los planes de acción para las diferentes unidades de gestión ambiental (UGAs). Finalmente, indica la organización administrativa y legal que debe tener el ANP.

Estudios realizados en servicios ambientales hídricos en el ANP

Chagoya (2009) y Chagoya *et al.* (2015), presentaron los resultados de los balances hídricos, durante un periodo de tres años, en los siguientes usos de suelo: *a)* pastura de Estrella de África (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis*) sin árboles o arbustos (PSA), *b)* pastura de Estrella de África (*C. nlemfuensis*) con arbustos (*Conostegia xalapensis* Bonpl.) (PA), *c)* bosque perturbado de encinos (*Quercus oleoides* Schltdl. & Cham) (BQ), *d)* bosque en regeneración secundaria (RS) y *e)* pastizales naturales (*Paspalum notatum* Flügge) (PN). Estas áreas están ubicadas en una microcuenca del cerro de San Juan Otontepec (21º 11'56.2" N, 97º 54' 55.28"O) a una altitud que va de los 700 a los 900 msnm. Sus resultados indicaron, en primer lugar, que todos los suelos muestreados poseen una gran capacidad de infiltración, ya que su escorrentía fue poco notoria. En segundo lugar, los ecosistemas con un dosel complejo y más hojarasca en el suelo interceptan una mayor cantidad de lluvia que no llega a infiltrarse en el subsuelo. En tercer lugar, todos los usos de suelo presentaron potencial de recarga al estrato rocoso, percolando un gran porcentaje de la lluvia neta registrada (mm) (33.5, 42.0, 47.6, 56.0 y 60.25% para BQ, PN, RS, PSA, PA, respectivamente).

Adicionalmente, Hernández (2010), realizó un estudio sobre la microcuenca hidrográfica de La Pagua, la cual abastece de agua a la cabecera municipal de Tepetzintla, Veracruz. El objetivo principal de su estudio fue analizar algunos componentes de la gestión del recurso hídrico para consumo humano en la microcuenca La Pagua, Sierra de Otontepec, Veracruz, México. En cuanto a la información hidrológica, el autor comenta que el caudal utilizado por la cabecera municipal de Tepetzintla es de 15.48 l/s, lo que da una oferta total de 1,337,472 l/día, lo cual dividido entre el número de habitantes (5,657 hab.) equivale a una disponibilidad por habitante de 236 l/día. Lo anterior, según el autor, está por debajo de la cantidad requerida en México por habitante (264 l/seg) según Semarnat (2005). Adicionalmente el crecimiento demográfico esperado, con base en PNUMA (2010) de 6,073 hab. para el año 2030, generará una mayor presión sobre la disponibilidad el recurso hídrico, reduciéndolo a 220 l/día. Este cálculo está basado en condiciones estacionarias del recurso; es decir, sin considerar la variabilidad de la oferta en respuesta a los condicionantes atmosféricos a lo largo del tiempo.

Por su parte, Sandoval (2010) realizó un estudio con enfoque de cuencas hidrográficas en la microcuenca de San Juan Otontepec, donde, entre otra información, presentó la oferta hídrica que genera dicha microcuenca y la disponibilidad para las tres comunidades que de ella se abastecen (El Humo con 2070 hab.; Tezitlal 1 con 140 hab. y Tezitlal 2 con 324 hab.). Sus resultados indican que la oferta hídrica en flujo base por habitante por día (l/hab./día), es muy variable entre las tres comunidades (78, 216, 324 l/hab./día, para El Humo, Tezitlal 1 y Tezitlal 2, respectivamente). Lo que pone en manifiesto que la distribución del recurso hídrico no se realiza en forma equitativa, generando un punto de tensión entre la personas de las tres comunidades, ya que todas toman el agua del mismo manantial.

Finalmente, se puede comentar que Chagoya *et al.* (2015), presentaron la medición de la lluvia incidente en la microcuenca de San Juan Otontepec durante un periodo de 4 años (Figura 1), donde se observa que los meses de baja precipitación se registraron desde diciembre hasta

junio, y que la época de lluvias comprende los meses de julio a noviembre (periodo en el cual el manantial debe recargar). Adicionalmente, durante el periodo de julio 2006 a marzo 2009, los autores cuantificaron el caudal del manantial que está localizado aguas debajo de la zona donde se midió la lluvia reportada en la figura 1. Con base en lo anterior, la figura 2 representa el comportamiento volumétrico del caudal (l/s) y la lluvia incidente en su posible área de recarga.

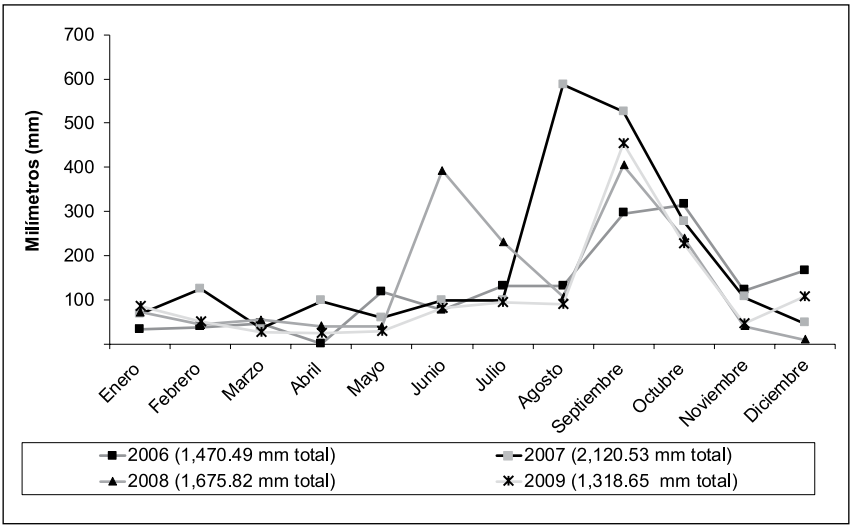


Figura 1. Distribución mensual de la lluvia en el cerro San Juan Otontepec (periodo 2006-2009), Sierra de Otontepec, Veracruz, México (Fuente: Chagoya *et al*., 2015).

Cabe resaltar que en la figura 2 se observa que el flujo del manantial es mayor (14–16 l/s) en las temporadas de lluvias (junio–octubre), pero decrece paulatinamente hasta llegar a un flujo base (4–6 l/s) al final de la época de sequía (marzo–mayo). Además, se pudo apreciar, durante los tres ciclos muestreados, que la cantidad de lluvia que incide en su posible área de recarga tiene un efecto en el incremento de su caudal.

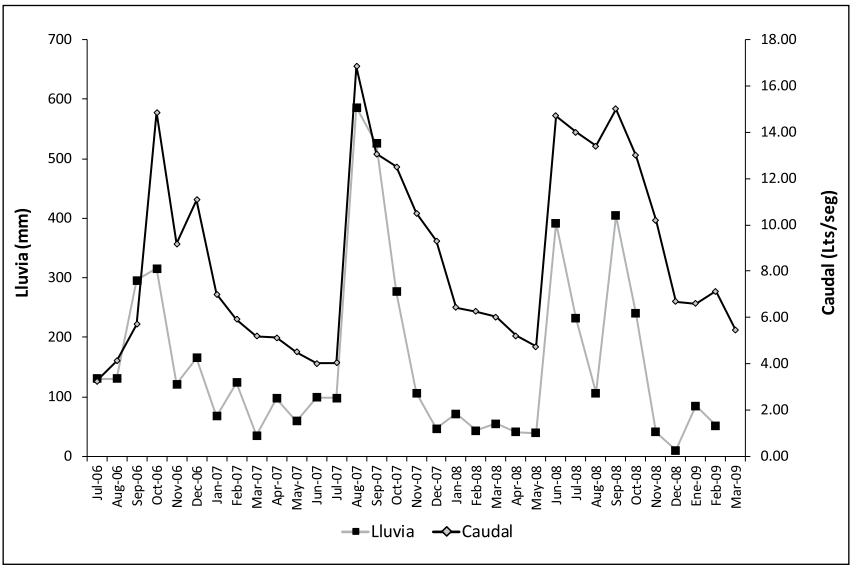


Figura 2. Flujo volumétrico (l/s) de un manantial del cerro de San Juan Otontepec (periodo julio 2006-marzo 2009), así como la cantidad mensual de lluvia (mm) incidente en su posible área de recarga (Fuente: Chagoya *et al*., 2015).

MÉTODOS

Medición de la precipitación

En los límites de la comunidad de San Juan Otontepec, municipio de Chontla, Veracruz. Se instaló una estación meteorológica automática marca Vantage Pro2 Plus©, la cual se ubicó en las coordenadas 21º 12' 29.78" N, 97º 55' 10.76" O a 586 msnm. Dicha estación fue programada para registrar los eventos en tiempo real y resumirlos cada 10 minutos. Adicionalmente, se contó con la información de un pluviómetro automático RG3 marca Onset© (21º12'12" N, 97º 54' 54.62" O a 715 msnm), el cual registraba tanto la cantidad de lluvia (mm) como su intensidad (mm/hr). El conjunto de datos aportados por la estación y el pluviómetro se tabularon, se reportaron los registros diarios y se analizaron para determinar los valores acumulados e intensidad de la

precipitación en los periodos de interés (julio–diciembre 2007). Finalmente, se contó con un pluviómetro manual All-Weather©, con una capacidad de 280 mm, que se localizó junto al RG3© y donde se registraron las lluvias de los años 2007, 2008 y 2009.

Aforamiento de los manantiales

Debido a que durante el periodo de tiempo comprendido entre octubre 2010 y mayo 2011 se registró una ausencia marcada de lluvias en el estado de Veracruz (Figura 3), con el fin de medir la oferta hidríca de los 25 principales manantiales que rodean el ANP y que son utilizados por la población, se midió su flujo base (flujo en l/s de los manantiales proveniente únicamente del manto rocoso sin aporte reciente de agua de lluvia), durante los meses de marzo, abril y mayo del 2011.

La georeferenciación de los manantiales y arroyos se realizó mediante el uso de un GPS Etrex20 de la marca Garmin© utilizando la proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) y Datum WGS 1984 Zona 14. Las coordenadas fueron cargadas en Excel© y proyectadas en ArcGis© 10.0 para proyectar su localización dentro de la poligonal del ANP (Figura 4). Una vez localizado el manantial o la infraestructura de retención y acopio, se realizó el aforamiento del caudal mediante el método volumétrico (l/s) presentado por Villón (2002).

RESULTADOS

Durante los meses de agosto y septiembre del 2007 fueron registrados dos eventos naturales extremos, los cuales se comentan a continuación:

Huracán Dean (11 al 23 de agosto 2007)

El huracan Dean se formó el 11 de agosto del 2007 frente de las costas del oeste de África y se considera el mayor hurácan de la historia en su tipo (Cabo Verde). Tuvo una larga trayectoria (7,560 km) hacia el

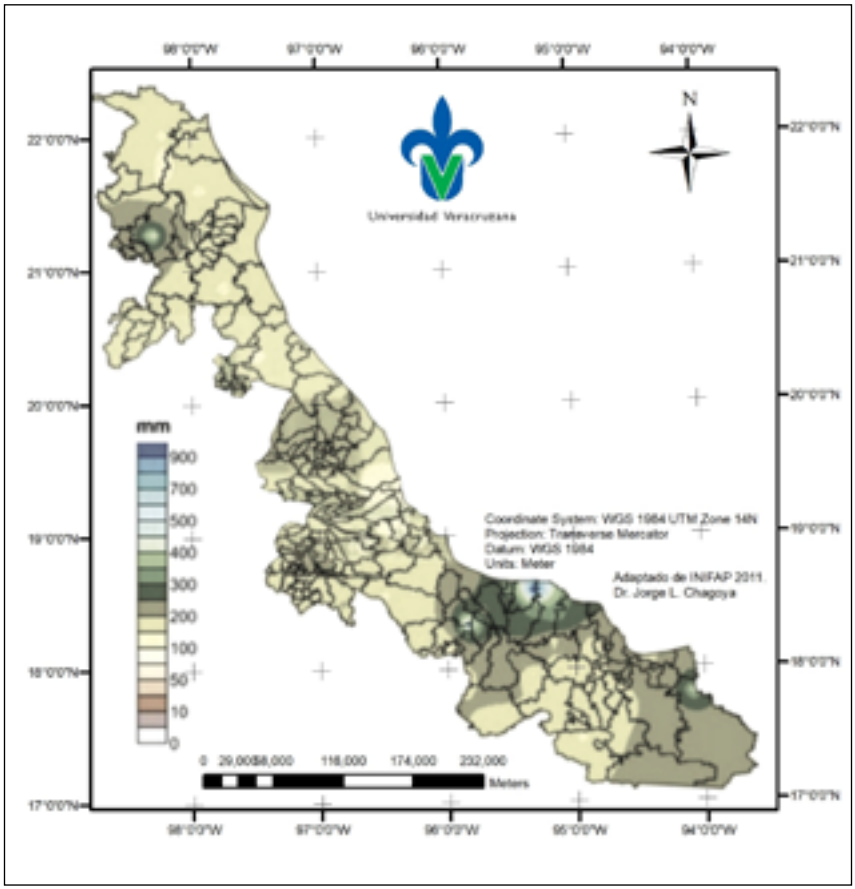


Figura 3. Precipitación acumulada en el estado de Veracruz, durante el periodo comprendido entre 20 de octubre 2010 al 31 de mayo 2011 (Fuente: INIFAP, 2011).

oeste, por lo cual llegó como categoría 5 en la escala Saffir-Simpson (914 mb en su interior y vientos de 230 km/h) a la isla de Jamaica. Posteriormente, el 20 de agosto el meteoro impactó las costas de Belice y la península de Yucatán, aún con categoría 5 pero más intenso debido al gradiente barométrico en el centro del ojo del meteoro (905 mb y vientos sostenidos de 240 km/h, con rachas de 350 km/h). Su paso por la península lo debilita e ingresa con categoría 2 al Golfo de México e impacta el 22 de agosto las costas de Tecolutla, Veracruz (Figura 5).

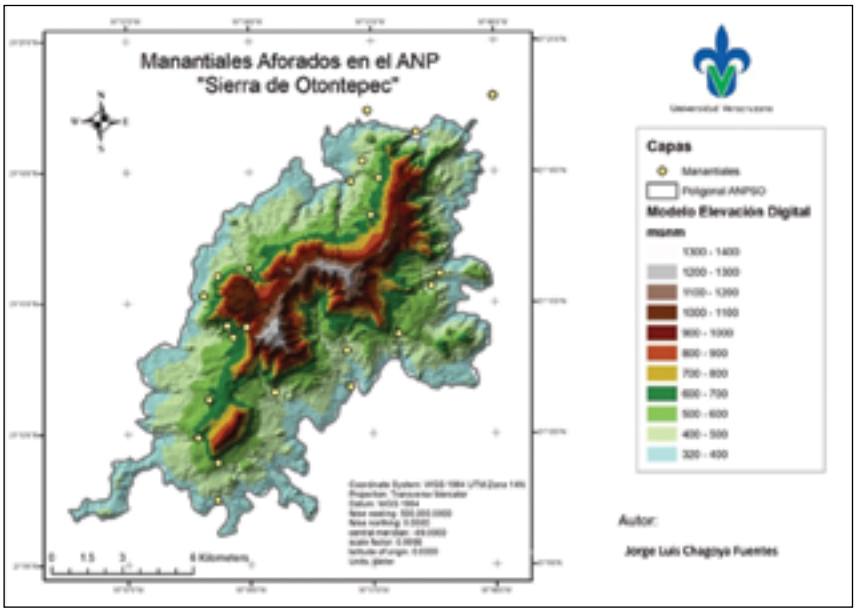


Figura 4. Localización geográfica de los manantiales aforados dentro de la poligonal de la Sierra de Otontepec, Veracruz, México.

A continuación, en la figura 6 se presenta el registro de la intensidad y la cantidad de lluvia en la Sierra de Otontepec durante el paso del huracán Dean. Se puede apreciar que el registro inició a las 2 a.m. y terminó a las 7 p.m. del mismo día 22 de agosto del 2007. Los pluviómetros automáticos registraron precipitaciones puntualmente intensas (52 y 41 mm/h, respectivamente), entre las 7 y 8 a.m., lapso en el que se contabilizó un total de lluvia acumulada de 220.8 y 307.6 mm, respectivamente.

Huracán Lorenzo (25 al 28 de septiembre 2007)

El huracán Lorenzo se formó en el Golfo de México, frente a las costas del norte de Veracruz, iniciando como una depresión tropical (1009 mb de presión atmosférica interna y vientos de 40 km/h). Fue un sistema con un recorrido corto (795 km), que en su inicio presentó una trayectoria hacia el sureste, para posteriormente dirigirse al oeste. El 28 de septiembre

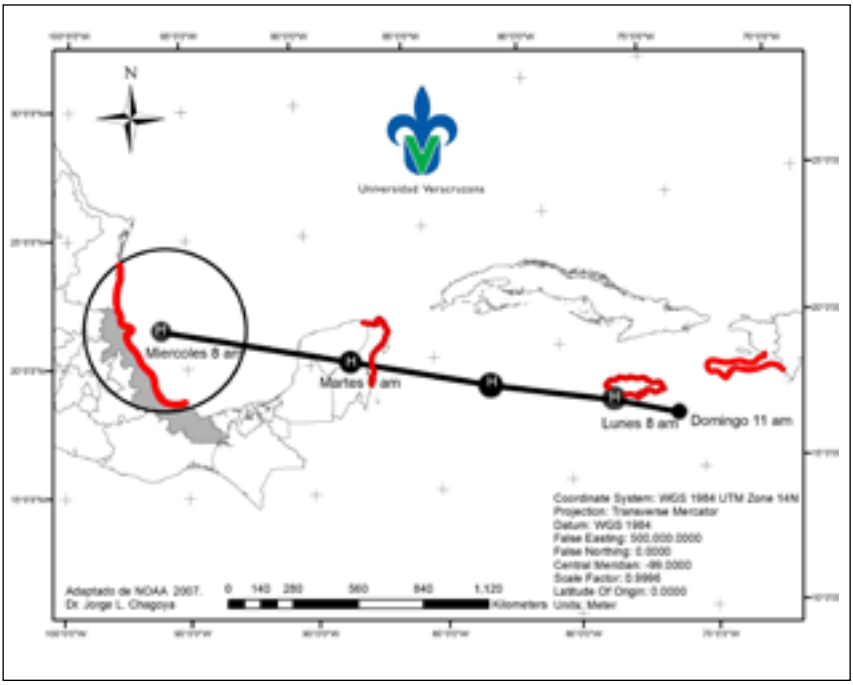


Figura 5. Trayectoria del huracán Dean por la Península de Yucatán, su ingreso al Golfo de México y su llegada a la zona norte del estado de Veracruz, México (Fuente: NOAA, 2007).

impactó en las costas del norte de Veracruz con categoría 1 en la escala Saffir-Simpson (990 mb y vientos de 130 km/h y rachas de 150 km/h) (Figura 7).

A continuación, en la figura 8 se presenta la intensidad y la cantidad de lluvia que se registraron en la Sierra de Otontepec, durante el paso del huracán Lorenzo.

Durante el paso del huracán Lorenzo, a partir de los datos del pluviómetro de la estación automática Vantage Pro2 Plus©, se encontró que el evento tuvo una duración de 16 horas, en las cuales se acumuló una cantidad total de 99.6 mm, con periodos de intensidad puntuales arriba de los 10 mm/h.

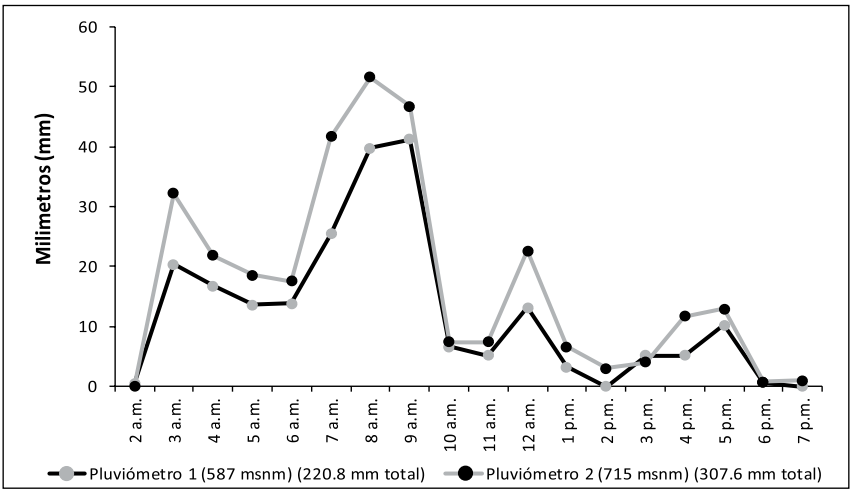


Figura 6. Intensidad y cantidad de lluvia registrada durante el paso del huracán Dean (22 de agosto 2007), Sierra de Otontepec, Veracruz, México.

Figura 7. Trayectoria del huracán Lorenzo en el Golfo de México y su impacto en las costas del norte de estado de Veracruz, México (Fuente: NOAA, 2007).

Frente frío número 2 (9–10 octubre 2007)

Con el uso de la información generada por la estación Vantage Pro2 Plus© se presentan, en la figura 9, las características meteorológicas del frente frío número 2, el cual se presentó en el ANP los días 9 y 10 de octubre del 2007.

Como se puede apreciar en la figura 9, la temperatura comienza a descender tras el arribo de la masa de aire polar que le da impulso al frente. Tras la condensación de la humedad atmosférica (línea gris) por el forzamiento de la cuña del frente, cinco horas más tarde se comienzan a registrar los primeros eventos de lluvia. Además, se aprecia que la precipitación tuvo una duración de 15 horas y se registró como máxima intensidad 14 mm/h. Tras el paso del frente y la recuperación de la variable térmica, se observa una tendencia a la recuperación del estado del tiempo en general con la finalización de la precipitación.

Lo señalado anteriormente corresponde al comportamiento general de la temperatura y del punto de condensación de la humedad contenida en el aire, con su consecuente precipitación (de tipo frontal) ante

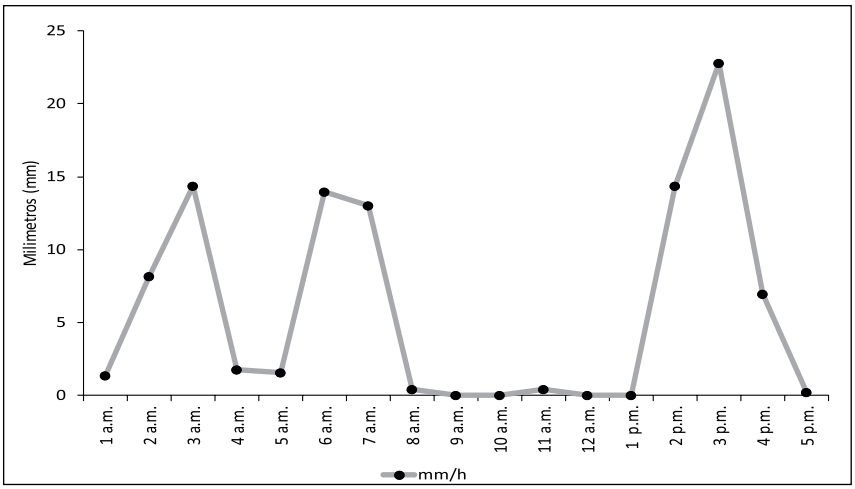


Figura 8. Intensidad y cantidad de lluvia registrada durante el paso del huracán Lorenzo (28 de agosto de 2007), Sierra de Otontepec, Veracruz, México.

un arribo de un frente frío. Por lo tanto, se presenta a continuación, (Cuadro 1), el aporte de lluvia registrada mensualmente (mm), por efecto de los frentes fríos durante los años 2007, 2008 y 2009.

En el cuadro 1 se observa que la cantidad de lluvia generada por frentes fríos es considerable, y puede llegar a ser igual o superior a los eventos presentados durante las lluvias del verano e incluso alcanzar niveles semejantes a los reportados por diversas tormentas tropicales y huracanes. Como se aprecia en el cuadro anterior, el rango pluvial va de los 543.51 mm en 2008 a 973 mm en 2009. Lo anterior, es de relevancia para la recarga del manto rocoso que abastece a los manantiales, ya que si se toma en cuenta la capacidad de infiltración (cm h-1) presentada por Chagoya *et al.* (2015) y la intensidad de la lluvia reportada en la Figura 9 se puede asumir que la lluvia generada por los frentes fríos se infiltra en el suelo adecuadamente sin generar una considerable escorrentía superficial.

Cuadro 1. Aporte de lluvia (mm) generada por frentes fríos, registradas en un pluviómetro manual localizado en la Sierra de Otontepec, Veracruz, México.

AÑO	MES	mm/mes	AÑO	MES	mm/mes	AÑO	MES	mm/mes
2007	Enero	67.35	2008	Enero	71.83	2009	Enero	84.71
	Febrero	123.90		Febrero	43.45		Febrero	51.63
	Marzo	26.53		Marzo	55.02		Septiembre	454.65
	Octubre	276.83		Abril	40.83		Octubre	228.14
	Noviembre	106.10		Mayo	41.59		Noviembre	46.94
	Diciembre	46.72		Octubre	240.15		Diciembre	106.98
				Noviembre	40.61			
				Diciembre	10.04			
TOTALES		**647.43**			**543.51**			**973.05**

A continuación, en la figura 10 se presenta la disponibilidad de agua en flujo base (l/s) de cada manantial y la cantidad de agua disponible por habitante por día (l/Hab/día) en cada una de las comunidades.

Como se observa en la figura 10, la oferta hídrica de los manantiales varía considerablemente entre ellos y presenta rangos que van desde 1 l/s hasta más de 20 l/s. Adicionalmente, al determinar la cantidad de agua por habitante, se observa que una comunidad dispone de menos

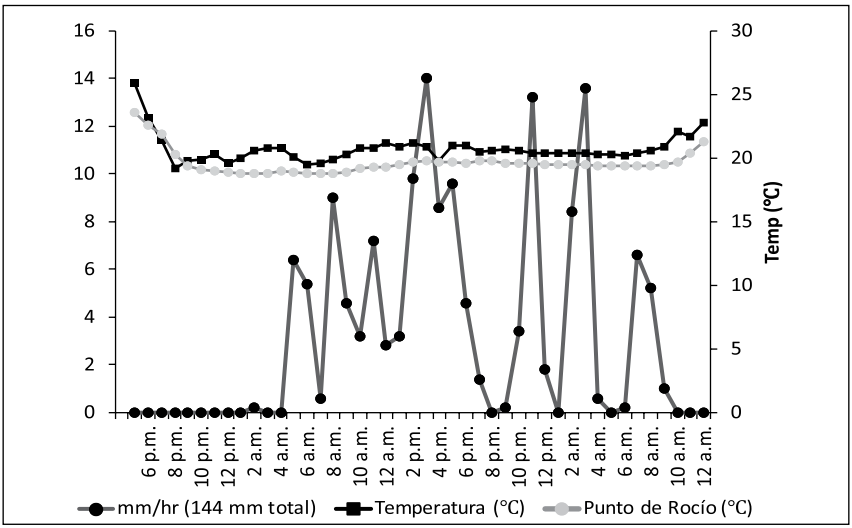


Figura 9. Características meteorológicas del frente frío núm. 2 (9 y 10 de octubre de 2007), Sierra de Otontepec, Veracruz, México.

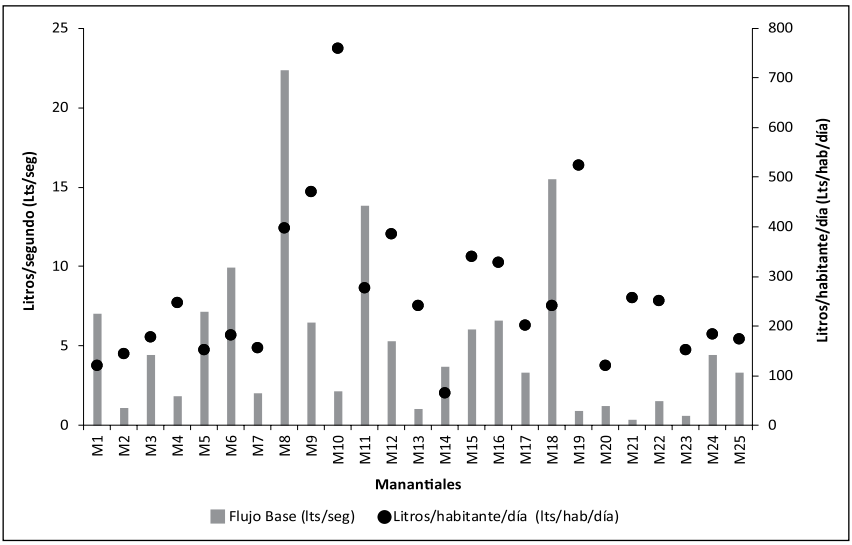


Figura 10. Oferta hídrica en flujo base (l/s) de 25 manantiales y disponibilidad de agua por habitante por día (l/hab./día).

de 100 l/hab./día. Asimismo, 10 poblaciones tienen una disponibilidad entre 100–200 l/hab./día y 14 núcleos urbanos tienen acceso a más de 200 l/hab./día. Adicionalmente, se puede comentar que en los 25 manantiales se aforaron un total de 4.2 x 10^9 litros anuales con una disponibilidad de 11.4 x 10^6 l/día para abastecer a un total de 56,130 habitantes, lo que hace una disponibilidad promedio por habitante por día de 204 litros. A continuación, en el cuadro 2 se presenta la información de los manantiales que se identificaron y aforaron.

DISCUSIÓN

El análisis de la bibliografía y la información meteorológica presentada indican que la zona de influencia del ANP Sierra de Otontepec, debido a su continentalidad, presenta una marcada tasa de incidencia de hidrometeoros. La mayoría de estos procesos recurrentes están relacionados con la interacción océano-atmósfera en la región del Golfo. La presencia de los vientos alisios, con una intensificación durante el verano, favorecen la entrada de humedad oceánica. El forzamiento orográfico de la ANP provoca la condensación de la humedad en su entorno, lo que repercute en el índice pluvial de la zona.

Por su parte, a partir del final del otoño y hasta el principio de la primavera, suelen presentarse más de medio centenar de ingresos de frentes fríos que provocan precipitación de menor intensidad, pero de manera casi constante durante su presencia. Esta tasa pluvial suele ser más acentuada cada vez que una masa de aire cálido disminuye su avance y lo vuelve estacionario, convirtiéndolo en un evento generador de una precipitación acumulada semejante a la de una tormenta de verano.

Aunado a lo anterior, la zona de estudio es susceptible a eventos extremos como huracanes. Lo anterior se debe a que se encuentra localizada en una zona conocida como Zona Intertropical de Formación de Huracanes del Océano Atlántico (cerca de la zona intertropical de convergencia), donde la temperatura del mar y las corrientes de vientos dominantes propician su generación (Moshinsky *et al.*, 2014).

El aporte pluvial de estos huracanes fue ejemplificado por las últimas dos tormentas que han afectado el norte del estado y de manera particular la zona de interés en los últimos años. En cuanto a la intensidad de la lluvia por hora (mm/h), ambos huracanes presentaron eventos puntuales por arriba de los 20 mm/h, incluso el huracán Dean registró 50 mm/h, lo cual correponde a tormentas fuertes a muy fuertes (20–50 mm/h) según lo reportado por diversos autores (Staley *et al*., 2013; Espinoza *et al*., 2015).

Los frentes fríos generadores del forzamiento de la humedad atmosférica a la condensación y la consecuente precipitación suele depositarse en las regiones del oriente y centro del país. Está ampliamente documentado que un frente frío estacionario (con presencia de más de tres días) genera una acumulación pluvial semejante a la de un meteoro asociado a las temperaturas en verano, como los chubascos vespertinos; así como a las de las depresiones, tormentas tropicales o huracanes propios del otoño. Lo comentado con anterioridad está soportado por los resultados reportados en el presente estudio, donde se observan las características cuantitativas asociadas a la precipitación del frente frío número 2, así como la contribución acumulada de los frentes fríos a la oferta de lluvia (mm) en un periodo de tres años.

Adicionalmente, es necesario indicar que, debido a capacidad de infiltración (cm/h-1) de los suelos del ANP reportada en un estudio anterior (Chagoya *et al*., 2015) y a la intensidad de lluvia (mm/hr) registrada por el frente frío número 2, es factible suponer que este tipo de lluvia puede llegar al manto rocoso y recargarlo, asegurando de esta forma el abastecimiento de agua potable a las comunidades que se abastecen del ANP.

En secuencia de lo anterior, y en cuanto al aforamiento de los manantiales, es relevante resaltar que los datos fueron registrados al final de un largo periodo de ausencia de lluvias (7 meses). Lo cual es necesario para tener el aforamiento del agua proveniente del manto rocoso, sin tener aporte de agua subsuperficial que provenga de lluvias recientes. En cuanto a la oferta hídrica, se puede comentar que si bien la oferta hídrica de los manantiales aforados es importante (204 l/día/Hab), según la WHO (2003), no resulta suficiente para cubrir lo mínimo necesario

(300 l/día/hab.). Lo anterior indica que el recurso hídrico en el ANP Sierra de Otontepec es un recurso escaso en temporada de estiaje, pero que puede llegar a balancear ese déficit durante los periodos de ingreso de masas de aire frío estacionales y la presencia de tormentas tropicales o huracanes en la zona del Golfo de México.

Cuadro 2. Manantiales georreferenciados y aforados dentro de la poligonal del área natural protegida Sierra de Otontepec, Veracruz, México.

Clave ID	Población a la que abastece	Minicipio	Lts/ seg	Lts/año	#	Lts/ día	Lts/ hab/ día
					Habitantes		
ANPSOM01	Chontla y otras comunidades	Chontla	7	220,759,000	4,979	604,800.00	121.5
ANPSOM02	Las Cruces	Chontla	1.12	35,320,320	667	96,768.00	145.1
ANPSOM03	San Francisco y Arranca Estacas	Chontla	4.45	140,335,200	2,150	384,480.00	178.8
ANPSOM04	Tamalcuatitla y Xochitlán	Chontla	1.84	58,026,240	642	158,976.00	247.6
ANPSOM05	San Nicolasillo	Chontla	7.18	226,428,480	4,060	620,352.00	152.8
ANPSOM06	Sta. María Ixcatepec	Ixcatepec	9.92	312,837,120	4,685	857,088.00	182.9
ANPSOM07	San Juan Otontepec	Chontla	2.044	64,459,584	1,126	177,086.77	157.27
ANPSOM08	Citlaltépetl	Citlaltepec	22.36	705,144,960	4,849	1,931,904.00	398.41
ANPSOM09	La Ceiba, Ceiba Nueva, Zapopal, Cerritos	Citlaltepec	6.5	204,984,000	1,191	561,600.00	471.5
ANPSOM10	San Jerónimo y Mixcaltepec	Citlaltepec	2.17	68,433,120	247	187,488.00	759.1
ANPSOM11	Las Sabinas, Calabaza y Mesa-Tlanchinol	Citlaltepec	13.83	436,142,880	4,326	1,194,912.00	276.2
ANPSOM12	Tantima	Tantima	5.31	167,456,160	1,183	458,784.00	387.8
ANPSOM13	San Sebastián	Tantima	1.045	32,955,120	373	90,288.00	242.1
ANPSOM14	Tamalín	Tamalín	3.685	116,210,160	4,775	318,384.00	66.7
ANPSOM15	Tancoco	Tancoco	6.01	189,531,360	1,526	519,264.00	340.3
ANPSOM16	Zacamixtle, Agua Salada y Ejido El Llano	Tancoco	6.6	208,137,600	1,737	570,240.00	328
ANPSOM17	La Campechana, Xilitla y P. Labrada	Cerro Azul	3.32	104,699,520	1,415	286,848.00	202.7
ANPSOM18	Tepetzintla y Cuamanco	Tepetzintla	15.48	488,177,280	5,515	1,333,472.00	241.79
ANPSOM19	San José	Tepetzintla	0.93	29,328,480	153	80,352.00	525
ANPSOM20	Tecomate	Tepetzintla	1.25	39,420,000	895	108,000.00	120.6
ANPSOM21	Xilitla	Tepetzintla	0.359	11,321,424	120	31,017.60	258.5
ANPSOM22	Copaltitla	Tepetzintla	1.5	47,304,000	516	129,600.00	251
ANPSOM23	Apachicruz	Tepetzintla	0.602	18,984,672	340	52,012.80	153.0
ANPSOM24	El Humo y Tezítlal	Tepetzintla	4.43	139,704,480	2,072	382,752.00	184.72
ANPSOM25	Tierra Blanca	Tepetzintla	3.33	105,014,880	1,656	287,712.00	173.7
	litros/año		**litros/día**		**habitantes**		**lts/hab/día**
TOTALES ANUALES	4,171,116,040.00		11,423,696.0		56,130.00		204

Adicionalmente, y con base en el cuadro 2, se puede comentar que la distribución del agua entre las comunidades no es de forma equitativa. Por ejemplo, existen comunidades que reciben arriba de los 300 l/día/hab. (cabecera municipal de Tancoco y cabecera municipal de Citlaltépetl) y en contraste existen algunas que reciben menos de 200 l/día/hab. (cabecera municipal de Tamalín, Tierra Blanca e Ixcatepec, entre otras). Lo anterior puede depender de diversos factores, como pueden ser: *a)* caudal del manantial o arroyo que los abastece en época seca, *b)* cantidad de población que utiliza dicho recurso hídrico, *c)* tipo y calidad de la infraestructura para el transporte y acopio del agua, y *d)* usos de suelo en el área de recarga de cada uno de los manantiales (Hernández, 2010; Sandoval, 2010).

No obstante, si bien los dos fenómenos documentados previamente generan una tasa pluvial muy superior a la normal climatológica de la ANP, la frecuencia de frentes fríos con una media anual que supera los 50 eventos (Semar, 2019) suelen representar una acumulación hídrica igual o superior a la de eventos meteorológicos extremos. La importancia de considerar la recurrencia de estos fenómenos hidrometeorológicos considerados como atípicos, radica en que su presencia viene a balancear en cierta medida el déficit hídrico que suele presentarse en la zona de estudio durante los prolongados periodos de estiaje. Sin embargo, se recomienda realizar un estudio de los usos de suelo en cada una de las microcuencas que abastecen a los manantiales que fueron georrefenciados y aforados. Lo anterior debido a que la cobertura del suelo es muy importante para una adecuada recarga del manto rocoso, ya que si el suelo está compactado o erosionado, la tasa de infiltración no será la adecuada.

Finalmente, se recalca la importancia de la conservación de las zonas altas en la Sierra de Otontepec y, aun más importante, desde el punto de vista hidrológico, será la conservación de las zonas que están arriba de donde son utilizados los manantiales (cuenca arriba), donde dichas zonas deberán ser prioritarias para desarrollar esquemas locales de pago por servicios ambientales hídricos (PSAH).

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se pudo realizar gracias a la gestión y coordinación de los dirigentes y socios ejidatarios de la Unidad de Manejo Forestal Sierra de Otontepec, al apoyo financiero de la Conafor en su convocatoria 2010 del PROFOS, al soporte logístico de la Fundación Pedro y Elena Hernández, A .C. con su Estación de Campo Sierra de Otontepec, y Jesús Zenil Méndez por su ayuda en la realización de los aforamientos de los manantiales.

BIBLIOGRAFÍA

CHAGOYA, F. J. L. 2009. *Multidisciplinary approach to support the design of a local policy of payment for hydrological ecosystem services, in a microwatershed located in northern Veracruz, México.* Tesis Doctoral. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 172 pp.

CHAGOYA, F. J. L., MALLÉN, R. C., McDONALD, M. A., JÍMENEZ, O. F., IBRAHIM, M. A., VELÁZQUEZ, F. L. y BECERRA, L. F. 2015. Información hidrológica, primer paso para diseñar una política local de pago por servicios ambientales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6 (29): 24–43.

CONAGUA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). 2015. *Atlas del Agua en México 2015*. Semarnat-Conagua. 135 pp.

CONABIO (COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD). 2013. *Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Veracruz*. México. 140 pp.

CGEMA (COORDINACIÓN GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE). 2007. *Programa de Manejo de la reserva ecológica Sierra de Otontepec. Serie: Protejamos Nuestro Medio Ambiente*. Vol. 11. Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente. Gobierno del Estado de Veracruz. 91 pp.

CSERNA, Z. 1981. Margen continental de colisión activo en la parte suroccidental del Golfo de México. *Revista del Instituto de Geología*. UNAM. 5(2): 255-261.

ESPINOZA, J. C., CHÁVEZ, S., RONCHAIL, J., JUNQUAS, C., TAKAHASHI, K. y LAVADO, W. 2015. Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation. *Water Resources Research*. 51 (5): 3459–3475.

GACETA OFICIAL DEL ESTADO. 2005. Órgano del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. 2 de marzo del 2005. Tomo CLXXII. núm. 43. pp. 13-27

GARCÍA, E. 2004. M*odificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Greografía. UNAM. Serie. Libros núm. 6. 90 pp.

HERNÁNDEZ, M. F. 2010. *Gestión del recurso hídrico para consumo humano en la microcuenca La Pagua, Sierra de Otontepec, Veracruz, México*. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 184 pp.

INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). 2007. *Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos*. INEGI. Aguascalientes, Ags. 1066 pp.

MOSHINSKY, R M., JÍMENEZ, E. M., VÁZQUEZ, C. M. T. 2014. *Atlas climatológico de ciclones tropicales en México*. IMTA. CENAPRED. México. 106 pp.

PNUMA (PROGRAMA DE LA NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE). 2010. *Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe*, GEO ALC 3, Panamá, PA. 375 pp.

ROBIN, C. 1976. El vulcanismo de las planicies de la Huasteca (este de México). Datos Geoquímicos y petrográficos. *Boletín del Instituto de Geología*. UNAM. 96: 55–92

SANDOVAL, G. C. 2010. *Comportamiento hidrológico y gestión del agua para consumo humano en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México*. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 160 pp.

SEMAR (SECRETARÍA DE MARINA). 2019. *Resumen anual de frentes fríos que afectaron aguas y costas mexicanas 2018-2019*. Secretaría de Marina, Gobierno de México. 59 pp.

SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 2005. *El Medio Ambiente en México: Resumen*, México. 91 pp.

STALEY, D. M., KEAN, J. W., CANNON, S. H., SCHMIDT, K. M., LABER, J. L. 2013. Objective definition of rainfall intensity-duration thresholds for the initiation of post-fire debris flows in southern California. *Landslides*. 10 (5): 547–562.

VILLÓN B., M. 2002. *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica - CRRH. Cártago, Costa Rica. 436 pp.

WHO (World Health Organization). 2003. *Domestic Water Quantity, Service, Level and Health*. WHO/SDE/WSH/03.02. Geneva 27, Switzerland. 33 pp.

Capítulo 2

La diversidad vegetal

The plant diversity

Consuelo Domínguez Barradas[1*]
Gerardo Eliseo Cruz Morales[1]
José Luis Reyes Ortiz[2]
Adán Guillermo Jordán Garza[1]

Resumen. Se documenta la flora de la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz, a partir de recolectas botánicas y muestreos efectuados de 2005 a 2018. Dentro del área es posible reconocer nueve comunidades vegetales definidas por la fisonomía y las especies dominantes, entre los cuales destacan el bosque tropical perennifolio y el bosque mesófilo de montaña, por la mayor riqueza de especies que albergan. El listado florístico contiene 259 especies y representa 3.04% de la flora estatal. Las familias con mayor riqueza son Fabaceae, Asteraceae, Poaceae, Euphorbiaceae, Malvaceae, Lamiaceae, Lauraceae, Rubiaceae y Araceae. El área alberga organismos de valor relictual: *Ceratozamia huastecorum, Nephelea mexicana* y *Zamia loddigessi*; también de relevancia ecológica

1 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica-Tuxpan, Universidad Veracruzana. Carretera Tuxpan-Tampico km. 7.5, col. Universitaria, CP 92860, Tuxpan, Veracruz, México. Correo: codominguez@uv.mx (CDB) * Autor para correspondencia.

2 Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones Biológicas, Ciudad del Conocimiento. Carretera Pachuca-Tulancingo, km. 4.5, CP 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

Liquidambar styraciflua, Quercus spp., así como otras; dada su importancia económica: *Brosimum alicastrum, Carpodiptera ameliae, Ceiba pentandra, Cedrela odorata, Manilkara zapota, Protium copal* y *Sabal mexicana*. La vegetación de la Sierra de Otontepec es importante por los servicios ambientales que provee, como la retención de agua, captura de carbono, entre otros. Además, alberga especies protegidas en normas nacionales e internacionales, por lo que su conocimiento aporta elementos para redefinir las estrategias de manejo que aseguren su conservación.

Palabras clave: bosque mesófilo de montaña, comunidades vegetales, especie dominante, reserva ecológica, Sierra de Otontepec.

Abstract. This chapter documents the flora of the Ecological Reserve Sierra of Otontepec, Veracruz, from botanical collect and sampling carried out from 2005 to 2018. In the area is possible to recognize nine plant communities defined by the physiognomy and the dominant species, of which stand out: Tropical Rain Forest and Montane Cloud Forest, two type of vegetation with greater richness. In the Sierra of Otontepec, 259 species have been registered, equivalent to 3.04% of the state flora. The Fabaceae, Asteraceae, Poaceae, Euphorbiaceae, Malvaceae, Lamiaceae, Lauraceae, Rubiaceae, and Araceae families presented greater richness. Here, live species of relict value as *Ceratozamia huastecorum, Nephelea mexicana,* and *Zamia loddigesii*, other species with ecological relevance: *Liquidambar styraciflua, Quercus* spp., as well as others, and for its economic importance: *Brosimum alicastrum, Carpodiptera ameliae, Ceiba pentandra, Cedrela odorata, Manilkara zapota, Protium copal,* and *Sabal mexicana*. The vegetation of the Sierra of Otontepec provides environmental services such as water retention, carbon capture, among others. Moreover, species protected by national and international laws are found, thus their knowledge provides elements to redefine the strategies of management that ensure their conservation.

Key words: cloud forest, dominant species, ecological reserve, plant communities, Sierra of Otontepec

INTRODUCCIÓN

El estado de Veracruz ocupa el tercer lugar a nivel nacional por su riqueza de plantas vasculares (Villaseñor y Ortiz, 2014; Villaseñor, 2016) que corresponden a 19 tipos de vegetación (Castillo-Campos *et al*., 2011), los cuales se distribuyen desde la zona costera hasta la alta montaña (Vázquez-Torres *et al*., 2010). Su diversidad vegetal es el resultado de la convergencia de los patrones climáticos, geológicos y geomorfológicos (Geissert y Enríquez, 2011).

La vegetación veracruzana es muy importante, no solo por su riqueza sino también por los servicios ambientales que ofrece, donde destacan la captura de dióxido de carbono, la formación de materia orgánica, la retención de agua para alimentar al manto freático, la regulación de la temperatura ambiental, es base en la cadena trófica, provee de hábitat a la fauna, entre otros (Vázquez, 2011); además de que proporciona alimentos, materiales para construcción y áreas de recreación.

La Sierra de Otontepec se ubica al norte del estado de Veracruz y presenta diferentes tipos de vegetación, debido a su relieve topográfico y gradiente altitudinal, que va desde los 250 hasta los 1,320 msnm (Sedesma, 2007) lo cual genera condiciones para los siguientes tipos de vegetación: Bosque tropical de encino, bosque tropical perennifolio, bosque mesófilo de montaña y finalmente vegetación secundaria y pastizal (Castillo-Campos y Medina-Abreo 1996; Hernández-Baz *et al*., 2003). Aunque los trabajos florísticos en este sitio son escasos, existe un registro de 365 especies vegetales (Castillo-Campos y Medina-Abreo, 1996; Vázquez-Torres *et al*., 2010), como los helechos arborescentes (Valencia, 2008), cícadas (Vidal, 2011), árboles frutales (Martínez, 2010), plantas con propiedades medicinales (Domínguez-Barradas *et al*., 2015) y flora epífita (Pérez-Lugo, 2016). En la Sierra de Otontepec, parte de la vegetación nativa ha sido modificada por la antropización que ha generado parches de vegetación secundaria, potreros y áreas de cultivo agrícola (Sedesma, 2007). El conocimiento que se tiene acerca de la diversidad florística de la Sierra de Otontepec es limitado, en el presente capítulo se presentan los resultados producidos por la Universidad Veracruzana,

que inició los trabajos desde hace una decada, especialmente después de que fue declarada Área Natural Protegida (Gaceta Oficial del Estado de Veracruz, 2005), lo cual ha permitido tener un panorama más claro de su diversidad biótica vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Área Natural Protegida (ANP) Sierra de Otontepec es una afloración rocosa, aislada de la Sierra Madre Oriental, con una antigüedad estimada de entre 6.6 y 7 millones de años (Ferrari *et al.*, 2005) y con una extensión territorial de 15,152 ha (Gaceta Oficial del Estado de Veracruz, 2005). La zona de estudio se encuentra dentro de dos cuencas, pertenecientes a las regiones hidrológicas: Río Pánuco y Río Tuxpan, y a través de las diferentes corrientes que se forman abastece a los municipios de la región que finalmente desembocan en la laguna de Tamiahua. Los suelos son de tipo regosol calcárico en la parte baja, muy importantes en la etapa inicial para la formación de otros suelos, y cambisol crómico a partir de los 500 y hasta los 1,320 msnm. En general, son suelos con cualidades agrícolas, principalmente los últimos. El relieve consta de zonas planas en la parte baja y accidentadas desde los 400 hasta los 1,320 msnm, con pendientes pronunciadas en un rango de 70 a 84%, que aumentan conforme se asciende (Sedesma, 2007) (Figura 1).

Se registran dos tipos de climas en la región de estudio, Am (cálido húmedo con abundantes lluvias en verano) y A(w) (cálido subhúmedo con lluvias en verano), según la clasificación de Köppen, modificada por García (2004), con veranos calurosos superiores a 22 °C e inviernos con temperaturas no menores a 10 °C, y registro de heladas en los últimos años. Con una precipitación muy marcada a lo largo del año, en promedio rebasa los 1000 mm hasta alcanzar 1500 mm.

La información es producto de un trabajo continuo desarrollado desde el año 2005 a la fecha, en los cuales se han realizado aproximadamente

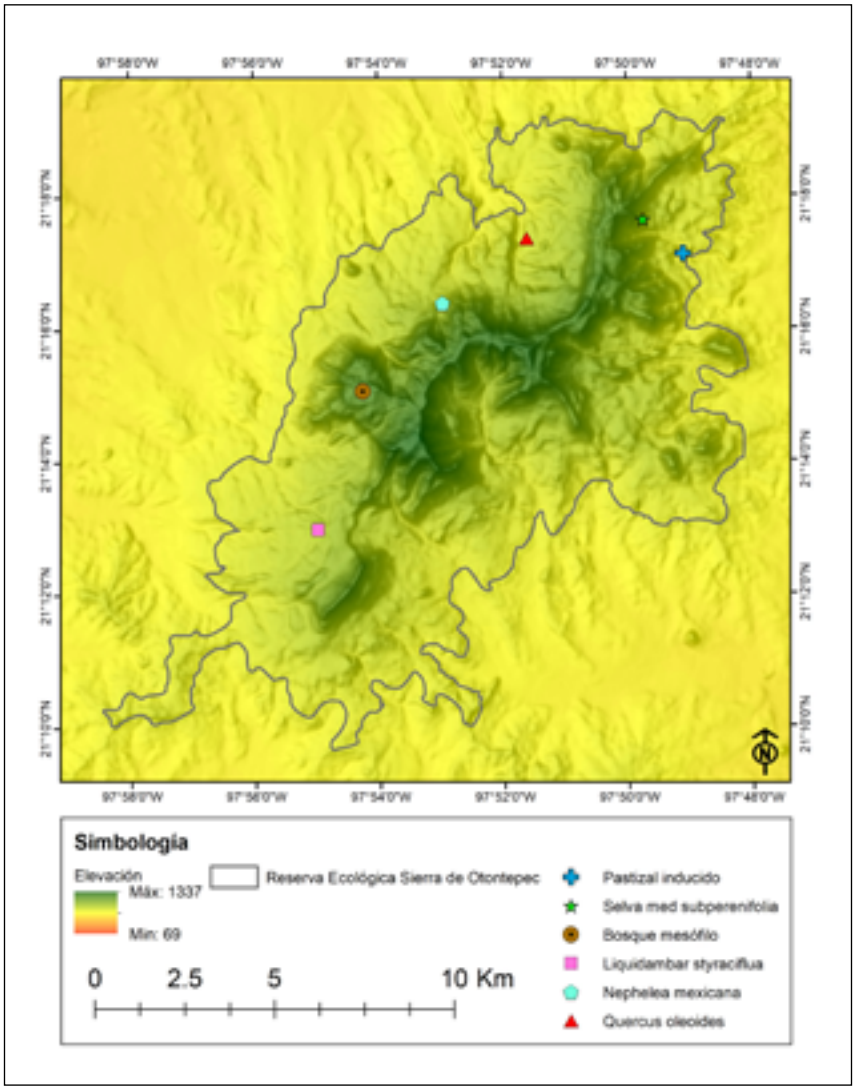


Figura 1. Poligonal de la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz (elaborado por V. Soto).

50 expediciones para reconocer los tipos de vegetación y la flora del área natural protegida Sierra de Otontepec. Durante las salidas se hizo la revisión y recolecta de ejemplares vegetales al azar, utilizando transectos y cuadrantes. En cada uno se registraron los siguientes datos: fecha, municipio, tipo de vegetación, forma biológica según Raunkiaer (1934) modificada parcialmente por Mueller-Dombois y Ellenberg (1974), y abundancia relativa bajo los estimados visuales de Braun-Blanquet (1979): escasa (0-25%), regular (26-50%), abundante (56-75%) y muy abundante (76-100%).

Las recolectas y el proceso de herborizado se realizaron con base en el método descrito por Lot y Chiang (1986). Para la determinación taxonómica se emplearon las obras: *Flora de Veracruz* (Inecol, 2018), *Flora del Bajío y de regiones adyacentes* (Inecol, 2018), *Árboles tropicales de México* (Pennington y Sarukhán, 2005) y *Árboles tropicales de Veracruz* (Vázquez *et al.*, 2017). Los grupos taxonómicos fueron tratados con base en los trabajos sobre Pteridofitas, Mickel y Smith (2004) y Christenhusz *et al.* (2011); Magnoliophyta, Cronquist (1981); y la nomenclatura y autores fueron actualizados según las bases de datos del IPNI (2021) y Tropicos (2021). Los autores se abreviaron de acuerdo con Brummit y Powell (1992).

Para corroborar la determinación de los ejemplares se verificaron por comparación con la colección virtual del Herbario de la UNAM (MEXU) y la colección del Instituto de Ecología (XAL), así como de la base de datos del Missouri Botanical Garden (Tropicos, 2021).

Para establecer los tipos de vegetación en el área de estudio se consideró lo descrito por Rzedowski (1978) e INEGI (2013). Con los registros botánicos, se preparó una matriz de datos en Excel, la cual se utilizó para generar el listado florístico final (Apéndice 1).

RESULTADOS

La flora del ANP Sierra de Otontepec está constituida por 92 familias, 218 géneros y 259 especies (Apéndice 1). Las familias más representativas en número de especies son: Fabaceae, Asteraceae, Lauraceae,

Poaceae, Euphorbiaceae, Lamiaceae, Malvaceae, Rubiaceae y Araceae (Cuadro 1), que integran 34.36 % de las especies. Las formas de crecimiento más frecuentes fueron: herbácea (99 especies) y arbórea (86 especies).

En el área de estudio se distinguen nueve tipos de vegetación, si se consideran otras comunidades como son los cultivos y vegetación semiurbana. El bosque tropical perennifolio y el bosque mesófilo de montaña (BMM) albergan la mayor cantidad de especies, 169 y 70, respectivamente.

Cuadro 1. Familias con mayor riqueza de géneros y especies en el ANP Sierra de Otontepec.

Familias	Géneros	Especies
Araceae	4	7
Asteraceae	10	10
Euphorbiaceae	8	8
Fabaceae	18	20
Lamiaceae	7	8
Lauraceae	6	9
Malvaceae	8	8
Poaceae	9	9
Rubiaceae	5	8

A continuación, se describe cada tipo de vegetación de la Sierra de Otontepec: Bosque de *Quercus*, Palmar, Bosque tropical perennifolio, Bosque mesófilo de montaña, Vegetación secundaria, Pastizal, Popal, Cultivos y Vegetación semiurbana.

Bosque de Quercus

Inicia en la costa de Tamiahua desde los 12 y hasta los 500 msnm. Se caracteriza por la dominancia de *Quercus oleoides*, única especie de este género que crece en climas cálidos de México. Asociada a esta especie se encuentran: *Acrocomia mexicana, Bursera simaruba, Cedrela odorata,*

Citrus aurantifolia, C. aurantium, C. reticulata, Guazuma ulmifolia, Parmentiera aculeata, Sabal mexicana y *Sapindus saponaria*. Así también, una gran diversidad de epífitas, muy abundantes, conformada por las familias: Bromeliaceae, Cactaceae, Orchidaceae y Piperaceae, así como de pteridofitas.

La presencia del estrato arbustivo en esta comunidad es escasa, destacan *Acacia cornigera* y *Tabernaemontana alba*. Por otra parte, el estrato herbáceo está representado por la cícada *Zamia loddigesii*.

Como consecuencia de las actividades agrícolas y la tala ilegal, esta comunidad vegetal se ha fragmentado y los relictos se encuentren dispersos entre los pastizales de Cerro Azul, Tepetzintla, Tancoco, Chontla y Citlaltépetl (Figura 2). Los árboles que en algunos sitios alcanzan 15 m de altura y 1 m de DAP, permanecen para dar sombra al ganado y los cultivos. En la región es posible encontrar brinzales de *Q. oleoides*, colonizando el sotobosque y espacios abiertos de vegetación secundaria, bien determinados como bosque de encinos.

Figura 2. Fragmentación del bosque de *Quercus oleoides* para establecer pastizales.

Figura 3. Bosque tropical perennifolio en la base de la reserva ecológica Sierra de Otontepec.

Palmar

El palmar es una comunidad dominada por *S. mexicana,* la cual se ve favorecida por el fuego utilizado durante los desmontes. Esta especie, crece en los pastizales inducidos y espacios de cultivo abandonados junto con *C. odorata, Conostegia xalapensis, G. ulmifolia* y *P. aculeata*.

Bosque tropical perennifolio

Dicha vegetación crece en lugares cálidos y húmedos del estado, en el ANP Sierra de Otontepec se encuentra dispersa por efecto de la agricultura y ganadería, pero aún se encuentran espacios bien conservados (Figura 3).

El estrato arbóreo está representado por: *Brosimum alicastrum, B. simaruba, Carpodiptera ameliae, C. odorata, Ceiba pentandra, Cojoba arborea, Enterolobium cyclocarpum, Inga inicuil, Manilkara zapota, Mangifera indica, P. aculeata, Persea americana, Piscidia piscipula, Protium copal,*

Spondias mombin; algunos de ellos pueden alcanzar 25 m de altura y de los arbustos los más comunes son: *Acacia farnesiana, Acrocomia aculeata, Citrus limon, T. alba* y *Psidium guajava* de hasta 3 metros.

Además, son muy abundantes y características de esta vegetación lianas y trepadoras hemiepífitas de la familia Araceae, como: *Philodendron radiatum* y *P. hederaceum*. Otros grupos comunes son las epífitas de las familias Bromeliaceae: *Aechmea bracteata, Tillandsia usneoides T. botteri, T. deppeana*. Cactáceas: *Epiphyllum phyllanthus, Hylocereus undatus, Rhipsalis baccifera, Selenicereus pteranthus*. Orquidaceae: *Catasetum integerrimum, Isochilus unilateralis, Lophiaris lurida*. Piperaceae: *Peperomia*. El sotobosque está integrado en su mayoría por herbáceas: *Chamaedorea elegans, C. oblongata;* polipodiáceos y orquídeas terrestres: *Sarcoglottis sceptrodes*.

En el estrato herbáceo se han localizado un número indeterminado pero elevado de especímenes de *Zamia loddigesii*, cícada de la familia Zamiaceae que se encuentra en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en la categoría de amenazada y en el apéndice II de la CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) para evitar su extracción y comercio ilegal. Existe una zona de transición muy particular, que va de la selva tropical (mediana subperennifolia) hacia el bosque mesófilo, entre 700 y 800 msnm, donde las condiciones de temperatura y humedad favorecen la abundancia de organismos epífitos. En este ecotono se encuentran poblaciones relictuales de *Ceratozamia huastecorum* y *Nephelea mexicana*.

Bosque mesófilo de montaña (BMM)

La disminución de temperatura, con presencia de neblina y alta humedad, generan condiciones óptimas para el desarrollo del BMM. En el ANP Sierra de Otontepec se ubica en un intervalo altitudinal de 600 a 1,320 msnm, caracterizado por la presencia de *L. styraciflua, Q. acutifolia* y *Q. skinneri* (Figura 4). En particular *L. styraciflua* por la cara noroeste, que corresponde al municipio de Chontla, crece a partir de los 600 msnm, cercano a los arroyos, sobre terreno plano y con pendientes no mayores a 70°.

Figura 4. Bosque monoespecífico de *Liquidambar styraciflua* en la cara noroeste de la Sierra.

En el estrato arbóreo del BMM se distinguen: *Bernardia dodecandra, Carya palmeri, Clethra mexicana, Cojoba arborea, Dendropanax arboreus, L. styraciflua, Quercus acutifolia, Q. skinneri, Q. laurina, Saurauia scabrida, Styrax glabrescens, Staphylea insignis, Tilia americana* y *Wimmeria concolor*. Por el contrario, el sotobosque está representado por relictos de *Alsophila firma*, un helecho arborescente protegido por la NOM-059-SEMARNAT-2010 y el apéndice II de la CITES. En el municipio de Tancoco (noreste de la sierra) y Citlaltépetl (noroeste de la sierra) la distribución de esta especie alcanza los 700 y 1,300 msnm, llegando a tener una densidad de 48 individuos en una hectárea. Habita los terrenos accidentados y laderas de difícil acceso. Los arbustos están representados en su mayoría por: *Ardisia compressa, Eugenia capuli, Randia aculeata* y *Wimmeria concolor*.

El estrato herbáceo formado por: *Asplenium sessilifolium, Calathea coccinea, Ceratozamia huastecorum, Dennstaedtia bipinnata, Helosis cayennesis, Dennstaedtia distenta, Heliconia schiedeana, Ichnanthus tenuis, Lepianthes umbellata, Polystichum distans, Pteris orizabae, Sacoila lanceolata, Scutellaria splendens, Thelypteris dentata, Thelypteris oligocarpa, Tradescantia zanonia, Woodwardia martinezii* y *Zephyranthes carinata*, la más abundante.

Existen fragmentos con extensiones superiores a 1 km, donde el componente arbóreo lo conforman *Quercus laurina, Q. skinneri, Q. acutifolia* y *L. styraciflua* especies representativas del bosque. En esta zona es evidente el reemplazo de la vegetación primaria por: pastizales, el cultivo de papatla (*Calathea coccinea*) y café (*Coffea arabica*).

En alturas que van de los 800 y hasta los 1,200 msnm se localiza una población escasa, dividida en dos, de *Ceratozamia huastecorum* (Figura 5), listada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en la categoría de Amenazada y en el apéndice II de la CITES, en los municipios de Tancoco y Citlaltépetl, con una densidad de 1 por cada 17 m^2. Las cuales crecen bajo la sombra del bosque, cercanas a barrancas y dentro de ellas. La vegetación asociada está compuesta por formas arbóreas de: *Carya palmeri, Clethra mexicana, Q. acutifolia, Q. skinneri* y *Turpinia insignis*. Los arbustos están representados en su mayoría por *Eugenia capuli*. Las especies herbáceas más frecuentes en este sistema vegetal fueron: *Calathea coccinea* y *Zephyrantes carinata*.

Vegetación secundaria

En el ANP Sierra de Otontepec la vegetación secundaria se observa en diferentes grados de sucesión, desde la base hasta los 1,300 msnm. Está asociada a terrenos agrícolas y pastizales en abandono, donde se han establecido especies como: *Acacia farnesiana, Conostegia xalapensis, G. ulmifolia, Q. oleoides, Inga* spp., *Cnidoscolus multilobus, P. piscipula, Randia aculeata, S. mexicana*. y herbáceas anuales en su mayoría dominadas por *Ageratum conyzoides, Bidens pilosa, Hyptis verticillata* y *Parthenium hysterophorus*.

Cultivos

Los pobladores de los municipios circundantes, como medio para subsistir, han disminuido parte de la cobertura de la vegetación primaria para establecer terrenos agrícolas. En diferentes puntos de la sierra se observan espacios con plantaciones de café (*C. arabica*), algunos cítri-

Figura 5. Cícada *Ceratozamia huastecorum*, especie de valor relictual.

cos (*Citrus* spp.) en aparente abandono que son utilizados para consumo local; en cambio, los cultivos de cilantro (*Coriandrum sativum*), chayote (*Sechium edule*) y papatla (*C. coccinea*), son comercializados en las comunidades aledañas.

Pastizal

El pastizal es consecuencia de la actividad ganadera que ha favorecido su expansión y la de otras hierbas y arbustos forrajeros en el territorio veracruzano. En el área de la reserva, dicha transformación también se ha dado, donde el desarrollo de grandes extensiones de pastizales es evidente. Esta comunidad se distribuye principalmente sobre superficies planas de la sierra o con pendientes ligeras y expuestas al sol, tanto en la base como en la parte alta.

En algunos pastizales abandonados o que ha disminuido el pastoreo se pueden observar formas arbóreas como: C. *odorata, G. ulmifolia, Q. oleoides, I. inicuil* y *S. mexicana*, que permanecen para proporcionar sombra al ganado. El estrato arbustivo está poco representado debido al control de los ganaderos sobre las especies de *A. cornigera* y *A. farnesiana*. En el estrato herbáceo, que es la comunidad dominante, se localizan con frecuencia *Cenchrus equinatus, Cynodon plectostachyus, Ichnandus tenuis, Paspalum dilatatum* y *Sorghum halepense*. Estas especies se distribuyen en diferentes áreas y son muy abundantes en la parte baja.

Popal

La vegetación hidrófila compuesta por especies de hojas amplias que se enrollan en sus estadios tempranos es denominada popal. En el municipio de Tancoco, cerca de los 400 msnm, se localiza un manchón de *Canna indica* de aproximadamente media hectárea que durante todo el año está inundado. Alcanza un nivel de hasta 40 cm de agua en la época de lluvias, pero desciende de 10 a 15 cm de agua en época de sequía. A su alrededor se encuentran escasos árboles, principalmente *Q. oleoides* y *P. americana*.

Vegetación semiurbana

El establecimiento de las poblaciones humanas en la parte baja de la Sierra de Otontepec ha modificado el paisaje y las comunidades vegetales primarias, por ejemplo, la introducción de ganado ha cambiado los bosques por praderas, mientras que la agricultura ha introducido especies frutales como: *Citrus* spp., *Cocos nucifera, Eriobotrya japonica, Litchi chinensis, Mangifera indica, Pouteria* spp., *Punica granatum, Prunus persica, Terminalia catappa* y *Tamarindus indica*, localizados hasta los 500 msnm en traspatios, así como cultivos abandonados y poco productivos, en algunos casos arriba de los 700 msnm.

DISCUSIÓN

La riqueza

En este estudio, la riqueza florística del ANP Sierra de Otontepec equivale a 3.04% (259 especies) de las 8,497 especies reportadas para la entidad veracruzana (Villaseñor, 2016) y refleja la influencia de los factores climáticos y geomorfológicos (Carvajal-Hernández *et al*., 2017). Por otro lado, el disturbio provocado por las actividades humanas ha modificado la vegetación primaria, dando origen a una secundaria que se ha expandido considerablemente en los últimos años, debido a la demanda por más espacios para la agricultura, la ganadería y asentamientos humanos (Castillo-Campos *et al*., 2011; López-Pérez *et al*., 2014; Zamora-Crescencio *et al*., 2017).

De las aportaciones de este trabajo destacan los 150 nuevos registros para la Sierra de Otontepec y la ampliación del área de distribución de *L. styraciflua*, que es una de las más importantes porque no se había reportado como parte de la flora de la sierra. En conjunto con estas especies y las 365 reportadas por Castillo-Campos y Medina-Abreo (1996) conforman un total de 510 y entre éstas, 53 son introducidas y denotan el efecto de las actividades humanas.

Los tipos de vegetación

Las características geomorfológicas de la Sierra de Otontepec, así como su historia biológica y localización geográfica le confieren condiciones para el establecimiento de diferentes tipos de vegetación, los mayor representados por su composición son bosque tropical perennifolio y el bosque mesófilo de montaña.

En el paisaje de la Sierra de Otontepec predomina la vegetación tropical, remanentes nativos de flora y vegetación secundaria. Entre las familias más diversas del área están: Fabaceae, Asteraceae y Poaceae, las cuales debido a su origen tropical pueden ocupar estos ambientes. Por ejemplo, las fabáceas presentan una amplia distribución en las selvas (Villaseñor, 2003; Zamora-Crescencio *et al*., 2008) al igual que las asteráceas, mismas que adicionalmente son indicadores de impacto antropogénico (Villaseñor y Ortiz, 2012; Villaseñor, 2018).

Como resultado de las actividades agropecuarias, la composición florística en algunos sitios se modifica constantemente, como el bosque de *Quercus*, porque se desplazan cantidades importantes de *Q. oleoides* para establecer cultivos o son talados por el valor de la madera, además del efecto negativo que causa el resguardo y tránsito del ganado bajo el bosque para el establecimiento de otras especies vegetales.

La comunidad vegetal de palmar (*S. mexicana*) está poco representada en la Sierra. Los ganaderos prefieren eliminarla debido a que afecta la producción de los pastos para el ganado. Sin embargo, esta especie es una fuente generadora de ingresos, las hojas son utilizadas por los pobladores de Tancoco para elaborar diversas artesanías, como escobas y principalmente sombreros, muy apreciados en la región y otras entidades del país. Por lo tanto, esta comunidad vegetal se ha visto reducida en los últimos 10 años.

En algunas áreas al sur de la entidad veracruzana se puede localizar el bosque tropical perennifolio, desde el nivel del mar como es el caso de Sontecomapan. Según Challenger y Soberón (2008), que consideran a Miranda y Hernández (1963) en los ecosistemas terrestres, en esta categoría se incluye a las selvas altas y medianas perennifolias y subperen-

nifolias del trópico húmedo, también conocidas como bosque tropical perennifolio (Rzedowski, 1978), las cuales se encuentran de manera casi exclusiva en la vertiente del Atlántico (las planicies del Golfo de México –salvo una región dominada por selvas secas en el centro de Veracruz– están cubiertas por pequeños manchones de esta vegetación). En México, la selva mediana subperennifolia se distribuye en la vertiente del Golfo, en los límites de Oaxaca-Veracruz y al sur de Campeche (Pennington y Sarukhán, 2005).

Esta vegetación alberga más de la mitad de las especies del planeta, en México supera las 5,000 (Rzedowski, 1991; Koleff *et al.*, 2012). Crece en lugares cálidos y húmedos del estado, y por efecto de la deforestación se ha reducido su extensión a menos del 25% en México (Challenger y Soberón, 2008; Martínez *et al.*, 2012). Si bien, en el ANP Sierra de Otontepec ha sufrido fuertes cambios en su estructura vegetal y se encuentra dispersa en fragmentos de diferentes tamaños, es donde se registra el mayor número de especies (166).

Bajo el dosel son muy abundantes plántulas de *P. copal* y *B. alicastrum*, aunque su sobrevivencia está condicionada por el tránsito del ganado dentro del bosque y por *Syngonium podophyllum*, especie invasiva que cubre el suelo y que afecta el reclutamiento de otras especies leñosas, el proceso de regeneración natural y la composición florística del sotobosque.

El BMM en México es el bioma más fragmentado que la selva tropical (INEGI, 2011) y en Veracruz se ha reducido drásticamente a más del 85%, y con ello la pérdida de poblaciones de flora y fauna, así como la disminución de lluvias (García de la Cruz *et al.*, 2014; López-Pérez *et al.*, 2011). En la sierra se desconoce su extensión, aunque se encuentran fragmentos de hasta 1 km, en apariencia bien conservados y otros en proceso de regeneración (Ramírez, 2016). Tiene un papel sustancial para la región como proveedor del recurso hídrico, además de las especies relicto que guarda, como son *C. huastecorum* y *N. mexicana*.

Por otro lado, el desarrollo de la vegetación secundaria en México obedece principalmente a los disturbios antrópicos (Caamal-Maldonado y Armendáriz-Yañez, 2002). En el área de estudio existe desde la base y

hasta los 1,300 msnm, y son espacios relevantes debido a que están colonizados por *C. odorata, Quercus* spp., *L. styraciflua*, entre otros, que promueven la entrada de especies pioneras y, finalmente, favorecen a largo plazo el proceso de recuperación y regeneración del bosque.

Respecto a los tipos de crecimiento de las especies, la herbácea es la más frecuente en la zona de estudio. Esto coincide con el patrón de la flora vascular de México, que de acuerdo con lo propuesto por Villaseñor (2004), 67 % de los géneros (1,887) son especies herbáceas. Las actividades antrópicas influyen para que diversas familias como: Asteraceae, Commelinaceae, Lamiaceae y Poaceae, en su mayoría compuestas de hierbas de regiones tropicales, aumenten su riqueza en ambientes perturbados (Gómez-Díaz *et al.*, 2017).

El valor de las comunidades vegetales y las especies

La comunidad de *L. styraciflua* constituye uno de los más relevantes en la región. La dominancia de esta especie promueve el establecimiento de otras, así como la rehabilitación ecológica de espacios perturbados y deforestados (Ramírez-Bamonde *et al.*, 2005), como es el caso de la Sierra de Otontepec, territorio donde se encuentra el último relicto de BMM en el norte del estado.

Entre las especies importantes que habitan en el área están: *P. copal*, su resina es aprovechada en ceremonias religiosas y fiestas de días de muertos, así como *C. draco*, utilizado como medicamento contra picaduras de insectos. En cuanto a *B. alicastrum*, que generalmente, es una especie componente del dosel superior de la selva tropical, constituye un importante recurso promisorio para la regeneración y coexistencia de otras especies en su papel de nodriza (Conabio, 2018). Además, en la sierra es especie multipropósito de interés alimenticio, maderable y sus hojas son utilizadas como forraje para el ganado local.

Entre otros grupos vegetales importantes y de valor relictual se encuentra el helecho arborescente *Nephelea mexicana* y la cícada *Ceratozamia huastecorum,* localizados dentro del bosque mesófilo de montaña, cuyas poblaciones, en apariencia permanecen estables, dado que

Figura 6. El recurso hídrico, como principal servicio ambiental de la reserva ecológica Sierra de Otontepec.

Valencia (2008) y Vidal (2011) describen organismos adultos y reproductivos por diversos puntos de la sierra.

Es necesario resaltar las especies como *B. alicastrum, C. ameliae, Chamaedorea elegans, Cojoba arborea, L. styraciflua, P. copal, S. mexicana, Quercus* spp. y *M. zapota* que, entre muchas otras, son utilizadas por la población circundante como artesanales, medicinales, maderables, forrajeras, alimenticias y rituales.

No existe un uso generalizado entre los pobladores de la zona, como lo indican Martínez (2010) y Domínguez-Barradas *et al.* (2015), el potencial de aprovechamiento de la flora del lugar es muy amplio, tanto que podría funcionar como un banco de germoplasma.

Debido a la altura de la Sierra de Otontepec (Figura 6), las especies que en ella se establecen son limitadas. En otras serranías de altitud y tamaño superior, donde los cambios de humedad y temperatura son

continuos hay posibilidades de una mayor diversidad e intercambio de especies. Por tanto, el BMM forma la vegetación extrema en esta zona, conformándose como el último relicto (debido a su altura y ubicación) al norte de la entidad donde se almacena un importante banco de germoplasma que puede dotar de servicios ambientales, desde Tamiahua hasta Pánuco.

Finalmente, la sierra alberga una importante diversidad florística aún no descrita en su totalidad y representa recursos valiosos para las comunidades asentadas en su interior y aledañas. Esta es razón suficiente para intensificar los trabajos y así complementar la información florística que será relevante para los programas de manejo sustentable, restauración y conservación que se pretende en el ANP Sierra de Otontepec.

BIBLIOGRAFÍA

BRAUN-BLANQUET, J. 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales.* Blume Ediciones. Madrid, España.

BRUMMITT, R. K. Y C. E. POWELL. 1992. *Authors of plant names.* Royal Botanic Gardens. Kew. London, England.

CAAMAL-MALDONADO, A. E I. ARMENDÁRIZ-YAÑEZ. 2002. La sucesión secundaria en los ecosistemas y agroecosistemas tropicales: el henequén (*Agave fourcroydes*) en el contexto de la diversificación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 1: 28-32.

CARVAJAL-HERNÁNDEZ, C. I., T. KRÖMER, J. C. LÓPEZ-ACOSTA, J. A. GÓMEZ-DÍAZ Y M. KESSLER. 2017. Conservation value of disturbed and secondary forests for ferns and lycophytes along an elevational gradient in Mexico. *Applied Vegetation Science* 20: 662-672.

CASTILLO-CAMPOS, C. G. Y M. E. MEDINA-ABREO. 1996. La vegetación de la Sierra de Tantima Otontepec, Veracruz, México. *La Ciencia y el Hombre* 24: 45-67.

CASTILLO-CAMPOS, G., S. AVENDAÑO Y M. E. MEDINA. 2011. Flora y vegetación. Pp. 163-180 en *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de estado* (Cruz-Angón A., ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, México.

CHALLENGER, A. Y J. SOBERÓN. 2008. Los ecosistemas terrestres. Pp. 87-108 en *Capital natural de México, volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

CHRISTENHUSZ, M. J. M., Z. XIAN-CHUN Y H. SCHNEIDER. 2011. A linear sequence of extant families and genera of lycophytes and ferns. *Phytotaxa* 19: 7-54.

CITES (CONVENCIÓN SOBRE EL COMERCIO INTERNACIONAL DE ESPECIES AMENAZADAS DE FAUNA Y FLORA SILVESTRES). 2018. Disponible en https://www.cites.org/esp/app/index.php

CONABIO (COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD). 2018. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/47-morac1m.pdf.

CRONQUIST, A. 1981. *An integrated system of classification of flowering plants*. Columbia University Press, Nueva York. EE.UU.

DOMÍNGUEZ-BARRADAS, C., G. E. CRUZ-MORALES Y C. GONZÁLEZ-GÁNDARA. 2015. Plantas de uso medicinal de la reserva ecológica Sierra de Otontepec, municipio de Chontla, Veracruz, México. *CienciaUAT* 9: 41-52.

FERRARI, L., T. TAGAMI, M. EGUCHI, M. T. OROZCO-ESQUIVEL, C. M. PETRONE, J. JACOBO-ALBARRÁN Y M. LÓPEZ-MARTÍNEZ. 2005. Geology, geochronology and tectonic setting of late Cenozoic vulcanism along the southwestern Gulf of Mexico: The Eastern Alkaline Province revisited. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 146: 284-306.

GACETA OFICIAL DEL ESTADO DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE. Decreto por el que se declara Área Natural Protegida con categoría de Reserva Ecológica el área que conforma la Sierra de Otontepec en el estado de Veracruz con una superficie total de 15,152 ha. Gobierno del Estado de Veracruz. 2 de marzo de 2005.

GARCÍA, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Serie libros. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México. México.

GARCÍA DE LA CRUZ, Y., J. M. RAMOS, P. A. QUINTANAR Y A. M. HERNÁNDEZ. 2014. Bosque de niebla: importancia, situación actual y manejo. *Elementos* 93: 23-29.

GEISSERT, K. D. Y E. ENRÍQUEZ. 2011. Geomorfología. Pp. 53-68 en *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado* (Cruz Angón, A., ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C. México.

GÓMEZ-DÍAZ, J. A., T. KRÖMER, C. CARVAJAL-HERNÁNDEZ, G. GEROLD Y F. HEITKAMP. 2017. Richness and distribution of herbaceous angiosperms along gradients of elevation and forest disturbance in central Veracruz, Mexico. *Botanical Sciences* 92: 307-328.

HERNÁNDEZ-BAZ, F., V. E. ARENAS-FUENTES, C. DOMÍNGUEZ-BARRADAS, W. MÁRQUEZ-RAMÍREZ, M. L. AGUILERA Y F. VELÁZQUEZ-ORTIZ. 2003. La importancia de la Sierra de Otontepec. *La Ciencia y el Hombre* 3: 17-20.

INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). 2011. *Carta de uso del suelo y vegetación escala 1: 250,000 Serie lV*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). 2013. *Cartografía uso del suelo y vegetación. Escala 1: 50,000 Serie V*. 2a ed. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

INECOL (INSTITUTO DE ECOLOGÍA A. C.). 2018a. *Flora del Bajío y de regiones adyacentes*. Disponible en http://inecolbajio.inecol.mx/floradelbajio/index.php/fasciculos/publicados.

INECOL (INSTITUTO DE ECOLOGÍA A. C.). 2018b. *Flora de Veracruz*. Disponible en http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/LISTADO_FLOVER.htm

IPNI (INTERNATIONAL PLANT NAMES INDEX). 2021. Disponible en https://www.ipni.org/

KOLEFF, P., T. URQUIZA-HAAS Y B. CONTRERAS. 2012. Prioridades de conservación de los bosques tropicales en México: reflexiones sobre su estado de conservación y manejo. *Ecosistemas* 21: 6-20.

LÓPEZ-PÉREZ, Y., J. D. TEJERO-DÍEZ, A. N. TORRES-DÍAZ E I. LUNA-VEGA. 2011. Flora del bosque mesófilo de montaña y vegetación adyacente en Avándaro, Valle de Bravo, estado de México, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 88: 35-53.

LÓPEZ-PÉREZ, D., O. CASTILLO-ACOSTA, J. ZAVALA-CRUZ Y H. HERNÁNDEZ-TREJO. 2014. Estructura y composición florística de la vegetación secundaria en tres regiones de la Sierra Norte de Chiapas, México. *Polibotánica* 37: 1-23.

LOT, A. Y F. CHIANG. 1986. *Manual de Herbario: Administración y Manejo de Colecciones, Técnicas de Recolección y Preparación de Ejemplares Botánicos*. Consejo Nacional de la Flora de México, A. C., México.

MARTÍNEZ, S. E. 2010. *Catálogo de árboles frutales en el municipio de Ixcatepec, Veracruz. México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.

MARTÍNEZ, R. M., L. BARRAZA Y P. BALBANERA. 2012. Manejo de bosques tropicales: bases científicas para la conservación, restauración y aprovechamiento de ecosistemas en paisajes rurales. *Investigación ambiental Ciencia y Política Pública* 4: 111-129.

MICKEL, J. T. Y A. R. SMITH. 2004. *The pteridophytes of Mexico*. Memoirs of the New York Botanical Garden, Nueva York.

MIRANDA, F. Y E. HERNÁNDEZ. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 29: 1-179.

MUELLER-DOMBOIS, D. Y H. ELLENBERG. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley & Sons, Nueva York.

PENNINGTON, T. D. Y J. SARUKHÁN. 2005. *Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies*. 3a ed. Fondo de Cultura Económica. México.

PÉREZ-LUGO, E. R. 2016. *Riqueza, composición florística y distribución de las epífitas vasculares de la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.

RAMÍREZ-BAMONDE, E. S., L. R. SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ Y A. ANDRADE-TORRES. 2005. Seedling survival and growth of three species of mountain cloud forest in Mexico, under different canopy treatments. *New Forests* 30: 95-101.

RAMÍREZ, V. M. F. 2016. *Estudio poblacional de Liquidambar styraciflua L. en el ANP Sierra de Otontepec, Veracruz*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz. México.

RAUNKIAER, C. 1934. *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. Clarendon Press, Oxford.

RZEDOWSKI, J. 1978. *La Vegetación de México*. Limusa. México.

RZEDOWSKI, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 14: 3-21.

SEDESMA (SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL Y MEDIO AMBIENTE). 2007. *Programa de Manejo de la reserva ecológica Sierra de Otontepec*. Gobierno del estado de Veracruz. Xalapa. México.

SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental-Especies nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-Categorías de Riesgo y Especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 56, 2ª. Sec.: 1-85.

TROPICOS (Missouri Botanical Garden). 2021. Disponible en https://tropicos.org.

VALENCIA, G. L. M. 2008. *Estudio ecológico-biológico de helechos arborescentes en Tancoco y Citlaltépetl, Veracruz*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.

VÁZQUEZ, T. M. 2011. El bosque tropical perennifolio. Pp. 195-206 en *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado* (Cruz Angón, A., ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.

VÁZQUEZ-TORRES, S. M., C. I. CARVAJAL-HERNÁNDEZ Y A. M. AQUINO-ZAPATA. 2010. Áreas naturales protegidas. Sierra de Otontepec. Pp. 249-

274 en *Atlas del patrimonio histórico y cultural de Veracruz: Patrimonio natural*. Benítez-Badillo, G. y C. Welsh-Rodríguez (Eds.). Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y de la Revolución Mexicana, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz.

VÁZQUEZ, T. M., J. CAMPOS Y M. JUÁREZ. 2017. *Árboles tropicales de Veracruz*. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. México.

VIDAL L., W. O. 2011. *Composición, fenología y aspectos poblacionales de las cícadas en la Sierra de Otontepec, municipio de Tancoco, Veracruz*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.

VILLASEÑOR, J. L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia* 28: 160-186.

VILLASEÑOR, J. L. 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 105-135.

VILLASEÑOR, J. L. Y E. ORTIZ. 2012. La familia Asteraceae en la Flora del Bajío y de regiones adyacentes. *Acta Botánica Mexicana* 100: 259-291.

VILLASEÑOR, J. L. Y E. ORTIZ. 2014. Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 134-142.

VILLASEÑOR, J. L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 559–902.

VILLASEÑOR, J. L. 2018. Diversidad y distribución de la familia Asteraceae en México. *Botanical Science*s 96: 332-358.

ZAMORA-CRESCENCIO, P., G. GARCÍA, S. FLORES Y J. ORTIZ. 2008. Estructura y composición florística de la selva mediana subcaducifolia en el sur del estado de Yucatán, México. *Polibotánica* 26: 39-66.

ZAMORA-CRESCENCIO, P., V. RICO-GRAY, R. C. BARRIENTOS-MEDINA, E. C. PUC-GARRIDO, P. VILLEGAS, M. R. DOMÍNGUEZ-CARRASCO Y C. GUTIÉRREZ-BÁEZ. 2017. Estructura y composición florística de la selva mediana subperennifolia en Bethania, Campeche, México. *Polibotánica* 43: 67-86.

APÉNDICE

Listado florístico del ANP Sierra de Otontepec, Veracruz, México. Tipo de vegetación (TV): bosque de *Quercus* (1), palmar (2), bosque tropical perennifolio (3), bosque mesófilo de montaña (4), vegetación secundaria (5), cultivos (6), pastizal (7), popal (8), vegetación semiurbana (9). Forma de crecimiento (FC): Á = Árbol, Ar = Arbusto, H = Hierba, E = Epífita, HE = Hemiepífita, HP = Hemiparásita, HT = Hierba trepadora. El asterisco (*) indica las especies introducidas.

Familia/Especie	Nombre Común	TV	FC
Acanthaceae			
Justicia spicigera Schltdl.	Mohuite, muicle	3,4	H
Jacobinia umbrosa (Benth.) S.F. Blake		3	H
Actinidiaceae			
Saurauia scabrida Hemsl.		3,4	A
Altingiaceae			
Liquidambar styraciflua L.		4	A
Amaryllidaceae			
Allium cepa L.*	Cebolla	9	H
Allium sativum L.*	Ajo	9	H
Zephyranthes carinata Herb.	Mañanita	4,7	H
Amaranthaceae			
Amaranthus spinosus L.	Amaranto, quelite	3,5	H
Chenopodium ambrosioides L.	Epazote	9	H
Anacardiaceae			
Mangifera indica L.*	Mango	3,5,9	A
Spondias mombin L.	Jobo	3,9	A
Spondias purpurea L.*	Ciruela	9	A
Annonaceae			
Annona cherimola Mill. *	Anona	3,9	A
Annona muricata L*	Guanábana	9	A
Apiaceae			
Coriandrum sativum L.*	Cilantro	6,9	H
Apocynaceae			

Familia/Especie	Nombre Común	TV	FC
Asclepias curassavica L.		2,3,7	H
Aspidosperma megalocarpon Müll. Arg.		3	A
Gonolobus niger (Cav.) R. Br. ex Schult	Cahuayote	3	HT
Pentalinon andrieuxii (Müll. Arg.) B.F. Hansen & Wunderlin	Contrayerba	3	H
Tabernaemontana alba Mill.	Cojón de gato	3	Ar
Thevetia peruviana (Pers.) K. Schum. *	Cordón de fraile	3	Ar
Araceae			
Anthurium pentaphyllum (Aubl.) G. Don		3	E
Anthurium scandens (Aubl.) Engl.		3	E
Monstera acuminata K. Koch		3	HE
Philodendron hederaceum (Jacq.) Schott		3	HE
Philodendron radiatum Schott		3	HE
Syngonium neglectum Schott		3	HE
Syngonium podophyllum Schott		3	HE
Araliaceae			
Dendropanax arboreus (L.) Decne. & Planch.			
Arecaceae			
Acrocomia mexicana Karw. ex Mart.	Coyol	1,3	A
Attalea butyracea (Mutis ex L. f.) Wess. Boer *	Coyol real	3	A
Chamaedorea elegans Mart.	Palmilla	3	H
Chamaedorea oblongata Mart.	Palmilla	3	H
Cocos nucifera L.*	Coco	9	A
Sabal mexicana Mart.	Palma	1,2,3, 5,7	A
Asteraceae			
Ageratina petiolaris (Moc. ex DC.) R.M. King & H. Rob.		3,5,7	H
Ageratum conyzoides L.		1,3,5	A
Artemisia ludoviciana Nutt. *	Estafiate	9	
Bidens pilosa L.	Mozote	1,2,3,5	
Calea urticifolia (Mill.) DC.	Hierba amarga	2,3,5,7	
Matricaria chamomilla L.*	Manzanilla	3	
Parthenium hysterophorus L.	Chuchuyate, arrocillo	2,5	
Tagetes erecta L.*	Flor de muerto	9	
Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray	Árnica	9	
Verbesina persicifolia DC.	Huichín	3	
Asphodelaceae			
Aloe vera (L.) Burm. f. *	Sábila	9	H

Familia/Especie	Nombre Común	TV	FC
Aspleniaceae			
Asplenium sessilifolium Desv.		4	E
Asplenium sphaerosporum A.R. Sm.		4	E
Begoniaceae			
Begonia heracleifolia Schltdl. & Cham.	Begonia	4	H
Begonia nelumbonifolia Schltdl. & Cham.	Begonia	3	H
Bignoniaceae			
Crescentia cujete L.	Jícaro	5,9	Ar
Parmentiera aculeata (Kunth) Seem.	Chote	1,2,3	A
Pseudocalymma alliaceum (Lam.) Sandwith	Bejuco de ajo, hierba de ajo		HE
Tabebuia rosea (Bertol.) DC.	Palo de rosa	1,3	A
Tecoma stans (L.) Juss. exKunth	Tronadora	3	A
Boraginaceae			
Heliotropium angiospermum Murray			
Blechnaceae			
Blechnum occidentale L.	Helecho	4	E
Woodwardia martinezii Maxon ex Weath.	Helecho	4	H
Bromeliaceae			
Aechmea bracteata (Sw.) Griseb.	Tenchos	1,3	E
Tillandsia botterii E. Morren ex Baker		1,3	E
Tillandsia deppeana Steud.		4	E
Tillandsia usneoides (L.) L.	Heno	1,3	E
Burseraceae			
Bursera simaruba (L.) Sarg.	Chaca	1,3,5	A
Protium copal (Schltdl. & Cham.) Engl.	Copal	3	A
Cactaceae			
Epiphyllum phyllanthus (L.) Haw.	Cola de mico	3	E
Hylocereus undatus (Haw.) Britton & Rose	Pitahaya	3	E
Opuntia ficus-indica (L.) Mill.	Nopal	3,5	Ar
Rhipsalis baccifera (J.S. Muell.) Stearn	Niguilla, dedos de muerto	1,3,5	E
Selenicereus pteranthus (Link ex A. Dietr.) Britton & Rose		3,5	E
Cannabaceae			
Trema micrantha (L.) Blume		3	A
Cannaceae			
Canna indica L.	Papatla, platanillo	3,5,8	H
Caricaceae			
Carica papaya L.*	Papaya	9	Ar

Familia/Especie	Nombre Común	TV	FC
Casuarinaceae			
Casuarina equisetifolia L.*	Pino de playa	9	A
Celastraceae			
Wimmeria concolor Schltdl. & Cham.		4	Ar
Clethraceae			
Clethra mexicana DC.		4	A
Combretaceae			
Terminalia catappa L.*	Almendro	9	A
Commelinaceae			
Commelina coelestis Willd.	Matlanina de monte	3	H
Rhoeo discolor (L'Hér.) Hance ex Walp.	Barquilla	9	H
Tradescantia zanonia (L.) Sw.		4	H
Convolvulaceae			
Ipomoea indica (Burm.) Merr.		3	H
Ipomoea variabilis (Schltdl. & Cham.) Choisy		3	H
Turbina corymbosa (L.) Raf.		3,5	H
Costaceae			
Costus pulverulentus C. Presl		3	H
Costus spicatus (Jacq.) Sw.*	Caña de jabalí	3,4	H
Crassulaceae			
Kalanchoe pinnata (Lam.) Pers.*	Siempre viva	3,9	H
Cucurbitaceae			
Momordica charantia L.	Cunde amor	5	K
Sechium edule (Jacq.) Sw.*	Chayote	6,9	K
Cyatheaceae			
Nephelea mexicana (Schltdl. & Cham.) R.M. Tryon		4	Ar
Cyperaceae			
Cyperus aggregatus (Willd.) Endl.		3,8	H
Cyperus hermaphroditus (Jacq.) Standl.		3,4,8	H
Dennstaedtiaceae			
Dennstaedtia bipinnata (Cav.) Maxon		4	H
Dennstaedtia distenta (Kunce) T. Moore		4	H
Pteridium aquilinum (L.) Kuhn	Helecho	4	H
Dicksoniaceae			
Lophosoria quadripinnata (J.F. Gmel.) C. Chr.	Helecho	4	H
Dryopteridaceae			
Polystichum distans E. Fourn.		4	H

Familia/Especie	Nombre Común	TV	FC
Ebenaceae			
Diospyros digyna Loudon*	Zapote negro	3	A
Diospyros riojae Gómez Pompa*	Zapote	3	A
Equisetaceae			
Equisetum hyemale L.	Cola de caballo		H
Euphorbiaceae			
Acalypha arvensis Poepp.		3	H
Bernardia interrupta (Schltdl.) Müll. Arg.		4	A
Chamaesyce hirta (L.) Millsp.		3	H
Cnidoscolus multilobus (Pax) I.M. Johnst.	Ortiga	1,3,4,5	Ar
Croton draco Schltdl. & Cham.	Sangregado	1,3	Ar
Euphorbia heterophylla L.		3	H
Jatropha curcas L.*	Piñón	9	Ar
Ricinus communis L.	Higuerilla	2,3,5,7	Ar
Fabaceae			
Acacia cornigera (L.) Willd.	Cornezuelo	2,3,5,7	Ar
Acacia farnesiana (L.) Willd.		2,3,5,7	Ar
Bauhinia divaricata L.	Pata de vaca	3	A
Caesalpinia pulcherrima (L.) Sw.*	Falso framboyán	9	A
Calliandra houstoniana (Mill.) Standl.		3,5	Ar
Cojoba arborea (L.) Britton & Rose	Frijolillo	3,4	A
Crotalaria incana L.		5,7	H
Delonix regia (Bojer ex Hook.) Raf.*	Framboyán	9	A
Desmodium incanum (Sw.) DC.	Pega pega	1,2,3, 5,7	H
Diphysa robinioides Benth	Quebrache	3	A
Enterolobium cyclocarpum (Jacq) Griseb.	Guanacaste, orejón	3	A
Erythrina americana Mill.	Pichoco	3	Ar
Gliricidia sepium (Jacq.) Kunth ex Walp.	Palo de sol	3,5,7	Ar
Inga inicuil Schltdl. & Cham. ex G. Don	Chalahuite	3,5,7	A
Inga vera Willd.		3,4,5	A
Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit	Guaje	2,3,5	Ar
Mimosa pudica L.	Dormilona	2,3	H
Piscidia piscipula (L.) Sarg.	Chijol	2,3,5	A
Pithecellobium dulce (Roxb.)Benth	Humo	3	A
Tamarindus indica L.*	Tamarindo	9	A
Fagaceae			
Quercus acutifolia Née	Encino	4	A

Familia/Especie	Nombre Común	TV	FC
Quercus laurina Bonpl.	Encino	4	A
Quercus oleoides Schltdl. & Cham.	Encino	1,3,5,7	A
Quercus skinneri Benth.	Encino	4	A
Heliconiaceae			
Heliconia schiedeana Klotzsch	Heliconia	3,4	H
Juglandaceae			
Carya palmeri W.E. Manning		4	A
Lamiaceae			
Hyptis verticillata Jacq.	Hierba negra	2,3,5	H
Ocimum basilicum L.*	Albahaca	9	H
Ocimum micranthum Willd.*	Albahaca de monte	9	H
Mentha piperita L.*	Hierbabuena	9	H
Plectranthus amboinicus (Lour.) Spreng.*	Orégano	9	H
Salvia coccinea Buc'hoz ex Etl.	Mirto rojo, escobilla	3	H
Satureja brownei (Sw.) Briq.		4	H
Scutellaria splendens Link, Klotzsch & Otto		4	H
Lauraceae			
Cinnamomun effusum (Meisn.) Kosterm.		4	A
Cinnamomum zeylanicum Blume*	Canela	9	A
Litsea glaucescens Kunth		4	A
Nectandra ambigens Blake.		3	A
Nectandra salicifolia (Kunth) Nees		3,4	A
Ocotea effusa (Meisn.) Hemsl.		4	A
Persea americana Mill.		3,9	A
Persea americana var. drymifolia (Schltdl. & Cham.) S.F. Blake	Aguacate	3,9	A
Phoebe mexicana Meisn.	Aguacate oloroso	3	A
Loranthaceae			
Psittacanthus calyculatus (DC.) G. Don *	Muérdago	3	HE
Lygodiaceae			
Lygodium venustum Sw.	Nido de papan	3	HT
Lythraceae			
Punica granatum L.*	Granada	9	Ar
Malvaceae			
Carpodiptera ameliae Lundell	Alzaprima	3	A
Ceiba pentandra (L.) Gaertn.	Ceiba, pochota	3	A
Guazuma ulmifolia Lam.	Guásima	1,2,3, 5,7	A
Heliocarpus appendiculatus Turcz.	Jonote	3,4	A

Familia/Especie	Nombre Común	TV	FC
Hibiscus rosa-sinensis L.*	Tulipán	9	Ar
Malvaviscus arboreus Cav.	Manzanita	1,2,3,5	Ar
Robinsonella mirandae Gómez Pompa			Ar
Sida rhombifolia L.	Malva	1	H
Malpighiaceae			
Byrsonima crassifolia (L.) Kunth*	Nanche	9	Ar
Marantaceae			
Calathea coccinea Standl. & Steyerm.	Platanillo	3,4,6	H
Martyniaceae			
Martynia annua L.*	Uña de gato	9	H
Meliaceae			
Cedrela odorata L.	Cedro	1,2,3, 4,5,7,9	A
Melia azedarach L.*	Piocha	3,9	Ar
Melastomataceae			
Conostegia xalapensis (Bonpl.) D. Don ex DC.		1,2,3, 5,7	Ar
Leandra cornoides (Schltdl. & Cham.) Cogn.		4	H
Mennispermaceae			
Cissampelos pareira L.		3	HT
Moraceae			
Brosimum alicastrum Sw.	Ojite	3	A
Ficus mexicana (Miq.) Miq.	Higuera	3	A
Ficus tecolutensis (Liebm.) Miq.	Higuera	3	A
Maclura tinctoria (L.) D. Don ex Steud.	Mora	3	Ar
Morus celtidifolia Kunth	Higuera	4	A
Muntingiaceae			
Muntingia calabura L.	Púan	9	Ar
Myrtaceae			
Eugenia capuli (Schltdl. & Cham.) Hook. & Arn.	Piste	1,3,4	Ar
Psidium guajava L.	Guayaba	3	Ar
Nephrolepidaceae			
Nephrolepis exaltata (L.) Schott	Helecho	3	H
Nyctaginaceae			
Nyctago jalapa (L.) DC.		4	H
Orchidaceae			
Catasetum integerrimum Hook.		1,3	E

Familia/Especie	Nombre Común	TV	FC
Isochilus unilateralis B.L. Rob.		3,4	E
Lophiaris lurida Lindl.	Oreja de burro	1,3	E
Sacoila lanceolata (Aubl.) Garay		4,7	H
Sarcoglottis sceptrodes (Rchb. f.) Schltr.		3	H
Passifloraceae			
Passiflora edulis Sims*	Maracuyá	3	HT
Passiflora foetida L.	Amapola	3	HT
Petiveriaceae			
Petiveria alliacea L.	Planta del zorrillo	3	H
Rivina humilis L.	Chilacuaco	1,3,5	H
Piperaceae			
Peperomia obtusifolia (L.) A. Dietr.		3	E
Piper amalago L.		3,5	H
Piper auritum Kunth	Acuyo, hoja santa	2,3,5	Ar
Pothomorphe umbellata (L.) Miq.		4	E
Plantaginaceae			
Plantago major L.	Llantén	3,4,5	H
Poaceae			
Cenchrus echinatus L.		3,7	H
Cymbopogon citratus (DC.) Stapf *	Zacate limón	9	H
Cynodon plectostachyus (K. Schum.) Pilg.		3,4,5,7	H
Guadua aculeata Rupr. ex E. Fourn.	Tarro	1,3,5	H
Ichnanthus tenuis (J. Presl & C. Presl) Hitchc. & Chase		3,4	H
Panicum maximum Jacq.*	Zacate guinea	2,3,5,7	H
Paspalum dilatatum Poir.*		2,3,5, 6,7	H
Sorghum halepense (L.) Pers.*	Zacate Johnson	3,6	H
Zea mays L.*	Maíz	3,6	H
Polygonaceae			
Coccoloba barbadensis Jacq.	Uvero	3	A
Polypodiaceae			
Phlebodium areolatum (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J. Sm.		4	H
Polypodium plesiosorum Kunze		4	Ar
Primulaceae			
Ardisia escallonioides Schltdl. & Cham.	Capulín de la sierra	3	Ar
Icacorea compressa (Kunth) Standl.		4	Ar
Rapanea myricoides (Schltdl.) Lundell		3	A
Pteridaceae			

Familia/Especie	Nombre Común	TV	FC
Adiantum concinnum Humb. & Bonpl. ex Willd.	Culantrillo	3,4	H
Adiantum tenerum Sw.		3	H
Pteris erosa Mickel & Beitel		4	H
Pteris orizabae M. Martens & Galeotti		4	H
Putranjivaceae			
Drypetes brownii Standl.		3	A
Rosaceae			
Eriobotrya japonica (Thunb.) Lindl.*	Ciruela japonesa	9	Ar
Prunus persica L. Batsch*	Durazno	9	Ar
Rubiaceae			
Bouvardia ternifolia (Cav.) Schltdl.		4	H
Coffea arabica L.*	Café	6,9	Ar
Hamelia patens Jacq.	Chacloco	3	Ar
Randia aculeata L.	Crucetilla	3,5	Ar
Randia laetevirens Standl.	Cruceta	3	Ar
Psychotria cuspidata Bredem. ex Schult.		3	A
Psychotria tenuifolia Sw.		3	A
Psychotria trichotoma M. Martens & Galeotti		3	A
Rutaceae			
Citrus aurantifolia Swingle*	Lima	1,3,6,9	A
Citrus aurantium L.*	Naranja agria o de cucho	1,3,6,9	A
Citrus limon (L.) Osbeck *	Limón	3,6,9	Ar
Citrus maxima (Burm.) Merr.*	Toronja	6,9	A
Citrus reticulata Blanco*	Mandarina	1,3,4, 6,9	A
Citrus sinensis (L.) Osbeck*	Naranja dulce	3,4,6,9	A
Salicaceae			
Pleuranthodendron mexicanum (A. Gray) L.O. Williams		3	A
Populus mexicana Wesm. ex DC.	Álamo	3	A
Zuelania guidonia (Sw.) Britton & Millsp	Palo volador	3	A
Sapindaceae			
Cupania dentata DC.		3	A
Litchi chinensis Sonner *	Litchee	9	Ar
Sapindus saponaria L.	Jaboncillo	1,3,4,9	A
Talisia oliviformis (Kunth) Radlk. *	Guaya	9	A
Sapotaceae			
Manilkara zapota (L.) P. Royen	Chicozapote	1,3,4,9	A

Familia/Especie	Nombre Común	TV	FC
Pouteria campechania (Kunth) Baehni	Zapote domingo	3	A
Pouteria glomerata (Miq.) Radlk	Zapote	3	A
Pouteria sapota (Jacq.) H.E. Moore & Stearn	Mamey	3	A
Solanaceae			
Capsicum annuum L.	Chile piquín	9	H
Cestrum nocturnum L.	Huele de noche, galán de noche	3,4	H
Brugmansia candida Pers.*	Flor de campana	3,9	H
Solanum melongena L.*	Berenjena	6,9	HT
Scrophulariaceae			
Buddleja cordata Kunth	Tepozán	3,4,5	H
Smilacaceae			
Smilax glauca Walter	Zarza	3	HT
Smilax spinosa Mill.	Zarzaparrilla	3	HT
Staphyleaceae			
Turpinia insignis (Kunth) Tul.		4	A
Styracaceae			
Styrax glabrescens Benth.		4	A
Tiliaceae			
Tilia americana var. mexicana (Schltdl.) Hardin	Tila	4	A
Thelypteridaceae			
Thelypteris dentata (Forssk.) E.P. St. John		4	H
Thelypteris oligocarpa (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Ching		4	H
Urticaceae			
Cecropia obtusifolia Bertol.	Guarumbo	3,4	A
Verbenaceae			
Lantana camara L.	Siete negritos	3,5,7	H
Lippia dulcis Trevir.	Hierba dulce	3,5,7	H
Petrea volubilis L.	Raspasombrero	3	HT
Viburnaceae			
Sambucus mexicana C. Presl ex DC.	Sauco	3,4	Ar
Vitaceae			
Vitis tiliifolia Humb. & Bonpl. ex Schult	Uva de monte, parra	3	HT
Zamiaceae			
Ceratozamia huastecorum Avendaño, Vovides & Cast.-Campos		3,4	E
Zamia loddigesii Miq.	Mata ratón	1,3,5	H

Capítulo 3

Dinámica espacio-temporal de la cobertura forestal durante los años 2000-2011-2019

Spatio-temporal dynamics of forest cover during the years 2000-2011-2019

Víctor Soto[1]*
Erick vega Cortés[2]
Blanca Esther Raya Cruz[1]

Resumen. Se documentó la variabilidad de la cobertura forestal para los años 2000-2011-2019 en la reserva ecológica Sierra de Otontepec. Mediante percepción remota satelital se determinó la superficie para los tres periodos y se geoposicionaron sus límites respectivos. Se encontró que tras un retroceso de la cubierta vegetal, mostrado durante el año 2011, los valores actuales de extensión son semejantes a los hallados durante el año 2000. Al mismo tiempo, mediante la combinación de factores y variables ambientales se delimitó la superficie de bosque mesófilo de montaña en la zona de estudio. Las áreas

1 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica-Tuxpan, Universidad Veracruzana. Carretera Tuxpan-Tampico km. 7.5, col. Universitaria, CP 92860, Tuxpan, Veracruz, México. Email: visoto@uv.mx (VHSM). * Autor para correspondencia.

2 Geoanalítica, S. A. Durango 245, despacho 401, Roma, Cuauhtemoc, CDMX, CP. 6700

de cobertura fueron cartografiadas en función de las características físicas de la montaña. La precisión de los modelos se verificó estadísticamente y por medio de puntos de control sobre el terreno, los que permitieron corroborar la presencia y las zonas limítrofes entre la vegetación de interés y las áreas sin cobertura.

Palabras clave: bosque mesófilo de montaña, índice de vegetación, sensores remotos, variables ambientales, vegetación forestal.

Abstract. The variability of the forest cover was documented for the years 2000-2011-2019 in the Sierra de Otontepec Ecological Reserve. Through satellite remote sensing, the surface was determined for the three periods and their respective limits were geopositioned. It was found that after a decline in the vegetation cover shown during 2011, the current extension values are similar to those found during 2000. At the same time, through the combination of environmental factors and variables, the area of tropical montane cloud forest was delimited in the study area. The coverage areas were mapped based on the physical characteristics of the mountain. The precision of the models was statistically verified and by means of control points on the ground that allowed to corroborate the presence and border areas between the vegetation of interest and the areas without coverage.

Keywords: tropical montane cloud forest, vegetation index, remote sensing, environmental variables, forest vegetation

INTRODUCCIÓN

La reserva ecológica de la Sierra de Otontepec (RESO) es una discontinuidad de la Sierra Madre Oriental (Domínguez-Barradas *et al.*, 2015); aunque con base en Robin (1976), es probable que se trate de acumulaciones basálticas como consecuencia de actividades eruptivas locales de tipo fisural, por lo tanto, su génesis podría ser distinta. Su evolución

geomorfológica y la meteorización del basamento rocoso le han permitido convertirse en una región con un alto valor ambiental. Sus elevaciones, con una cota máxima que supera 1,300 msnm (INEGI, 2017) y la heterogeneidad del relieve rigen las condiciones de microclima que prevalecen en el sitio. Estas características determinan su diversidad de flora y fauna que la convierten en una región de gran valor científico. No obstante, uno de los problemas característicos de la RESO tiene que ver con la tala de sus boques y en general del cambio del uso del suelo para fines agrícolas y ganaderos (Sedesma, 2006), lo que ha venido a alterar sus ecosistemas originales, sumándose con esto 85% de reducción de la vegetación original del estado (Castillo-Campos *et al*., 2011).

Debido al grado de fragmentación vegetal primaria (Ellis *et al*., 2011), resulta oportuna la realización de inventarios habituales para analizar el comportamiento espacio-temporal de la cobertura vegetal ante la presión antropogénica (Bautista-Bello *et al*., 2019).

Actualmente, los cambios de cobertura vegetal se realizan mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de Percepción Remota (PR) (McCool *et al*., 2018). Un estudio cualitativo y cuantitativo de la cubierta vegetal mediante SR satelitales emplea índices de vegetación (IVs) que enfatizan el vigor vegetal y generan indicadores de variación espacial y temporal a través de la actividad fotosintética (Gilabert *et al*., 2011). El IV más empleado es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI en inglés), el cual además de indicar la fracción de radiación fotosintética está asociado con la cobertura foliar (Sanders *et al*., 2016). Otro IV que adicionalmente detecta el contenido de agua en la vegetación (Xu 2006), es el índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI en inglés) (Wilson y Sader, 2002). Su interpretación permite reconocer las cubiertas vegetales con problemas por estrés hídrico y desde luego la diferencia con suelo desnudo. Wilson y Sader (2002) señalan que el NDMI ofrece mayor precisión que el NDVI en los mapas de cambios del uso del suelo, y Jin y Sader (2005) subrayan una intensa correlación (r2>0.95) entre la variación del dosel forestal y el NDMI. Tanto el NDVI y el NDMI arrojan valores de -1 a +1. Los valores cercanos a +1 representan un alto contenido de humedad en la superficie y en la

vegetación; por su parte los próximos a -1 señalan el suelo desnudo o seco; en este sentido, Sahu (2014) demuestra que los valores mayores a +0.2 son el indicativo de suficiente cantidad de humedad almacenada por la superficie vegetal.

Un ecosistema que está asociado a un alto índice de humedad tanto atmosférica como del suelo (Miranda, 1947), es el bosque mesófilo de montaña (BMM). De acuerdo con Hamilton *et al.* (1995), el BMM se caracteriza por su alta tasa de humedad que se manifiesta mediante la presencia recurrente de nubes a nivel de la vegetación (de ahí el sobrenombre de "bosque de niebla"); esta capacidad de condensación de la humedad sobre la superficie vegetal determina su alto valor ecosistémico por captura hídrica. Un clima húmedo y un relieve accidentado rigen en gran medida su presencia (Ortega-Escalona y Castillo-Campos, 1996); por lo que en México es común encontrarlo en barrancas ubicadas a una altitud superior a 600-700 msnm (Grubb, 1971) y hasta los 2,500 msnm (Toledo-Aceves *et al.*, 2011), con una tasa pluvial entre 1,000 y 2,300 mm al año (Ortega-Escalona y Castillo-Campos, 1996).

Definir al BMM desde la perspectiva de las especies vegetales que lo integran suele ser impreciso y es común enfrentarse a ambigüedades sobre su presencia y cobertura (Conabio, 2010). No obstante, es frecuente la presencia de especies trepadoras, epífitas y helechos intercalados entre especies arbustivas y arbóreas; son estas últimas mayormente de encinos (Ortega-Escalona y Castillo-Campos, 1996). Uno de sus elementos característicos es la presencia de helechos arborescentes (Pérez-Paredes *et al.*, 2014) que pueden estar aislados o en forma de colonias.

Por la importancia del cambio en la cobertura vegetal a través del tiempo y por su alto valor en la captura y retención de la humedad atmosférica, el objetivo primario de este capítulo radica en señalar la variación espacial de la cubierta forestal en la RESO durante el período 2000-2011-2019, a través de la interpretación de SR.

La validez de los resultados es comprobada estadísticamente y mediante pruebas de clasificación validada *in situ*. Un resultado colateral permite determinar la cobertura y extensión del BMM por medio de la correlación de variables ambientales. Una vez más, la clasificación vali-

dada permite corroborar las áreas con cobertura de vegetación de tipo mesófilo. Se pretende que estos resultados funjan como referencia para los trabajos futuros, donde el tema de la cubierta vegetal al norte del estado sea abordado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

La RESO es un grupo montañoso que está ubicada en la llanura costera del Golfo Norte, entre las coordenadas 21°19´19´´ y 21°09´34´´ N, y 97°58´30´´ y 97°48´00´´ O (Sedesma, 2006) dentro de la región de la Huasteca veracruzana. En ella convergen los municipios de Ixcatepec, Tepetzintla, Chontla, Citlaltépetl, Tantima, Tancoco, Cerro Azul y Chicontepec. Las características de su relieve, a partir del Modelo Digital de Elevaciones de 15 metros de resolución (INEGI, 2003), señalan que la delimitación de su perímetro se ubica a una altitud mínima de 310 msnm y culmina en la cima del Cerro Crustepec a 1,323 msnm (21°14´24´´ N, 97°53´24´´ O); su origen está datado en el Cenozoico (SGM, 2004). El lecho rocoso está compuesto en su totalidad de roca ígnea extrusiva de tipo basáltico; Robin (1976) sugiere que este basamento está originado por la emanación lávica, producto de erupciones volcánicas no explosivas. Se distinguen al menos seis fallas que cruzan la zona en dirección mayormente norte-sur; es probable que estas fallas estén asociadas a la actividad eruptiva que le dio origen. Los suelos están compuestos mayormente por cambisoles (INEGI, 1983) con alto contenido de materia orgánica en las partes altas.

Posee un clima tropical (Aw2) o cálido, el más húmedo de los subhúmedos (Soto *et al*., 2001); no obstante, su relieve hace que éste se vea modificado por la altitud y por el forzamiento ascendente de las masas de aire En la parte alta es semicálido húmedo [(A) c (fm)] con una temperatura media anual de 18 a 22°C, con un régimen pluvial anual de ~1,400 mm (García, 2004). El parteaguas formado por su cima

separa, las regiones hidrográficas de Tuxpan-Nautla y del Pánuco. En la RESO predominan corrientes intermitentes que fungen como tributarios de corrientes perenes cuencas abajo.

Cuantificación de la cobertura forestal y variabilidad temporal

El estudio de la cobertura forestal se realizó mediante sensores remotos satelitales (Xie *et al*., 2008; Calderón *et al*., 2018). Se analizaron tres años distintos (Aly *et al*., 2016) para comparar los cambios de cobertura entre la vegetación boscosa y las superficies taladas para fines agropecuarios (agrícola o pastoreo). Los años de comparación fueron 2000, 2011 y 2019. Se procuró que las imágenes fueran de acceso gratuito y que contaran con la mayor resolución espacial posible para fines de precisión. Por esta razón, se emplearon imágenes Landsat 5 para los años 2000 y 2011 con 30 m de resolución espacial.

Con la finalidad de continuar con las mismas características espaciales, y dado que Landsat 5 dejó de operar en el año 2013, para el periodo 2019 se consideró la plataforma Landsat 8. De sus sensores correspondientes se emplearon las bandas pertenecientes a longitudes de onda del infrarrojo cercano, medio e infrarrojo de onda corta (4 y 5 para Landsat 5, 5 y 6 para Landsat 8).

Para cada año se eligió una imagen libre de cobertura nubosa y se procuró que correspondieran a temporadas de estiaje, entre la primavera y el verano de cada periodo, con la idea de evitar información imprecisa generada por la estación de lluvias. Las imágenes utilizadas son señaladas en el cuadro 1:

Cuadro 1. Imágenes Landsat empleadas.

Año	Plataforma/sensor	Imagen	Fecha
2000	Landsat TM5	LT05L1TP026045200003292016121601T1	marzo 29
2011	Landsat TM5	LT05L1TP026045201104132016120801T1	abril 13
2019	Landsat 8OLI	LC08L1TP026045201904192019042301T1	abril 19

Las imágenes fueron tratadas antes del estudio para corregir la radiancia atmosférica y así evitar errores ocasionados por la presencia de aerosoles entre la superficie de la Tierra y el sensor del satélite (Paz, 2018). Para el caso de la corrección radiométrica y atmosférica se utilizó la herramienta FLAASH (Perkins *et al.*, 2012) del software Envi® 5.1 para las tres imágenes seleccionadas. Por otra parte, para corregir la distorsión geométrica se empleó la herramienta Orthoengine del software PCI Geomatics® 2016, la cual, mediante la asignación de puntos de control y el empleo de un modelo digital de elevaciones (MDE) del área permitió la generación de ortoimágenes, evitando así los errores de desplazamientos ocasionados por el relieve.

El cálculo de la cobertura forestal fue realizado mediante la estimación del NDMI, debido a que ofrece una mayor precisión para determinar y contrastar la cubierta vegetal. Con las imágenes corregidas se procedió a elaborar el cálculo de los índices correspondiente para cada año de análisis. Considerando que el rango del NDMI va desde -1 a +1, se consideró que la cobertura vegetal de tipo boscosa fuera aquella que tuviera un valor ≥ 0.3, debido a que a partir de este límite se representa la cobertura del dosel vegetal medio-alto sin estrés hídrico (Sahu, 2014). Las capas en formato ráster (pixeles) fueron convertidas a superficies bidimensionales (polígonos) para facilitar el cálculo de su superficie y realizar la comparación de las áreas entre los años de análisis. Mediante el geoposicionamento aleatorio de puntos en los límites entre la cubierta vegetal boscosa y las áreas taladas para uso pecuario (potreros) se corroboró que fueran los correspondientes a los señalados por la cartografía generada para el periodo 2019, obteniendo así una clasificación vegetal validada (del Toro-Espín *et al.*, 2015) con aceptable precisión.

Estimación de la cobertura de bosque mesófilo

Debido a que el BMM requiere de características ambientales particulares para su permanencia y desarrollo, la obtención de su cobertura en la RESO requirió de la combinación de distintos parámetros ambientales que en conjunto con el NDVI y NDMI permitió determinar la ubicación y la exten-

sión de su superficie. Los IV anteriores se correlacionaron con la altitud, pendiente del terreno, tasa de insolación y precipitación. El MDE con resolución de 15 m por pixel se obtuvo de la plataforma del INEGI (https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/); por su parte, las capas de insolación y precipitación fueron descargadas del geoportal de la Conabio (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/topog/infgrt/indi50kgw).

La generación del mapa resultante fue producto de la combinación de las distintas capas ráster y vectoriales de las cuales se extrajeron los parámetros que propician la presencia del BMM; para este caso, la altitud se consideró a partir de 700 msnm mediante el uso del MDE, y de este se filtraron las superficies con pendientes mayores a 15°. Se consideró una tasa de insolación a nivel de superficie menor a $2x6^{10}$ $W/m^2/hr$ al año y una precipitación anual acumulada ≥ 1,300 mm. Considerando las características del NDVI y NDMI, se contemplaron los valores mayores o iguales a 0.6 y 0.3, respectivamente.

Para la obtención de los IV se utilizó una imagen de la plataforma Sentinel-2, con resolución espacial de 10 m por pixel, siendo ésta la de mayor resolución espacial de acceso gratuito, a través de la plataforma Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA en inglés) (https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home). La elaboración de los IV se logró con la combinación de bandas correspondientes al rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta mediante los algoritmos NDVI=(B8-B4)/(B8+B4) y NDMI=(B8-B11)/(B8+B11). La imagen empleada en el análisis fue S2A_MSIL1C_20190417T165901_N0207_R069_T14QPJ_20190417T204009, con fecha de captura del 17 de abril del 2019; la fecha corresponde a la temporada de estiaje para evitar errores ocasionados por la sobreestimación de la humedad en los valores de la vegetación.

La corrección radiométrica y atmosférica fue realizada con la herramienta Sen2cor de la misma agencia ESA y del mismo modo que con las imágenes Landsat, la ortorrectificación se elaboró por medio de la extensión Orthoengine del programa PCI Geomatics® 2016 mediante el empleo del MDE y la asistencia de puntos de control.

Las distintas capas utilizadas para el cálculo fueron homologadas a formato ráster y mediante la herramienta map algebra de ArcGis® 10.4 se realizaron las combinaciones anteriores. El resultado final consistió en una capa también en formato ráster con resolución de 10 metros. Posteriormente, esta capa se convirtió en formato vectorial para obtener el área correspondiente. Al final se corroboró que zonas identificadas en el modelamiento con presencia de bosque mesófilo, corresponderán a puntos georreferenciados en el sitio. El cuadro 2 señala las variables y parámetros considerados en el análisis.

Cuadro 2. Variables utilizadas en la estimación de BMM.

Varible	Unidad de medida	Parámetro usado	Fuente	Representación
Altitud	Metros snm	>700	INEGI	Altimetría del terreno
Pendiente	Grados	>15	MDE, INEGI	Inclinación de laderas
Insolación	Watts/m^2/hr/año	<2x6^{10}	MDE, INEGI	Radiación solar incidente en superficie
Precipitación	Milímetros	>1,300	Conabio	Lluvia anual acumulada
NDVI	-1 a +1	>0.6	Sentinel-2, ESA	Densidad y vigor de la vegetación
NDMI	-1 a +1	>0.3	Sentinel-2, ESA	Densidad del dosel forestal y humedad contenida

Verificación y validez de los modelos

La verificación de los modelos de estimación, tanto de la cobertura forestal como de la superficie de BMM se realizó mediante dos procedimientos. El primero consistió en comparar la cobertura vegetal obtenida mediante el NDMI contra el contraste de texturas de la imagen satelital RGB (red, green, blue) en color verdadero. Para este caso, se comprobó que los pixeles de la capa de NDMI identificados como vegetación forestal coincidieran con los pixeles que visiblemente se aprecian como tal en la imagen RGB. Este procedimiento se realizó dentro de la plataforma ArcGis, mediante los valores estadísticos de la tabla de atributos de cada capa comparada. Posteriormente, se aplicó el análisis

de varianza para comparar semejanzas entre los dos grupos. El segundo procedimiento residió en la verificación de campo. Esta parte se llevó a cabo con puntos georreferenciados en los que para el caso de los límites de la cobertura vegetal arbórea coincidieran con aquellos sugeridos por el modelamiento para el periodo del 2019. Los recorridos de campo para verificación se realizaron entre los meses de septiembre y octubre del mismo año. Por su parte, los puntos con vegetación de tipo mesófilo, particularmente los pertenecientes a los helechos arborescentes, fueron también geoposicionados para corroborar que quedaran dentro de los límites del BMM sugeridos por el modelo obtenido.

Finalmente, se elaboró un cuadro comparativo con el que se revisa la colorimetría del ráster de los modelos generados para compararlos con imágenes de alta resolución de Google Earth fechadas a principios del 2020. En éste se señalan también las características de textura en puntos aleatorios de verificación para diferenciar el suelo desnudo o áreas de escasa vegetación contra los límites de cobertura forestal; asimismo, se muestran las propiedades del dosel forestal y su densidad como protector de insolación y preservador de humedad para el caso del BMM.

RESULTADOS

Con base en los procedimientos señalados, los resultados encontrados en cuanto a la cobertura forestal de la RESO para los años 2000, 2011 y 2019, respectivamente, se señalan en la secuencia de imágenes de las figuras 1 a 3:

Cuantitativa y gráficamente, los tres periodos reflejan una superficie de vegetación forestal y sin vegetación; al mismo tiempo se aprecia la tendencia espacio-temporal. La secuencia de mapas de los años 2000 al 2019 señala la fluctuación de la cobertura forestal; esto es enfatizado por la gráfica de la figura 4. En ésta se observa que en el año 2000 existía una relativa similitud entre la superficie forestal y la deforestada (77.37 y 74.11 km^2, respectivamente) al interior de la RESO. Para el año 2011 las áreas deforestadas se incrementan un 70% con relación a la superficie

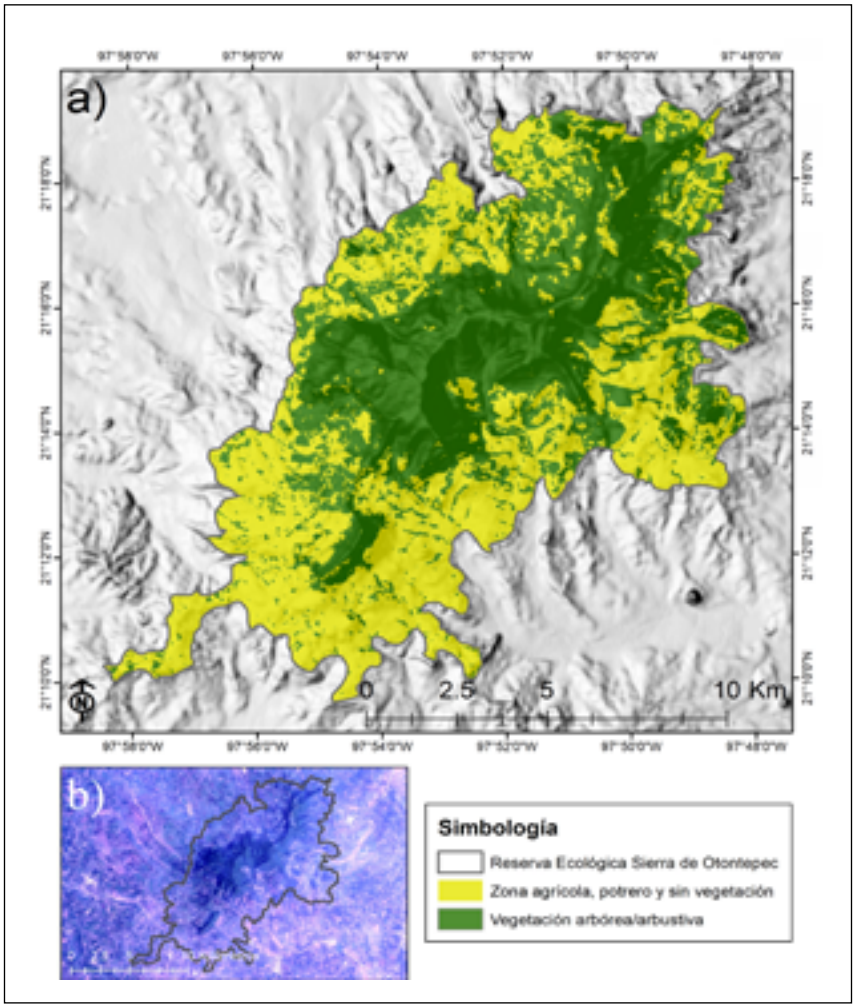


Figura 1. ***a)*** Mapa de cobertura forestal al 29 de marzo del 2000; *b)* imagen satelital en color verdadero.

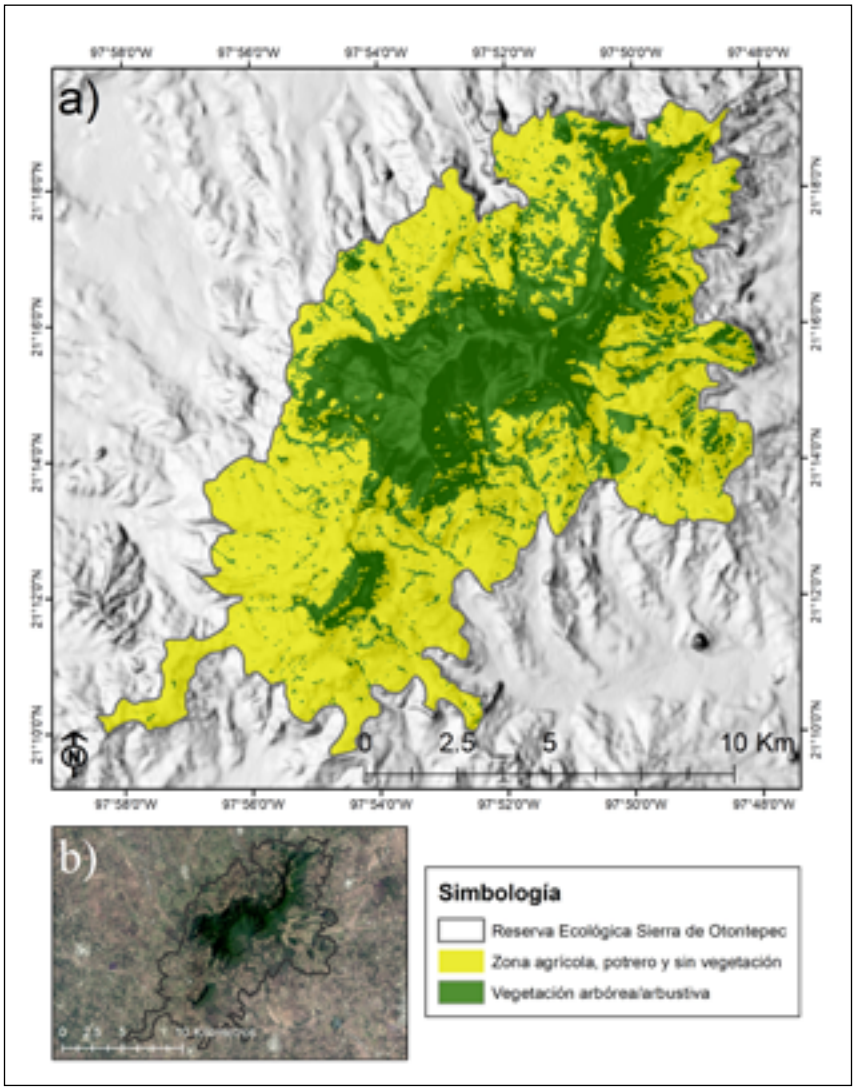


Figura 2. ***a)*** Mapa de cobertura forestal al 13 de abril del 2011; *b)* imagen satelital en color verdadero.

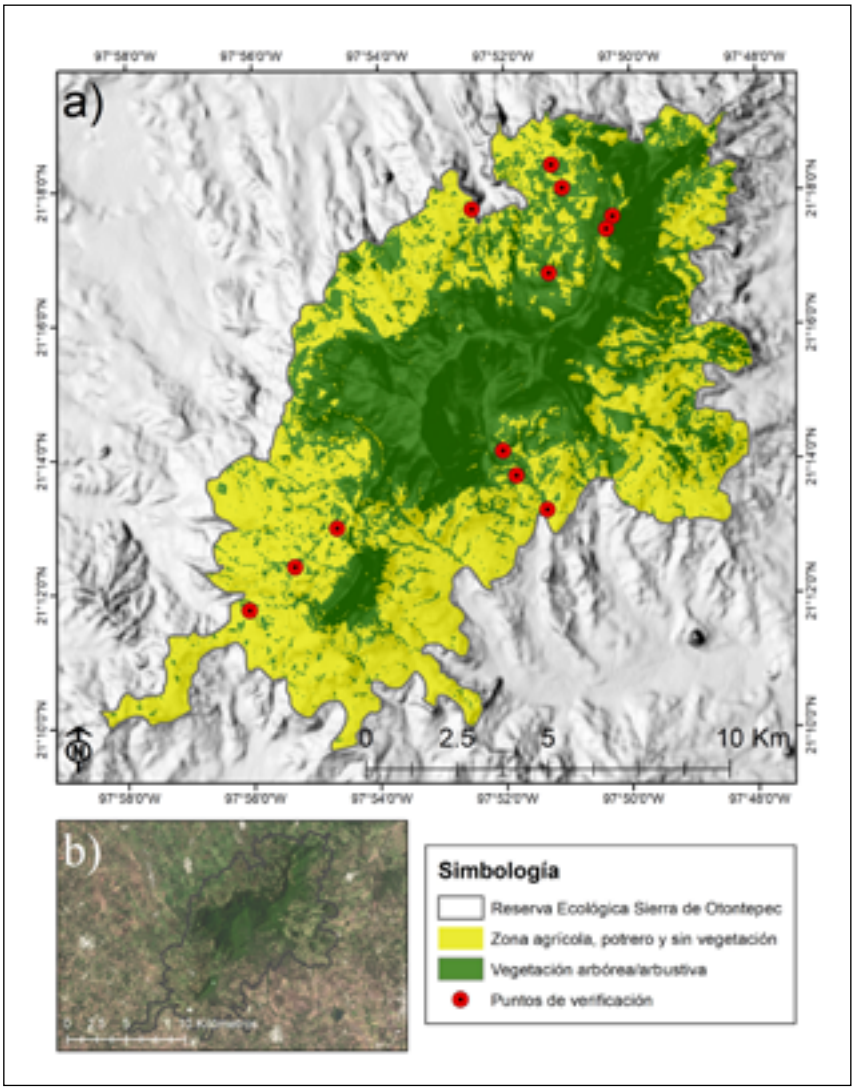


Figura 3. ***a)*** Mapa de cobertura forestal al 19 de abril del 2019; *b)* imagen satelital en color verdadero. Los puntos de verificación señalan los límites entre las áreas con y sin vegetación.

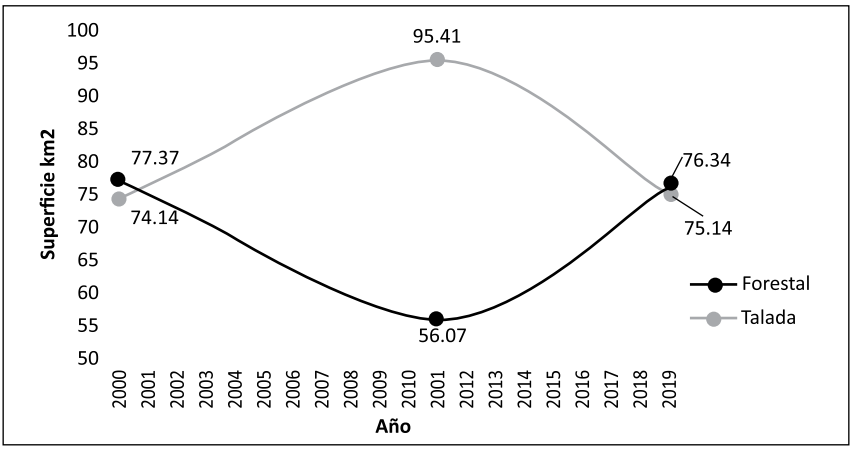


Figura 4. Variabilidad espacio-temporal de la cobertura forestal en la RESO.

con cobertura vegetal, se observan los valores correspondientes de 95.41 y 56.07 km^2, respectivamente. Finalmente, al 2019 las condiciones vuelven a ser un tanto similares al periodo 2000, con valores muy semejantes entre la cubierta forestal y la talada, mostrando una superficie de 75.14 y 76.34 km^2, respectivamente.

Se observa que la cobertura forestal actual en la RESO tiene valores muy semejantes a los indicados durante el año 2000. Posterior al año 2011, en el que se registra un retroceso significativo de su superficie, se observa que la recuperación vegetal ha ocurrido mayormente en las

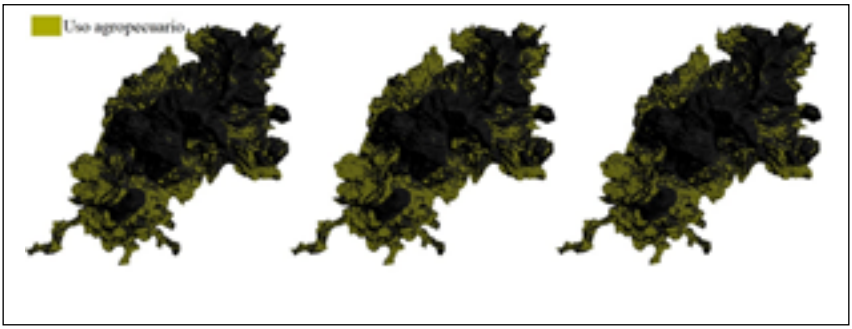


Figura 5. Superficies con potencial agropecuario.

zonas altas de la montaña, mientras que en las regiones bajas con cotas inferiores a 500 msnm, ha vuelto a condiciones semejantes de extensión que poseía en el año 2000. Para confirmar lo anterior, es suficiente con considerar las superficies aptas para potreros y actividades agrícolas en pendientes menores a 10° (Figura 5).

Finalmente, con base en la metodología para determinar la cobertura de BMM, y a partir de su modelamiento fueron calculados 20.41 km^2 de extensión. De estos, las vertientes noroeste, este y norte ocupan la mayoría de su superficie; por su parte, la menor cobertura se presenta en las laderas de cara al suroeste. Dadas las peculiaridades requeridas para la presencia de BMM en regiones intertropicales, se observa la fragmentación y ausencia en áreas expuestas a los vientos, como las crestas de las partes altas, así como en áreas de cara al sur y el oeste, donde se registra la mayor tasa de insolación anual. El mapa correspondiente queda conforme a la figura 6.

Validación

Verificando la precisión del modelo en la variación espacio-temporal de la cubierta forestal de la RESO entre los años 2000 al 2019, si se compara el número de pixeles que el modelo de NDMI sugiere como cobertura forestal, contra el número de pixeles apreciados visiblemente mediante la imagen RGB de color natural, se obtiene que en la cartografía del año 2000 muestra 86,128 pixeles de 30 x 30 m en ambas capas (Figura 7 a y b). Por su parte, en el año 2011 hay 62,504 pixeles NDMI y 62,512 en RGB visible (Figura 7 c y d, respectivamente).

Por último, en el año 2019 el modelo generó 84,813 pixeles NDMI contra 84,863 en RGB natural (Figura 7 e y f, respectivamente). Es decir, mientras que en el año 2000 no existe diferencia en el número de pixeles calculado contra el visible, en el 2011 únicamente hay una diferencia de 8 pixeles y en el año 2019 la diferencia es mínima también con 50. Estos datos son apreciados en la Figura 7).

Por su parte, si se consideran dos grupos, el primero compuesto por el número de pixeles arrojados por el modelo del NDMI, y el segundo

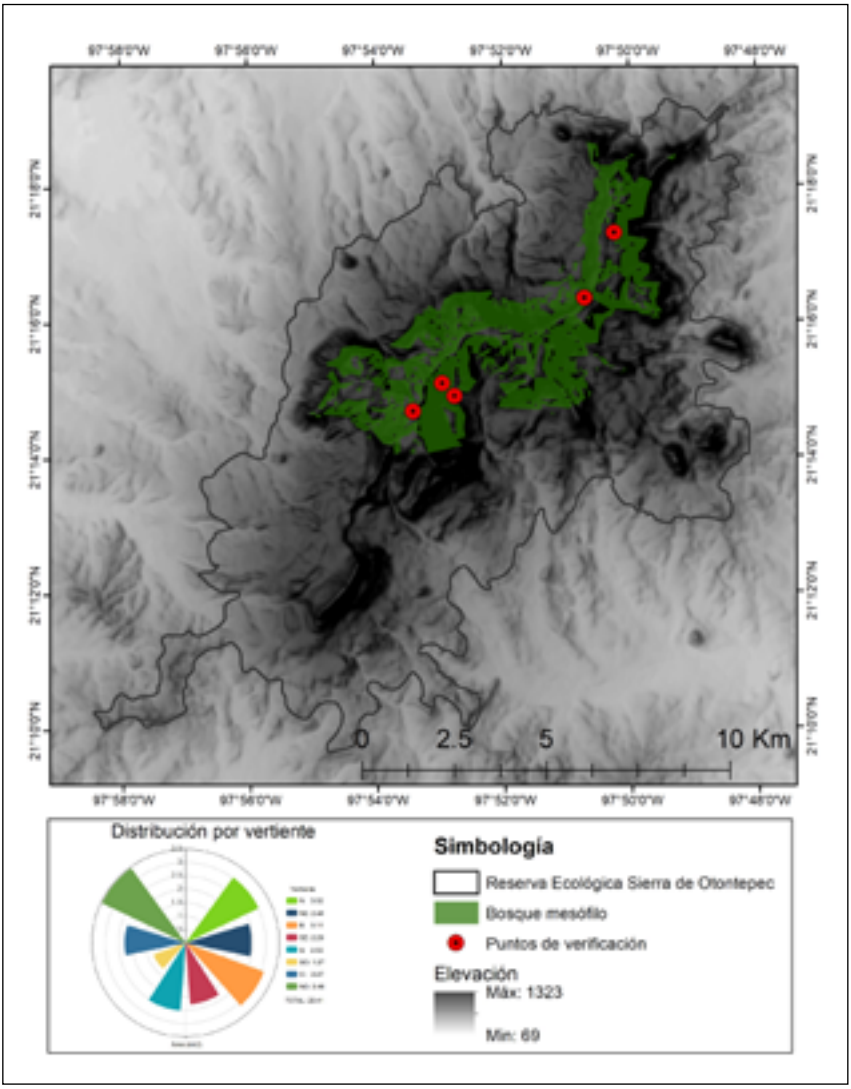


Figura 6. Cobertura y distribución de BMM en la RESO. Los puntos de verificación señalan los sitios con presencia de vegetación densa, suelo húmedo y presencia de helechos.

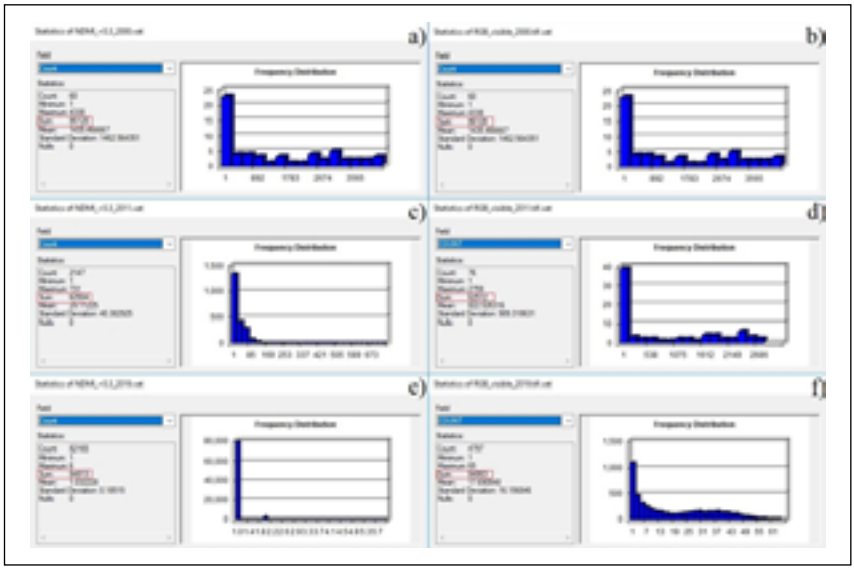


Figura 7. Comparación cuantitativa entre el número de pixeles generados por el modelo de NDMI *vs* el número de pieles de vegetación observada en imagen RGB de color verdadero. La suma total de pixeles por capa temática aparece en el recuadro rojo.

por los correspondientes de la imagen RGB en color natural, en la que se aprecia visualmente la cobertura vegetal, el análisis de varianza, con un p-valor de 0.99 (alfa = 0.05) señala como resultado una semejanza estadística entre los grupos, enfatizando lo señalado por la figura 7.

Finalmente, la prospección del terreno y la geoposición aleatoria de puntos limítrofes entre áreas de vegetación forestal y zonas taladas, corrobora físicamente lo que el análisis estadístico indicó antes. Estos puntos de verificación *in situ* pueden apreciarse en el mapa de la figura 3 a. Con respecto al mapa de cobertura de BMM, además de obedecer los patrones ambientales que condicionan su presencia, la verificación en campo de comunidades de helechos arborescentes como un elemento vegetal característico de este entorno, y su geoposicionamento al interior de los polígonos generados por el modelo, permitió corroborar parcialmente que lo sugerido por la metodología correspon-

de a zonas continuas o discontinuas de BMM en la RESO, señalado por la figura 6.

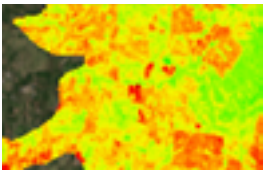
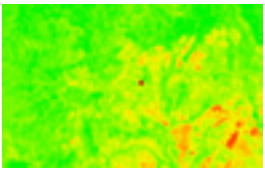
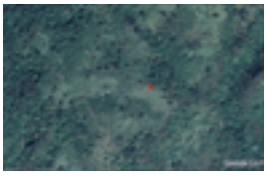
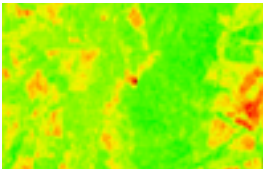
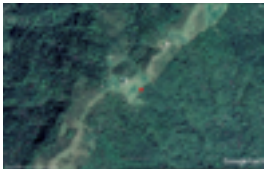
Para fortalecer lo sugerido por los modelos de cobertura forestal y de áreas de BMM se elaboró el cuadro 3, en el que se puede notar que del ráster de vegetación al 2019 (NDMI), tres puntos tomados aleatoriamente se posicionan sobre pixeles con tonalidades verde claro a intenso, y adyacente a estos se observan pixeles con tonos que van de naranja a rojo; marcando con esto las fronteras entre vegetación arbórea y la correspondiente a vegetación escasa o nula.

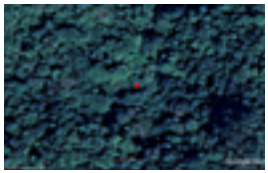
Esto último se corrobora con los acercamientos de las imágenes de alta resolución de Google Earth a principios del año 2020. Para el caso de la cobertura del BMM, la verificación resultó semejante; se aprecia que en las capas ráster, pertenecientes al RGB en color real y al de la estimación de BMM, sobrepuestos entre sí, la colorimetría de los pixeles donde se ubican los puntos de verificación adquiere una tonalidad intermedia, dejando los tonos más oscuros para los correspondientes a las sombras arbóreas. Esta tonalidad intermedia muestra, según el criterio metodológico de estimación, la alta densidad vegetal y alto contenido de humedad, tanto de la vegetación como la aportada por el suelo.

Por su parte, con base en imágenes de Google Earth para el mes de marzo del 2020, se identifica una textura arbórea homogénea para los cinco puntos señalados; su alta densidad y altura del dosel forestal permite proteger las especies del BMM que se ubican por debajo de éste, brindando una barrera ante la insolación y previniendo la evapotranspiración directa de la humedad contenida en la vegetación y el suelo.

Este efecto interviene en la dinámica de saturación de la humedad en el aire, propiciando altos niveles de humedad relativa en esos puntos, necesarios para la existencia y prevalencia de especies propias de este ecosistema. Se observa también que en los cinco puntos el terreno posee una pendiente media, comprendida entre 20 y 30°, sumándose a los factores que rigen la presencia de BMM.

Cuadro 3. Comprobación visual aleatoria de límites forestales y de BMM.

Punto	Ráster NDMI (límite forestal 2019)	Imagen Google Earth (Captura 26/03/2020)
1		
2		
3		
Criterios de intepretación visual: En la columna izquierda se observan tres puntos aleatorios de verificación por encima de los pixeles del NDMI del 2019. Se aprecia el contraste en color verde claro a intenso que contrasta con los tonos naranja y rojizos que representa la vegetación escasa o suelo desnudo. La columna derecha muestra imágenes de alta resolución de Google Earth capturada en el mes de marzo del 2020; en ella se observa la frontera vegetal para cada punto.		
1		
2		

3		
4		
5		

Criterios de intepretación visual:
Los pixeles correspondientes al ráster RGB con los puntos de verificación por encima de cada uno de ellos muestran un rango de color intermedio, que se diferencian de los tonos oscuros que corresponden a zonas sombreadas (columna izquierda). Por su parte, la comuna derecha muestra imágenes de alta resolución donde se aprecia que la textura aborregada indica la cobertura del dosel forestal que ocasionan las sombras mencionadas. Estos doseles y sus sombras favorecen la protección por debajo de sí, de especies de helechos ante la insolación, así como la prevalencia de humedad en el suelo y en la vegetación, lo cual es criterio elemental para la presencia de BMM. Para todos los casos, se observan terrenos de pendiente intermedia (20-30°), también determinantes en para la existencia de BMM.

DISCUSIÓN

En la figura 5 se observa que la superficie con potencial agropecuario está en la actualidad apenas por encima de lo que presentaba en el año 2000. Calculando las diferencias, para el año 2000 había 35.4 km^2; al 2011, 48.8 km^2 y en la actualidad 36.2 km^2 de superficie deforestada presuntamente para uso maderero.

Es probable que la evolución espacio-temporal de la cubierta forestal en la RESO del periodo 2000 al 2019 coincida con decisiones de índole político. Desde el año 2005 en el que se decretara como Área Natural Protegida, de competencia estatal, como consecuencia del crecimiento demográfico y de las actividades productivas que habían ocasionado un cambio en el uso original del suelo, generando el reemplazo de diversas especies de

vegetación (Gobierno de Veracruz, 2005), el interés por el beneficio potencial al ambiente de la RESO pareció adquirir importancia. Como consecuencia de lo anterior se propuso el pago por servicios ambientales dentro del Programa de Manejo de la RESO (Sedesma, 2006). No obstante que el presupuesto para pago por servicios ambientales en el país se quintuplicó entre los años 2007 al 2010 (Conafor, 2011), quedando en un total nacional de 5,289 millones de pesos, los beneficios económicos no han sido suficientes para los comuneros de la región para conservar el interés por la preservación vegetal de la RESO. Prueba de lo anterior se señala en la designación de fondos de la Conafor a la Asociación Regional de Silvicultores de la Unidad de Manejo Forestal Sierra de Otontepec, A.C., ya que en el 2013 le fue asignado un muy bajo porcentaje del total nacional (Conafor, 2013); a partir de entonces el pago por servicios ambientales parece ser inexistente. Lo anterior sugiere que la conservación de áreas boscosas es notoria sólo cuando es vigente el pago por servicios ambientales, como lo señalan Ruiz-Jiménez y Valtierra-Pacheco (2017).

Por lo tanto, estamos ante este escenario altamente probable de que los valores de cobertura actual vuelvan a mostrar una tendencia negativa, semejante quizás a lo reflejado en el 2011. Pero si a esta ecuación se le suma el factor climatológico, que parece ser negativo en términos de la disminución en los índices de precipitación de la región (Méndez-González *et al*., 2008), esta posible tendencia puede incluso alcanzar mayor notoriedad a través del tiempo.

Con respecto a la presencia del BMM, se observa que ésta obedece a distintos condicionantes ambientales. La ventaja de la resolución espacial de 10 m por pixel otorga la mayor precisión disponible en imágenes de acceso gratuito, lo que permite un mayor grado de precisión en su ubicación y extensión. Es notorio que la mayor cobertura, tanto en las vertientes noroeste, este y norte es debido a la continentalidad de la RESO. Durante el verano, los vientos alisios y su carga de humedad procedente del Golfo de México parecen favorecer que las laderas al este de la montaña posean la segunda mayor extensión; por su parte, las vertientes noroeste y norte, con las máximas áreas de cobertura, son determinadas por la precipitación de tipo frontal durante la parte

final del otoño y el invierno, la cual, si bien es menos intensa que la tasa pluvial del verano, la precipitación frontal tiende a permanecer estacionada durante varios días en las regiones afectadas (Ortiz-Álvarez y Vidal-Zepeda, 2006).

Este entorno de BMM, ante el caso de presentarse una nueva tendencia retractiva de la cubierta forestal en la RESO, es probable que no se vea del todo afectado, al menos no del mismo modo en que ha sucedido con la vegetación de zonas con relieve más homogéneo y de cotas menores. Las propiedades necesarias para la presencia del BMM, asociadas a la altitud del terreno y a su alta preferencia por sitios de barrancas y cañadas, por la sombra orográfica que éstas le brindan, sugieren que este ecosistema pueda conservarse por más tiempo que el resto de los paisajes de la RESO, al menos ante la presión antropogénica (Conabio, 2010).

Los valores de superficie obtenidos por este trabajo representan una buena aproximación a las condiciones espacio-temporales de la vegetación en la RESO; sin embargo, al margen del valor ambiental que representa esta estimación, es necesario realizar mayores pruebas de verificación limítrofe en el terreno con la finalidad de posicionar con la mayor precisión las superficies tanto de cubierta forestal como la deforestada en el área de estudio.

Asimismo, para el caso del BMM es importante señalar que una geoposición de los núcleos vegetales de este entorno vendría a fortalecer los hallazgos de este trabajo; es probable que dada su extensión sea oportuno, en la medida de lo posible, realizar un inventario de las especies de este ecosistema, ya que como se ha entendido es el único al norte del estado de Veracruz, y dadas las condiciones de relativo aislamiento de la RESO, resulta necesario analizar cómo la climatología actual y evolutiva regirá su presencia y dimensiones a través del tiempo.

CONCLUSIONES

Al año 2019, la cobertura forestal de la RESO se encuentra en situaciones semejantes a las que poseía durante el año 2000. Es necesario señalar

que el programa de pago por servicios ambientales ha repercutido parcialmente en la recuperación de su extensión a partir del año 2011; sin embargo, debido a la reciente ausencia de estos beneficios económicos, aunado con el bajo índice pluvial que se ha registrado en la zona, y que ha sido más notorio durante el año actual, es probable que exista una nueva tendencia a la retracción. Esta disminución puede darse con mayor intensidad en las zonas con especies maderables. No obstante, posiblemente el BMM sea el ecosistema que menos alteración antropogénica sufra debido a las características físicas propias de su entorno.

Independientemente de las condiciones que lo hayan propiciado, es de resaltar la recuperación que la cobertura forestal ha experimentado posterior al año 2011. Esta capacidad de regeneración en ocho años pudiera ser considerado como un estímulo para las tareas de conservación; no obstante, para robustecer esto último sería necesaria la implementación de inventarios forestales para identificar aquellas especies que han intervenido y propiciado este crecimiento en extensión, con el objeto de ser consideradas dentro de los proyectos de recuperación y conservación forestal en sistemas de media montaña.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor desea agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por su apoyo financiero al proyecto “Fortalecimiento del posgrado mediante estudios de cambio climático en la región norte del estado de Veracruz, a través de la vinculación académica de los alumnos”, recibido con la beca proporcionada por estancia posdoctoral número 741224.

BIBLIOGRAFÍA

ALY, A. A., A. M. AL-OMRAN, A. S. SALLAM, M. I. AL-WABEL Y M.S. ALSHAYAA. 2016. Vegetation cover change detection and assessment in arid

environment using multi-temporal remote sensing images and ecosystem management approach. *Solid Earth* 7: 713-725.

BAUTISTA-BELLO, A. P., J. C. LÓPEZ-ACOSTA, G. CASTILLO-CAMPOS, J. A. GÓMEZ-DIAZ Y T. KRÖMER. 2019. Diversidad de arbustos a lo largo de gradientes de elevación y perturbación en el centro de Veracruz, México. *Acta Botánica Mexicana* 126: e1369.

CALDERÓN, J. E., J. A. B. O. DÍAZ Y M. D. J. O. DÍAZ. 2018. Change in vegetation cover and land use in Morelos, Mexico, from 2000 to 2009. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9: 27-53.

CASTILLO-CAMPOS, G., S. AVENDAÑO Y M. E. MEDINA-ABREO. 2011. Flora y vegetación en *La biodiversidad en Veracruz: estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz (Conabio), Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México. Pp. 163-179.

CONABIO (COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD). 2010. *El bosque mesófilo de montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, 197 pp.

CONAFOR (COMISIÓN NACIONAL FORESTAL). 2011. *Servicios ambientales y cambio climático.* Consulta en línea a través de www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/5/2290Servicios%20Ambientales%20y%20Cambio%20Climático.pdf.

CONAFOR (COMISIÓN NACIONAL FORESTAL). 2013. Resultado de la asignación recursos para 2013. Consultado en línea a través de http://www.conafor.gob.mx/apoyos/index.php/inicio/download/2587.

DEL TORO ESPÍN, N., F. GOMARIZ-CASTILLO, F. CÁNOVAS-GARCÍA Y F. ALONSO-SARRÍA. 2015. Comparación de métodos de clasificación de imágenes de satélite en la cuenca del río Argos (Región de Murcia). *BAGE* 67: 327-347.

DOMÍNGUEZ-BARRADAS, C., G. E. CRUZ-MORALES Y C. GONZÁLEZ-GÁNDARA. 2015. Plantas de uso medicinal de la reserva ecológica Sierra de Otontepec, municipio de Chontla, Veracruz, México. *CienciaUAT* 9: 41-52.

ELLIS, A. E., M. M. BELLO Y R. B. IBARRA. 2011. Focos rojos para la conservación. *La biodiversidad en Veracruz: estudio de Estado.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México. Pp. 351-367.

GARCÍA, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana). 5ª ed., Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

GILABERT, M. A., J. GONZÁLEZ PIQUERAS Y B. MARTÍNEZ. 2011. Theory and application of vegetation indices. *Remote sensing optical observations of vegetation properties* 1-43.

GRUBB, P. J. 1971. Interpretation of the 'Massenerhebung' effect on tropical mountains. *Nature* 229: 44-45.

HAMILTON, L. S., J. O. JUVIK Y F. N. SCATENA (Eds.). 1995. *Tropical montane cloud forests*. Ecological Studies 110, Springer Verlag, Nueva York.

INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). 1983. *Carta Edafológica Tamiahua,* F14-9, Veracruz, Esc. 1: 250,000.

INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). 2003. Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) escala 1: 50,000, modelos digitales de elevación del Territorio Nacional.

INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). 2017. *Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos*. INEGI c2017. Aguascalientes, Ags. 1066 pp.

JIN, S. Y S. A. SADER. 2005. Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment* 94: 364-372.

MCCOOL, C., J. BEATTIE, M. MILFORD, J. D. BAKKER, J. L. MOORE Y J. FIRN. 2018. Automating analysis of vegetation with computer vision: Cover estimates and classification. *Ecology and Evolution* 8: 6005-6015.

MÉNDEZ GONZÁLEZ, J., J. D. NÁVAR CHÁIDEZ Y V. GONZÁLEZ ONTIVEROS. 2008. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas* 65: 38-55.

MIRANDA, F. 1947. Estudios sobre la vegetación de México. V. Rasgos de la vegetación en la cuenca del río Balsas. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 8:95-115.

ORTEGA-ESCALONA, F. Y G. CASTILLO-CAMPOS. 1996. El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal. *Ciencias* 43: 32-39.

ORTIZ ÁLVAREZ, M. I. Y R. VIDAL ZEPEDA. 2006. Población expuesta a inviernos fríos en México. *Investigaciones Geográficas* 59: 93-112.

PAZ, P. F. 2018. Correcciones atmosféricas relativas de imágenes de satélite: patrones invariantes y modelos atmosféricos. *Terra Latinoamericana* 36: 1-12.

PÉREZ-PAREDES, M. G., A. SÁNCHEZ-GONZÁLEZ Y J. D. TEJERO-DÍEZ. 2014. Estructura poblacional y características del hábitat de dos especies de *Cyatheaceae* del estado de Hidalgo, México. *Botanical Science*s 92: 259-271.

PERKINS, T., S. M. ADLER-GOLDEN, M. W. MATTHEW, A. BERK, A., L. S. BERNSTEIN, J. LEE Y M. FOX. 2012. Speed and accuracy improvements in FLAASH atmospheric correction of hyperspectral imagery. *Optical Engineering* 51: 111707.

ROBIN, C. 1976. El vulcanismo de las planicies de la Huasteca (este de México): datos geoquímicos y petrográficos. *Boletín del Instituto de Geología*. Universidad Nacional Autónoma de México 96: 55-92.

RUIZ-JIMÉNEZ, M. Y E. VALTIERRA-PACHECO. 2017. Impacto del pago por servicios ambientales hidrólogicos en los bosques de tres ejidos de Texcoco, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 14: 511-531.

SAHU, A. S. 2014. Identification and mapping of the water-logged areas in Purba Medinipur part of Keleghai river basin, India: RS and GIS methods. *International Journal of Advanced Geosciences* 2: 59-65.

SANDERS, A., W. VERSTRAETEN, M. KOOREMAN, T. VAN LETH, J. BERINGER Y J. JOINER. 2016. Spaceborne sun-induced vegetation fluorescence time series from 2007 to 2015 evaluated with Australian flux tower measurements. *Remote Sensing* 8: 895.

SEDESMA (SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL Y MEDIO AMBIENTE). 2006. *Programa de Manejo de la reserva ecológica Sierra de Otontepec*. Coordinación General del Medio Ambiente, Gobierno de Veracruz. Serie Protejamos Nuestro Medio Ambiente, 11, 91.

SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). 2004. Carta Geológico-Minera Tamiahua, F14-9, Veracruz, Esc. 1: 250,000.

SOTO, M., L. GAMA Y M. GÓMEZ. 2001. Los climas cálidos subhúmedos del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 3: 31-40.

TOLEDO-ACEVES, T., J. A. MEAVE, M. GONZÁLEZ-ESPINOSA Y N. RAMÍREZ-MARCIAL. 2011. Tropical montane cloud forests: current threats and opportunities for their conservation and sustainable management in Mexico. *Journal of Environmental Management* 92: 974-981.

WILSON, E. H. Y S. A. SADER. 2002. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment* 80: 385-396.

XIE, Y., Z. SHA Y M. YU. 2008. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology* 1: 9-23.

XU, H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing* 27: 3025-3033.

Capítulo 4

Abundancia y distribución espacial de la familia Orchidaceae

Abundance and spatial distribution of the Orchidaceae family

José Luis Alanís Méndez[1]
Francisco Limón Salvador[1]
Blanca Esther Raya Cruz[1*]

Resumen. Las orquídeas pertenecen a una de las familias más grandes de plantas y se encuentran distribuidas en casi todos los ecosistemas del mundo. A pesar de su importancia ecológica, la perturbación antrópica y presión comercial con fines principalmente ornamentales han causado que numerosas especies se encuentren bajo amenaza. En este contexto, el presente estudio registró la diversidad de orquídeas silvestres, así como su distribución espacial dentro de la reserva ecológica Sierra de Otontepec. Se realizaron muestreos durante un periodo de tres años, en cuatro áreas principales de acceso a la reserva, con el fin de maximizar la representación del muestreo. Se ubicaron espacialmente a todas las orquídeas y se usaron las coordenadas para modelar la distribución potencial de cuatro especies clave usando el algoritmo de máxima entropía, implementado en

1 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias región Poza Rica-Tuxpan, Universidad Veracruzana. Carretera Tuxpan-Tampico km. 7.5, col. Universitaria, CP 92860, Tuxpan, Veracruz, México. Email: lalanis@uv.mx (JLAM), flimon@uv.mx (FLS)
*Autor de correspondencia, braya@uv.mx (BERC)

el software MaxEnt. Se registraron 38 especies distribuidas en 27 géneros y 2,502 organismos. Dos de ellas se encuentran protegidas por la Norma Oficial Mexicana. Los modelos de distribución de las especies mostraron las afinidades ambientales dentro del área de estudio, destacaron algunas áreas donde potencialmente podrían estar presentes más colonias. Los resultados de la presente investigación resaltan la importancia de continuar los estudios de campo en las áreas naturales protegidas, con el fin de ampliar el entendimiento de esta familia para su conservación, en particular en la zona norte del estado de Veracruz.

Palabras clave: área natural protegida, epífitas, MaxEnt, modelos de distribución, orquídeas.

Abstract. Orchids belong to one of the largest families of plants and are found in almost all ecosystems in the world. Despite its ecological importance, anthropic disturbance and commercial pressure for mainly ornamental purposes have caused many species to be under threat. In this context, the present study recorded the diversity of wild orchids, as well as their spatial distribution within the Sierra de Otontepec Ecological Reserve. Samples were carried out over a period of three years, in four main areas of access to the reserve, in order to maximize the representation of the sample. All orchids were spatially located and the coordinates were used to model the potential distribution of four key species using the maximum entropy algorithm, implemented in the MaxEnt software. 38 species distributed in 27 genera and 2,502 organisms were recorded. Two of them are protected by the Official Mexican Standard. The species distribution models showed the environmental affinities within the study area, highlighting some areas where potentially more colonies could be present. The results of this research highlight the importance to continue with field studies within protected natural areas, in order to broaden the understanding of this family for its conservation, particularly in the northern part of the state of Veracruz.

Keywords: protected natural area, epiphytes, MaxEnt, distribution models, orchids.

INTRODUCCIÓN

La familia Orchidaceae

La familia Orchidaceae comprende más de 27,800 especies (The Plant List, 2013) y tiene una amplia distribución casi en todos los ecosistemas del mundo, no obstante, su presencia es mayor en regiones tropicales y subtropicales (Espejo-Serna *et al*., 2002). Ya que 69% de las orquídeas son epífitas, es decir, viven principalmente sobre arboles hospederos (Zotz, 2013), cumplen importantes funciones como la descomposición de detritus, hojarasca y organismos muertos, así como la fijación de nitrógeno atmosférico, mismos que convierten en recursos a sus hospederos (Domínguez-Domínguez, 1994; Damon, 2003). Debido a sus colores, formas y tamaños, son muy atractivas para coleccionistas y como plantas de ornato, lo cual las convierte en uno de los grupos de plantas más comercializados en todo el mundo (Hinsley *et al*., 2015). En el estado de Veracruz muchas especies epífitas y particularmente orquídeas son comercializadas ilegalmente, lo cual pone en riesgo sus poblaciones (Flores-Palacios y Valencia-Díaz, 2007; Krömer *et al*., 2018). Además, su dependencia de los árboles y de las condiciones del microambiente, por ser particularmente sensibles a los cambios ocasionados por perturbaciones antrópicas y la deforestación, las hace vulnerables a los cambios en los usos de suelo (Krömer *et al*., 2014). Actualmente, más de 80% de la vegetación primaria de Veracruz ha sido convertido en potreros, plantaciones y vegetación secundaria, y el bosque natural restante está muy fragmentado (Ellis *et al*., 2011; Gómez-Díaz *et al*., 2018). Para garantizar su protección, la familia completa fue incluida en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2018).

En México existen aproximadamente 1,257 especies de orquídeas, agrupadas en 168 géneros (Soto-Arenas *et al*., 2007). De esta cifra un considerable número son endémicas y están bajo protección en la norma oficial vigente NOM-059-SEMARNAT-2010. En términos de diversidad,

los estados de Chiapas y Oaxaca poseen el mayor número de especies de orquídeas (aproximadamente 700 especie cada uno), en tanto que el estado de Veracruz ocupa el tercer lugar con alrededor de 433 especies (Castañeda-Zárate *et al*., 2012). Sin embargo, a pesar de que el estado representa más de 34% de la diversidad de orquídeas del país, la mayor información corresponde a estudios del centro y sur del estado (García-Cruz y Sosa, 2011; Viccon-Esquivel y Krömer, 2012).

En contraste, el conocimiento en la reserva ecológica Sierra de Otontepec está limitado a unos cuantos estudios, como los realizados por Castillo-Campos y Medina-Abreo (1996), la Secretaría del Medio Ambiente (Sedesma, 2007), Muñoz-Arteaga y Rosales-Cárdenas (2008) y Flores-Martínez (2008), entre otros.

Importancia del ambiente

A pesar de la relevancia de los anteriores estudios en el conocimiento sobre la diversidad de orquídeas, es importante considerar los patrones espaciales de los organismos y factores ambientales asociados a ellos. Particularmente, los espacios naturales protegidos han de considerar como parte de sus objetivos de permanencia de las especies a largo plazo, el conocimiento de los patrones espaciales de diversidad biológica que albergan (Sarkar y Margules, 2002). En relación con esto último se ha reconocido la importancia que juega el ambiente para explicar la distribución de organismos, ya que tanto el clima como el relieve del paisaje establecen la plataforma sobre la cual se desarrollan los organismos (Bailey, 1996).

De acuerdo con estos razonamientos, y con la implementación de herramientas basadas en sistemas de información geográfica, se han desarrollado métodos para asociar la presencia de especies con datos ambientales digitales, comúnmente conocidos como modelos de distribución potencial de especies (Guisan y Zimmermann, 2000). Estos modelos realizan una predicción de lo adecuado de un área para la presencia de una especie con relación a condiciones ambientales como clima, suelo y topografía, esto es, el modelo asigna un valor de idoneidad (*suitability*)

para la especie en una proyección de su distribución espacial (Soberón y Nakamura, 2009).

En los planteamientos anteriores es evidente que ser un estado diverso en especies de orquídeas (y de muchos grupos de plantas en general), implica la responsabilidad de garantizar la permanencia de estas especies y de su hábitat, particularmente ante la escasez de estudios de diversidad que integren patrones de distribución espacial y ambiental, en la zona norte del estado de Veracruz. El presente estudio se desarrolló en la reserva ecológica Sierra de Otontepec, con los objetivos: *a)* documentar la diversidad de orquídeas silvestres, *b)* identificar sus hábitos de crecimiento y *c)* determinar su distribución espacial a través de modelos de distribución ecológica en especies clave.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El área natural protegida Sierra de Otontepec, con categoría de Reserva Ecológica, está situada al norte del estado de Veracruz (Figura 1a). Tiene una superficie de 15,152 ha. y abarca varios municipios a lo largo de su distribución (Sedesma, 2007). Su altitud se encuentra entre los 350 hasta 1,320 msnm. Su relieve incluye numerosas zonas accidentadas que favorecen la presencia de diferentes tipos de vegetación. Los más característicos son el bosque de encino, bosque tropical perennifolio y bosque mesófilo de montaña (Rzedowski, 2006). Esta sierra fue declarada Reserva Ecológica desde 2005 (Gaceta Oficial del Estado, 2005) debido a su riqueza de ambientes y de especies, constituye una isla fitogeográfica que alberga una biodiversidad significativa, como ejemplo, solo de plantas vasculares, se han identificado 365 especies (Castillo-Campos y Medina-Abreo, 1996). Esta zona en particular, y el estado de Veracruz en general, han sido afectados negativamente por los cambios del uso de suelo, para destinarlos a cultivos y ganadería principalmente (Sedesma, 2007), por lo que resulta indispensable conocer la distribu-

ción y ecología de las especies presentes dentro de esta área natural protegida.

Muestreos en campo y determinación taxonómica

De 2009 a 2012 se efectuaron 12 muestreos, con una duración de 3 a 4 días en cada visita. Para representar la extensión de la reserva ésta se dividió en cuatro áreas de estudio, las cuales fueron seleccionados de acuerdo con su superficie, tipo de vegetación y los accesos a la misma. Se nombraron Zona I, II, III y IV (Figura 1b).

En cada una de las cuatro zonas se registró la especie observada, el número de individuos o colonias, la forma de vida o hábito (terrestre, epífita o litófita), así como su altitud y geoposición con un GPS (Garmín 60CSx). Para preparar material herborizado y evitar daños a las poblaciones, se colectaron las orquídeas epífitas con flores o fruto encontradas en árboles y troncos caídos. La mayor parte de los especímenes se colectó sin flores, por lo que ejemplares vivos se trasladaron a la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana, región Poza Rica-Tuxpan, para mantenerlas en la colección viva (orquidario) esperando su floración para realizar la preparación de material para herbario y facilitar la determinación de las especies.

La determinación de los ejemplares se realizó consultando literatura especializada (claves de identificación, artículos taxonómicos, libros y catálogos). En algunos casos se cotejó con material depositado en los herbarios de la Universidad Autónoma Chapingo (CHAPA), Asociación Mexicana de Orquideología (AMO) y con el apoyo de especialistas. La nomenclatura se asignó de acuerdo con la base de datos Tropicos del Missouri Botanical Garden (Tropicos, 2017).

Modelos de distribución de especies

Para la identificación de los requerimientos ambientales óptimos se seleccionaron cuatro especies clave, de acuerdo con los siguientes criterios: que estuvieran dentro de alguna categoría de riesgo y presentaran

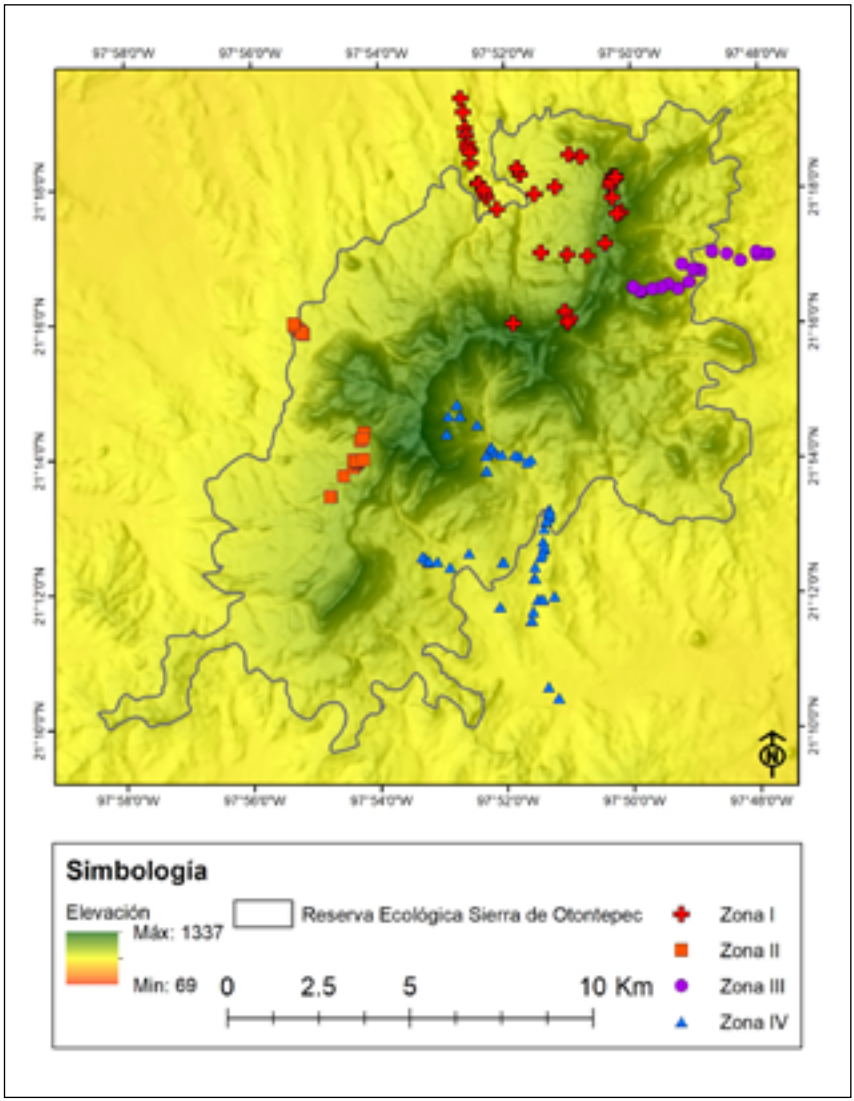


Figura 1. *a)* Localización de la reserva ecológica Sierra de Otontepec en el estado de Veracruz, México y, *b)* ubicación de los sitios de muestreo en las cuatro zonas de estudio e intervalos elevacionales dentro de la reserva (elaborado por V. Soto).

algún grado de endemismo o fueran muy representativas dentro del ANP. Se utilizó el algoritmo de máxima entropía, implementado en el programa MaxEnt versión 3.3.3k (Phillips y Dudík, 2008), el cual estima dichas condiciones considerando valores esperados para cada una de las características ambientales con las cuales se proveen al modelo como variables predictivas (Phillips y Dudík, 2008). Para el desarrollo de estos modelos de distribución potencial se utilizaron registros espaciales de presencia obtenidas de las observaciones en campo, y para enriquecer el muestreo de los ambientes se obtuvieron geoposiciones de la base de datos Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2017); seis capas ambientales fueron usadas como variables predictivas: temperatura media anual (Bio01), temperatura máxima del mes más caliente (Bio05), T.5, temperatura mínima del mes más frío (Bio06), precipitación total anual (Bio12), precipitación del mes más húmedo (Bio13) y precipitación del mes más seco (Bio14). Su selección fue basada en reducir el número de posibles correlaciones ambientales (Braunisch *et al.*, 2013), las capas se obtuvieron de la base de datos World Clim (Hijmans *et al.*, 2005). La proyección de los modelos se recortó a un área de 5 km alrededor del ANP Sierra de Otontepec. La evaluación de los modelos se basó en el índice del área bajo la curva (AUC) (Phillips y Dudík, 2008).

RESULTADOS

Diversidad, conservación y hábito de orquídeas

Esta investigación registró en total 38 especies de orquídeas, distribuídas en 27 géneros y 2,502 individuos (Cuadro 1). De este último número, cerca del 50% de la abundancia de individuos está representada por solo seis especies: *Cyclopogon luteoalbus, Prosthechea cochleata, Sarcoglottis sceptrodes, Brassavola appendiculata, Isochilus unilateralis* y *Catasetum integerrimum*. Por el contrario, las especies *Dichaea glauca* y *Epidendrum cardiophorum* solo se observaron dos veces cada una y *Malaxis histionantha* solo se registró una vez.

Cuadro 1. Especies de orquídeas registradas en la reserva ecológica Sierra de Otontepec. Se señala el ejemplar examinado, hábito de crecimiento: E= epífita, T= terreste, L= litófila, así como el número de colonias por zona estudiada y el total. * = endémica a México. ! = Incluida en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Especie	Autoridad taxonómica	Hábito	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Total de organismos
Acianthera angustifolia	(Lindl.) Luer, 2007	E	8	0	8	77	93
Beloglottis costaricensis	(Rchb.f.) Schltr., 1920	T	0	0	0	116	116
Bletia purpurea	(Lam.) A.DC., 1841	T,L	0	0	0	28	28
Brassavola appendiculata	A. Rich. & Galeotti, 1845.	E	16	9	21	133	179
Campylocentrum micranthum	(Lindl.) Rolfe, 1903	E	0	0	0	3	3
Catasetum integerrimum	Hook., 1840	E	26	16	28	55	125
Cohniella ascendens	(Lindl.) Christenson, 1999	E	0	0	2	5	7
Cyclopogon comosus	(Rchb. f.) Burns-Bal. & E.W. Greenw., 1986	T	60	0	59	0	119
Cyclopogon luteoalbus	(A. Rich. & Galeotti) Schltr., 1920	T	15	18	147	89	269
Cyrtopodium macrobulbon	(Lex.) G.A.Romero & Carnevali, 1999	E,L	0	0	0	7	7
Dichaea glauca	(Sw.) Lindl., 1833	E	2	0	0	0	2
Dichaea neglecta	Schltr., 1918	E	0	0	0	23	23
Encyclia dickinsoniana	(Withner) Hamer, 1985	E	0	0	6	0	6
Encyclia parviflora	(Regel) Withner,1998	E	9	54	0	11	74
Epidendrum cardiophorum	Schltr., 1911	E	0	0	2	0	2
Epidendrum chlorocorymbos	Schtlr., 1922	E	0	0	0	8	8
Epidendrum ciliare	L. 1759	E	12	7	27	37	83
Epidendrum polyanthum	Lindl., 1831	E	7	0	0	5	12
*Isochilus unilateralis**	B L. Rob., 1894	E	76	6	68	27	177
*Lophiaris cosymbephora**	(C. Morren) R. Jiménez & Carnevali, 2001	E	0	2	2	62	66
Lophiaris lurida	(Lindl.) Braem, 1993	E	40	2	1	1	44
Lycaste aromatica	(Graham) Lindl., 1843	E	11	0	0	3	14
Lycaste consobrina *	Rchb F., 1852	E	0	0	0	21	21

Especie	Autoridad taxonómica	Hábito	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Total de organismos
Malaxis histionantha	(Link, Klotzsch & Otto) Garay & Dunst., 1976	T	0	1	0	0	1
Maxillaria tenuifolia	Lindl., 1837	E	0	0	10	15	25
Maxillaria variabilis	Bateman ex Lindl., 1837	E	8	0	15	11	34
*Myrmecophila grandiflora**	(Lindl.) Carnevali, Tapia-Muñoz & I. Ramírez, 2001	E	0	0	1	4	5
Nidema boothii	(Lindl.) Schltr., 1922	E	23	0	40	5	68
Notylia barkeri	Lindl., 1838	E	0	0	12	104	116
Oncidium sphacelatum	Lindl., 1841	E,L	6	0	0	25	31
Prosthechea cochleata	(L.) W.E.Higgins, 1997	E,L	60	10	19	172	261
Prosthechea livida	(Lindl.) W. E. Higgins, 1997	E	16	17	0	64	97
Prosthechea mariae!*	(Ames) W. E. Higgins, 1997	E	25	21	66	0	112
Restrepiella ophiocephala	(Lindl.) Garay & Dunst.,1966	E	0	0	0	8	8
Sarcoglottis sceptrodes	(Rchb. f.) Schltr., 1920	T	65	47	1	98	211
Specklinia tribuloides	(Sw.) Pridgeon & M.W. Chase, 2001	E	0	0	8	15	23
Stanhopea oculata !	(Lodd.) Lindl., 1832	E	0	0	0	15	15
Tropidia polystachya	(Sw.) Ames, 1908	T	0	17	0	0	17

Registramos cinco especies endémicas de México (señaladas en el Cuadro 1 con asterisco), estas son: *Isochilus unilateralis, Lophiaris cosymbephora, Lycaste consobrina, Myrmecophila grandiflora* y *Prosthechea mariae*, esta última, junto con *Stanhopea oculata* están incluídas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, ambas en la categoría de amenazada (A).

Al considerar los distintos hábitos de crecimiento que presentan las orquídeas en el ANP Sierra de Otontepec, existe predominancia de las epífitas registrándose 28 especies (73.6 %), seguidas por las terrestres, de las cuales se observaron seis especies (15.7 %); tres especies se comportaron como epífitas o litófitas (7.8 %) y una especie como terrestre o litófita (Cuadro 1).

Abundancia de orquídeas entre áreas muestreados

La abundancia fue variable entre las cuatro zonas muestreadas: en la zona I fueron 485, en la zona II 227, en la zona III 543 y en la zona IV registramos 1,247 organismos. Asimismo, las especies más representativas (en abundancia) fueron diferentes entre las cuatro zonas: en la zona I, la especie que más se registró fue *Isochilus unilateralis* (76 colonias), en la zona II fue *Encyclia parviflora* (54), en la zona III fue *Cyclopogon luteoalbus* (147) y en la zona IV fue *Prosthechea cochleata* (172) (Cuadro 1).

Modelos de distribución de especies claves

Las cuatro especies seleccionadas para analizar la distribución potencial a partir de la identificación de condiciones ambientales apropiadas, dentro de la reserva, fueron: *Brassavola appendiculata, Oncidium sphacelatum, Prosthechea mariae* y *Lophiaris cosymbephora*. Los mapas de su distribución potencial dentro de la reserva, así como los valores de las dos variables que contribuyeron más a la construcción de los modelos en cada especie, así como la evaluación de los modelos, se muestran en las figuras 2 y 3, así como en el cuadro 2. De acuerdo con la evaluación de los modelos a partir del índice del AUC, el desempeño fue el siguiente en cada especie: *B. appendiculata* (AUC = 0.888), *O. sphacelatum* (AUC = 0.785), *P. mariae* (AUC = 0.953) y *L. cosymbephora* (AUC = 0.916). En las cuatro especies, las variables con mayor porcentaje de contribución fueron Bio12, 14 y 06, principalmente.

Cuadro 2. Resultados de los modelos de distribución en cuatro orquídeas claves de la reserva ecológica Sierra de Otontepec. Evaluación del modelo con la prueba de área bajo la curva (AUC) y las dos variables con mayor porcentaje de contribución al modelo.

Especie	AUC	Variable	Porcentaje de contribución	Variable	Porcentaje de contribución
Brassavola appendiculata	0.888	bio_06	45.7	bio_12	32.9
Oncidium sphacelatum	0.778	bio_14	85.6	bio_12	7.6
Prosthechea mariae	0.953	bio_14	32.2	bio_06	24.6
Lophiaris cosymbephora	0.916	bio_12	41.8	bio_14	23.2

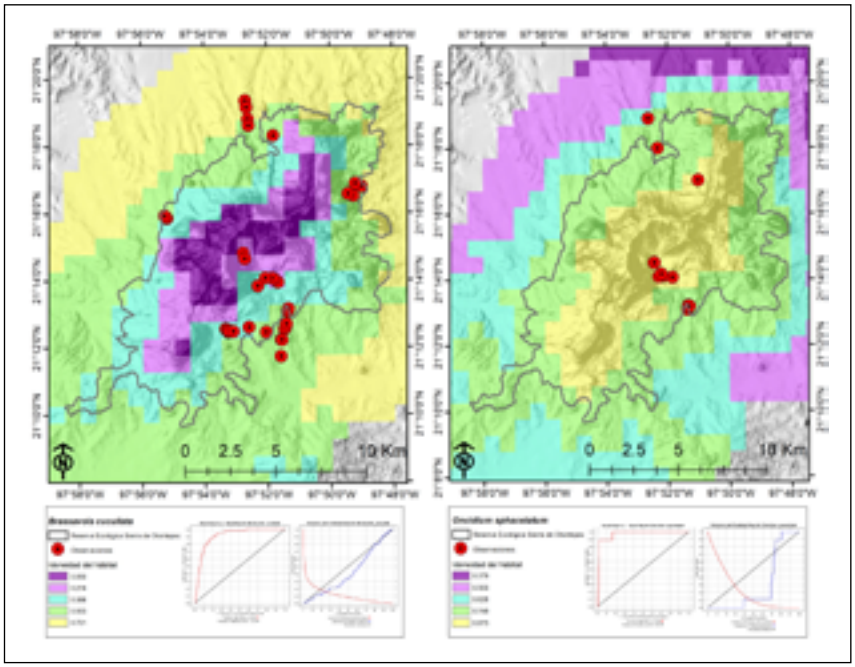


Figura 2. Mapa con el modelo de distribución de las especies: *a) Brassavola appendiculata* y *b) Oncidium sphacelatum*. Colores claros y valores cercanos a 1 representan condiciones favorables para la especie (elaborado por V. Soto).

DISCUSIÓN

Diversidad, conservación y hábito de orquídeas

Esta investigación registró 38 especies de orquídeas en los alrededores y dentro del ANP Sierra de Otontepec, información que amplía el conocimiento de las especies en la región.

Asimismo, se observa un patrón donde la mayoría de géneros están representados por una sola especie y pocos incluyen de dos a cuatro especies dentro del género, principalmente *Epidendrum, Prosthechea* y *Lophiaris* (Cuadro 1). Este patrón es congruente con otros estudios (Pérez-Bravo *et al*., 2010; Tejeda-Sartorius y Téllez-Velasco, 2017), mientras que

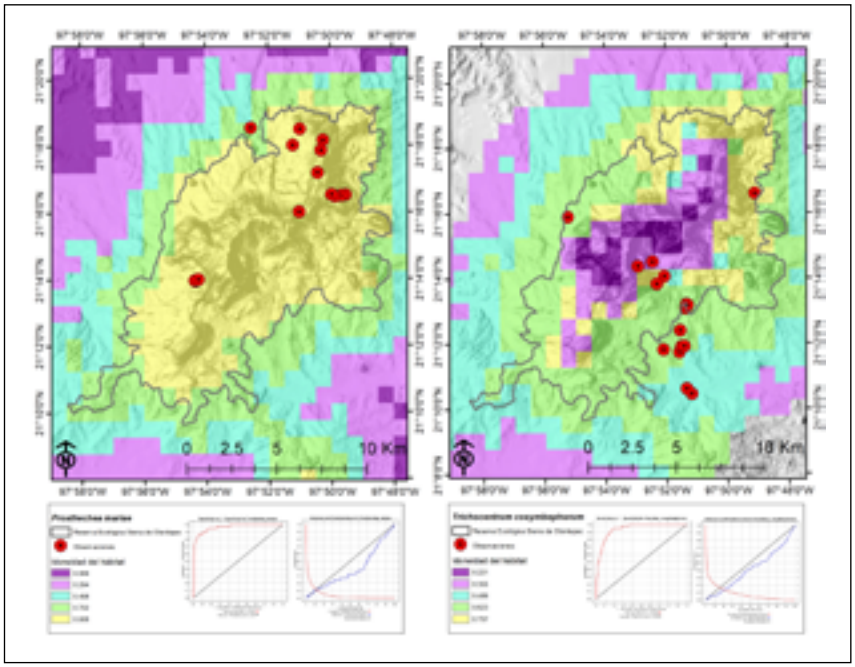


Figura 3. Mapa con el modelo de distribución de las especies: *a) Prosthechea mariae* y *b) Lophiaris cosymbephora*. Colores claros y valores cercanos a 1 representan condiciones favorables para la especie.

los géneros *Encyclia, Epidendrum, Maxillaria, Oncidium* y *Pleurothallis* se encuentran entre los principales géneros de orquídeas epífitas con mayor número de especies a nivel mundial (Zotz 2013).

De acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, en Veracruz hay 44 especies de orquídeas clasificadas bajo alguna categoría de riesgo, de las cuales nuestro estudio registró *Prosthechea mariae* y *Stanhopea oculata* como especies dentro de la categoría de Amenazadas y siendo localmente abundantes (Cuadro 1). Asimismo, es importante destacar que *Isochilus unilateralis* se observó de forma abundante en el área de estudio.

La mayoría de especies registradas presentó un hábito de crecimiento epífito (73.6 %), este valor es mayor de lo esperado con otras observaciones, pero menor que lo encontrado en Atzalan y Zongolica

(> 90% epífitas) por Viccon-Esquivel y Krömer (2012) y lo reportado por Krömer *et al.* (2013) para la región de Los Tuxtlas (84% orquídeas epífitas). De acuerdo con Soto-Arenas *et al.* (2007), 60% de las orquídeas mexicanas son epífitas. Una posible explicación a nuestro resultado es debido a que la reserva posee (aunque pequeños en extensión) distintos tipos de vegetación con diferentes especies de árboles hospederos, tales como el bosque de encino, bosque tropical perennifolio y bosque mesófilo de montaña (Sedesma, 2007), lo cual puede favorecer condiciones apropiadas para una mayor cantidad de especies epífitas. Cabe agregar que durante los recorridos se observó que, dentro de la forma de vida epífita, la mayoría de colonias (~65 %) se encontraron creciendo tanto en el estrato inferior, así como en el medio (parte interior del dosel) de los forofitos, posiblemente debido a que en estos estratos se presenta mucha humedad y están protegidos mayormente de la radiación solar (Krömer *et al.*, 2007), lo cual les favorece en su persistencia.

En contraste, las orquídeas terrestres se localizaron preferentemente sobre pequeñas laderas, cañadas, áreas húmedas, sobre rocas y oquedades de arbustos en donde se acumula tierra, así como también en lugares con abundancia de hojarasca, por lo general protegidas de la radiación solar. En escasas ocasiones *Sarcoglottis sceptrodes* se encontró en lugares abiertos expuestos a la radiación solar (suelo pedregoso en potrero de pastoreo).

Modelos de distribución de especies claves

Cuatro especies (*Brassavola appendiculata, Lophiaris cosymbephora, Oncidium sphacelatum* y *Prosthechea mariae*) se modelaron usando el algoritmo de máxima entropía, con la finalidad de presentar dentro de la reserva sus afinidades ambientales (*suitability*). A pesar de haber caracterizado la distribución potencial de las especies usando varias capas ambientales, tres factores fueron los que tuvieron un mayor porcentaje de contribución: la precipitación del mes más seco (Bio14), la precipitación total anual (Bio12) y la temperatura mínima del mes más frío (Bio06). Sobre

la base de estos resultados podemos observar queestos son importantes en la biología de las orquídeas, ya que la precipitación en general y la restricción de las épocas más secas y frías en particular, son factores que promueven las temporadas de floración de este grupo (Westwood *et al.*, 2011; Meena *et al.*, 2013).

Los modelos de distribución de especies permiten identificar las condiciones óptimas para el establecimiento de las especies a partir de determinados factores ambientales (Soberón y Nakamura, 2009). En MaxEnt, la información es expresada en una escala de 0 a 1, donde cero representa la ausencia de condiciones para la presencia de la especie y uno donde se cumplen las condiciones para su establecimiento (Phillips y Dudík 2008). En el caso de *B. appendiculata*, las condiciones óptimas (color claro, valores más altos) se encuentran en las regiones más bajas de la reserva donde el clima es más cálido (Figura 2a). Esta información es congruente con la biología de la especie, considerando que su distribución en México incluye los estados de San Luis Potosí, Chiapas, Campeche y Yucatán, entre otros (Conabio, 2018); es decir, tiene una distribución principalmente hacia el sureste del país. En este sentido, las colectas que obtuvimos fueron, en todos los casos, hacia las partes bajas de la reserva en bosque de encino, principalmente, y vegetación secundaria de selva alta perennifolia.

De acuerdo con los modelos de nicho, *P. mariae* presentó los valores más altos del modelo (AUC = 0.95) y es también la especie que se encuentra con mayores condiciones óptimas a lo largo de toda la reserva (Figura 3a). En campo se observó que es relativamente abundante, ya que se registró en tres de las cuatro áreas del estudio (Cuadro 1). Es importante observar que, de hecho, dentro de la reserva (sobre todo en las partes altas con mayor humedad) las condiciones son óptimas, en tanto que fuera de ella (en tierras bajas calientes y secas), los valores descienden rápidamente. Esto quiere decir que la Sierra de Otontepec, podría estar sirviendo como una isla que resguarda a los individuos de *P. mariae*. Asimismo, es importante resaltar que la distribución de la especie incluye principalmente los estados de San Luis Potosí, Hidalgo y Querétaro (Conabio, 2018), con lo cual genera interés, desde el aspecto biogeográ-

fico, en la distribución de estas poblaciones respecto a las demás poblaciones ubicadas hacia el centro del país y establecidas en la Sierra Madre Oriental.

En *O. sphacelatum* (Figura 2b) y *L. cosymbephora* (Figura 3b), a pesar de que ambas especies estuvieron bien representadas en el área de estudio, los modelos parecen no reflejar apropiadamente las condiciones idóneas del hábitat, por ejemplo, *O. sphacelatum* fue la especie que presentó los valores más bajos en la construcción del modelo (AUC = 0.778). Esto podría deberse a que dicha especie esté fuera de sus condiciones ambientales óptimas, probablemente hacia los márgenes de su distribución (Manthey *et al.*, 2015) o que las variables ambientales predictivas no fueron las más idóneas para caracterizar su nicho ecológico.

Es importante considerar en el contexto de los modelos de distribución de especies, y en particular en el afán de identificar áreas de mayor posibilidad de persistencia de las especies, que los modelos solo son una representación (limitada) de la realidad. En este sentido, en el algoritmo de máxima entropía, las ausencias no se pueden exponer *a priori*, sino que son inferidas a partir de un muestreo de fondo (Elith *et al.*, 2006), lo que puede causar incertidumbres. Otro aspecto a señalar es la resolución espacial de las capas empleadas, en nuestro modelo fueron de cerca de 1 km^2, lo cual para la extensión de la reserva puede ser un grano muy grueso (es decir, la resolución espacial es grande) y limite la información en aspectos más finos. Sin embargo, esta aproximación podría ser un primer acercamiento al entendimiento de patrones de distribución geográfica más detallados al interior de las especies registradas en nuestra investigación.

Finalmente, considerando las evidencias aportadas por el presente estudio, podemos resaltar la importancia de mantener esfuerzos, particularmente al norte de Veracruz, que documenten la diversidad y distribución de especies en los diferentes grupos de organismos. De esta manera, se podrá integrar información que ayude a caracterizar, tanto espacial como ambientalmente a estas especies, con el fin de tener un mejor entendimiento con miras a su conservación a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al editor y a los revisores que ayudaron a mejorar notablemente la calidad del manuscrito, a la Maestría en Ciencias del Ambiente de la Universidad Veracruzana y al Conacyt, por una beca postdoctoral (2018-2019) otorgada a FLS.

BIBLIOGRAFÍA

BAILEY, R. G. 1996. Multi-scale ecosystem analysis. *Environmental Monitoring and Assessment* 39: 2-24.

BRAUNISCH, V., J. COPPES, R. ARLETTAZ, R. SUCHANT, H. SCHMID Y K. BOLLMANN. 2013. Selecting from correlated climate variables: a major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. *Ecography* 36: 971-983.

CASTAÑEDA-ZÁRATE, M., J. VICCON-ESQUIVEL, S. RAMOS-CASTRO Y R. SOLANO-GÓMEZ. 2012. Registros nuevos de Orchidaceae para Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversida*d 83: 281-284.

CASTILLO-CAMPOS, G. Y M. E. MEDINA-ABREO. 1996. La vegetación de la Sierra de Tantima-Otontepec, Veracruz, México. *La Ciencia y el Hombre* 24: 45-67.

CHASE, M. W., K. M. CAMERON, R. L. BARRETT Y J. V. FREUDENSTEIN. 2003. DNA data and Orchidaceae systematics: a new phylogenetic classification. *Orchid Conservatio*n 69: 89.

CITES. 2018. The CITES species. CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora). CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora). Disponible en: https://www.cites.org/eng/disc/species.php [Consultado el 12 de noviembre de 2018].

CONABIO. 2018. *EncicloVida*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: http://enciclovida.mx/.

DAMON, A. 2003. Las epífitas. *Ecosistemas y comunidades: procesos naturales y sociales de los bosques* 1: 17-20.

DOMÍNGUEZ DOMÍNGUEZ, J. R. 1994. *Evaluación de sustratos de orquídea (Oncidium sphacelatum) obtenidas mediante la germinación in vitro de semillas*. Universidad Autonoma de Chapingo, Texcoco, Edo. México.

ELITH, J., C. H. GRAHAM, R .P. ANDERSON, M. DUDI´K, S.FERRIER, A. GUISAN, R. J. HIJMANS, F. HUETTMANN, J. R. LEATHWICK, A. LEHMANN, J. LI, L.G.LOHMANN, B. A. LOISELLE, G. MANION, C. MORITZ, M.

NAKAMURA, Y. NAKAZAWA, J.MCC. OVERTON, A. T. PETERSON, S. J. PHILLIPS, K. S. RICHARDSON, R. SCACHETTI-PEREIRA, R. E. SCHAPIRE, J. SOBERÓN, S. WILLIAMS, M. S. WISZ Y N.E. ZIMMERMANN. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129–151.

ELLIS, E. A., M. MARTÍNEZ-BELLO Y R. MONROY-IBARRA. 2011. Focos rojos para la conservación de la biodiversidad en el estado de Veracruz. En Cruz-Angón, A. (ed.), *La biodiversidad en Veracruz: estudio de Estado,* pp. 351-367. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C., México.

ESPEJO SERNA, A., J. GARCÍA CRUZ, A. LÓPEZ FERRARI, R. JIMÉNEZ MACHORRO Y L. SÁNCHEZ SALDANA. 2002. *Orquídeas del estado de Morelos.* Espejo Serna, A., García Cruz, J., López Ferrari, A., Jiménez Machorro, R., Sánchez Saldana, L. (eds.). Orquidea (Herbario AMO) 16: 332.

FLORES-MARTÍNEZ, E. 2008. *Contribución al conocimiento de las orquídeas de la Sierra de Otontepec*. Universidad Veracruzana.

FLORES-PALACIOS, A. Y S.VALENCIA-DÍAZ. 2007. Local illegal trade reveals unknown diversity and involves a high species richness of wild vascular epiphytes. *Biological Conservation* 136: 372-387.

Gaceta Oficial del Estado. 2005. Decreto por el que se declara área natural protegida con categoría de reserva ecológica el área que conforma la Sierra de Otontepec en el estado de Veracruz. Órgano oficial del gobierno del estado de Veracruz-Llave, Veracruz, México.

GARCÍA-CRUZ, C. J. Y V. SOSA. 2011. Las orquídeas. En *La biodiversidad en Veracruz: estudio de Estado*, pp. 191-199. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C.

GBIF (Global Biodiversity Information Facility). 2017. GBIF Global Biodiversity Information Facility. Disponible en: http://gbif.org [Consultado el 23 de noviembre de 2017].

GÓMEZ-DÍAZ, J. A., K. BRAST, J. DEGENER, T. KRÖMER, E. ELLIS, F. HEITKAMP Y G. GEROLD. 2018. Long-Term Changes in Forest Cover in Central Veracruz, Mexico (1993-2014). *Tropical Conservation Science* 11: 1940082918771089.

GUISAN, A. Y N. E. ZIMMERMANN. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.

HIJMANS, R. J., S. E. CAMERON, J. L. PARRA, P. G. JONES Y A. JARVIS. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.

HINSLEY, A., D. VERISSIMO Y D. L. ROBERTS. 2015. Heterogeneity in consumer preferences for orchids in international trade and the potential for the

use of market research methods to study demand for wildlife. *Biological Conservation* 190: 80-86.

KRÖMER, T., M. KESSLER Y S. R. GRADSTEIN. 2007. Vertical stratification of vascular epiphytes in submontane and montane forest of the Bolivian Andes: the importance of the understory. *Plant Ecology* 189: 261-278.

KRÖMER, T., A. ACEBEY Y T. TOLEDO-ACEVES. 2018. Aprovechamiento de plantas epífitas: implicaciones para su conservación y manejo sustentable. En Silva-Rivera, E., V. Martínez-Valdéz, M. Lascurain y E. Rodríguez-Luna (eds.). *De la recolección a los agroecosistemas: soberanía alimentaria y conservación de la biodiversidad*, pp. 175-196. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz.

KRÖMER, T., A. R. ACEBEY, J. KLUGE Y M. KESSLER. 2013. Effects of altitude and climate in determining elevational plant species richness patterns: a case study from Los Tuxtlas, Mexico. *Flora* 208: 197-210.

KRÖMER, T., J. G. GARCÍA-FRANCO Y T. TOLEDO-ACEVES. 2014. Epífitas vasculares como bioindicadores de la calidad forestal: impacto antrópico sobre su diversidad y composición. En González-Zuarth, C. A., A. Vallarino, J. C. Pérez-Jiménez, A. M. Low-Pfeng (eds.), *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental,* pp. 605-623. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), México y Campeche.

LI, Y.-X., Z. H. LI, A. SCHUITEMAN, M. W. CHASE, J.-W. LI, W.-C. HUANG, A. HIDAYAT, S.-S. WU Y X.-H. JIN. 2019. Phylogenomics of Orchidaceae based on plastid and mitochondrial genomes. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 139: 106540.

MANTHEY, J. D., L. P. CAMPBELL, E. E. SAUPE, J. SOBERÓN, C. M. HENSZ, C. E. MYERS, H. L. OWENS, K. INGENLOFF, A. TOWSEND PETERSON, N. BARVE, A. L. NORIEGA Y V. BARVE. 2015. A test of niche centrality as a determinant of population trends and conservation status in threatened and endangered North American birds. *Endangered Species Research* 26: 201-208.

MEENA, N. K., R. PAL, R. P. PANT Y R. P. MEDHI. 2013. Seasonal Incidence of Mite and Infuence of Pesticidal Application on Orchid Flower Production. *Journal of Plant Protection Research* 53: 124-127.

MUÑOZ-ARTEAGA, F. O. E I. R. ROSALES-CÁRDENAS. 2008. *Aspectos ecológicos y de conservación de la familia orchidaceae de la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz, México.* Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México.

PÉREZ-BRAVO, R., G. A. SALAZAR Y E. MORA-GUZMÁN. 2010. Orquídeas de Las Lomas-La Manzanilla, Sierra Madre Oriental, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 87: 125-129.

PHILLIPS, S. J. Y M. DUDÍK. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.

RZEDOWSKI, J. 2006. *Vegetación de México.* 1a. edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 pp.

SARKAR, S. Y C. MARGULES. 2002. Operationalizing biodiversity for conservation planning. *Journal of Biosciences* 27: 299–308.

SEDESMA. 2007. Programa de Manejo de la reserva ecológica Sierra de Otontepec. Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente. Gobierno del Estado de Veracruz, Veracruz, México.

SOBERÓN, J. Y M. NAKAMURA. 2009. *Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions.* Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 106 Suppl: 19644-19650.

SOTO-ARENAS, M. A., E. HÁGSATER, JIMÉNEZ-MACHORRO, R. SALAZAR-CHÁVEZ, G. SOLANO, R. FLORES-GONZÁLEZ E I. RUIZ-CONTRERAS. 2007. *Las Orquídeas de México.* Catálogo Digital. Herbario AMO, Instituto Chinoin, A. C., México.

TEJEDA-SARTORIUS, O. Y M. DE LOS Á. A. TÉLLEZ-VELASCO. 2017. Richness of the Orchidaceae family in a cloud forest of Chocamán, Veracruz, Mexico. *Acta Botánica Mexicana* 121: 139-149.

THE PLANT LIST. 2013. Versión 1.1. Disponible en: http://www.theplantlist.org/ [Consultado el 29 de julio de 2018].

TROPICOS MISSOURI BOTANICAL GARDEN. 2017. Tropicos. Disponible en: http://www.tropicos.org [Consultado el 23 de noviembre de 2017].

VICCON-ESQUIVEL, J. Y T. KRÖMER. 2012. Inventario de orquídeas como fuente de información para la conservación de los bosques mesófilos de Atzalán y Zongolica, Veracruz. En Téllez-V., M. A. A. (ed.), *Conservación de Orquídeas en México*, pp. 59-64. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

WESTWOOD, A. R., C. L. BORKOWSKY Y K. E. BUDNICK. 2011. Seasonal Variation in the Nectar Sugar Concentration and Nectar Quantity in the Western Prairie Fringed Orchid, *Platanthera praeclara* (Orchidaceae). *Rhodora* 113: 201–219.

ZOTZ, G. 2013. The systematic distribution of vascular epiphytes – a critical update. *Botanical Journal of the Linnean Society* 171: 453-481.

Capítulo 5

Caracterización ambiental de *Ceratozamia huastecorum* (Zamiaceae) empleando Sistemas de Información Geográfica

Environmental characterization of Ceratozamia huastecorum (Zamiaceae) using Geographic Information Systems

Francisco Limón Salvador[1]*
José Luis Alanís Méndez[1]
Ivette Alicia Chamorro Florescano[1]
Maribel Ortiz Domínguez[1]

Resumen. Las cícadas (Cycadales) son plantas que representan un linaje evolutivo muy antiguo, su distribución actual parece ser el resultado de contracciones históricas, de un área mayor. Algunos estudios han observado que las condiciones ambientales tienen un impacto en la distribución y persistencia de las cícadas. *Ceratozamia huastecorum* se distribuye al norte de Veracruz dentro de un Área Natural Protegida, a pesar de ser una especie microendémica, es prácticamente nula la información

1 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica-Tuxpan, Universidad Veracruzana. Carretera Tuxpan-Tampico, km. 7.5, col. Universitaria, CP 92860, Tuxpan, Veracruz, México. Email: flimon@uv.mx (FLS) * Autor para correspondencia.

que se tiene sobre ella. El objetivo del estudio fue describir las condiciones ambientales donde se distribuye *C. huastecorum*, a partir de bases de datos procesadas dentro de Sistemas de Información Geográfica. Los resultados describen información para 58 variables ambientales (temperatura, precipitación, edáficas, entre otras) y registró que la especie cubre un área muy restringida. Nuestra investigación detalla condiciones climáticas muy particulares que podrían determinar la distribución de la especie, por lo tanto, se recomienda buscar medidas que promuevan su conservación *in-situ* y *ex-situ* a fin de garantizar su permanencia a largo plazo.

Palabras clave: cícadas mexicanas, conservación, cycadales, microendemismo, SIG.

Abstract. Cycads (Cycadales) are plants that represent a very ancient evolutionary lineage, their current distribution seems to be the result of historical contractions, of a larger area. Some studies have observed that environmental conditions have an impact on the distribution and persistence of cycads. *Ceratozamia huastecorum* is distributed north of Veracruz within a Protected Natural Area, in spite of being a microendemic species, there is practically no information about it. The objective of the study was to describe the environmental conditions where *C. huastecorum* is distributed, based on databases processed within Geographic Information Systems. The results describe information for 58 environmental variables (temperature, precipitation, edaphic, among others) and recorded that the distribution of the species was very restricted with few individuals. Our research suggests that there are very specific climatic conditions that determine the distribution of the species, therefore it is recommended to look for measures that promote its conservation *in-situ* and *ex-situ* in order to guarantee its long-term permanence.

Key words: conservation, cycadales, GIS, mexican cycads, microendemism.

INTRODUCCIÓN

Las cícadas (Cycadales)

Pertenecientes al orden Cycadales, las cícadas son plantas dióicas con estructuras reproductivas de forma cilíndrica o de cono, se caracterizan por su crecimiento lento; sus tallos pueden ser subterráneos o arborescentes, lo cual, junto con la distribución y aspecto de sus hojas, dan la apariencia de ser palmas (Whitelock, 2002). Forman parte de un linaje muy antiguo y ampliamente distribuido en el pasado con una antigüedad entre 325 y 250 millones de años (Zhifeng y Thomas, 1989; Brenner *et al*., 2003; Hermsen *et al*., 2007). Actualmente, se reconocen 351 especies, repartidas en dos familias taxonómicas cuya distribución comprende las zonas tropicales y subtropicales del mundo (Norstog y Nicholls, 1997; Calonje *et al*., 2018), sin embargo, en la mayoría de especies sus poblaciones son escasas, aisladas, en forma de relictos y con muy pocos individuos, por lo que en la actualidad se considera como uno de los grupos biológicos más amenazados del planeta (Cascasan y Marler, 2016; Mankga y Yessoufou, 2017). Es por ello que están protegidas de extracción, comercio y tráfico a través de tratados internacionales (Donaldson, 2003; CITES, 2013) y nacionales (Semarnat, 2010).

Las cícadas en México

En México, todas las cícadas pertenecen a la misma familia: Zamiaceae, representadas en los géneros *Ceratozamia, Dioon* y *Zamia* (Nicolalde-Morejón *et al*., 2014). Son un grupo biológico importante, ya que ocupa México el segundo lugar en diversidad de cícadas, muchas de sus especies son endémicas y están restringidas a ciertas condiciones geográficas y ambientales del país (Nicolalde-Morejón *et al*., 2014). En *Ceratozamia*, la gran mayoría de sus especies son endémicas a México (excepto *C. hondurensis, C. matudae* y *C. robusta*) y por ello es considerado el centro de diversidad del género (Vovides *et al*., 2004; Nicolalde Morejón *et al*., 2014). Geográficamente las especies de *Ceratozamia* se

ubican principalmente a lo largo de la Sierra Madre Oriental y sureste de México, en los estados de Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Tabasco (Martínez-Domínguez *et al*., 2018). En años recientes el estudio de sus especies ha tomado la atención de investigaciones, principalmente en torno a la taxonomía del grupo (Vovides *et al*., 2004, 2008, 2016; Pérez-Farrera *et al*., 2009, 2017; Martínez-Domínguez *et al*., 2018), sin embargo, los estudios al interior de las especies (poblacionales e intrapoblacionales) aún son muy restringidos.

Variación ambiental en cícadas

Desde hace tiempo se ha propuesto que la distribución actual de las cícadas es resultado de contracciones de distribuciones pasadas más extensas, debido principalmente a cambios en el clima (Bond, 1989; Byrne *et al*., 2011), por ello son consideradas relictos climáticos. Preece *et al*. (2007) evaluaron la distribución de *Macrozamia macdonnellii* sobre aspectos ambientales e identificaron que las características microclimáticas fueron el principal factor limitante (sombra alta, temperatura mínima óptima, pendientes pronunciadas, alta humedad, distancias cortas a las líneas de drenaje y suelos esqueléticos). En especies del género *Dioon*, el clima parece jugar un papel muy importante en la variación de rasgos cuticulares y estomatales, como adaptaciones de una influencia a largo plazo del clima, ya que parecen tener correlación con las condiciones climáticas en relación con su biogeografía (Vovides *et al*., 2018).

El efecto que tiene el ambiente sobre aspectos morfológicos y demográficos ha sido estudiado en cícadas, sin embargo, debido a la dificultad para dar seguimiento a los estudios por el lento crecimiento de las especies, ha causado que la información disponible sea escasa. *Zamia pumila* fue evaluada en diferentes poblaciones del Caribe y se observó que las diferencias a la exposición de la luz solar tienen un efecto sobre la forma de los folíolos (Newell, 1986, 1987, 1989). En *Zamia skinneri,* una especie que se encuentra en el sotobosque del bosque tropical lluvioso se evaluó la incidencia de luz que entra por el dosel sobre la capacidad reproductiva (estróbilos) y producción de hojas. Los resultados indica-

ron que la incidencia de luz tiene un impacto significativo sobre estos atributos (Clark y Clark, 1987, 1988).

Otros estudios han relacionado variables ambientales con la estructura y tamaños poblacionales en *Dioon sonorense*, concluyendo que la pendiente y el potasio explicaron moderadamente la variación en la abundancia y la persistencia de la especie, la cual puede estar comprometida por ubicarse en ambientes de baja calidad (Álvarez-Yépiz *et al*., 2011), en línea con lo anterior, otro estudio encontró que el nitrógeno, disponibilidad de agua y fertilidad del suelo son variables importantes durante las fases del desarrollo en *D. sonorense*. Por lo que las respuestas funcionales de las plantas al estrés hídrico pueden ser altamente sensibles a la ubicación topográfica, lo que afecta la fertilidad del suelo y los niveles de humedad (Álvarez-Yépiz *et al*., 2014). La evidencia anterior señala que entender las condiciones del ambiente donde se desarrollan las poblaciones tiene implicaciones en el mantenimiento de la especie y por lo tanto a su conservación, dado que el ambiente afecta el crecimiento y reproducción en las cícadas.

Especie de estudio

Ceratozamia huastecorum Avendaño, Vovides & Cast.-Campos, es una especie de tamaño pequeño, sus hojas son coriáceas de color verde brillante, dispuestas en pares de 5 a 16 folíolos (Avendaño *et al*., 2003). Su epíteto específico hace referencia a la región étnica donde se distribuye la especie: Huasteca, al norte de Veracruz. Es una especie microendémica debido a que se encuentra restringida a una pequeña región montañosa con solo una población conocida de un área de ocupación menor a 10 km² al norte de Veracruz. Por estas condiciones ha sido catalogada como críticamente amenazada (B2ab(iii,v) ver 3.1) por la IUCN (Vovides, 2010).

De forma cronológica, los primeros registros de esta especie se realizaron entre 1981-1982 por Gonzalo Castillo-Campos, y otros quienes realizaron algunas visitas a la localidad (Vovides, 1997; Lorea Hernández *et al*., 2014), y posteriormente se realizaron algunas colectas por Pedro

Zamora en 1989 (Instituto de Biología, 2010); luego de una revisión del grupo la especie fue descrita por Avendaño *et al.* (2003). De ese tiempo a la fecha (15 años), no existen estudios realizados sobre la especie. Es importante mencionar que el estado de Veracruz ha sido uno de lo más alterados y con modificaciones en el hábitat del país (Gómez-Díaz *et al.*, 2018), por lo que el riesgo que enfrenta la especie es alto.

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los sistemas de información geográfica han sido diseñados para una variedad de propósitos en diferentes ámbitos del conocimiento (Konecny, 2002), algunos de sus usos están aplicados a la gestión del agua, la agricultura, la conservación, el manejo del ambiente y los recursos naturales (Ruiz *et al.*, 2017). En estudios ambientales el uso de la tecnología SIG, es una estrategia que se ha convertido rápidamente en un instrumento muy útil, ya que permiten conocer la diversidad ecológica del sitio (Haines-Young *et al.*, 2003), entre otros motivos, por la posibilidad de adquirir variables ambientales a partir de diferentes receptores, bases de datos e instrumentos de percepción remota (Chuvieco-Salinero, 2008; Pettorelli *et al.*, 2014, 2016; Nieto Masot, 2016).

En lugares de difícil acceso, o por las características físicas del lugar, obtener mediciones *in situ*, de parámetros ambientales que describan a una especie puede ser muy complejo; por ello, en el presente estudio el objetivo fue caracterizar las condiciones ambientales donde habita *Ceratozamia huastecorum* a través de diferentes variables ambientales, a partir del uso de información derivada de los sistemas de información geográfica (SIG).

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El Área Natural Protegida (ANP) Sierra de Otontepec se ubica en la zona norte del estado de Veracruz, alcanza los 1,300 msnm en su parte más

alta, la cual contrasta con el resto del paisaje que es mayormente planicie (Mapa 1). Lo complejo de su orografía ha dificultado la alteración de su paisaje por actividades antrópicas, lo cual ha permitido conservar diferentes tipos de ecosistemas, entre los más importantes son el bosque de encino, bosque tropical perennifolio y bosque mesófilo de montaña (Rzedowski, 2006), los cuales representan en la actualidad reservorios de biodiversidad dentro de una zona altamente modificada por actividades de citricultura y ganadería (Castillo-Campos y Medina-Abreo, 1996).

Muestreo

En abril del 2018 se realizaron recorridos para registrar la presencia actual de *C. huastecorum*. A partir de las observaciones se tomaron las coordenadas de cada uno de los individuos observados, usando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS GARMIN 60CSx). Adicionalmente, se tomaron fotografías y frondas de los ejemplares para ser depositados en el herbario de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, en Tuxpan, Veracruz. Los ejemplares fueron registrados a nombre del primer autor como colector, con la ficha correspondiente.

Caracterización ambiental

En la caracterización ambiental se usaron 58 variables, entre diferentes aspectos, los cuales incluyeron variables de elevación (INEGI, 2013), temperatura (Hijmans *et al*., 2005), precipitación (Hijmans *et al*., 2005), radiación ambiental (Kriticos *et al*., 2011), índice de humedad (Kriticos *et al*., 2011), Evapotranspiración potencial e índice de aridez global (Trabucco y Zomer, 2009) y variables edafológicas (Global Soil Data Task Group, 2000; Cruz-Cárdenas *et al*., 2014; Wieder *et al*., 2014). Las variables fueron obtenidas en formato ráster, usando valores continuos en sus respectivas unidades (Cuadro 1).

Análisis de la información

Dentro de un SIG (QGIS v2.18), cada una de las capas ambientales se cargó y sobre ella se ubicaron las georreferencias obtenidas en campo. Con la función de extracción se adquirieron los valores de cada coordenada con el respectivo pixel del ráster. Todos los valores se almacenaron y se presentaron usando estadística descriptiva para representar las características promedio de la especie.

RESULTADOS

En la Sierra, tras la exploración, registramos agrupados a los individuos en dos subpoblaciones a dos altitudes (921 y 1,124 msnm), separadas por 2.18 km entre ellas (Figura 1). En la caracterización ambiental de

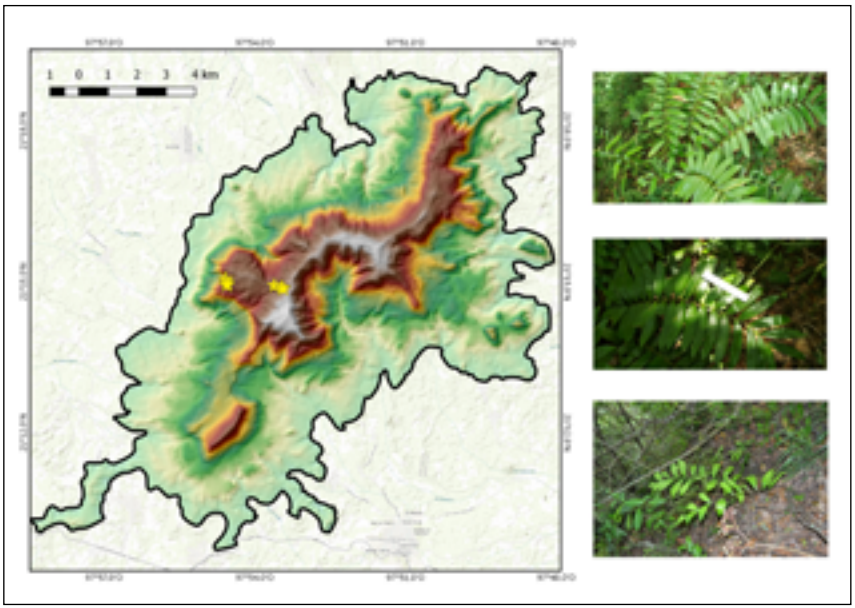


Figura 1. Mapa hipsográfico del área natural protegida Sierra de Otontepec, puntos de observación de *Ceratozamia huastecorum* (estrellas amarillas) y fotografías de los individuos *in situ*.

C. huastecorum se encontró que la variación en la elevación varió muy poco. La temperatura media anual promedio fue de 19.03 °C, con extremos de temperatura mínima del mes más frío 8.92 °C y temperatura máxima del mes más cálido 28.2 °C. La precipitación total anual de 2571.7 mm y radiación media anual 157.92 W/m². Respecto a variables edafológicas, el pH fue neutro 7.16, el carbono orgánico fue de 12.17 kg/m² y la materia orgánica de 5.26%, el resto de variables se detalla en el cuadro 1.

Cuadro 1. Categorías, código, unidades y resolución espacial, de las variables usadas para describir las condiciones ambientales de *Ceratozamia huastecorum*, con valores mínimos, máximos y promedio.

Categoría	Código	Variable	Mínimo	Máximo	Promedio	Unidades	Resolución espacial en km	Referencia
Elevación	DEM15m	Elevación	921	1124	1009.7	m	0.015 km	1
Temperatura	Bio01	Temperatura media anual	18.5	19.3	19.03	°C	1 km	2
Temperatura	Bio02	Rango de temperaturas diurnas	10.4	10.6	10.54	°C	1 km	2
Temperatura	Bio03	Isotermalidad	5.4	5.4	5.4	-	1 km	2
Temperatura	Bio04	Estacionalidad en la temperatura	288.4	298.4	294.6	-	1 km	2
Temperatura	Bio05	Temperatura máxima del mes más cálido	27.6	28.5	28.2	°C	1 km	2
Temperatura	Bio06	Temperatura mínima del mes más frío	8.5	9.1	8.92	°C	1 km	2

Categoría	Código	Variable	Mínimo	Máximo	Promedio	Unidades	Resolución espacial en km	Referencia
Temperatura	Bio07	Rango anual de temperatura	19.1	19.4	19.28	-	1 km	2
Temperatura	Bio08	Temperatura media del trimestre más lluvioso	20.8	21.8	21.47	°C	1 km	2
Temperatura	Bio09	Temperatura media del trimestre más seco	15.2	15.9	15.66	°C	1 km	2
Temperatura	Bio10	Temperatura media del trimestre más cálido	21.4	22.4	22.07	°C	1 km	2
Temperatura	Bio11	Temperatura media del trimestre más frío	14.3	15	14.76	°C	1 km	2
Precipitación	Bio12	Precipitación anual	2521	2676	2571.7	mm	1 km	2
Precipitación	Bio13	Precipitación del mes más lluvioso	521	560	533.9	mm	1 km	2
Precipitación	Bio14	Precipitación del mes más seco	73	75	73.6	mm	1 km	2
Precipitación	Bio15	Estacionalidad en la precipitación	68	69	68.3	CV	1 km	2
Precipitación	Bio16	Precipitación del trimestre más lluvioso	1178	1270	1208	mm	1 km	2
Precipitación	Bio17	Precipitación del trimestre más seco	232	239	234.4	mm	1 km	2

Categoría	Código	Variable	Mínimo	Máximo	Promedio	Unidades	Resolución espacial en km	Referencia
Precipitación	Bio18	Precipitación del trimestre más cálido	848	892	862.4	mm	1 km	2
Precipitación	Bio19	Precipitación del trimestre más frío	256	267	259.9	mm	1 km	2
Radiación	Bio20	Radiación media anual	157.2	157.92	157.92	W m^2	20 km	3
Radiación	Bio21	Máxima radiación semanal	190.9	190.9	190.9	W m^2	20 km	3
Radiación	Bio22	Radiación semanal más baja	113.52	113.52	113.52	W m^2	20 km	3
Radiación	Bio23	Estacionalidad de la radiación	0.173	0.173	0.173	CV	20 km	3
Radiación	Bio24	Radiación del trimestre más húmedo	175.67	175.67	175.67	W m^2	20 km	3
Radiación	Bio25	Radiación del trimestre más seco	145.61	145.61	145.61	W m^2	20 km	3
Radiación	Bio26	Radiación del trimestre más cálido	189.28	189.28	189.28	W m^2	20 km	3
Radiación	Bio27	Radiación del trimestre más frío	124.06	124.06	124.06	Wm^2	20 km	3
Índice de Humedad	Bio28	Índice de humedad media anual	0.989	0.989	0.989	-	20 km	3
Índice de Humedad	Bio29	Máximo índice de humedad semanal	1.52	1.52	1.52	-	20 km	3

Categoría	Código	Variable	Mínimo	Máximo	Promedio	Unidades	Reso-lución espacial en km	Refe-rencia
Índice de Humedad	Bio30	El indice de humedad semanal más bajo	0.55	0.55	0.55	-	20 km	3
Índice de Humedad	Bio31	Índice de humedad estaciona-lidad	0.256	0.256	0.256	CV	20 km 3	
Índice de Humedad	Bio32	Índice medio de hume-dad del trimestre más húmedo	1.29	1.29	1.29	-	20 km	3
Índice de Humedad	Bio33	Índice medio de hume-dad del trimestre más seco	0.63	0.63	0.63	-	20 km	3
Índice de Humedad	Bio34	Índice medio de hume-dad del trimestre más cálido	1.13	1.13	1.13	-	20 km	3
Índice de Humedad	Bio35	Índice medio de hume-dad del trimestre más frío	0.196	0.196	0.196	-	20 km	3
Índice de Humedad	PET-Global	Evapo-transpi-ración potencial	1392	1435	1414		1 km	4
Índice de Humedad	AI-GLobal	Índice de aridez global	16871	18750	17787.2		1 km	4
Edafología	Ca	Calcio	1.62	1.65	1.63	cmol/L1	1 km	5
Edafología	OC	Carbono orgánico	12.15	12.18	12.17	kgm^2	1 km	5
Edafología	EC	Conduc-tividad eléctrica	0.188	0.19	0.189	dS/m1	1 km	5
Edafología	Mg	Magnesio	0.225	0.225	0.225	cmol/L1	1 km	5

Categoría	Código	Variable	Mínimo	Máximo	Promedio	Unidades	Resolución espacial en km	Referencia
Edafología	pH	pH	7.16	7.16	7.16	-	1 km	5
Edafología	K	Potasio	0.124	0.127	0.126	cmol/L1	1 km	5
Edafología	Na	Sodio	0.244	0.245	0.244	cmol/L1	1 km	5
Edafología	SAR	Radio de absorción de sodio	0.313	0.314	0.314	%	1 km	5
Edafología	T_ BULK_ DEN	Densidad aparente	1.1	1.5	1.42	kg/dm3	5 km	6
Edafología	T_CEC_ CLAY	Capacidad de intercambio catiónico de la fracción arcillosa	44	44	44	cmol per kg	5 km	6
Edafología	T_SAND	Fracción de Arena	27	51	46.2	% peso	5 kg	6
Edafología	T_SILT	Fracción de Limo	20	41	36.8	% peso	5 kg	6
Edafología	T_CLAY	Fracción de Arcilla	8	53	17	% peso	5 km	6
Edafología	T_GRAVEL	Contenido de grava	4	9	8	% peso	5 km	6
Edafología	Fieldcap	Capacidad de campo	391.89	391.89	391.89	mm	10 km	7
Edafología	Pawc	Capacidad de agua disponible	215.71	215.71	215.71	mm	10 km	7
Edafología	Thermcap	Capacidad Térmica	1.22	1.22	1.22	kg/m^2	10 km	7
Edafología	Totaln	Densidad de Nitrógeno Total	1397.84	1397.84	1397.84	J/m3/K	10 km	7
Edafología	Wiltpont	Punto de marchitamiento	176.17	176.17	176.17	mm	10 km	7

CV = Coeficiente de variación. 1. INEGI 2013; 2. Hijmans *et al*., 2005; 3. Kriticos *et al*., 2012; 4. Trabucco y Zomer 2009; 5. Cruz-Cárdenas *et al*., 2014; 6. Wieder *et al*., 2014; 7. Global Soil Data Task Group 2000; INEGI 2013; 2. Hijmans *et al*., 2005; 3. Kriticos *et al*., 2012; 4. Trabucco y Zomer 2009; 5. Cruz-Cárdenas *et al*., 2014; 6.Wieder *et al*., 2014; 7. Global Soil Data Task Group 2000.

DISCUSIÓN

Durante décadas, el estado de Veracruz ha sufrido grandes modificaciones en relación con cambios de uso de suelo, particularmente en la zona norte. La única población conocida de *C. huastecorum* está presente en un área de difícil acceso, pero que ha permitido con ello mantenerla protegida. Actualmente, se desconocen aspectos ambientales que pudieran ayudar a entender sus requerimientos con fines de conservación. Por ello caracterizamos ambientalmente las condiciones donde habita *C. huastecorum*, usando diferentes variables a partir de Sistemas de Información Geográfica. Nuestro estudio aporta información detallada sobre las características ambientales que determinan la distribución de la especie.

En el ANP el tipo de vegetación que rodeaba a los individuos fue pino-encino y ecotonos de bosque mesófilo de montaña. Gran parte del género *Ceratozamia* se distribuye a lo largo de la Sierra Madre Oriental (Vovides *et al*., 2004; Martínez-Domínguez *et al*., 2018), particularmente ocupando este tipo de ecosistemas (Moretti *et al*., 1981; Balduzzi *et al*., 1982; Vovides *et al*., 2004). En nuestro estudio, los individuos fueron muy escasos y siempre fueron registrados creciendo junto a laderas, formando agregados de unos cuantos individuos. Adicionalmente, la mayor distancia entre individuos fue de 2.18 km a pesar de que se hicieron recorridos en varios días para conocer toda su extensión.

Lo anterior tiene implicaciones en al menos dos aspectos importantes, el primero relacionado con la extensión de la especie, Vovides (2010) estimó que la ocupación de la especie era de 10 km^2 aproximadamente; la extensión de la Sierra de Otontepec es de 151.52 km^2, esto es, sólo 6% del área que cubre el ANP, sin embargo, sobre la base de nuestros resultados, la distribución de la especie podría ser aún más reducida de lo que originalmente se pensaba. Lo cual hace vulnerable la persistencia de la especie.

Segundo, la distribución tan reducida de la especie podría deberse a alta especificidad de hábitat, ecológicamente se sabe que *Ceratozamia* requiere condiciones de abundante humedad (Martínez-Domínguez *et al*., 2018), por ejemplo, en *Macrozamia macdonnellii* (otra cícada de la

misma familia) se ha podido relacionar cómo impactan las condiciones ambientales (particularmente sombra) sobre su distribución (Preece *et al.*, 2007). En *C. huastecorum*, tal información aún se desconoce, por lo que aproximaciones como la presente aportan información sobre las condiciones climáticas o microclimáticas que requiere la especie, estas condiciones podrían ser muy específicas, dado que no en toda el área de bosque de pino-encino ni bosque mesófilo encontramos individuos.

Nuestro estudio aporta información ambiental de numerosos aspectos ambientales que podrían ayudar a caracterizar condiciones necesarias para el hábitat de *C. huastecorum*, en este sentido, disponer de un elevado número de variables permite no sólo describir las condiciones de la especie, sino la oportunidad de monitorear para conservar el ambiente con estas características *in situ*, así como si se realiza conservación *ex situ*, ya que podrían servir para simular sus condiciones óptimas. Dado que nuestro estudio no manipuló ninguna de las variables con relación a atributos demográficos o de adecuación de la especie, no fue posible conocer cuál de las variables descritas sería más importante para la conservación de *C. huastecorum*, por lo que se requieren estudios más detallados que permitan realizar mayores inferencias. Finalmente, sería importante desarrollar trabajos a largo plazo para disponer mayor información desde la biología de la especie hacia estrategias de conservación, entre algunas de ellas podrían incluirse el cultivo *ex-situ* de la especie y la búsqueda de nuevas poblaciones, para asegurar la preservación de la especie.

CONCLUSIONES

Con este estudio proporcionamos la primera aproximación a los parámetros ambientales que describen las condiciones del hábitat que ocupa *C. huastecorum*, así como información relacionada al área de ocupación de la especie que evidencia que ésta es muy reducida y posiblemente obedece a condiciones particulares del ambiente. Basados en este conocimiento, se recomienda desarrollar estrategias para garantizar la conservación de la especie a largo plazo.

Es necesario investigar sobre los efectos micro ambientales y aspectos demográficos que puedan utilizarse para reducir el riesgo de desaparecer esta especie microendémica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Jonathan Gilberto Zavala-Pérez, Ricardo Cortés-Hernández, José Juan Vega-García y Yesenia Quiroz-Zumaya por su apoyo en las salidas de campo. El primer autor agradece a Fabiola López Loyde por todo el apoyo y a la Maestría en Ciencias del Ambiente de la Universidad Veracruzana (UV), por una beca postdoctoral (2018-2019) para llevar a cabo esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ-YÉPIZ, J. C., A. CUEVA, M. DOVIAK, M. TEECE Y E. A. YEPEZ. 2014. Ontogenetic resource-use strategies in a rare long-lived cycad along environmental gradients. *Conservation Physiology* 2: 1-10.

ÁLVAREZ-YÉPIZ, J. C., M. DOVIAK Y A. BÚRQUEZ. 2011. Persistence of a rare ancient cycad: effects of environment and demography. *Biological Conservation* 144: 122-130.

AVENDAÑO, S., A. P. VOVIDES Y G. CASTILLO-CAMPOS. 2003. A new species of *Ceratozamia* (Zamiaceae, Cycadales) from Veracruz, Mexico. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141: 395-398.

BALDUZZI, A., P. DE LUCA Y S. SABATO. 1982. A phytogeographical approach to the New World Cycads. *Delpinoa*, ns 24: 185-202.

BOND, W. J. 1989. The tortoise and the hare: ecology of angiosperm dominance and gymnosperm persistence. *Biological Journal of the Linnean Society* 36: 227-249.

BRENNER, E. D., D. W. STEVENSON, R. W. MCCOMBIE, M. S. KATARI, S. A. RUDD, K. F. X. MAYER, P. M. PALENCHAR, S. J. RUNKO, R. W. TWIGG, G. DAI, R. A. MARTIENSSEN, P. N. BENFEY Y G. M. CORUZZI. 2003. Expressed sequence tag analysis in Cycas, the most primitive living seed plant. *Genome Biology* 4: R78.

BYRNE, M., D. A. STEANE, L. JOSEPH, D. K. YEATES, G. J. JORDAN, D. CRAYN, K. APLIN, D. J. CANTRILL, L. G. COOK, M. D. CRISP, J. S. KEOGH, J. MEL-

VILLE, C. MORITZ, N. PORCH, J. M. K. SNIDERMAN, P. SUNNUCKS Y P. H. WESTON. 2011. Decline of a biome: evolution, contraction, fragmentation, extinction and invasion of the Australian mesic zone biota. *Journal of Biogeography* 38: 1635-1656.

CALONJE, M., D. W. STEVENSON Y L. STANBERG. 2018. *The World List of Cycads*.

CASCASAN, A. N. Y T. E. MARLER. 2016. Publishing trends for the Cycadales, the most threatened plant group. *Journal of Threatened Taxa* 8: 8575-8582.

CASTILLO-CAMPOS, C. G. Y M. E. MEDINA-ABREO. 1996. La vegetación de la sierra de Tantima-Otontepec, Veracruz, México. *La Ciencia y el Hombre* 8: 45-67.

CHUVIECO-SALINERO, E. 2008. *Teledetección ambiental : la observación de la Tierra desde el espacio*. 3a ed. Ariel, Barcelona.

CITES. 2013. The CITES species. Available online at: https://www.cites.org/eng/disc/species.php

CLARK, D. Y D. CLARK. 1987. Temporal and Environmental Patterns of Reproduction in *Zamia skinneri*, a Tropical Rain-Forest Cycad. *Journal of Ecology* 75: 135-149.

CLARK, D. Y D. CLARK. 1988. Leaf production and the cost of reproduction in the Neotropical Rain-Forest Cycad, *Zamia skinneri*. *Journal of Ecology* 76: 1153-1163.

CRUZ-CÁRDENAS, G., L. LÓPEZ-MATA, C. A. ORTIZ-SOLORIO, J. L. VILLASEÑOR, E. ORTIZ, J. T. SILVA Y. F ESTRADA-GODOY. 2014. Interpolation of Mexican soil properties at a scale of 1:1,000,000. *Geoderma* 213: 29-35.

DONALDSON, J. S. 2003. *Cycads: status survey and conservation action plan*. 1a ed. J. S. Donaldson (Ed.). IUCN/SSC Cycad Specialist Group, Cambridge, UK.

GLOBAL SOIL DATA TASK GROUP. 2000. *Global Gridded Surfaces of Selected Soil Characteristics (IGBPDIS), International Geosphere-Biosphere Programme-Data and Information Services*. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, available online at: http://www. daac. ornl. gov.

GÓMEZ-DÍAZ, J. A., K. BRAST, J. DEGENER, T. KRÖMER, E. ELLIS, F. HEITKAMP Y G. GEROLD. 2018. Long-Term Changes in Forest Cover in Central Veracruz, Mexico (1993-2014). *Tropical Conservation Science* 11: 1940082918771089.

HAINES-YOUNG, R, D. R. GREEN Y S. H. COUSINS. 2003. *Landscape Ecology And Geographical Information Systems CRC Press*. Taylor & Francis, London.

HERMSEN, E, T. N. TAYLOR, E. L. TAYLOR Y D. W. STEVENSON. 2007. Cycads from the Triassic of Antarctica: Permineralized Cycad Leaves. *International Journal of Plant Sciences* 168: 1099-1112.

HIJMANS, R. J., S. E. CAMERON, J. L. PARRA, P. G. JONES Y A. JARVIS. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.

INEGI. 2013. *Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0)*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, Mexico.

INSTITUTO DE BIOLOGÍA. 2010. *Ceratozamia mexicana var. latifolia (Miq.) Schuster - IBUNAM:MEXU:PV729770*. México.

KONECNY, G. 2002. *Geoinformation: Remote Sensing, Photogrammetry and Geographical Information Systems.* 1st Editio. G. Konecny (Ed.). CRC Press, London.

KRITICOS, D. J., B. L. WEBBER, A. LERICHE, N. OTA, I. MACADAM, J. BATHOLS Y J. K. SCOTT. 2011. CliMond: global high-resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. *Methods in Ecology and Evolution* 3: 53-64.

LOREA-HERNÁNDEZ, F., M. PEREDO Y C. DURÁN. 2014. *Actualización de las bases de datos del Herbario XAL. Fase III.* Base de datos SNIB-CONABIO proyectos núm. AA002, U021, K004. México.

MANKGA, L. T. Y K. YESSOUFOU. 2017. Factors driving the global decline of cycad diversity. AoB Plants 9: plx022.

MARTÍNEZ-DOMÍNGUEZ, L, F. NICOLALDE-MOREJÓN, F. VERGARA-SILVA, Y D. W. STEVENSON. 2018. Taxonomic review of *Ceratozamia* (Zamiaceae) in the Sierra Madre Oriental, Mexico. *PhytoKeys* 100: 91-124.

MORETTI, A, S. SABATO Y M. VÁZQUEZ TORRES. 1981. The distribution of *Ceratozamia* Brongn. (Zamiaceae). *Delpinoa* 21-22: 13-21.

NEWELL, S. 1987. Effect of Position Within a Leaf on Leaflet Morphology in Caribbean *Zamia L. American Journal of Botany* 74: 662-663.

NEWELL, S. J. 1986. Variation in leaf morphology among three populations of *Zamia L.* in Puerto Rico. *Taxon* 35: 234-242.

NEWELL, S. J. 1989. Effects of Position within a Leaf on Leaflet Morphology in Eight Populations of Caribbean Cycads (*Zamia L.*). *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 116: 229–239.

NICOLALDE-MOREJÓN, F., J. GONZÁLEZ-ASTORGA, F. VERGARA-SILVA, D. W. STEVENSON, O. ROJAS-SOTO Y A. MEDINA-VILLARREAL. 2014. Biodiversidad de Zamiaceae en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: S114-S125.

NIETO MASOT, A. 2016. *Tecnologías de la Información Geográfica en el Análisis Espacial. Aplicaciones en los Sectores Público, Empresarial y Universitario.* 1a ed. A. Nieto Masot (Ed.). Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial de la Universidad de Extremadura, Extremadura, España.

SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental-Especies nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-Categorías de Riesgo y Especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 56, 2ª. Sec.: 1-85.

NORSTOG, K. J. Y T. J. NICHOLLS. 1997. *The Biology of the Cycads*. Cornell University Press, Ithaca, Nueva York.

PÉREZ-FARRERA, M. A., A. P. VOVIDES, D. GONZÁLEZ, S. LÓPEZ, L. HERNÁNDEZ-SANDOVAL Y M. MARTÍNEZ. 2017. Estimation of genetic variation in closely related cycad species in *Ceratozamia* (Zamiaceae: Cycadales) using RAPDs markers. *Revista de Biología Tropical* 65: 303-319.

PÉREZ-FARRERA, M. A., A. P. VOVIDES, R. MARTÍNEZ-CAMILO, N. MARTÍNEZ MELÉNDEZ Y C. IGLESIAS. 2009. A reassessment of the *Ceratozamia miqueliana* species complex (Zamiaceae) of southeastern Mexico, with comments on species relationships. *Systematics and Biodiversity* 7: 433-443.

PETTORELLI N., M. WEGMANN, A. SKIDMORE, S. MUCHER, T. DAWSON, M. FERNÁNDEZ, R. LUCAS, M. SCHAEPMAN, T. WANG, B. O`CONNOR, R. JONGMAN, P. KEMPENEERS, R. SONNENSCHEIN, A. LEIDNER, M. BÖHM, K. HE, H. NAGENDRA, G. DUBOIS, T. FATOYINBO, M. HANSEN, M. PAGANINI H. DE KLERK, G. ASNER, J. KERR, A. ESTES, U. HEIDEN, D. SCHMELLER, D. ROCCHINI, H. PEREIRA, E. TURAK, N. FERNÁNDEZ, A. LAUSCH, M. CHO, D. ALCARAZ-SEGURA, M. MCGEOCH, W. TURNER, A. MUELLER, V. ST-LOUIS, J. PENNER, P. VIHERVAARA, A. BELWARD, B. REYERS Y G. GELLER. 2016. Framing the concept of satellite remote sensing essential biodiversity variables: challenges and future directions. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 2: 122–131.

PETTORELLI, N., K. SAFI Y W. TURNER. 2014. *Satellite remote sensing, biodiversity research and conservation of the future.* Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 369: 20130190.

PREECE, L. D., A. W. DUGUID Y D. E. ALBRECHT. 2007. Environmental determinants of a restricted cycad in central Australia, *Macrozamia macdonnellii*. *Australian Journal of Botany* 55: 601–607.

RUIZ, L. Á., J. ESTORNELL Y M. ERENA. 2017. *Teledetección: Nuevas plataformas y sensores aplicados a la gestión del agua, la agricultura y el medio ambiente*. L. Á. Ruiz, J. Estornell y M. Erena (Eds.). Universitat Politècnica De València, Valencia, España.

RZEDOWSKI, J. 2006. *Vegetación de México.* 1a. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 pp.

TRABUCCO, A. Y R. J. ZOMER. 2009. *Global aridity index (global-aridity) and global potential evapo-transpiration (global-PET) geospatial database.* CGIAR-CSI Consortium for Spatial Information.

VOVIDES, A. P. 2010. *Ceratozamia huastecorum*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T178875A7632963.

VOVIDES, A. P. 1997. *Actualización de las bases de datos de colecciones, especies en peligro de extinción, colecta y propagación de germoplasma.* Bases de datos SNIB-Conabio proyecto núm.. B140. México.

VOVIDES, A. P., S. AVENDAÑO, M. A. PÉREZ-FARRERA Y J. GONZÁLEZ-ASTORGA. 2008. A new species of *Ceratozamia* (Cycadales, Zamiaceae) from Veracruz, Mexico. *Novon* 18: 109-114.

VOVIDES, A. P., J. A. R. CLUGSTON, J. S. GUTIÉRREZ-ORTEGA, M. A. PÉREZ-FARRERA, M. Y. SÁNCHEZ-TINOCO Y S. GALICIA. 2018. Epidermal morphology and leaflet anatomy of *Dioon* (Zamiaceae) with comments on climate and environment. *Flora* 239: 20-44.

VOVIDES, A. P., D. GONZÁLEZ, M. A. PÉREZ-FARRERA, S. AVENDAÑO Y C. BÁRCENAS. 2004. A review of research on the cycad genus *Ceratozamia* Brongn. (Zamiaceae) in Mexico. *Taxon* 53: 291-297.

VOVIDES, A. P., D. W. STEVENSON, M. A. PÉREZ-FARRERA, S. LÓPEZ, S. AVENDAÑO, M. A. PÉREZ-FARRERA, S. LÓPEZ, S. AVENDAÑO, M. A. PÉREZ-FARRERA, S. LÓPEZ Y S. AVENDAÑO. 2016. What is *Ceratozamia mexicana* (Zamiaceae)? *Botanical Sciences* 94: 419-429.

WHITELOCK, L. M. 2002. *The cycads.* Portland, Or.: Timber Press 374 pp.

WIEDER, W. R., J. BOEHNERT, G. B. BONAN Y M. LANGSETH. 2014. *Regridded Harmonized World Soil Database v1.2.* Oak Ridge, Tennessee, EUA.

ZHIFENG, G. Y B. A. THOMAS. 1989. A review of fossil cycad megasporophylls, with new evidence of *Crossozamia pomel* and its associated leaves from the lower permian of Taiyuan, China. *Review of Palaeobotany and Palynology* 60: 205-223.

Capítulo 6

Biomasa fustal de especies forestales del ejido San Nicolasillo

Stemwood Biomass of Forest Species from the ejido San Nicolasillo

José Isidro Melchor Marroquí[1]*
Jorge Luis Chagoya Fuentes[2]

Resumen. En el área natural protegida Sierra de Otontepec se evaluaron cuatro modelos alométricos para la estimación de la biomasa fustal, con el propósito de aportar herramientas para el manejo y aprovechamiento sustentable de las especies arbóreas que existen en el ejido San Nicolasillo. Mediante un muestreo al azar y sobre una imagen del satélite IKONOS (1:50,000) se trazó una cuadrícula dentro de la poligonal correspondiente al ejido, donde se ubicaron 24 parcelas de muestreo de 400 m^2, en las cuales se midieron el diámetro normal y la altura total del arbolado adulto. Se obtuvieron muestras de madera a 1.30 m para estimar la gravedad específica de la madera de cada especie y el volumen fustal de las especies arbóreas; con los datos de volumen se procesaron cuatro mo-

1 Campo Experimental Ixtacuaco, CIRGOC, INIFAP. Km. 4.5 Carretera Federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan, col. Rojo Gómez. CP 93600. Tlapacoyan, Veracruz, México. Email: melchor.jose@inifap.gob.mx (JIMM). * Autor para correspondencia.

2 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica-Tuxpan, Universidad Veracruzana. Carretera Tuxpan-Tampico, km. 7.5, col. Universitaria, CP 92860, Tuxpan, Veracruz, México. E-mail: jochagoya@uv.mx (JLCF).

delos matemáticos para predecir la biomasa maderable mediante regresión no lineal con el programa Statistica®, se seleccionó aquel con mayor coeficiente de determinación y menor error estándar. El volumen de la biomasa fustal estimado para todas las especies resultó ser de 215.94 m^3 en la superficie muestreada (9,600 m^2), por lo que se infiriere que en la superficie total del ejido San Nicolasillo (422.5 ha) existe una biomasa fustal de 91,234.6 m^3, de la cual *Q. lancifolia, B. alicastrum* y *P. schiedeana* presentaron los mayores valores con 98.32, 78.67 y 27.45 m^3, respectivamente. Para el caso de *B. alicastrum* y *Q. lancifolia*, el modelo con mejor ajuste fue el de la Fórmula Australiana, mientras que para *P. schiedeana, L. nobilis y G. ulmifolia*, el mejor modelo fue el de Schumacher y para *P. virginiana* resultó ser el de la Variable Logarítmica Combinada.

Palabras clave: *Brosimum alicastrum, Persea schiedeana, Quercus lancifolia*, modelo *Schumacher.*

Abstract. In order to providing tools for a sustainable management and use of tree species, which are developed in the Ejido San Nicolasillo, located within the ANP Sierra de Otontepec, different allometric models for estimation of stemwood biomass were evaluated. By random sampling on a satellite image (1:50,000) a grid was drawn on the ejido San Nicolasillo area, placing 24 sample plots of 400 m^2. Where normal diameter and total height for all adult trees were measured to estimate the stemwood volume. Wood samples were also obtained at 1.30 m to estimate the specific gravity of the wood. With the STATISCA program, by nonlinear regression four models to estimate the wood biomass were evaluated, selecting those that had the highest determination coefficient and the smallest standard error. The estimated volume of the stemwood biomass for all species in the sampled area (9,600 m^2) was 215.94 m^3. It can be inferred that in the total area of the Ejido San Nicolasillo (422.5 ha) there is a stemwood biomass of 91,234.6 m^3, Q. *lancifolia, B. alicastrum* and *P. schiedeana* had the highest values with 98.32, 78.67, 27.45 and m^3. For the case of *B. alicastrum* and *Q. lancifolia*, the best-fit model was that the Australian Formula, whereas for *P. schiedeana, L.*

nobilis and *G. ulmifolia*, the Schumacher model was the best, finally for *P. virginiana* the Combined Logarithmic Variable model was the best.

Key words: *Brosimum alicastrum, Persea schiedeana, Quercus lancifolia, Schumacher* model.

INTRODUCCIÓN

La utilización y conservación de los recursos forestales requiere información cualitativa y cuantitativa respecto de su estado actual y de su evolución en el tiempo. En general, la evaluación forestal genera información mayoritariamente de tipo cuantitativa, a menudo mezclada con atributos cualitativos. En este contexto, Aquino *et al.* (2015) mencionan que en la mayoría de los bosques neotropicales de México, se desconocen los reservorios y el potencial de almacenamiento de biomasa, razón por la cual se requiere realizar su cuantificación, dada su importancia en los estudios de productividad, ciclo de nutrientes, flujos de energía, almacenamiento y captura de carbono, disturbios naturales y antrópicos, así como en el monitoreo de la salud del bosque y el manejo forestal sustentable.

Por otra parte, la declaración de un área natural protegida (ANP) no significa la prohibición para el aprovechamiento económico de sus recursos naturales, sino que establece ciertas condiciones para su uso, las cuales están contenidas en los instrumentos de gestión del área. Para que un ANP pueda mantener su persistencia, es necesario darle un manejo silvícola que permita su regeneración natural extrayendo el arbolado sobremaduro que de cualquier forma morirá. En este contexto, cobra especial relevancia determinar el potencial de aprovechamiento bajo un régimen silvícola sustentable, lo cual puede lograrse mediante la aplicación de modelos alométricos, que son ecuaciones matemáticas para estimar el volumen, biomasa y carbono de especies arbóreas y arbustivas, en función de unas pocas variables de fácil medición, tales como el diámetro del tronco a la altura del pecho y/o la altura total (Segura y Andrade, 2008).

Gran parte de la incertidumbre en las estimaciones de la cantidad y la variación espacial de la biomasa en los bosques se debe a la falta de ecuaciones alométricas (Djomo *et al*., 2010). Por tanto, el desarrollo de este tipo de fórmulas algebraicas específicas para especies o grupos de especies, para condiciones locales o del sitio (Basuki *et al*., 2009), es importante para mejorar la precisión en la estimación no destructiva de la biomasa en la vegetación arbórea. Además, los estudios para generar ecuaciones de las especies nativas del trópico mexicano son escasos (Douterlungne *et al*., 2013), aunque para muchas especies se usan programas de plantaciones forestales comerciales, de restauración y de sistemas agroforestales.

Existen estudios donde se ajustaron modelos lineales y no lineales, para generar ecuaciones alométricas y estimar biomasa en el bosque tropical seco en la península de Yucatán (Cairns *et al*., 2003), en el bosque tropical húmedo en Oaxaca (Acosta *et al*., 2002), en bosques de Chiapas (Douterlungne *et al*., 2013) y en plantaciones comerciales de hule (Monroy y Návar, 2004). En dichos estudios, las variables predictoras fueron: diámetro normal, altura total, diámetro de la base, área basal y gravedad específica de la madera.

En el presente estudio se evaluaron diferentes modelos alométricos para la estimación de biomasa fustal en especies arbóreas que se desarrollan en el ejido San Nicolasillo, ubicado en el ANP Sierra de Otontepec, con el propósito de aportar herramientas para un manejo y aprovechamiento sustentable de sus recursos forestales maderables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se realizó en el ejido San Nicolasillo del municipio de Chontla, Veracruz, que se encuentra dentro del área natural protegida Sierra de Otontepec, ubicado entre las coordenadas 21° 14’ 1” y 21° 15’ 25” latitud norte y 97° 53’ 8” y 97° 54’ 22” longitud oeste; tiene una superficie de 422.5 hectáreas, con un gradiente altitudinal que varía de 600 a 1,200

msnm (Figura 1). Con base en la clasificación de Köeppen, modificada por García (1978), el clima es semicálido húmedo (A)C(m) en las partes altas, mientras que en las zonas bajas es cálido húmedo A(m); la precipitación y la temperatura promedio anual son de 1,200 mm y 22.4 °C, respectivamente. El tipo de suelo predominante es el cambisol y en menor proporción el regosol, en ambos casos con textura media; la litología corresponde a roca ígnea extrusiva del periodo Cenozoico. La vegetación está compuesta principalmente por bosque de encino y en menor medida por selva alta subperennifolia (Semarnat, 2013).

La Sierra de Otontepec fue declarada Área Natural Protegida en la categoría de Reserva Ecológica, mediante decreto publicado en la Gaceta Oficial del Estado de Veracruz el 2 de marzo del 2005. En esta reserva pueden realizarse actividades orientadas a la conservación, preser-

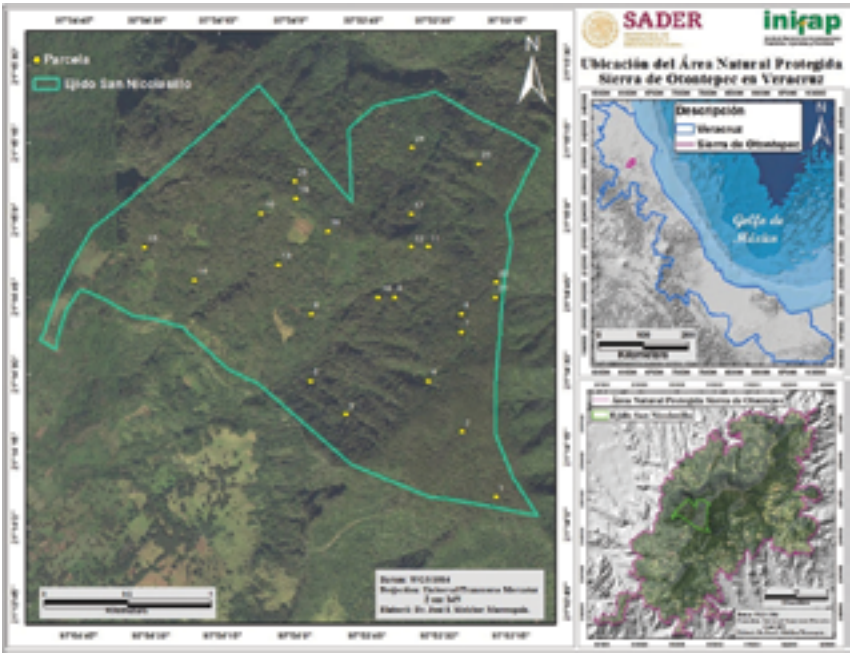


Figura 1. Localización geográfica del ejido San Nicolasillo, en el área natural protegida Sierra de Otontepec, Veracruz.

vación y restauración de sus ecosistemas, a la investigación, educación ambiental, el ecoturismo y al desarrollo sustentable. Asimismo, cuenta con una zonificación, la cual orienta a los propietarios hacia el manejo sustentable de los recursos naturales como son: el establecimiento de plantaciones comerciales con especies nativas, el desarrollo ecoturístico, el establecimiento de UMAs, la floricultura, el cultivo de hortalizas y los sistemas silvopastoriles y agroforestales, entre otros usos.

Metodología

Mediante un diseño de muestro al azar simple y sobre una imagen satelital IKONOS (1:50,000), con el software ArcView® 3.3, se trazó una cuadrícula sobre el límite del ejido San Nicolasillo, donde se ubicaron 24 parcelas de muestreo de 400 m^2 y se midieron las variables de diámetro normal (DN), altura fustal y total (H) y estado sanitario del arbolado adulto. El volumen individual se calculó mediante la fórmula (Philip 1994):

$$Voli = AB * H * F$$

donde:
Voli = volumen por árbol, m^3 árbol-1
AB = área basal, m^2 a 1.30 m de altura
AB = (π*D^2)/4; D= diámetro a 1.30 m de altura
H = altura, en m
F= coeficiente de forma.

El coeficiente de forma para cada categoría diamétrica se obtuvo a partir de los valores presentados por Romahn *et al.* (1987). Para estimar la biomasa fustal de cada árbol se tomaron muestras de madera a la altura del pecho mediante una barrena; las mismas fueron secadas en estufa de aire forzado a 72° C, hasta peso constante, para determinar la gravedad específica de la madera, cuyo producto con el volumen de árbol generó la biomasa fustal de cada individuo, mediante la siguiente relación (Cuenca *et al.*, 2014; Miguel *et al.*, 2016):

$$GE= PS/(VV)$$

donde:
GE = gravedad específica
PS = peso seco, gr
VV = volumen verde, cm-3

Los datos de biomasa obtenidos se introdujeron a cuatro modelos matemáticos para determinar el de mejor ajuste y el que mejor describe el comportamiento del diámetro normal (DN) y de la altura (H) para la predicción de la biomasa. Los modelos se ajustaron con los procedimientos GLM y NLIN del programa STATISTICA® (StatSoft 2011), se seleccionaron aquellos que presentaron el mejor coeficiente de determinación (*R2*), que expresa la variabilidad explicada por el modelo tomando en cuenta el número de parámetros (Aquino *et al*., 2015) y el error estándar (EE) de los parámetros que define la precisión de las estimaciones (Brown, 1997; Brown y Schroeder, 1999; Schroeder *et al*., 1997) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Modelos matemáticos para la estimación de la biomasa maderable.

Modelo	Expresión matemática
Maderas tropicales	Y = Exp(β0+β1*ln(DN)-β2*(ln(H))2)
Schumacher	Y = β0*DNβ1*Hβ2
Variable Combinada Logarítmica	Y = β0*((DN2*H))β1
Fórmula Australiana	Y = β0+β1*DN2+β2*H+β2*DN2*H2
Dónde: β0, β1 y β2 son los parámetros para estimar. Y= biomasa maderable (m^3) y ln=logaritmo natural de la variable. DN= Diámetro normal. H= Altura.	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Especies y abundancia

Se registró un total de 9 especies arbóreas dominantes: *Brosimum alicastrum* (ojite), *Persea schiedeana* (pagua), *Prunus virginiana* (capulín), *Laurus nobilis* (laurel), *Quercus lancifolia* (encino), *Juglans regia* (nuez), *Persea*

caerulea (aguacatillo) y *Heliocarpus appendiculatus* (jonote) (Cuadro 2). La especie más importante por su representatividad en el número de individuos y en las parcelas muestreadas es el ojite (*B. alicastrum*) (57%), seguido por pagua (*P. schiedeana*) (15.3%), encino (*Q. lancifolia*) (7.4%) y capulín (*P. virginiana*) (6.8%); mientras que las demás especies presentan porcentajes muy bajos tanto para el número de árboles como para su presencia en las parcelas.

Cuadro 2. Especies e individuos del estrato arbóreo en el ejido San Nicolasillo, Sierra de Otontepec, Veracruz.

Especies	Núm. individuos*	Parcelas**
Brosimum alicastrum (ojite)	351 (57 %)	19 (79.1%)
Persea schiedeana (pagua)	94 (15.3 %)	16 (66.6%)
Quercus lancifolia (encino)	46 (7.4 %)	8 (33.3%)
Prunus virginiana (capulín)	42 (6.8 %)	12 (50%)
Laurus nobilis (laurel)	31 (5 %)	5 (20.8%)
Guazuma ulmifolia (guácima)	19 (3 %)	3 (12.5%)
Juglans regia (nuez)	13 (2.1 %)	2 (8.3%)
Persea caerulea (aguacatillo)	11 (1.8 %)	6 (25%)
Heliocarpus appendiculatus (jonote)	8 (1.3 %)	4 (16.6%)
Total	615	

* En paréntesis, porcentaje con respecto al total de árboles registrados.
** En paréntesis, porcentaje con respecto al total de parcelas muestreadas

La composición del estrato arbóreo corresponde con los tipos de vegetación reportados por el Inventario Forestal y de Suelos de Veracruz (Semarnat, 2013), ya que a partir de la carta de uso de suelo y vegetación de la región donde se localiza el área de estudio, se determinó que del total de la superficie del ejido San Nicolasillo, 93.9 % (393.2 ha) corresponde a bosque de encino, 24.4 % (5.8 ha) a selva alta subperennifolia, mientras que sólo 1.2 % (0.3 ha) se ha cambiado a pastizal cultivado. Lo anterior permite inferir que la vegetación arbórea existente se encuentra con un grado de perturbación y cambio de uso del suelo muy bajo, por lo que se considera importante continuar con el monitoreo del desarrollo y composición de

especies, para tener un indicador más preciso sobre cuáles de ellas aportan en mayor magnitud a la biomasa maderable del área de estudio.

Biomasa fustal

El volumen es la variable que indica, en unidades de metros cúbicos (m^3), la cantidad de madera contenida en árboles. En un rodal puede considerarse como la suma de los volúmenes de los árboles en pie. En consecuencia, una forma de acceder al conocimiento del volumen de madera de un rodal es a través del conocimiento del volumen de sus árboles individuales. Al respecto, el volumen de la biomasa fustal estimado para todas las especies resultó ser de 215.94 m^3 en la superficie muestreada (9,600 m^2); se puede inferir que en la superficie total del ejido San Nicolasillo (422.5 ha) existe una biomasa fustal de 91,234.6 m^3, de la cual *Q. lancifolia, B. alicastrum, P. schiedeana* y presentaron los mayores valores con 98.32, 78.67 y 27.45 m^3, respectivamente (Cuadro 3). De acuerdo con Armijos (2013), los estadísticos descriptivos presentan valores aceptables indicando que hay homogeneidad en los volúmenes estimados a partir de las variables de diámetro y altura.

Cuadro 3. Volumen fustal y estadísticos descriptivos de las especies arbóreas del ejido San Nicolasillo, Sierra de Otontepec, Veracruz.

Especie	Biomasa* (m^3)	Desviación estándar	Coeficiente de variación
Quercus lancifolia (encino)	98.32	3.13	1.37
Brosimum alicastrum (ojite)	78.67	0.74	5.46
Persea schiedeana (pagua)	27.45	0.64	1.81
Guazuma ulmifolia (guácima)	4.71	0.42	2.893
Laurus nobilis (laurel)	2.43	0.45	5.204
Juglans regia (nuez)	1.4	0.50	3.386
Persea caerulea (aguacatillo)	1.3	0.17	1.956
Prunus virginiana (capulín)	1.02	0.02	0.619
Heliocarpus appendiculatus (jonote)	0.64	0.12	0.593
TOTAL	215.94	-	-

* Área de muestreo: 9600 m^2.

Estos resultados son relativamente inferiores a los de Manzano *et al.* (2016) quienes, a pesar de no indicar la superficie de referencia, reportan una biomasa fustal total de 320.6 m^3 en 10 árboles de *Zanthoxylum kellermanii* con diámetros de 10 a 25 cm, en una selva perennifolia del norte de Oaxaca, México; por su parte, Cuenca *et al.* (2014) indican un promedio de 64.2 m^3 ha^{-1}, para nueve grupos de especies en la Amazonia ecuatoriana, el cual es inferior al estimado en este estudio. La cantidad de biomasa acumulada varía entre especies, debido a diferencias de crecimiento y supervivencia (Douterlungne *et al.*, 2013), así como por la localización geográfica que determina los factores biofísicos para el desarrollo de las especies (Feldpausch *et al.*, 2011) e incluso por el nivel de competencia que ocurre por luz, agua y nutrientes en el sitio donde se desarrollan dichas especies (Návar, 2009).

Otro estadístico importante fue la estimación del nivel de correlación existente entre las variables dasométricas, con la finalidad de determinar cuál de ellas tiene mejor asociación con el volumen, y así, posteriormente, proceder a evaluar las ecuaciones para la estimación de la biomasa maderable. Los resultados obtenidos indican que el diámetro normal es la variable que tiene mayor grado de asociación para la predicción del volumen fustal maderable, ya que el valor de r^2 fluctuó entre 0.91 y 0.97, por lo que los coeficientes determinados indican una asociación significativa entre las variables consideradas; en cambio, para la asociación altura-volumen la mayoría de los valores de r^2 estuvieron entre 0.45 y 0.81, lo cual indica una mayor variabilidad en esta relación. Estos resultados coinciden con lo que reportan diversos estudios en regiones tropicales, donde se indica que el diámetro es el mejor predictor de la biomasa aérea (Fonseca *et al.*, 2009; Djomo *et al.*, 2010; Youkhana e Idol, 2011; Douterlungne *et al.*, 2013). A continuación, se presentan las correlaciones obtenidas para las tres especies con mayor representatividad en el área de estudio (Figura 2).

Modelos para la estimación de biomasa

El coeficiente de determinación (r^2) es una medida del ajuste de la ecuación de regresión a los datos muestrales; los mejores valores de

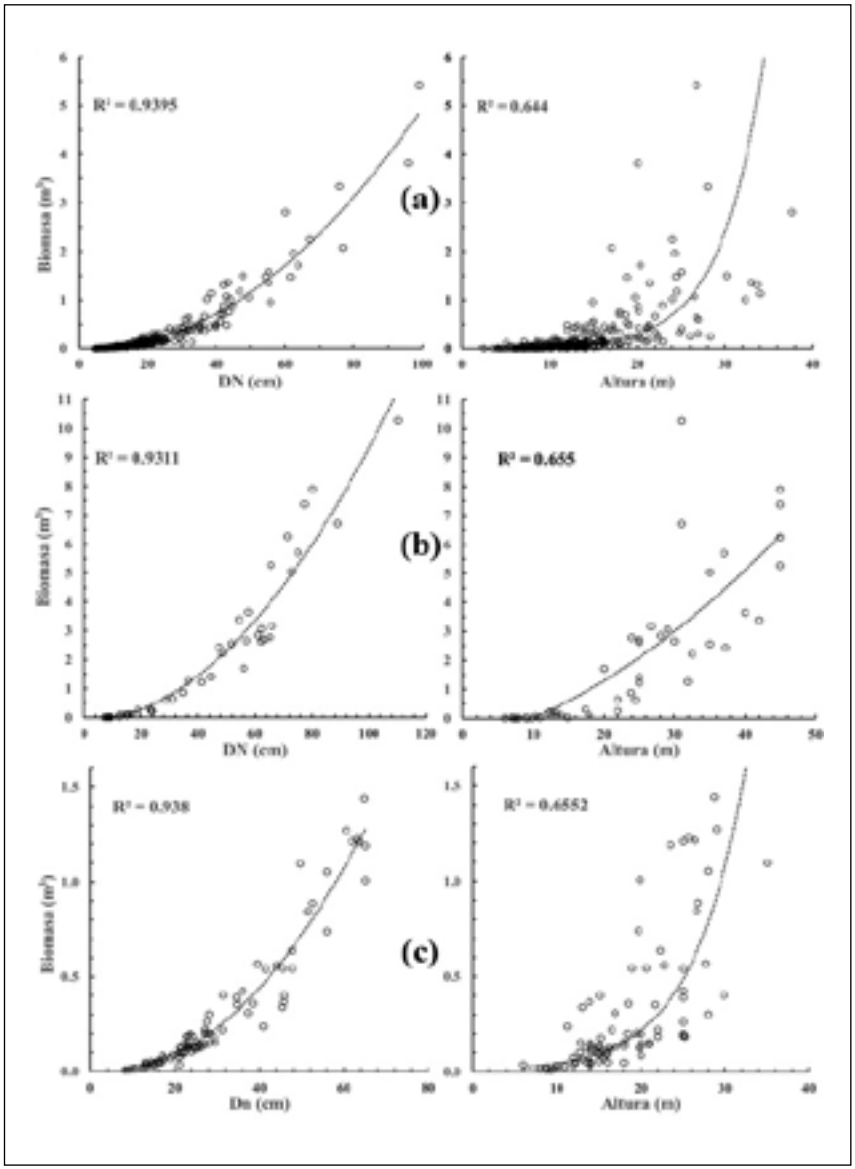


Figura 2. Correlaciones obtenidas para el diámetro normal (DN) y altura con respecto al volumen de la biomasa fustal para *Brosimum alicastrum* (a), *Persea schiedeana* (b) y *Quercus lancifolia* (c), en el ejido San Nicolasillo, Sierra de Otontepec, Veracruz.

relación entre variables son las cifras cercanas a la unidad; este valor indica el porcentaje de la variación que es explicado por la regresión (Triola, 2009). Para este procedimiento fueron seleccionadas las seis especies mejor representadas en el estrato arbóreo del área de estudio. En general, se encontró que todos los modelos tuvieron buen ajuste, con R^2 superior a 0.9 y error estándar (EE) menor a 1, además de ser altamente significativos y obtener parámetros diferentes de cero, lo que indica que contribuyen de forma importante en la predicción de los modelos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estadísticos de los modelos evaluados para la estimación de la biomasa maderable en especies forestales del ejido San Nicolasillo, Sierra de Otontepec, Veracruz.

Estadístico	*Brosimum alicastrum*	*Persea schiedeana*	*Quercus lancifolia*	*Prunus virginiana*	*Laurus nobilis*	*Guazuma ulmifolia*
Modelo Maderas Tropicales						
r^2	0.939797	0.938181	0.939410	0.834738	0.922954	0.989315
EE	0.259335	0.303419	0.974471	0.012868	0.058721	0.103372 0.999492
Modelo Schumacher						
r^2	0.999492	0.999732	0.999784	0.999911	0.999730	0.999977
EE	0.023806	0.019955	0.058163	0.000297	0.003472	0.004706
Modelo Variable Combinada Logarítmica						
r^2	0.999468	0.999453	0.999784	0.999911	0.999422	0.999967
EE	2.433027	0.02837	0.05750	0.000294	0.004994	0.005525
Modelo Fórmula Australiana						
r^2	0.999039	0.998809	0.999812	0.999896	0.998901	0.998531
EE	0.03276	0.04210	0.05423	0.0003218	0.007011	0.03832

Con excepción del modelo de Maderas Tropicales, los demás señalan al diámetro normal y la altura como variables predictivas, lo que proporciona mayor robustez para un mejor ajuste en la estimación de la biomasa maderable; por esta razón, la variación explicada por el modelo es mayor al incluir, además del DN, la H o una combinación (DN^2 H); es decir, la precisión en la estimación de la biomasa mejora significativamente.

Lo anterior, concuerda con Figueroa *et al.* (2009) y Miguel *et al.* (2016), quienes indican que al utilizar ambas variables de inventario se mejoran los estimadores estadísticos de las ecuaciones. Resultados similares fueron obtenidos al estimar biomasa en árboles tropicales por Nogueira *et al.* (2008) y Feldpausch *et al.* (2011).

Para el caso de *B. alicastrum* y *Q. lancifolia*, se encontró que el modelo con mejor ajuste fue el de la Fórmula Australiana, ya que el coeficiente de determinación r^2 tuvo el valor más cercano a 1 y el menor error estándar de la estimación no lineal. Respecto a las especies *P. schiedeana, L. nobilis* y *G. ulmifolia*, el modelo de Schumacher resultó el que mejor se ajustó para la estimación de la biomasa maderable por presentar el mayor valor de r^2, pese a que no tuvo el menor error estándar. Finalmente, para *P. virginiana* el modelo de la Variable Logarítmica Combinada fue el que mejor se ajustó para la predicción de la biomasa maderable, por presentar el mayor coeficiente de determinación y el menor error estándar. Lo anterior permite inferir que no se incumplen las hipótesis estructurales del análisis de regresión.

Al respecto, Moret *et al.* (1998) obtuvieron un valor de r^2 con el modelo de la variable combinada logarítmica para *Tectona grandis* de 0.9852; mientras que Muñoz (2000) y Pece (2002) con *Eucalyptus camaldulensis* y álamo (*Populus mexicana*) obtuvieron el mayor valor con el modelo de Schumacher (0.945 y 0.9882, en ese orden). De acuerdo con lo anterior, se demuestra que en el presente estudio, las variables independientes utilizadas poseen un valor significativo en la descripción de la variable dependiente que es la biomasa fustal, lo cual ha sido observado por Da Cunha *et al.* (2009) y Cuenca *et al.* (2014).

El error estándar de la estimación indica la disparidad o dispersión entre los valores observados y estimados por la regresión, eligiéndose aquel que posee el menor valor. Asimismo, mide la precisión del ajuste del modelo matemático y solamente debe ser utilizado como comparador cuando las variables dependientes presenten las mismas unidades de medida (Triola, 2009). En este caso, los valores obtenidos para el error estándar resultaron aceptables y coinciden con los obtenidos por Da Cunha *et al.* (2009) y García *et al.* (2013). A continuación, se presenta la información de los parámetros y sus

estimadores, para los modelos que tuvieron el mejor ajuste a las variables dasométricas de las especies estudiadas (Cuadro 5) (figuras 3, 4 y 5).

Cuadro 5. Modelos ajustados para la estimación de la biomasa maderable en especies forestales del ejido San Nicolasillo, área natural protegida Sierra de Otontepec, Veracruz.

Modelo y especie	Parámetros		
Schumacher: Y = β0*DNβ1*Hβ2	β0	β1	β2
Guazuma ulmifolia	0.000092	1.852546	0.943894
Laurus nobilis	0.000079	1.836341	1.014459
Persea schiedeana	0.000083	1.832382	1.014459
Australiana: Y = β0+β1*DN2+β2*H+β2*DN2*H2	β0	β1	β2
Brosimum alicastrum	0.030731	0.000002	0.000041
Quercus lancifolia	0.049622	-0.00000094	0.0000414
Variable Combinada Logarítmica: Y = β0*((DN2*H)) β1 *Prunus virginiana*	β0 0.000053	β1 1.002509	

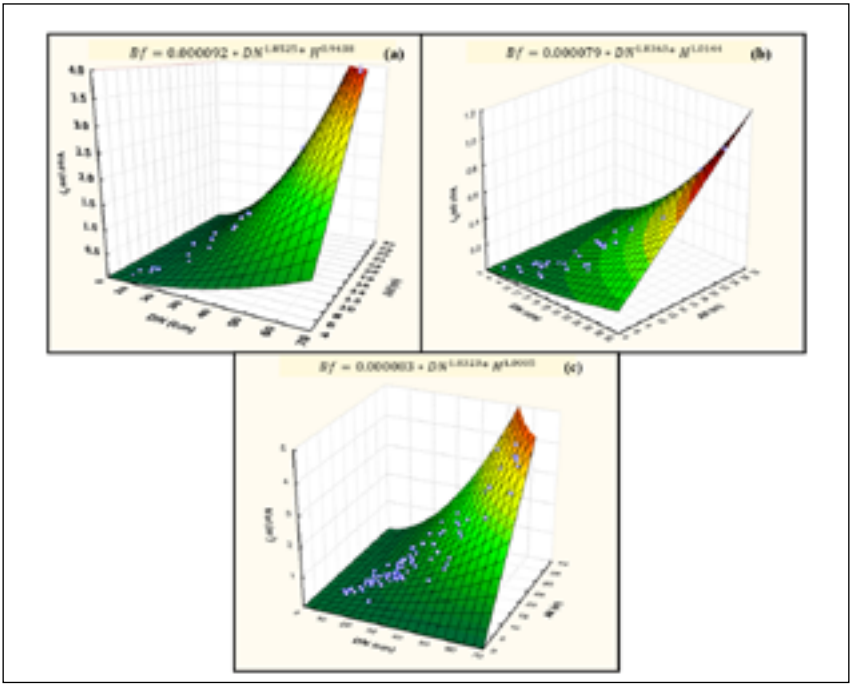


Figura 3. Representación gráfica del modelo de Schumacher para *Guazuma ulmifolia* (a), *Laurus nobilis* (b) y *Persea schiedeana* (c).

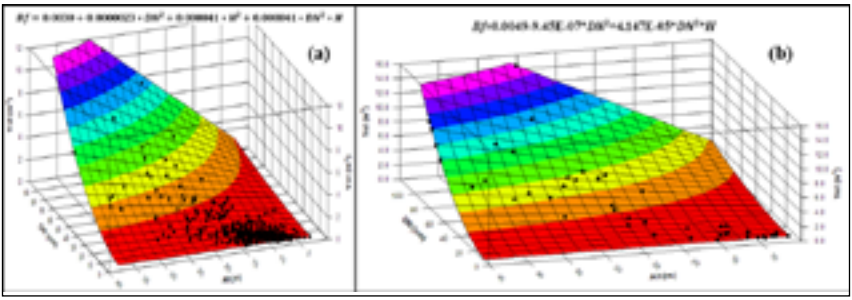


Figura 4. Representación gráfica del modelo Fórmula Australiana para *a) Brosimum alicastrum* y *b) Quercus lancifolia*.

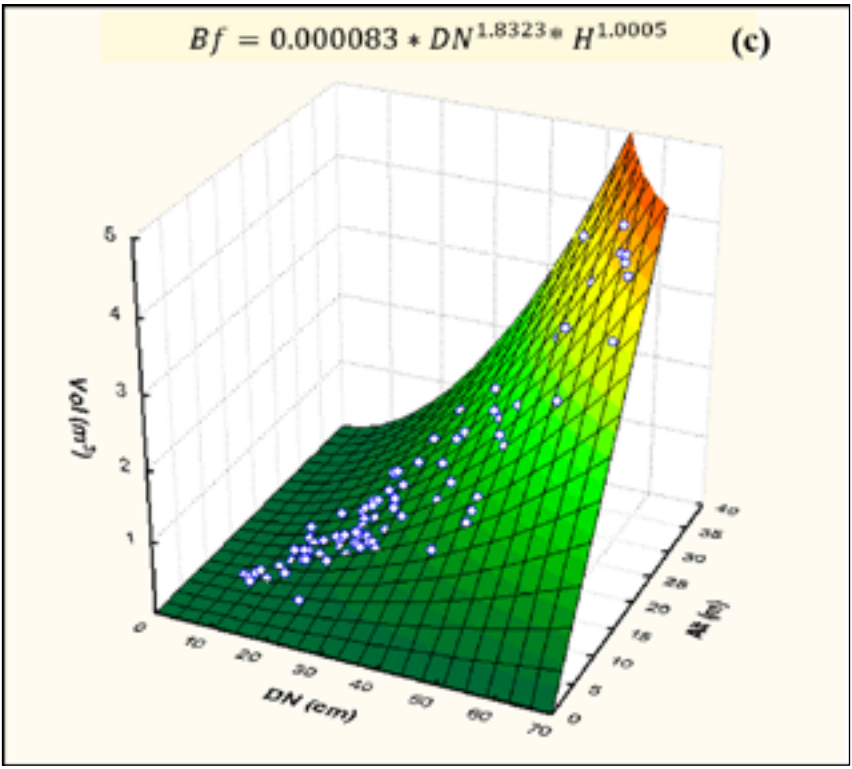


Figura 5. Representación gráfica del modelo Variable Combinada Logarítmica para *Prunus virginiana*.

CONCLUSIONES

Las ecuaciones alométricas evaluadas para estimar la biomasa fustal, en las especies tropicales del ejido San Nicolasillo, mostraron un buen nivel de ajuste determinado por sus valores estadísticos, por lo que estos modelos son confiables para realizar una predicción segura de la biomasa aérea a través del diámetro normal, altura y gravedad específica de la madera, variables que son de uso práctico y fácil aplicabilidad en los métodos no destructivos para estimar la biomasa fustal. El desarrollo de modelos de biomasa local es una herramienta valiosa para investigadores de especies leñosas perennes. Se sugiere utilizar los modelos para estimar la biomasa fustal de árboles dentro de los límites en los cuales se elaboraron y realizar una readecuación de las expresiones tabuladas conforme se ejecuten las intervenciones silvícolas a las masas arboladas y se estime que ha habido un cambio en la conformación de los fustes de los árboles.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, M. M., H. J. J. VARGAS, M. A. VELÁZQUEZ Y B. J. D. ETCHEVERS. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36: 725-736.

AQUINO, R. M., M. VELÁZQUEZ, B. J. F. CASTELLANOS, P. H. DE LOS SANTOS Y B. J. ETCHEVERS. 2015. Partición de la biomasa aérea en tres especies arbóreas tropicales. *Agrociencia* 49: 299-314.

ARMIJOS, G. D. D. 2013. *Construcción de tablas volumétricas y cálculo de factor de forma (ff.) para dos especies, teca (Tectona grandis) y melina (Gmelina arborea) en tres plantaciones de la empresa Reybanpac, en la provincia de los ríos*. Tesis Ingeniero Forestal. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

BASUKI, T. M., P. E. VAN LAAKE, A. K. SKIDMORE Y Y. A. HUSSIN. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology Management* 257: 1684-1694.

BROWN, S. 1997. E*stimating biomass and biomass change of tropical forests.* FAO Forestry Paper, núm.134. Roma, Italia. 55 pp.

BROWN, S. Y P. SCHROEDER. 1999. Spatial patterns of aboveground production

and mortality of woody biomass for eastern US forests. *Ecological Applications* 9: 968-980.

CAIRNS, M. A., I. OLMSTED, J. GRANADOS Y J. ARGAEZ. 2003. Composition and aboveground tree biomass of a dry semievergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *Forest Ecology Management* 186:125-132.

CUENCA, M. E., O. JADÁN, K. CUEVA Y C. AGUIRRE. 2014. Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, *Amazonía Ecuatoriana*. CEDAMAZ 4: 21-31.

DA CUNHA, T. A., M. J. O. VARGAS Y H. ESCALIER. 2009. *Ajuste y selección de modelos de regresión para estimar el volumen total de árboles.* FOMABO. Documento Técnico núm. 5: Bolivia. 28 pp.

DOUTERLUNGNE, D., G. A. M. HERRERA, B. G. FERGUSON, I. SIDDIQUE Y P. L. SOTO. 2013. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia* 47: 385-397.

DJOMO, A. N., A. IBRAHIMA, J. SABOROWSKI Y G. GRAVENHORST. 2010. Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. *Forest Ecology Management* 260: 1873-1885.

FIGUEROA, N., P. G. ÁNGELES, M. A. VELÁZQUEZ Y P. H. DE LOS SANTOS. 2009. Estimación de la biomasa en bosque bajo manejo de *Pinus patula* Scht all. et. Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1: 105-112.

FELDPAUSCH, T. R., L. BANIN, O. L. PHILLIPS, T. R. BAKER, S. L. LEWIS, C. A., QUESADA, K. AFFUM-BAFFOE, E. ARETS, N. J. BERRY Y M. BIRD. 2011. Height-diameter allometry of tropical forest trees. *Biogeosciences* 8: 1081-1106.

FONSECA, G. W., G. F. ALICE Y B. J. M. REY. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona caribe de Costa Rica. *Bosque* 30: 36-47.

GARCÍA, E. 1978. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Serie Libros núm. 6. Instituto de Geografía, UNAM, México. 97 pp.

GARCÍA, M. J. J., R. J. C. VELARDE, R. J. HERNÁNDEZ, C. X. GARCÍA, F. H. J. MUÑOZ Y E. G. G. GARCÍA. 2013. Ecuaciones para determinar el volumen en pie para árboles de *Pinus michoacana* Mtz. y *Pinus michoacana* var. *Cornuta* Martínez, en dos municipios de Michoacán. *Ciencia Nicolaíta* 58: 67-88.

MANZANO, M. F., H. J. I. VALDÉZ, L. M. A. LÓPEZ Y H. E. PINEDA. 2016. Biomasa aérea de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7: 40-51.

MIGUEL, M. A., O. G. RODRÍGUEZ, V. J. R. ENRÍQUEZ, L. M. I. PÉREZ, H. E. CASTAÑEDA Y G. W. SANTIAGO. 2016. Factores de expansión de bio-

masa aérea para *Pinus ayacahuite* del norte de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7: 1575-1584.

MONROY, R. C. Y C. J. J. NÁVAR. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Mull. Arg., en Veracruz, México. *Madera y Bosques* 10: 29-43.

MORET, A. Y., M. M. JERÉZ Y A. MORA. 1998. Determinación de ecuaciones de volumen para plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.) en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Capa, Estado Barinas-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 42: 41-50.

MUÑOZ, F. H. J. 2000. Tablas de volumen para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. *Ciencia Forestal en México* 25: 75-92.

NÁVAR, J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern México. *Forest Ecology Management* 257: 427-434.

NOGUEIRA, E. M., P. M. FEARNSIDE, B. W. NELSON, R. I. BARBOSA Y E. W. H. KEIZER. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology Management* 256: 1853-1867.

PECE, M. G. 2002. Tabla de volumen de doble entrada para álamos de la zona de riego de Santiago de Estero, Argentina. *Quebracho* 9: 95-105

PHILIP, M.S. 1994, Measuring Trees and Forests. CAB International. Cambridge, U.K. 310 pp.

ROMAHN, V. C. F., M. H. H., RAMÍREZ Y J. L., TREVIÑO. 1987. *Dendrometría*. Serie de Apoyo Académico núm. 26. UACH-DICIFO. México. 388 pp.

SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 2013. *Inventario Forestal y de Suelo del Estado de Veracruz*. Distrito Federal, México.

SCHROEDER, P., S. BROWN, J. MO, R. BIRDSEY Y C. CIESZEWSKI. 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the Unites States using inventory data. *Forest Science* 43: 424-434.

SEGURA, M. Y H. J. ANDRADE. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería en las Américas* 46: 89-96.

TRIOLA, F. M. 2009. *Estadística*. 10ma edición, Pearson Educación, México.

YOUKHANA, A. Y T. IDOL. 2011. Allometric models for predicting above and belowground biomass of *Leucaena* -KX2 in a shaded coffee agroecosystem in Hawaii. *Agrofor. Syst*. 83: 331-345.

Capítulo 7

Riqueza y abundancia de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea) en el municipio de Chontla

Richness and abundance of diurnal butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea) in the municipality of Chontla

Zuleyma Campos Mariano[1]
Ivette Alicia Chamorro Florescano[1*]
Salvador Gómez Beda[1]
Maribel Ortiz Domínguez[1]

Resumen. Se determinó la diversidad y abundancia de mariposas diurnas (Insecta: Lepidoptera: Papilionoidea) en diferentes sitios de muestreo: pastizal, acahual y jardín botánico regional, dentro de la estación de campo Sierra de Otontepec, municipio de Chontla, Veracruz. La colecta se realizó con una red aérea entomológica durante un lapso de dos meses (mayo y junio). Se colectaron un total de 434 ejemplares distribuidos en cinco familias (Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae, Riodinidae y Lycaenidae), cuya determinación taxonómica permitió generar una lista integrada por

1 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica-Tuxpan, Universidad Veracruzana. Carretera Tuxpan-Tampico, km. 7.5, col. Universitaria, CP 92860, Tuxpan, Veracruz, México. E-mail: ichamorro@uv.mx (IACHF). * Autor para correspondencia.

un total de 43 especies. La familia mejor representada en cuanto a especies identificadas fue Nymphalidae, con 24 especies, seguida de Pieridae con 12, Lycaenidae con tres y las familias menos representativas fueron Papilionidae y Riodinidae con dos especies cada una. El jardín botánico fue el que presentó una mayor riqueza de especies y abundancia, a diferencia del acahual y pastizal, no obstante, de acuerdo con los indicadores de diversidad, el acahual fue el sitio con mayor diversidad. En este trabajo concluimos que los ecosistemas en recuperación, así como el jardín botánico regional que se encuentran al margen de la poligonal del área natural protegida en categoría de reserva ecológica Sierra de Otontepec, mantienen un acervo importante de la superfamilia Papilionoidea.

Palabras clave: condición climática, diversidad, Lepidoptera, Otontepec.

Abstract. This work aims to contribute to the knowledge of the diversity of Papilionoidea (Lepidoptera) in the ecological reserve Sierra de Otontepec, particularly in the cloud forest of the Citlaltépetl municipality. The area lies between 1300 and 1320 meters above sea level (masl). 500 individuals were captured and cataloged in 110 species, distributed in four families (Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae and Lycaenidae) of Papilionoidea. Higher abundance and species richness were found during rainy months, specifically September and October with 68 and 74 butterfly species, respectively. Also, this work constitutes the first record for the Northern State of Veracruz, while registering for the first time the species *Strymon sedecia*, increasing the lepidopterofaunistic list of Veracruz State.

Keywords: ecological reserve, cloud forest, Papilionoidea, species richness.

INTRODUCCIÓN

Los insectos son el grupo más numeroso de los animales sobre la Tierra, una gran cantidad de especies mantienen una dinámica importante dentro de los ecosistemas. Ejemplo de esto son los diversos servicios

ambientales que ofrecen los Lepidópteros (Cabezas, 2003); no obstante, algunas especies en su etapa larval son plagas importantes de plantas cultivadas (Domínguez Rivero, 1995). El avanzado conocimiento en la taxonomía de las mariposas y sus numerosos atributos las convierte en un taxón indicador del estado de los hábitats y su riqueza (Llorente Bousquets *et al*., 1993). Esto como respuesta a los requerimientos ecológicos de los Lepidópteros, a los cambios ambientales y a su comportamiento ante el grado de conservación o alteración del hábitat, así como a la relación tan estrecha que mantiene la larva y el adulto con la vegetación, de la cual se alimentan (Oñate Ocaña y Llorente Bousquets, 2010).

Cuando un ecosistema se deteriora, diversas especies de Lepidópteros se ven seriamente amenazadas, en algunos casos, con riesgo de desaparecer, debido a que son altamente sensibles a los cambios de clima, temperatura, humedad relativa y nivel de luminosidad (Camero y Calderón, 2007; Hernández-Mejía *et al*., 2008; Solís-Calderón, 2008; Ospina-López *et al*., 2010; Bonebrake *et al*., 2010; Ruchi *et al*., 2013). Mantienen un papel importante en la polinización, así como en la reproducción y conservación de una gran cantidad de especies vegetales y animales que las usan como alimento (Luis Martínez *et al*., 1995). El orden Lepidoptera está compuesto por dos subórdenes: Rhopalocera (Papilionoidae) que alberga a las mariposas diurnas y Heterocera que corresponde a las mariposas nocturnas (Llorente Bousquets *et al*., 1997; Hepner 2002; Llorente Bousquets y Ocegueda, 2008; Hernández Baz *et al*., 2010).

México cuenta con una gran riqueza de mariposas diurnas (Rhophalocera), debido a que se ubica entre la convergencia tectónica de la región Neártica y la Neotropical, así como una gran cantidad de formaciones orográficas que provocan que se mantenga dentro de un punto intermedio extratropical e intertropical, que como resultado inducen a una alta variación de climas y por ende de vegetación (Luis Martínez *et al*., 2000). La mayoría de dichos organismos se encuentran en zonas tropicales y subtropicales, aunque en zonas templadas se puede observar un mayor endemismo (González, 2004; Llorente-Bousquets *et al*., 2014).

En el estado de Veracruz se han realizado diversos trabajos para conocer la riqueza de mariposas; sin embargo, aunque hay un número considerable de localidades muestreadas aún podemos encontrar zonas no exploradas (Luis-Martínez *et al.*, 2000). Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la diversidad y abundancia entre un jardín botánico regional, un pastizal y un acahual con fines de conservación que se encuentran dentro de una estación de campo en el municipio de Chontla, al margen del polígono decretado como área natural protegida como reserva ecológica Sierra de Otontepec.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Al norte del estado de Veracruz, se encuentra el municipio de Chontla, conforma, entre otros ocho municipios, la superficie decretada como reserva ecológica Sierra de Otontepec. El acceso principal para llegar al municipio es por la carretera federal Cerro Azul-Naranjos (Ruta 180), en la vertiente occidental del área natural protegida Sierra de Otontepec (ANP SO). Se localiza en los 21° 14' 39" de latitud norte y 97° 56' 45" de longitud oeste, a una altura de 340 msnm.

El clima es cálido-extremoso (Aw 1 (e) w") de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), presenta una temperatura promedio de 24º C y su precipitación pluvial media anual es de 1,555 milímetros. La zona de estudio pertenece a un proyecto de conservación de los recursos naturales al margen del ANP SO, donde se encuentran pastizales y acahuales en recuperación y un jardín botánico regional (Figura 1).

El tipo de vegetación más representativa en la zona donde se encuentra el área de estudio es selva alta, mediana y subperennifolia; sin embargo, la mayor parte de esta superficie está cubierta por acahuales derivados de la vegetación original (Rzedowski, 1978).

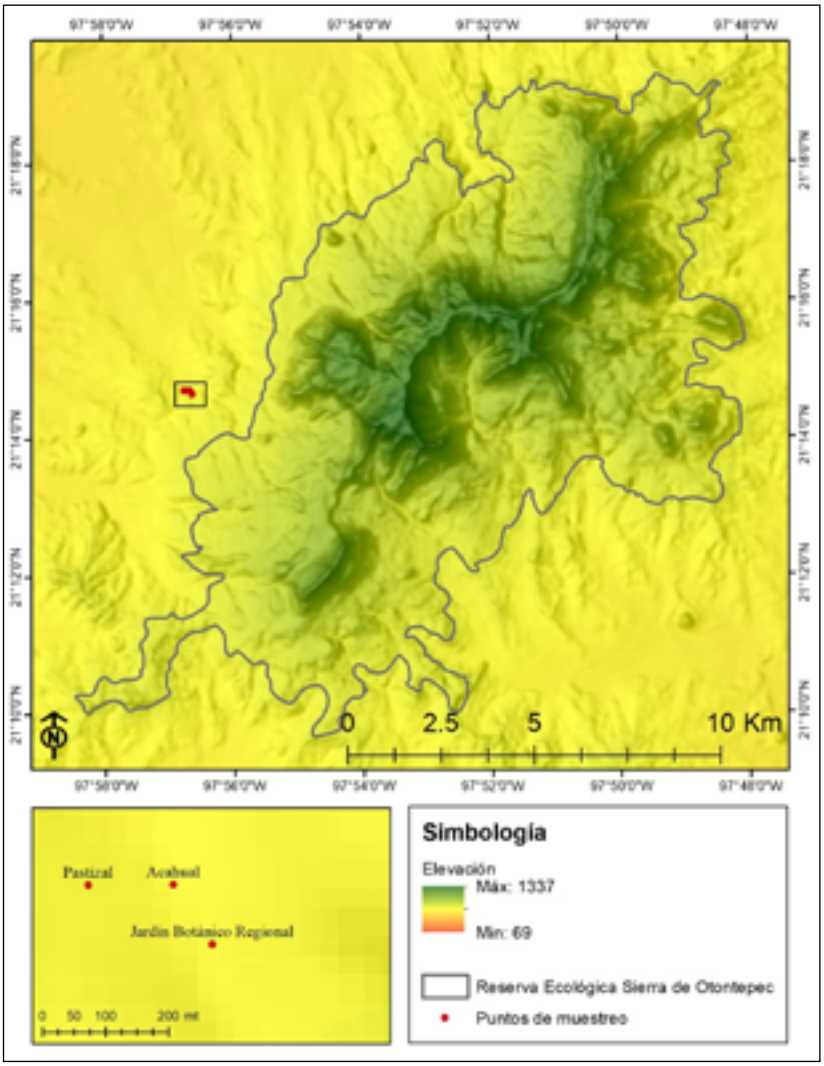


Figura 1. Localización geográfica de la Estación de Campo Sierra de Otontepec, Veracruz (naranja = pastizal, rojo = acahual y azul = jardín botánico regional (JBR)).

Muestreo en campo y procesamiento de las muestras

En abril de 2014 se efectuó un recorrido prospectivo dentro del área de estudio, donde se ubicaron tres sitios de muestreo con diferente composición vegetal, denominados: pastizal (21° 14' 42.4'' N, 097° 56' 44.8'' O), acahual (21° 14' 41.8'' N, 097° 56' 40.1'' O) y jardín botánico regional (21° 14' 39.3'' N, 097° 56' 38.0'' O). Se llevaron a cabo un total de 12 muestreos (tres días de muestreo cada 15 días) durante los meses de mayo y junio de 2014.

El sitio de muestreo denominado pastizal correspondió a un área perturbada carente de árboles; el acahual, consistió en un área semiperturbada en recuperación, y el jardín botánico regional se caracteriza por encontrarse con diversos tipos de plantas de la región (plantas útiles medicinales, comestibles y condimenticias, ornamentales, orquídeas, cícadas, árboles y palmas).

Las colectas se efectuaron de 8:00 a.m. a 4:30 p.m., durante la mayor actividad de los organismos; se realizaron los recorridos en transectos de longitud no definida en cada sitio de muestreo, considerando como esfuerzo de muestreo un total de siete horas y media diarias, específicamente dos horas y media por sitio; los recorridos se realizaron de manera consecutiva y se alternaron los sitios de muestreo diariamente durante los meses de mayo y junio. Se registraron algunas variables climáticas como humedad, temperatura y presión atmosférica de la zona de estudio.

El muestreo se llevó a cabo con la técnica del método activo conocido por el uso de una red aérea entomológica. Los individuos capturados fueron sacrificados mediante presión digital en el tórax, siguiendo el método de Andrade *et al.* (2013).

Posteriormente, cada organismo fue colocado dentro de una bolsa de papel glacín o papel estraza, donde se anotaron los datos correspondientes: fecha de captura, lugar de muestreo, condiciones climáticas, nombre del colector (Márquez, 2005). La determinación de los ejemplares se realizó cotejando los especímenes capturados con guías ilustrativas de Garwood y Lehman (2005) y Hernández-Baz *et al.* (2010).

Análisis estadístico

La eficiencia del muestreo se evaluó mediante curvas de acumulación de especies, con el programa EstimateS 9.1.0 (Colwell 2013). Se utilizaron estimadores de riqueza basados en incidencia de especies (Chao2 y ICE), debido a que las abundancias de las especies fueron relativamente bajas durante los muestreos (Colwell y Coddington, 1994; Gotelli y Colwell, 2001).

La diversidad de especies se evaluó a partir del índice de Shannon-Wiener (asume el azar y que todas las especies están representadas en la muestra) y el índice de diversidad verdadera, que expresa el número efectivo de especies.

Los análisis se realizaron con el paquete estadístico EstimateS versión 9.1 (Colwell 2013).

Se comparó la diversidad beta para determinar el reemplazo de especies mediante el índice de Whittakker (Moreno 2001) y disimilitud mediante la complementariedad de especies entre pares de los sitios muestreados, cuya variación oscila entre cero y uno (Colwell y Coddington, 1994).

Por último, se realizó un análisis de varianza para determinar las diferencias estadísticas entre los sitios de muestreo y la riqueza específica y abundancia. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa R 3.1.0 (R Development Core Team, 2014).

RESULTADOS

Se colectaron en total 434 especímenes, de los cuales se determinaron 43 especies, que corresponde a cinco familias (Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae, Riodinidae y Lycaenidae) que conforman la superfamilia Papilionoidea (Apéndice 1). Las familias con mayor representación de especies fue Nhymphalidae con 24 y Pieridae con 12, ambas representan 83.7 % del total de especies encontradas.

Por sitio de muestreo se encontró una riqueza de 30 especies para el jardín botánico regional (39 %); seguido por el acahual con 24 y 23 es-

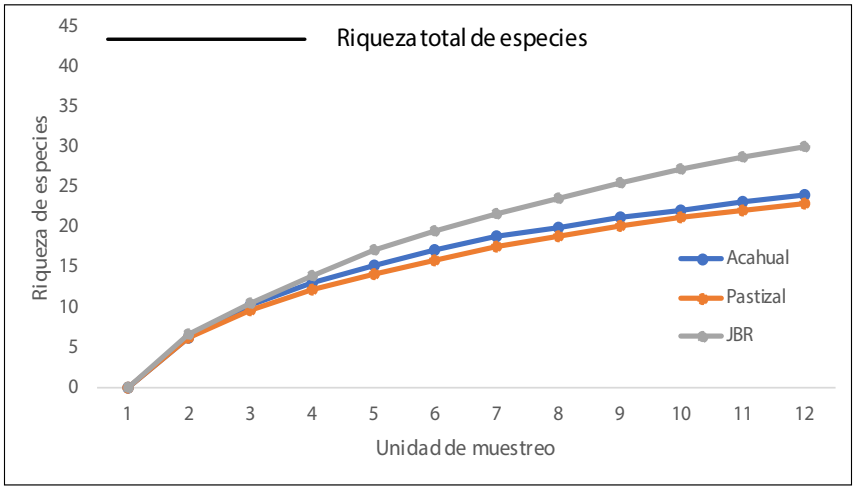


Figura 2. Riqueza de especies por sitio de muestreo.

pecies para el pastizal 31 y 30% respectivamente (Figura 2), no obstante, no hubo diferencia entre los sitios (F(2,29)= 0.06, gl= 2, P= 0.94).

Los resultados para la diversidad alfa mostraron que los valores de diversidad más altos fueron para el acahual y el más bajo para el pastizal (Cuadro 1).

Se encontraron diferencias significativas entre los sitios de acahual – jardín botánico regional y acahual – pastizal; sin embargo, no se mostraron diferencias entre el jardín botánico regional y el pastizal.

Cuadro 1. Parámetros de los sitios muestreados en el municipio de Chontla, Veracruz.

Parámetro	Pastizal	Acahual	Jardín botánico regional
Riqueza	23	24	30
Abundancia	137	108	189
Chao 2	33.23	28.68	41.82
Jacknife 1	32.09	32.18	42.73
ICE	36.14	33.62	51.58
Shannon-Wiener	2.447	2.732	2.462
Diversidad verdadera	11.59	15.33	11.70

En relación con la abundancia, de manera general las especie *Anartia fatima fatima* y *Pyrisitia dina westwoodi* fueron las más abundantes con 111 y 58 individuos, respectivamente; mientras que las especies menos abundantes, con un solo individuo registrado, fueron *Adelpha basiloides, Aphrissa statira statira, Argyrogrammana stilbe holosticta, Castilia eranites, Cyanophrys herodotus, Eurema salome jamapa, Greta morgane oto, Hamadryas feronia farinuleta, Hamadryas glauconome glauconome, Junonia coenia, Mestra dorcas amymone, Strephonota parvipuncta* y *Vanessa atalanta rubria* (Apéndice 2). Mientras que por sitio, en relación con la abundancia total, el jardín botánico regional alcanzó un porcentaje de abundancia de 43.5 %, seguido por el pastizal de 31.6 % y el acahual de 24.9 % ($F(2,29)= 1.33$, $gl= 2$, $P= 0.27$).

Los resultados sobre la diversidad beta global, al utilizar el índice de Whittaker fue de 0.675, mientras que la comparación entre los sitos fluctúo entre el valor más alto de 0.489 (acahual-pastizal) y el valor más bajo, 0.333 (acahual-jardín botánico regional).

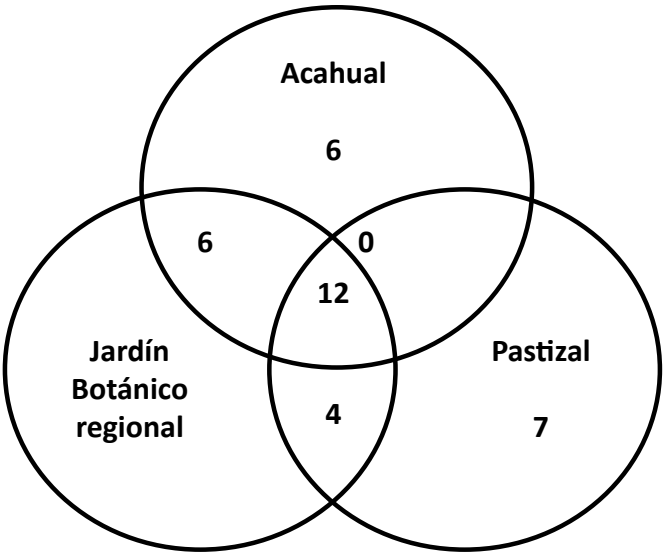


Figura 3. Número de especies exclusivas y compartidas entre los tres sitios de muestreo.

El porcentaje de representatividad de la riqueza, de acuerdo con los estimadores, fue para el acahual menor a 80%, para el jardín botánico regional y pastizal menor de 70 %. El jardín botánico regional fue el sitio con mayor número de especies exclusivas, seguido del pastizal con 7 y el acahual con 6. En cuanto a las especies compartidas, los sitios con mayor número de especies compartidas fue el jardín botánico regional con el acahual, y los sitios con cero especies compartidas fue entre el acahual y el pastizal; no obstante, un total de 12 especies fueron compartidas entre los tres sitios muestreados (Figura 3).

DISCUSIÓN

Este trabajo registró 43 especies pertenecientes a cinco familias (Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae, Riodinidae y Lycaenidae) en dos meses de muestreo. Dentro de los pocos trabajos que se han desarrollado en la región, y que han permitido conocer las especies de mariposas diurnas de la región, se encuentra el realizado en el bosque mesófilo de montaña en el área natural protegida Sierra de Otontepec, donde se reportaron un total de 110 especies pertenecientes a cuatro familias (Gómez Beda, 2007). En este trabajo, el número de especies encontradas fue menor, no obstante, hay que considerar que este trabajo únicamente cubrió dos meses de muestreo.

Otro estudio significativo realizado dentro de la región es el de Vera (2010), en el que se obtuvo un total de 117 especies distribuidas en cinco familias (Papilionidae, Lycaenidae, Nymphalidae, Pieridae y Riodinidae), y que registró los meses de julio y septiembre (temporada de lluvias) como los de mayor presencia de especies, registrándose las especies más representativas, al igual que en este trabajo (que también incluyó meses de lluvia), *Morpho helenor montezuma, Myscelia cyaniris cyaniris* y las menos representativas *Protesilaus macrosilaus penthesilaus, Heraclides anchisiades idaeus*, entre otras.

La familia con mayor número de especies correspondió a Nymphalidae con un total de 24 y las de menor número fueron Papilionidae y

Riodinidae con tan solo 2 cada una; esto concuerda con lo encontrado por Vera (2010) y Alarcón (2014), quienes mencionan a la misma familia como la más representativa en su trabajo y Papilionidae como la de menor número de especies. Esto puede deberse a que algunas poblaciones de las especies se presentan generalmente con baja densidad, relacionado probablemente con los cambios climáticos producidos por la temperatura, humedad y presión atmosférica de la región estudiada, así como el tipo de vegetación de las áreas de estudio.

De acuerdo con los sitios de muestreo, el jardín botánico regional fue el sitio donde se registró la mayor riqueza de mariposas diurnas, mientras que los sitios de muestreo que se encontraban dentro del pastizal y el acahual presentaron un menor número de especies. Algunos trabajos han mostrado un efecto positivo entre la riqueza de especies vegetales en floración y la riqueza de especies diurnas (Moyers Arévalo y Cano-Santana, 2008; Kitahara *et al.*, 2008), el jardín botánico regional presentó diversas especies vegetales que durante los meses de colecta se encontraban en floración, aspecto relevante dado los requerimientos energéticos de las mariposas adultas, además de la polinización (Proctor *et al.*, 1996). Es probable que este factor haya influido en la presencia de diversas especies de mariposas, algunas de ellas exclusivas de este sitio. Empero, los registros podrían cambiar si se aumentara el tiempo de muestreo, ya que de acuerdo con los estimadores hubo especies sin registrar en los tres sitios de trabajo.

No obstante, los índices indican que el acahual presentó mayor diversidad que el jardín botánico regional y el pastizal, el acahual es una zona en recuperación de la vegetación original en la zona de estudio, el valor de conservación de la diversidad de mariposas que puede albergar este remanente es sin duda muy importante, la diversidad de especies puede estar relacionada con la diversidad vegetal en una comunidad local (Kremen, 1992). Sería interesante evaluar las plantas hospederas potenciales que se podrían albergar en dicho sitio, ya que se encontraron especies exclusivas y compartidas con el jardín botánico regional o entre los tres sitios de muestreo, pero ninguna especie compartida entre el acahual y el pastizal.

Con base en lo anterior, la Estación de Campo Sierra de Otontepec cuenta con una considerable riqueza y abundancia de lepidópteros, un total de 43 especies colectadas en un lapso de solo dos meses, número que podría incrementar si se aumentan los muestreos en la zona de estudio. Cabe resaltar que, en este trabajo, la mayor riqueza está concentrada en el área destinada al jardín botánico regional que alberga diferentes plantas de la región y que tiene poco tiempo de haberse establecido (2012); sin embargo, se ha convertido en un reservorio importante para diferentes especies de mariposas. Aunque hay una carencia de trabajos faunísticos en áreas con heterogeneidad geográfica en la zona norte de Veracruz, los inventarios que hasta el momento se han realizado permiten monitorear los cambios que se puedan generar dentro de los diferentes tipos de vegetación que conforman el área natural protegida Sierra de Otontepec y sus alrededores, donde se cuenta con programas de restauración y conservación de la zona.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento incondicional a Bárbara Hernández, presidenta de la Fundación Pedro y Elena Hernández, A. C., por permitirnos realizar este estudio dentro de la Estación de Campo Sierra de Otontepec, cuyo principal objetivo es la restauración y conservación de los recursos naturales.

BIBLIOGRAFÍA

ALARCÓN. A. C. M. 2014. *Diversidad de Mariposas Diurnas (Insecta: Lepidoptera: Papilionoidea) de la localidad de Ixhuatlán de Madero, Municipio de Ixhuatlán de Madero, Veracruz, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz. México.

ANDRADE, M. G., E. R. HENAO-BAÑOL Y P. TRIVIÑO. 2013. Técnicas y procesamiento para la recolección, preservación y montaje de mariposas en

estudios de biodiversidad y conservación. (Lepidoptera: Hesperioidea – Papilionoidea). *Revista Academia Colombiana Científica* 37: 311-325.

BONEBRAKE, T., L. PONISIO, C. BOGGS Y P. EHRLICH. 2010. More than just indicators: a review of tropical butterfly ecology and conservation. Biological Conservation 143: 1831-1841.

CABEZAS, M. F. A. 2003. El mundo de los insectos. En: *Introducción a la entomología*. Editorial Trillas. México. Pp. 9-18.

CAMERO, E. Y A.M. CALDERÓN. 2007. Comunidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Rhopalocera) en un gradiente altitudinal del cañón del río Combeima-Tolima, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 12: 95-110.

COLWELL, R. K. 2013. *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples.* Version 9. Persistent URL: purl.oclc.org/estimates.

COLWELL R. K. Y J. A. CODDINGTON. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. En: Hawksworth D. L. (ed), *Biodiversity: Measurement and Estimation*. Chapman and Hall, London. Pp. 75-79.

DOMÍNGUEZ-RIVERO, R. 1995. *Parasitología Agrícola. Taxonomía 3 Strepsiptera a Himenoptera. Claves y Diagnosis.* Universidad Autónoma de Chapingo. Pp. 22-103.

GARCÍA, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana).* Offset Larios, México. Pp. 217.

GARWOOD, K. Y R. LEHMAN. 2005. *Butterflies of Northeastern Mexico: Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas: a Photographic Checklist*. Eye Scry Publishing.

GÓMEZ-BEDA, S. 2007. *Las mariposas diurnas (Insecta: Lepidoptera: Papilionoidea) del bosque mesófilo de montaña, en el municipio de Citlaltépelt, Veracruz, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz. México.

GONZÁLEZ, F. J. 2004. Las mariposas.Lepidopteros. En: asturnatura.com (en línea) núm. 359, 13/02/12 (consultado el 10/02/2014). Disponible en http://www.asturnatura.com/articulos/lepidopteros-mariposas/inicio.php.ISSN 1887-5068

GOTELLI, N. J. Y R. K. COLWELL. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* 4: 379-391.

HEPNER, J. B. 2002. Mexican Lepidoptera biodiversity. *Insecta Mundi* 16: 171-190.

HERNÁNDEZ-BAZ F., J. E. LLORENTE-BOUSQUETS, A. LUIS-MARTÍNEZ E I. VARGAS-FERNÁNDEZ. 2010. *Las mariposas de Veracruz. Guía ilustrada.* Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. México. 159 pp.

HERNÁNDEZ-MEJÍA, C., J. E. LLORENTE-BOUSQUETS, I. VARGAS-FERNÁNDEZ Y A. LUIS-MARTÍNEZ. 2008. Las mariposas (Papilionoidea y Hesperioidea) de Malinalco, Estado de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 117-130.

KITAHARA, M., M. YUMOTO Y T. KOBASHI. 2008. Relationships of butterfly diversity with nectar plant species richness in and around the Aokigahara primary woodland of Mount Fuji, central Japan. *Biodiversity and Conservation* 17: 2713-2734.

KREMEN, C. 1992. Assessing the indicator properties of species assemblages for natural areas monitoring. Butterflies as indicators. *Ecological Applications* 2: 203-217.

LLORENTE-BOUSQUETS, J. E., A. LUIS-MARTÍNEZ E I. VARGAS-FERNÁNDEZ. 1993. Biodiversidad de las mariposas su conocimiento y su conservación en México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. XLIV: 313-324.

LLORENTE-BOUSQUETS, J. E., L. OÑATE-OCAÑA, A. LUIS-MARTÍNEZ E I. VARGAS-FERNÁNDEZ. 1997. Papilionidae y Pieridae de México: lista, cronología y autores. En: *Papilionidae y Pierida de México: Distribución Geográfica e Ilustración*. S y G Editores, México. Pp. 5-13.

LLORENTE-BOUSQUETS, J. E. Y S. OCEGUEDA. 2008. Estado del conocimiento de la biota. Capital natural de México. En: *Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México. Pp. 283-322.

LLORENTE-BOUSQUETS, J., I. VARGAS-FERNÁNDEZ, A. LUIS-MARTÍNEZ, M. TRUJANO-ORTEGA, B. C. HERNÁNDEZ-MEJÍA Y A. D. WARREN. 2014. Biodiversidad de Lepidoptera en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 353-371.

LUIS-MARTÍNEZ, A., J. E. LLORENTE, I. VARGAS Y A. L. GUTIÉRREZ. 2000. *Síntesis preliminar del conocimiento de los Papilionoidea (Lepidoptera: Insecta) de México*. Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la Diversidad Entomológica en Iberoamérica: PrIBES 2000. 1: 276-285.

LUIS-MARTÍNEZ, A., I. VARGAS-FERNÁNDEZ Y J. E. LLORENTE-BOUSQUETS. 1995. Síntesis de los Papilionoidea (Lepidoptera: Rhopalocera) del estado de Veracruz. *Folia Entomológica Mexicana* 93: 91-133.

MÁRQUEZ, L.J . 2005. Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa* 37: 385-408.

MORENO, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza. 84 pp.

MOYERS-ARÉVALO, L. Y Z. CANO-SANTANA. 2008. Fenología de la comunidad de mariposas diurnas del Pedregal de San Ángel y su relación con la fenología floral de las plantas y otros factores ambientales. *Entomología Mexicana* 7: 355-360.

OÑATE-OCAÑA, L Y J. E. LLORENTE-BOUSQUETS. 2010. El uso de bases de datos curatoriales para reconstruir la historia del conocimiento taxonómico: un ejemplo con papiliónidas y piéridas mexicanas (Insecta: Lepidoptera). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 343-362.

OSPINA-LÓPEZ, L., J. F. GARCÍA-PÉREZ, F. A. VILLA-NAVARRO Y G. REINOSO-FLORES. 2010. Mariposas Pieridae (Lepidoptera: Papilionoidea) de la cuenca del rio Coello (Tolima), Colombia. *Actualidades Biológicas* 32: 173-188.

PROCTOR, M., P. YEO Y A. LACK. 1996. *The natural history of pollination*. Timber Press, Portland. 487 pp.

RUCHI, N., G. NIRJARA Y P. SUJATHA. 2013. What determines the abundance of butterflies-A short search. *Recent Research in Science and Technology* 4: 28-33.

RZEDOWSKI, J. 1978. *Vegetación de México*. México, Limusa. 432 pp.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R. 2014. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

SOLÍS-CALDERÓN, R. 2008. De monarcas y otros reales acontecimientos. *Cuadernos de Biodiversidad* 26: 7-12.

VERA, V. Y. I. 2010. *Inventario de las mariposas diurnas (Insecta: Lepidoptera: Papilionoidea) de Chicontepec, Veracruz, México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz. México.

APÉNDICE

Listado de Papilionoidea. Se presenta la familia, subfamilia y especie de lepidópteros de la estación de campo Sierra de Otontepec, Veracruz.

PAPILIONOIDEA	
Lycaenidae	
Theclinae	
1	*Cyanophrys herodotus* (Fabricius, 1793)
2	*Pseudolycaena damo* (H. Druce, 1875)
3	*Strephonota* **parvipuncta** (Lathy, 1926)
Nymphalidae	
Biblidinae	
4	*Adelpha basiloides* (H.W. Bates, 1865)
5	*Dynamine postverta mexicana* (D´Almeida,1952)
6	*Hamadryas feronia farinulenta* (Fruhstorfer, 1916)
7	*Hamadryas glauconome glauconome* (H.W. Bates, 1864)
8	*Mestra dorcas amimone* (Ménetriés, 1857)
9	*Myscelia cyaniris cyaniris* (Doubleday, 1848)
10	*Myscelia ethusa ethusa* (Doyére, 1840)
Danainae	
11	*Danaus gilippus thersippus* (H.W. Bates, 1863)
Heliconiinae	
12	*Dryas iulia moderata* (Riley, 1926)
13	*Eueides isabella eva (Fabricius, 1793)*
14	*Heliconius charithonia vazquezae* (W. P. Comstock y F. M. Brown, 1950)
15	*Heliconius erato petiverana* (Doubleday, 1847)
Ithomiinae	
16	*Greta morgane oto* (Hewitson, 1855)
Morphinae	
17	*Morpho helenor montezuma* (Guenée, 1859)
Nymphalinae	
18	*Anartia fatima fatima* (Fabricius, 1793)
19	*Anartia jatrophae luteipicta* (Fruhstorfer, 1907)
20	*Castilia eranites* (Hewitson, 1857)
21	*Chlosyne lacinia lacinia* (Geyer, 1837)
22	*Junonia coenia* (Hübner, 1822)
23	*Phyciodes tharos tharos* (Drury, 1773)

24	*Vanessa atalanta rubria* (Fruhstorfer, 1909)
	Satyrinae
25	*Hermeuptychia hermes* (Fabricius, 1775)
26	*Pareuptychia ocirrhoe* (Fabricius, 1776) n. ssp. Lamas MS
27	*Yphthimoides renata* (Stoll, 1780)
Papilionidae	
Papilioninae	
28	*Heraclides cresphontes* (Cramer, 1777)
29	*Parides montezuma* (Westwood, 1842)
Pieridae	
Coliadinae	
30	*Aphrissa statira statira* (Cramer, 1777)
31	*Eurema albula celata* (R. Felder, 1869)
32	*Eurema arbela boisduvaliana* (C. Felder y R. Felder, 1865)
33	*Eurema daira eugenia* (Wallengren, 1860)
34	*Eurema salome jamapa* (Reakirt, 1866)
35	*Nathalis iole* (Boisduval, 1836)
36	*Phoebis argante ssp.n.*
37	*Pyrisitia dina westwoodi* (Boisduval, 1836)
Pierinae	
38	*Ascia monuste monuste (Linnaeus, 1764)*
39	*Glutophrissa drusilla tenuis* (Lamas, 1981)
40	*Melete lycimnia isandra* (Boisduval, 1836)
41	*Pieriballia viardi* (Boisduval, 1836)
Riodinidae	
Riodininae	
42	*Argyrogrammana stilbe holosticta* (Godman y Salvin, 1878)
43	*Melanis pixe pixe* (Boisduval, 1836)

Capítulo 8

Las mariposas diurnas (Insecta: Lepidoptera: Papilionoidea) del bosque mesófilo de montaña de Citlaltépetl

The butterflies (Insecta: Lepidoptera: Papilionoidea) of the cloud forest of Citlaltépetl

Salvador Gómez Beda[1*]
Maribel Ortiz Domínguez[1]

Resumen. Este trabajo tiene el propósito de contribuir al conocimiento de la diversidad de Papilionoidea (Lepidoptera) en la reserva ecológica Sierra de Otontepec, en particular en el bosque mesófilo de montaña perteneciente al municipio de Citlaltépetl. El área se encuentra entre 1,300 y 1,320 msnm. Se capturaron 500 ejemplares que corresponden a 110 especies de Papilionoidea, distribuidas en cuatro familias (Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae y Lycaenidae). Los meses en los que se encontró una mayor abundancia y riqueza de especies fueron los lluviosos, específicamente septiembre y octubre, con 68 y 74 especies, respectivamente. Asimismo, el presente trabajo constituye el primero en su tipo para la

1 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica-Tuxpan, Universidad Veracruzana. Carretera Tuxpan-Tampico, km. 7.5, col. Universitaria, CP 92860, Tuxpan, Veracruz, México. Email: beda_salvatore26@hotmail.com (SGB). * Autor para correspondencia.

zona norte del estado de Veracruz, al mismo tiempo que se registra por primera vez a *Strymon sedecia*, incrementando así el listado lepidópterofaunístico del estado de Veracruz.

Palabras clave: bosque mesófilo de montaña, Papilionoidea, reserva ecológica, riqueza de especies.

Abstract. This work aims to contribute at the knowledge of the diversity of Papilionoidea (Lepidoptera) in the ecological reserve Sierra de Otontepec, particularly in the cloud forest of the of Citlaltépetl municipality. The area lies between 1300 and 1320 masl. 500 individuals were captured and cataloged in 110 species, distributed in four families (Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae and Lycaenidae) of Papilionoidea. Higher abundance and species richness were found during rainy months, specifically September and October with 68 and 74 butterfly species respectively. Also, this work constitutes the first record for the Northern State of Veracruz, registering for the first time the species *Strymon sedecia*, increasing the lepidopterofaunistic list of Veracruz State.

Key words: ecological reserve, cloud forest, Papilionoidea, species richness.

INTRODUCCIÓN

El orden Lepidoptera es uno de los más diversos, incluye a las mariposas diurnas y nocturnas (Morón y Valenzuela González, 1993; Hernández Baz *et al*., 2010). Está integrado por 27 superfamilias, una de ellas es Papilionoidea que representa 13,1% de las 146,277 especies descritas de lepidópteros en todo el mundo (Llorente *et al*., 1996). En México hay aproximadamente 2,000 especies de mariposas diurnas y más del 65% habitan en zonas tropicales. Las principales regiones en las que se concentran las mariposas son las selvas tropicales y los bosques bajos de Veracruz, Chiapas, Oaxaca y Guerrero (López, 2005).

Actualmente, el bosque de niebla o bosque mesófilo de montaña (BMM) es considerado uno de los ecosistemas más importantes por la gran diversidad biológica que alberga en un área cada vez más reducida (214,630 km^2 a nivel global) y los múltiples procesos ecosistémicos que produce, tales como captura de carbono, recarga de mantos acuíferos, conservación de biodiversidad, entre otros. En México, los cinco estados con mayor riqueza florística documentada para los bosques mesófilos en México son Oaxaca (4,540 spp.), Chiapas (4,506 spp.), Veracruz (4,122 spp.), Guerrero (3,157 spp.) y Jalisco (2,802 spp.) (Ortega y Castillo ,1996; García de la Cruz *et al*., 2014).

Resalta la importancia de realizar inventarios biológicos o colecciones biológicas con el fin de conocer el número de especies (animales y vegetales) que se pueden encontrar en los ecosistemas, como el bosque mesófilo de montaña. Las colecciones biológicas se constituyen por medio de inventarios que implican la recolección de especímenes, su identificación y su preservación, y en el caso de especies nuevas para la ciencia, describirlas y nombrarlas, además de someter los ejemplares a un cuidadoso proceso curatorial para preservarlos a largo plazo. Las colecciones biológicas incluyen aquellas resguardadas en museos de historia natural, herbarios, jardines botánicos y zoológicos, así como las de microorganismos y de cultivo de tejidos, y las de recursos genéticos de plantas y animales. De esta forma, constituyen uno de los acervos más completos de la biodiversidad y representan recursos de importancia primaria para la investigación biológica (De la Cruz *et al*., 2014).

Finalmente, el listado más actual que se tiene acerca de los Papilionoidea en el estado de Veracruz fue realizado por Hernández Baz *et al.* (2010), en el cual reporta 729 especies de mariposas, distribuidas en cinco familias (Papilionidae, Pieridae, Lycaenidae, Riodinidae y Nymphalidae). Para la zona norte, principalmente la zona de la Huasteca veracruzana, se desconoce ampliamente su lepidopterofauna. Debido a lo anterior, el presente trabajo constituye el primer inventario de Papilionoidea para esta región, el cual tuvo como objetivo estudiar las mariposas diurnas que habitan en el bosque mesófilo de montaña, en el municipio de Citlaltépetl, dentro de la reserva ecológica Sierra de Otontepec.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el bosque mesófilo de montaña ubicado dentro de la Sierra de Otontepec, la cual se ubica en las coordenadas 21°19'19'' y 21°09'34'' de latitud norte, y coordenadas 97°58'30'' y 97°48'00'' de longitud oeste, a una altura de 1,300 hasta 1,320 msnm (Figura 1). Se realizaron 12 colectas entre septiembre de 2006 y agosto de 2007, utilizando redes entomológicas aéreas. El horario de trabajo en que se realizaron las colectas fue de 8:00 a 17:00 horas. Los ejemplares capturados se sacrificaron mediante presión digital en el tórax y se almacenaron y anotaron los datos de acuerdo con Steyskal *et al.* (1986). La determinación taxonómica se hizo de acuerdo con la técnica de comparación con los ejemplares depositados en la colección Roberto Müller, que se encuentra en el Museo de Historia Natural de la Ciudad de México; la Colección Nacional de Insectos del Instituto de Biología y la Colección de Mariposas del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias en la Universidad Nacional Autónoma de México. Las cuatro familias que conforman la superfamilia Papilionoidea fueron ordenadas filogenéticamente de acuerdo con Llorente (1997), Luis-Martínez *et al.* (1995) y al listado más actualizado para Papilionoidea de Veracruz (Hernández-Baz *et al.*, 2010).

Se generó una base de datos en la que se registró la información de la época de vuelo (captura y aparición de ejemplares por mes). Además, se realizaron los cálculos de abundancia y riqueza de éstas. Finalmente, se generaron gráficos que permitieron describir la riqueza de Papilionoidea en el área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 12 colectas realizadas y después de 500 especímenes colectados, se integró una lista de 110 especies que corresponden a 76 géneros y 16 subfamilias, agrupadas en cuatro familias (Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae y Lycaenidae) que conforman la superfamilia Papilionoi-

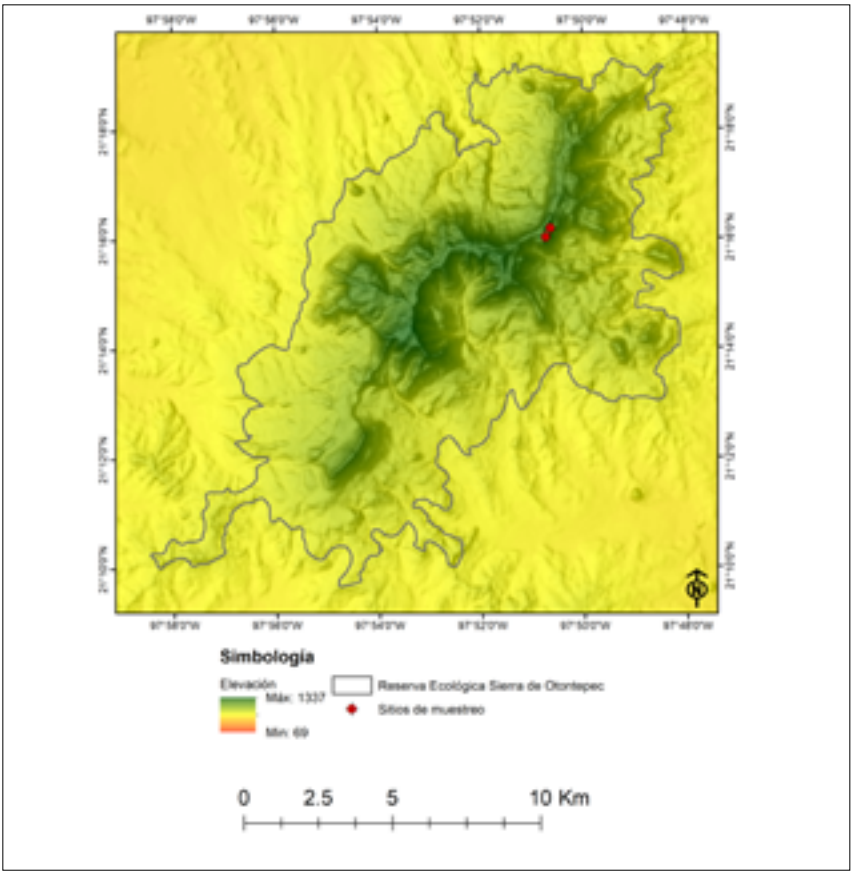


Figura 1. Ubicación general del área de estudio (Elaborado por V. Soto).

dea (Figura 2) (Luis Martínez *et al.*, 1995; Hernández Baz *et al.*, 2010). Dicho listado, representa 15.08% del listado más actual en el estado de Veracruz (Hernández Baz *et al.*, 2010). La familia con mayor riqueza de especies fue Nymphalidae con 61 especies distribuidas en 40 géneros, datos que concuerdan con Hernández Baz (1989) y Luis Martínez *et al.* (1995), los cuales indican que la familia más representativa fue la Nymphalidae con 115 y 293 especies, respectivamente. Además, los resultados indican que la familia Papilionidae está representada por seis géneros y nueve especies, la familia Pieridae está representada por 14 géneros y 23 especies y la familia Lycaenidae presentó 17 especies

distribuidas en 15 géneros (Cuadro 1). Dicha investigación se compara con el trabajo de Luis-Martínez *et al.* (1995), que encontró 39 especies de la familia Papilionidae, 56 especies de la familia Pieridae, 293 especies de la familia Nymphalidae y 297 especies de la familia Lycaenidae. Asimismo, Hernández Baz (1989), en su trabajo realizado para el municipio de Xalapa, reportó 18 especies de Papilionidae, 37 especies de Pieridae, para la familia Nymphalidae reporta un total de 115 especies y finalmente, para Lycaenidae reportó 47 especies.

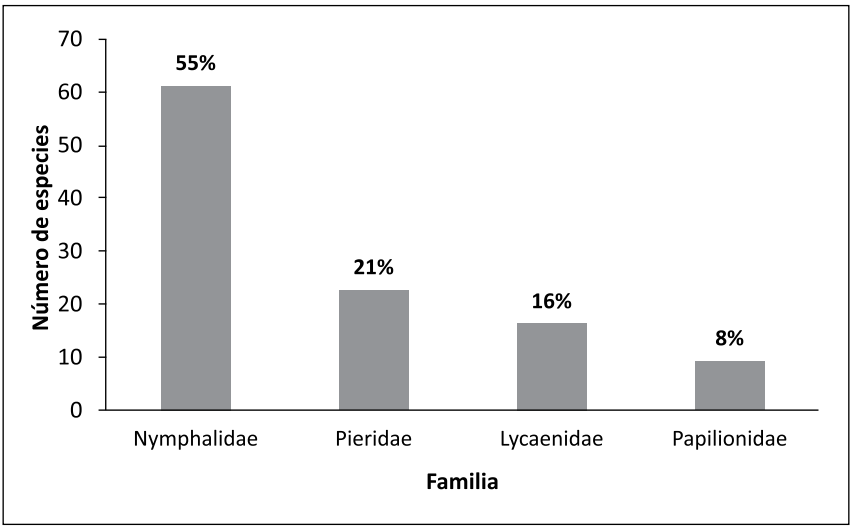


Figura 2. Riqueza de especies para cada una de las cuatro familias estudiadas.

Cuadro 1. Listado taxonómico y época de vuelo de los Papilionoidea en el bosque mesófilo de montaña de Citlaltépetl, en la Sierra de Otontepec, Veracruz, México.

Especies	Meses del año											
	2006				2007							
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
PAPILIONIDAE												
Papilioninae												
1. *Battus philenor philenor* (Linnaeus, 1771)	x	x			x	x	x		x	x		x
2. *Parides montezuma montezuma* (Westwood, 1842)	x	x	x	x		x		x				

Especies	Meses del año											
	2006				2007							
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
3. *Parides photinus photinus* (Doubleday, 1844)		x									x	x
4. *Protographium epidaus epidaus* (Doubleday, 1846)	x		x		x			x	x			
5. *Protographium philolaus philolaus* (Boisduval, 1836)		x								x	x	
6. *Mimoides phaon phaon* (Boisduval, 1836)	x		x				x		x	x	x	
7. *Heraclides cresphontes* (Cramer, 1777)	x	x		x	x	x		x				
8. *Papilio polixenes asterius* Stoll, C., 1782	x	x						x				
9. *Papilio victorinus victorinus* (Doubleday, 1844)	x					x	x	x	x			x
PIERIDAE												
Coliadinae												
10. *Colias eurytheme* Boisduval, 1852	x		x		x	x	x		x	x		x
11. *Anteos maerula lacordairei* (Boisduval, 1836)	x	x	x	x					x		x	
12. *Phoebis agarithe agarithe* (Boisduval, 1836)	x		x		x	x		x				x
13. *Phoebis argante argante* (Fabricius, 1775)		x			x		x			x		
14. *Phoebis philea philea* (Linnaeus, 1736)	x	x		x	x		x					
15. *Phoebis sennae marcellina* (Cramer, 1777)	x	x				x		x	x		x	x
16. *Rabdodryas trite trite* (Linnaeus, 1758)	x	x								x	x	x
17. *Aphrissa statira jada* (Butler, 1870)	x	x	x		x		x	x	x	x		
18. *Pyrisitia dina westwoodi* (Boisduval, 1836)		x		x	x	x		x		x	x	x
19. *Pyrisitia lisa centralis* (Herrich-Schäffer,1864)	x	x	x		x		x		x		x	x
20. *Pyrisitia nise nelphe* (R. Felder, 1869)	x	x				x		x	x	x		x
21. *Eurema albula celata* (R. Felder, 1869)	x						x	x	x	x	x	x
22. *Eurema boisduvaliana* (C.Felder & R. Felder, 1865)	x						x				x	
23. *Eurema daira* (Godart, 1819)	x		x						x		x	x
24. *Eurema mexicana mexicana* (Boisduval, 1836)	x	x					x	x	x		x	x
25. *Eurema xantochlora xantochlora* (Kollar, 1850)		x				x	x		x		x	x
26. *Nathalis iole iole* Boisduval, 1836	x	x		x	x		x	x	x			x
27. *Kricogonia lyside* (Godart, 1819)	x	x	x		x	x	x	x				
Pierinae												
28. *Hesperocharis costaricensis pasion* (Reakirt, [1867])	x	x					x	x	x	x		
29. *Melete lycimnia isandra* (Boisduval, 1836)	x		x	x		x		x		x		
30. *Leptophobia aripa elodia* (Boisduval, 1836)	x	x		x	x	x						x
31. *Pieriballia viardi viardi* (Boisduval, 1836)	x	x								x		
32. *Ascia monuste monuste* ((Linnaeus, 1764)	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
NYMPHALIDAE												
Heliconiinae												
33. *Agralius vanillae incarnata* (Riley, 1926)	x	x				x	x		x	x		x
34. *Dryadula phaetusa* (Linnaeus, 1758)	x	x										

Especies	Meses del año											
	2006				2007							
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
35. *Dryas iulia moderata* (Riley, 1926)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
36. *Eueides isabella eva* (Fabricius, 1793)	x	x						x	x		x	x
37. *Heliconius charitonia vazquezae* Comstock & F.M. Brown, 1950	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
38. *Heliconius erato petiveranus* Doubleday, 1847	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
39. *Heliconius ismenius telchinia* Doubleday, 1847		x								x	x	x
40. *Euptoieta hegesia hoffmanni* Comstock, 1944	x	x								x		x
Nymphalinae												
41. *Anartia amathea fatima* (Fabricius, 1793)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
42. *Anartia jatrophae luteipicta* Frühstorfer, 1907	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
43. *Siproeta epaphus epaphus* (Latreille, [1813].	x	x							x		x	x
44. *Siproeta stelenes biplagiata* (Frühstorfer, 1907)	x	x	x		x					x	x	x
45. *Junonia coenia* Hübner, [1822]	x	x		x	x	x		x	x		x	
46. *Junonia evarete* (Cramer, 1780)		x				x						x
47. *Chlosyne janais* (Drury, 1782)	x	x									x	x
48. *Chlosyne lacinia lacinia* (Geyer, 1837)	x	x					x	x	x	x		
49. *Chlosyne* sp. 1		x						x			x	x
50. *Thessalia theona theona* (Ménétriès, 1855)	x		x				x		x		x	
51. *Phyciodes tharos tharos* (Drury, 1773)		x						x		x	x	x
52. *Phyciodes* sp 1.										x	x	
53. *Phyciodes* sp 2.										x	x	x
54. *Anthanasa ardys ardys* (Hewitson, 1864)		x		x		x						x
55. *Tegosa guatemalena* (H.W. Bates, 1864)	x	x					x		x			
Limenitidinae												
56. *Smyrna blomfildia datis* Fruhstorfer, 1908	x	x									x	x
57. *Biblis hyperia aganisa* Boisduval, 1836	x	x	x	x	x	x				x		x
58. *Mestra dorcas amymone* (Ménétriès, 1857)	x	x					x	x	x			
59. *Myscelia cyaniris cyaniris* Doubleday, [1848]	x	x	x	x							x	x
60. *Myscelia ethusa ethusa* (Doyère, [1840])	x		x	x	x			x			x	x
61. *Catonephele mexicana* Jenkins & R. G. Maza, 1985										x	x	x
62. *Catonephele numilia* esite (R. Felder, 1869)										x	x	x
63. *Eunica Monima* (Cramer, 1782)	x	x	x								x	x
64. *Hamadryas amphinome* mexicana (Lucas, 1853)	x	x								x	x	x
65. *Hamadryas atlantis lelaps* Godman & Salvin, 1883		x	x	x								x
66. *Hamadryas februa ferentina* (Godart, [1824])	x	x	x	x		x	x			x		x
67. *Hamadryas feronia farinulenta* (Frühstorfer, 1916)	x		x	x	x				x	x	x	
68. *Hamadryas guatemalena marmarice* (Frühstorfer, 1916)		x	x		x		x					

Especies	Meses del año											
	2006				2007							
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
69. *Hamadryas iphtime joennae* Jenkins, 1983	x		x									x
70. *Dynamine dyonis* Geyer, 1837	x	x									x	
71. *Dynamine postverta mexicana* d Almeida, 1952	x		x	x								x
72. *Diaethria anna* (Guérin, 1844)	x	x							x	x	x	x
73. *Adelpha basiloides basiloides* (H. W. Bates, 1865)		x	x				x	x	x			
74. *Adelpha serpa massilia* (C. Felder & R. Felder, 1867)	x					x	x					
75. *Basilarchia archippus hoffmanni* (Chermock, 1947)									x			
76. *Marpesia chiron marius* (Cramer, 1780)	x	x	x		x	x			x	x		x
77. *Marpesia petreus* ssp.	x	x						x	x	x		
Charaxinae												
78. *Archaeoprepona demophon centralis* (Frühstorfer, 1905)	x	x	x	x				x	x		x	x
79. *Anaea troglodyta aidea* (Guérin, [1844])	x	x					x		x		x	x
80. *Anaea* sp. 1		x					x	x				
81. *Consul fabius cecrops* (Doubleday, [1849]	x									x		x
82. *Fountainea eurypyle confuse* (Hall, 1929)	x		x			x	x				x	
83. *Memphis pithyusa* (R. Felder, 1869)		x									x	x
Morphinae												
84. *Morpho achilles montezuma* Guenée, 1859	x	x	x						x	x	x	x
Brassolinae												
85. *Opsiphanes boisduvalii* (Doubleday, [1849])	x	x										
86. *Eryphanis aesacus aesacus* (Eric-Schäffer, 1850)	x	x										x
Satyrinae												
87. *Pareuptychia ocirrhoe* (Fabricius, 1776)	x	x						x	x		x	
88. *Taygetis virgilia* (Cramer, 1776)	x		x				x				x	x
Danainae												
89. *Danaus gilippus thersippus* (H. W. Bates, 1863)	x	x				x	x	x	x		x	x
90. *Danaus plexippus plexippus* (Linnaeus, 1758)	x	x			x		x		x		x	
Ithomiinae										x		
91. *Ithomia patilla patilla* Hewitson, 1852	x	x									x	x
92. *Greta morgane oto* (Hewitson [1855])		x	x									x
Libytheinae												
93. *Libytheana carinenta mexicana* Michener, 1943	x											x
LYCAENIDAE												
Riodininae												
94. *Rhetus arcius thia* (Morisse, 1838)		x						x	x		x	x
95. *Calephelis* sp.	x	x								x	x	x
96. *Baeotis zonata simbla* (Boisduval, 1870)	x			x	x	x					x	

Especies	Meses del año											
	2006				2007							
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
97. *Melanis pixe pixe* (Boisduval, 1836)	x			x			x			x	x	
98. *Emesis tenedia tenedia* C. Felder & R. Felder, 1861	x		x		x							
99. *Emesis tegula* Godman y Salvin, 1886			x		x	x						x
100. *Thisbe lycorias lycorias* (Hewitson, [1853])		x	x			x	x					x
Polyommatinae												
101. *Everes comyntas texana* F. Chermock, 1944										x	x	x
Theclinae												
102. *Eumaeus toxea* (Godart, 1824)	x	x	x	x		x		x			x	
103. *Pseudolycaena damo* (Druce, 1875)	x	x						x				
104. *Arawacus sito* (Boisduval, 1836)	x									x	x	
105. *Arawacus jada* (Hewitson, 1867)											x	
106. *Cyanophrys goodsoni* (Clench, 1946)	x							x		x		
107. *Strymon sedecia* ssp.								x				
108. *Calycopis isobeon* (Butler & Druce, 1872)										x	x	
109. *Tmolus* sp.								x			x	
110. *Chalybs janias* (Cramer, 1779)	x	x			x		x					
NOTA: Las X indican los meses en que fue colectado el material												

Como aportación final, y con base en la revisión bibliográfica realizada hasta el listado más actual, se pudo constatar que la especie *Strymon sedecia* constituye un nuevo registro para el estado de Veracruz.

La mayor diversidad mensual se dio en meses que corresponden a la época de lluvia, septiembre y octubre (finales de verano y principio del otoño) con 68 y 74 especies cada uno, lo que representa el 13.6% y 14.8% de las especies encontradas, respectivamente (Figura 3). Hernández-Baz (1989) hace cinco nuevos registros para el estado de Veracruz en comparación con el presente estudio, en el cual se logra un nuevo registro para la fauna veracruzana.

Las mariposas diurnas son de suma importancia, ya que funcionan como polinizadoras cuando transportan el polen de una flor a otra al alimentarse del néctar de las plantas. Con ello, cierran el ciclo de polinización y maduración del producto (Del Olmo, 2005; López, 2005). Cabe destacar que, en el bosque mesófilo de montaña, se encontraron 110 especies de Papilionoidea, que, comparado con el trabajo de Hernández-

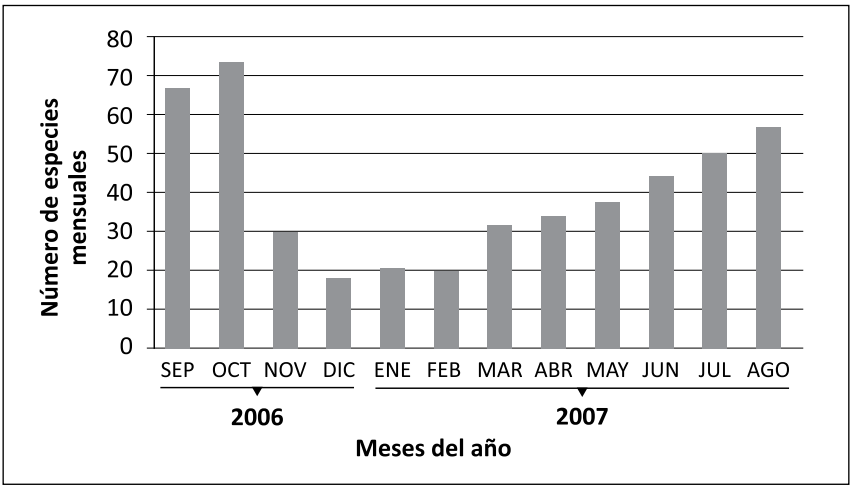


Figura 3. Diversidad mensual de Papilionoidea del bosque mesófilo de montaña en la Sierra de Otontepec, municipio de Citlaltépetl.

Baz *et al.* (2016) en su estudio dentro del Parque Natura, en Xalapa, Veracruz, donde encontraron 120 especies de Papilionoidea, ostentan 91.6%, del presente estudio. Aunado a ello, el mismo autor, en el año de 1993, reporta en su estudio 270 especies de mariposas diurnas para el municipio de Xalapa. Dicho estudio se llevó a lo largo de 140 meses, en comparación con el presente trabajo, que se realizó en 12 meses; con todo ello, se obtiene un 40.7% de captura de especies para el bosque mesófilo de montaña, dentro de la Sierra de Otontepec.

Otro punto importante son las colecciones biológicas, mismas que están constituidas por medio de inventarios e incluyen aquellas resguardadas en museos de historia natural, herbarios, jardines botánicos y zoológicos, así como las de microorganismos y de cultivo de tejidos, y las de recursos genéticos de plantas y animales (Plascencia *et al.*, 2011). De esta forma, constituyen uno de los acervos más completos de la biodiversidad y representan recursos de importancia primaria para la investigación biológica. Así, los inventarios biológicos cobran importancia no solo porque son las depositarias de la biodiversidad, entendida como la riqueza, la abundancia y la variabilidad de las especies y comunidades bio-

lógicas, sino también porque contribuyen a la conservación, pues cada espécimen constituye un registro permanente que puede ser reanalizado cuantas veces sea necesario, minimizando los costos y maximizando la eficiencia de los trabajos de campo (Plascencia *et al*., 2011).

CONCLUSIONES

El bosque mesófilo de montaña del municipio de Citlaltépetl, Veracruz, cuenta con una diversidad de mariposas de la superfamilia Papilionoidea, misma que fue representada por 110 especies, lo que sugiere la importancia de continuar con el estudio de este grupo de insectos en el municipio y sus alrededores, para así incrementar el listado, favoreciendo su conservación y protección. Asimismo, este estudio contribuyó al nuevo registro de la especie *Strymon sedecia* para la fauna veracruzana, ya que no había registros de la misma para el estado. Finalmente, en la época de lluvia se encontró la mayor riqueza y abundancia de Papilionoidea, probablemente debido a la combinación de factores climáticos, como la temperatura y humedad.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por haberme brindado la oportunidad de tener tan grande estudio y su impulso a superarme. A Fernando Hernández-Baz, por brindarme los conocimientos en el estudio de los insectos, mostrando siempre disposición y apoyo.

BIBLIOGRAFÍA

DEL OLMO, G. 2005. *Mariposas, flores que vuelan*. http://www.mexicodesconocido.com.mx/espanol/naturaleza/fauna/detalle.cfm?idpag=3692&idsec=11&idsub=39

GARCÍA DE LA CRUZ, Y., J. M. RAMOS PRADO, P. A. QUINTANAR ISAÍAS Y A. M. HERNÁNDEZ RAMÍREZ. 2014. *Elementos* 93. Pp. 23-29.

HERNÁNDEZ-BAZ, F. 1989. *Mariposas diurnas del municipio de Xalapa, Veracruz (Insecta: Lepidoptera) México. Taxonomía, ecología y zoogeografía.* Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Xalapa. Universidad Veracruzana. 154 pp.

HERNÁNDEZ-BAZ, F. 1993. La fauna de mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) de Xalapa, Veracruz, México. *La Ciencia y el Hombre*, 14: 55-87

HERNÁNDEZ-BAZ, F., B. J. E. LLORENTE, M. A. LUIS Y F. I. VARGAS. 2010. *Las mariposas de Veracruz. Guía ilustrada.* 1a ed. Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. México. 159 pp.

HERNÁNDEZ-BAZ, F., D. J. LUNA PÉREZ, G. CASTRO BOBADILLA, S. BRADLEIGH VINSON Y J. M. GONZÁLEZ. 2016. Species Richness of Butterflies (Papilionoidea) at Natura Park, Xalapa, Veracruz, Mexico. *Southwestern Entomologist* 41 (2): 417-430

LLORENTE, B. J., M. A. LUIS, F. I. VARGAS Y M. J. SOBERÓN. 1996. Papilionoidea (Lepidoptera). En: Llorente-Bousquets J., A. N. García A. y E. González S. (Eds.). *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de los artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento.* Conabio-UNAM. México. 531-548 pp.

LLORENTE, B. J. 1997. Papilionidae y Pieridae de México. D*istribución, Geografía e ilustración*. Conabio-UNAM. México. 227 pp.

LÓPEZ, M. A. 2005. *La vida de las mariposas.* http://www.geocities.com/editor_mx/vida.html

LUIS-MARTÍNEZ. A., I. VARGAS Y J. LLORENTE. 1995. Síntesis de los Papilionoidea (Rhopalocera: Lepidoptera) del estado de Veracruz. *Folia Entomológica Mexicana* 93: 91-133.

MORÓN, M. A. Y G. J. E. VALENZUELA. 1993. Estimación de la biodiversidad de insectos en México: análisis de un caso. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* XLIV: 303-312.

ORTEGA, E. F. Y C. G. CASTILLO. 1996. El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal. *Ciencias* 43: 32-39.

PLASCENCIA, L. R., B. A. CASTAÑÓN Y A. RAZ-GUZMÁN. 2011. La biodiversidad en México su conservación y las colecciones biológicas. *Ciencias* 101: 36-43.

STEYSKAL, G. C., W. L. MURPHY Y E. M. HOOVER. 1986. Insects and mites: Techniques for collection and preservation. U.S. Department of Agriculture, *Miscellaneous Publication* 1443: 1-103.

Capítulo 9

Diversidad de mamíferos terrestres

Diversity of terrestrial mammals

Juana Isamar Solares del Ángel[1]
Juan Manuel Pech Canché[1*]
Ivette Alicia Chamorro Florescano[1]

Resumen. México es un país con una gran riqueza biológica, ya que ocupa el tercer lugar a nivel mundial en cuanto a presencia de mamíferos; alberga 564 especies. Veracruz es uno de los tres estados más diversos del país después Oaxaca y Chiapas, y a pesar de ello se carece de información sobre mamíferos para la región norte del estado. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la diversidad y el recambio espacio-temporal de mamíferos terrestres en el área natural protegida Sierra de Otontepec, Veracruz. El trabajo se realizó durante las temporadas de lluvias y secas, a lo largo de un año. Se utilizaron cinco métodos: trampas cámara, observaciones directas, trampas Tomahawk, trampas Sherman y trampas Pitfall. Se registraron 17 especies pertenecientes a seis órdenes, 13 familias y 16 géneros. La selva alta subperennifolia es el sitio con la mayor riqueza. En la diversidad alfa se encontraron diferencias significativas entre el acahual y la selva,

1 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica-Tuxpan, Universidad Veracruzana. Carretera Tuxpan-Tampico, km. 7.5, col. Universitaria, CP 92860, Tuxpan, Veracruz, México. Email: jmpech@uv.mx (JMPC) *Autor para correspondencia

mientras que la diversidad beta presentó una alta complementariedad entre los sitios de muestreo, dado que cuentan con diferente oferta de recursos. Las trampas cámara fueron el método que aportó el mayor número de registros, con nueve especies, seguido de las observaciones directas y trampas Sherman, con cuatro especies. Se encontraron tres especies bajo algún estatus de conservación dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010: *Leopardus pardalis, Puma concolor* y *Pecari tajacu*; por ello es importante que se generen inventarios adecuados y se establezcan acciones para la conservación de los mamíferos y así evitar la extinción local de las especies protegidas.

Palabras clave: complementariedad, métodos de muestreo, recambio, riqueza.

Abstract. Mexico is a country with great biological diversity since it ranks third in the world in terms of mammalian diversity, housing 564 species. Veracruz is among the three most diverse states of the country after Oaxaca and Chiapas, and despite the diversity it hosts, information on mammals is lacking for the northern region of the state. Therefore, the objective of this work was to evaluate the diversity and spatial-temporal replacement of terrestrial mammals, in the protected natural area Sierra de Otontepec, Veracruz. The work was carried out during the rainy and dry season over a year. Five methods were used: camera traps, direct observations, tomahawk traps, Sherman traps and pitfall traps. We recorded 17 species belonging to six orders, 13 families and 16 genera, being the high subperennifolia forest the site with the greatest species richness. In the alpha diversity, significant differences were founded between acahual and forest; beta diversity presented a high complementarity between sampling sites given that they have different supply of resources. The camera trap was the one method that contributed the largest number of records, with nine species, followed by direct observations and Sherman traps, with four species. Three species were found under some conservation status according to NOM-059-SEMARNAT-2010: *Leopardus pardalis, Puma concolor* and *Pecari tajacu*; therefore, it is important

that adequate inventories were generated and to promote actions for the mammals conservation and thus avoid the local extinction of these protected species.

Keywords: complementarity, sampling methods, turnover, richness.

INTRODUCCIÓN

México es uno de los países megadiversos del planeta debido a la gran biodiversidad que alberga a nivel global (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008). Su compleja fisiografía, historia geológica y climática, principalmente, han creado una variada gama de condiciones que hacen posible la coexistencia de especies de origen tropical y boreal, que también han permitido, al paso del tiempo, una intensa diversificación de muchos grupos taxonómicos en las zonas continentales de su territorio, así como a lo largo de sus zonas costeras y oceánicas (Espinosa y Ocegueda, 2008). México es reconocido por su riqueza en vertebrados, ya que ocupa el segundo lugar mundial por el número de especies de reptiles, tercero en mamíferos, quinto en anfibios y el octavo en aves (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008); además de la riqueza específica, existen especies propias de alguna región en México, que pueden ser de gran fragilidad genética o poblacional (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008).

La mastofauna mexicana ocupa un lugar preponderante por su alta riqueza de especies y endemicidad, debido a la confluencia de fauna neártica y neotropical (Arita *et al*., 1997; Ceballos y Navarro, 1991; Ceballos y Rodríguez, 1993). Está representada por 564 especies silvestres (Sánchez Cordero *et al*., 2014), de las cuales 496 son mamíferos terrestres (Ramírez-Pulido *et al*., 2014), principalmente de los órdenes Rodentia y Chiroptera (Sánchez Cordero *et al*., 2014), lo que representa entre 8.7% y 7.6 de la diversidad de mamíferos a nivel mundial, respectivamente (Burgin *et al*., 2018). De igual forma, el estado del conocimiento de los mamíferos en México se ha incrementado con el paso del tiempo, diver-

sificando los campos de interés y los grupos de estudio (Ramírez Pulido *et al*., 2017). Sin embargo, a pesar de estos avances aún se requiere determinar diversos componentes de la diversidad biológica, como la riqueza de especies, en especial en sitios poco conocidos (Mayen Zaragoza *et al*., 2019).

El estado de Veracruz es uno de los tres estados más ricos en especies de mamíferos en México, con 195 especies, solo detrás de Oaxaca y Chiapas; sin embargo, a pesar de esta gran riqueza de especies, aún existen zonas donde se carece de información, ya que la mayor parte de los estudios se han centrado en la región de Los Tuxtlas, Córdoba-Orizaba y Xalapa-Perote (González Christen y Delfín Alfonso, 2016).

Lo anterior hace necesaria la realización de inventarios faunísticos en zonas poco exploradas, como es el caso de la Sierra de Otontepec, donde la fauna y vegetación de esta reserva están estrechamente relacionadas entre sí, ya que existe una codependencia entre ellas.

A pesar de que hasta el momento este componente ha sido poco estudiado dentro de la reserva, el registro histórico sugiere la presencia de 505 especies de vertebrados pertenecientes a tres grupos principales: 100 especies de mamíferos, 350 de aves y 55 de reptiles (Sedesma-CGMA 2007). Dentro de los mamíferos en riesgo se encuentran amenazadas las siguientes especies: la nutria de rio (*Lontra longicaudis*), el grisón (*Galictis vittata*), el cacomixtle (*Bassariscus astutus*), el yaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*), el ratón (*Peromyscus maniculatus*) y el murciélago frutero (*Enchisthenes hartii*); mientras que las especies en peligro de extinción son el cabeza de viejo (*Eira barbara*), el ocelote (*Leopardus pardalis*), el tigrillo (*Leopardus wiedii*) y el jaguar (*Panthera onca*) (Rodríguez Luna *et al*., 2011) .

Por lo anterior, la presente contribución documenta la riqueza y diversidad de mamíferos terrestres de la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz. Esta información enriquecerá los registros para la zona norte del estado de Veracruz y, al mismo tiempo, servirá como base de futuros estudios para la conservación y preservación de los mamíferos de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Sierra de Otontepec es un área natural protegida de competencia estatal, decretada el 2 de marzo de 2005 bajo la categoría de eserva Ecológica, que se encuentra ubicada dentro de la región huasteca, al norte del estado de Veracruz y representa una formación montañosa aislada de la Sierra Madre Oriental. Su superficie abarca 15,152 ha, dentro de los municipios de Ixcatepec, Tepetzintla, Chontla, Citlaltépetl, Tantima, Tancoco, Cerro Azul y Chicontepec, entre las coordenadas 21° 19' 19'' y 21° 09' 34''N, 97° 58' 30'' y 97° 48' 00'' O, respectivamente (Figura 1). Debido a su gradiente altitudinal, que va de los 350 a los 1,320 msnm, presenta una importante variación ambiental que va de cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano a cálido subhúmedo (Rodríguez Luna *et al*., 2011).

Se han registrado seis tipos principales de vegetación: selva mediana perennifolia, selva mediana subperennifolia, selva alta perennifolia, selva alta subperennifolia, bosque de encinos y bosque mesófilo de montaña; además de una considerable superficie cubierta por acahuales, derivados de estos tipos de vegetación en distintos grados de conservación (Rodríguez Luna *et al*., 2011). Para el presente estudio se seleccionaron tres sitios con diferentes tipos de vegetación y grados de perturbación: *a)* selva alta subperennifolia (21°14´57.22" N y 97°54'11.1" O), que consiste en un fragmento de selva formado por árboles de hasta 30 m o más de alto de muy diferentes especies, entre ellas: *Quercus* sp., *Clethra mexicana, Cedrela odorata, Ficus mexicana* y *Ficus tecolutensis*, donde de 25 a 50% de las especies pierden sus hojas, además, abundan lianas, epífitas, palmas y helechos; *b)* vegetación riparia (21°14´20.2" N y 97°55'18.5" O), que se caracteriza por presentar un arroyo con aproximadamente seis metros de ancho rodeado de vegetación halófita y árboles, tales como: *Ficus mexicana, Pouteria campechiana, Protium copal* y *Cedrela odorata*; *c)* acahual (21°14´36.6" N y 97°56´35.7" O), que presenta un fragmento de

pastizal donde predominan plantas como *Urera baccifera, Acacia farnesiana* y árboles, como son *Guazuma ulmifolia, Ceiba pentandra, Diospyros ebenum, Spondias mombin* y *Sabal mexicana*.

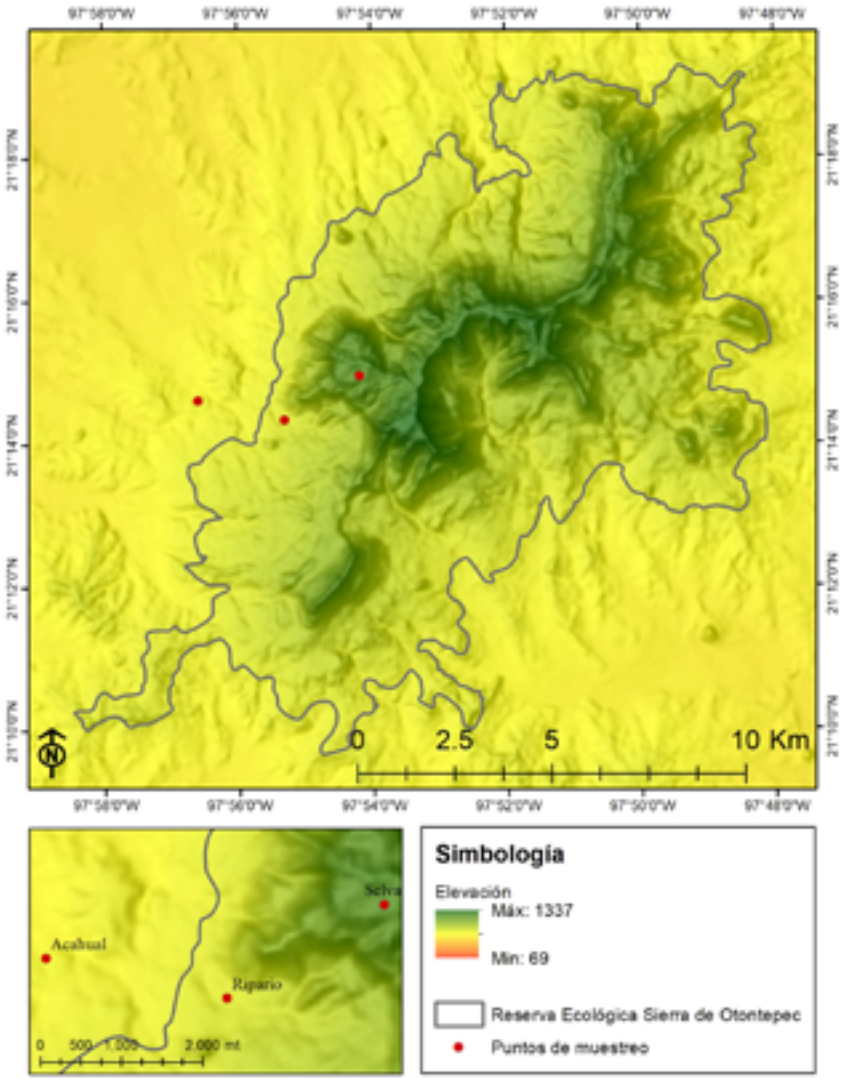


Figura 1. Ubicación general de la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz.

Trabajo de campo

Los muestreos se realizaron estacionalmente durante cuatro días y tres noches en la temporada de secas (marzo, abril y mayo) y lluvias (junio, agosto y septiembre) del 2017. Para el registro de los mamíferos se usaron tanto métodos directos como indirectos. Entre los métodos directos se emplearon trampas de pozo (Pitfall) para micromamíferos (musarañas), que fueron colocadas en un transecto de línea colocadas a 50 m equidistantes (Voss y Emmons, 1996); para mamíferos pequeños, como roedores, se colocaron 25 trampas Sherman® en un transecto de 300 m de longitud, colocando dos trampas de 8 x 9 x 23 cm, una en el suelo y otra en dosel con una altura que oscila entre 0.50 y 2.5 m; se usó como atrayente semillas de girasol (*Helianthus annus*) y esencia de vainilla; para el caso de mamíferos medianos se colocaron dos trampas y se utilizó como atrayente atún y sardina. En todos los casos los individuos capturados fueron marcados para su reconocimiento individual y liberados en el mismo sitio, ya que no se realizó la colecta de ejemplares.

Los métodos indirectos se refieren a todo aquel tipo de vestigio, señal o indicio que dejan los mamíferos durante sus actividades, así como cualquier resto que quede de ellos (Aranda-Sánchez, 2012); en este caso se emplearon los rastros, mediante recorridos de manera aleatoria en horario de 07:00 a 10:00 horas y de 16:00 a 19:00 horas, con una longitud ~ 2 km en cada uno de los sitios, en busca de cualquier tipo de rastro, huellas, madrigueras, excretas, marcas u otro tipo de señal de la presencia de las especies. De manera complementaria, fueron colocadas dos cámaras trampa con sensor de movimiento, una cámara marca Cudde Back Digital® modelo F2-P IR PLUS y otra marca Simmons® modelo 119236C. Se ubicaron en zonas donde se consideraron senderos frecuentes usados por animales. Fueron colocadas sobre árboles lo más derechos posible y con poco ángulo de engrosamiento del tronco, a una altura de 50 cm, se cortó toda la vegetación a ras de suelo frente a la cámara, como atrayente se utilizó alimento comercial para gato, distribuido a una distancia de 2 m frente a la cámara. La trampa se dejó

activa durante un mes en cada sitio para incrementar la posibilidad de tener mayores registros (Díaz-Pulido y Payán, 2012).

Análisis de datos

Se utilizaron curvas de rarefacción para comparar la riqueza de especies y abundancia entre sitios de muestreo, para eliminar la influencia del orden en que el muestreo fue hecho y suavizar la curva de rarefacción, el muestreo fue aleatorizado mil veces; los cálculos se realizaron en el programa EstimateS 9.1 (Colwell, 2013).

Se emplearon curvas de rango-abundancia para describir la estructura y composición de las comunidades dentro de diferentes sitios en términos de la abundancia proporcional de cada especie, es decir, la proporción que representan los individuos de una especie particular respecto al total de individuos de la comunidad (Feinsinger, 2003).

Se evaluó la diversidad de mamíferos terrestres presentes en cada uno de los sitios a partir del índice de diversidad verdadera (q1), a partir del exponencial del índice de Shannon, ya que se ha demostrado que este valor permite una mejor comparación de la diversidad biológica (Jost y González Oreja, 2012).

Para identificar cambios en la estructura de los sitios de muestreo se utilizó el índice de distinción taxonómica promedio ($\Delta+$), que se basa en la presencia o ausencia de las especies y actúa como indicador cualitativo; evalúa la riqueza junto con la distancia taxonómica entre cada par de especies, por medio de la matriz de agregación taxonómica previamente construida en niveles taxonómicos de orden, familia, género y especie (Clarke y Warwick, 2001).

Para evaluar las posibles diferencias entre la composición de especies, por sitios y métodos, se estimó la complementariedad que existe entre pares de los diferentes sitios y métodos. El valor de complementariedad varía de 0 a 1, donde 0 indica que las localidades son idénticas respecto a su composición de especies (comparten el 100% de ellas), en tanto que 1 es la complementariedad total, donde ninguna especie es compartida entre los sitios de muestreo (Colwell y Coddington, 1994).

RESULTADOS

Riqueza de especies (S)

De manera general, se registraron un total de 17 especies que corresponden a seis órdenes, 13 familias y 16 géneros, los órdenes más representados fueron Didelphimorphia, Rodentia y Carnivora. En ambas temporadas (lluvias y secas) se registraron 14 especies; durante la temporada de lluvias se registraron cuatro especies que se encuentran en estatus de conservación: *Leopardus pardalis* se encuentra en peligro de extinción dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Semarnat, 2010), preocupación menor en la IUCN y en el apéndice I de CITES, *Pecari tajacu* se encuentra en peligro de extinción dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010, mientras que *Nasua narica* y *Puma concolor* se encuentran en el Apéndice III y II de CITES, respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Listado taxonómico de los mamíferos de la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz, México (temporada de secas y lluvias).

Orden/ familia	Especie	Secas			Lluvias			Métodos	Estado de c onservación		
		Selva	Acahual	Ripario	Selva	Acahual	Ripario		NOM-059	IUCN	CITES
Carnivora											
Mephitidae	*Conepatus leuconotus*	x						ODC			Apéndice III
Procyonidae	*Nasua narica*	x			x			TC		Preocupación menor	Apéndice I
Felidae	*Leopardus pardalis*				x			TC			Apéndice II
Felidae	*Puma concolor*				x			TC			
Cingulata											
Dasypodidae	*Dasypus novemcinctus*		x	x		x		TC			

Orden/ familia	Especie	Secas			Lluvias			Métodos	Estado de c onservación		
		Selva	Acahual	Ripario	Selva	Acahual	Ripario		NOM-059	IUCN	CITES
Didelphimorphia											
Didelphidae	*Didelphis marsupialis*	x	x	x	x			TC, TT			
Didelphidae	*Didelphis virginiana*	x		x				TT, OD			
Didelphidae	*Philander oposum*	x	x		x			OD,TT,TC			
Didelphidae	*Tlacuatzin canescens*	x						OD			
Lagomorpha											
Leporidae	*Sylvilagus floridanus*	x	x					OD			
Rodentia											
Sciuridae	*Sciurus deppei*		x		x		x	OD			
Heteromydae	*Heteromys irroratus*			x		x	x	TS			
Cuniculidae	*Cuniculus paca*	x			x		x	TC, OD			
Cricetidae	*Reithrontomys fulvencens*			x			x	TS			
Sigmodontinae	*Oligoryzomys fulvencens*	x			x			TS			
Artiodactyla											
Cervidae	*Mazama temama*	x			x	x		TC, R			
Tayassuidae	*Pecari tajacu*				x			TC			

• OD: observaciones directas, TC: trampas cámara, TT: trampas Tomahawk, TS: trampas Sherman, R: rastros.

El sitio que presentó la mayor riqueza fue la selva, con 15 especies, además de una mayor abundancia relativa, debido a que se registraron especies con una abundancia de más de 30 individuos, como *Cuniculus paca* y *T. pecari*; los sitios de menor riqueza fueron acahual (siete especies) y ripario (seis especies), ambos con abundancias de 10 individuos (Figura 2).

Diversidad alfa

Se encontraron diferencias significativas en el índice de diversidad verdadera, q1, entre los sitios de selva y acahual, mientras que en las demás combinaciones de los sitios (ripario-acahual y ripario-selva), así como

temporadas de muestreo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

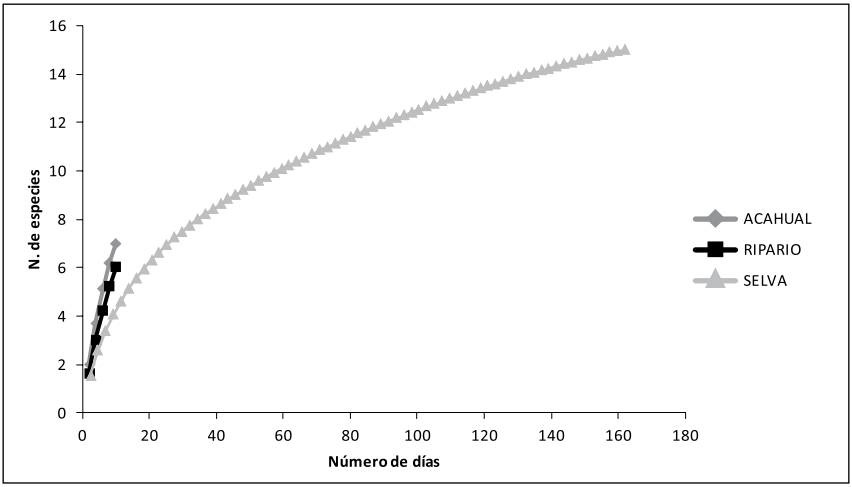


Figura 2. Curva de rarefacción, comparando la riqueza y la abundancia de los sitios de muestreo.

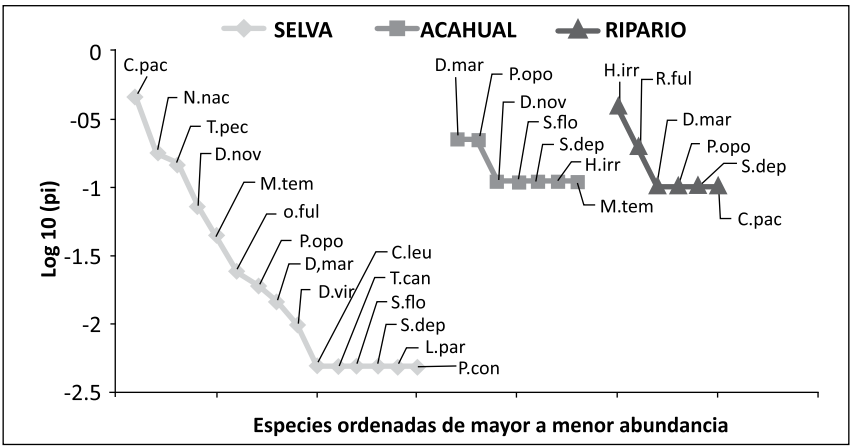


Figura 3. Gráfico de rango-abundancia de los tres sitios de muestreo (especies descritas con código).

Las especies más abundantes en la selva fueron *C. paca, P. tajacu* y *N. narica*, mientras que en el acahual y ripario las más abundantes fueron *Didelphis marsupialis* y *Heteromys irroratus*, por otra parte, las especies con menor abundancia fueron únicas por cada sitio (Figura 3).

La distinción taxonómica, Delta+, para los tres sitios de muestreo fue de 89.82 en la selva alta, de 94.34 en el acahual y de 73.74 en la vegetación ribereña, este último resultó con una diferencia estadísticamente significativa con relación a los dos primeros sitios (Cuadro 2).

Cuadro 2. Diversidad taxonómica de los tres sitios de muestreo en la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz.

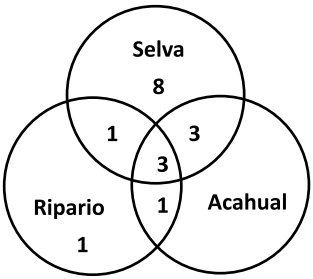
	Selva	Ripario	Acahual
Riqueza	15	6	7
Género	14	6	7
Familia	11	6	6
Orden	6	2	5
Diversidad taxonómica	89.82	73.74*	94.34

Diversidad beta

De manera general, los tres sitios comparten solamente tres especies entre sí, sin embargo, la selva y el ripario son los sitios más complementarios, con un 76 %, ya que solo comparten una especie entre ellos, seguido por los sitios de selva y acahual, con un 62 % de complementariedad y tres especies compartidas y, por último, los sitios ripario y acahual, con 55% de complementariedad comparten una especie (Figura 4). A nivel de temporadas climáticas, la complementariedad fue baja, con un 59%, compartiendo 11 especies entre sí y registrando de manera exclusiva tres especies en cada temporada (Figura 5).

En cuanto a la riqueza total de especies, el método con mayor número de registros fue el de las trampas cámara (nueve especies), seguido por el

de observaciones directas y trampas Sherman, que aporta cuatro especies nuevas, y por último los métodos de trampas Tomahawk y rastros, que no aportaron especies de manera exclusiva (Figura 6).



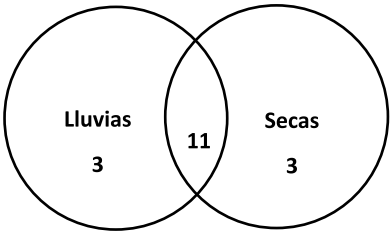


Figura 4 (izq). Complementariedad a nivel de especie; los valores dentro de los círculos representan los taxa incluidos en cada sitio.

Figura 5 (der). Complementariedad por temporada; los valores dentro de los círculos representan las especies incluidas en cada temporada

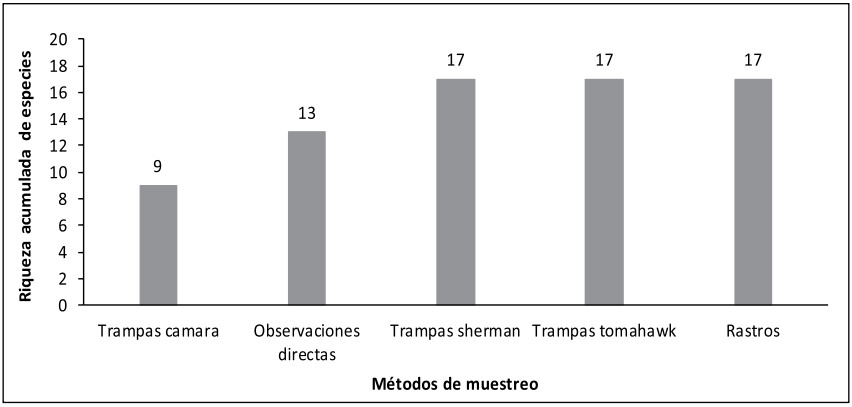


Figura 6. Complementariedad general por métodos de registro a nivel de especie.

DISCUSIÓN

Riqueza y diversidad de mamíferos en la Sierra de Otontepec

En el listado taxonómico correspondiente a la Sierra de Otontepec, durante la temporada de secas y lluvias se registraron 17 especies de mamíferos que corresponden a seis órdenes, 13 familias y 16 géneros, estos resultados difieren con lo previamente documentado en la cara sur de la Sierra de Otontepec, obtenidas con encuestas, registrando un total de 22 especies y 11 órdenes (Ceja, 2003).

Sin embargo, estas diferencias entre especies y órdenes, con respecto al presente estudio, podrían deberse a los diferentes métodos empleados, ya que el presente estudio el listado se compone de especies verificadas en campo, mientras que los datos de las encuestas hacen referencia a especies que pudieron estar presentes de manera histórica en el sitio.

Otro estudio realizado con mamíferos, en la zona de amortiguamiento y zona núcleo de la Sierra de Otontepec, mediante diferentes métodos (registros indirectos, cámaras trampas y encuestas), registró 11 especies presenciales y 21 potenciales (Rivera y Sobal, 2007).

Aunque la riqueza de especies verificada en campo por dichos autores es menor a la registrada en el presente trabajo, seis de esas especies no fueron registradas en el presente estudio: un artiodáctilo (*Odocoileus virginianus*) y cinco carnívoros (*Canis latrans, Urocyon cinereoargenteus, Eira barbara, Pro-cyon lotor* y *Leopardus wiedii*), lo que demuestra que se requiere un mayor esfuerzo de muestreo para tener el inventario completo de los mamíferos terrestres de la región, ya que incluso a través de esto se pudieran identificar nuevas especies para la zona (Mayen Zaragoza *et al*., 2019).

La riqueza de mamíferos terrestres registrada en el presente estudio es comparable a la encontrada en otras áreas naturales protegidas del país. En la reserva de la biosfera El Triunfo. Chiapas, se han reportado 16 especies (Cornejo Solchaga, 2015), en los petenes en Campeche 13 especies (Hernández Pérez *et al*., 2015); en la Lacandona, Chiapas,

Chimalapas y el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, regiones identificadas como de alta diversidad mastofaunística, se han registrado riquezas de 20, 19 y 20 especies, respectivamente (Azuara, 2005; Lira Torres y Briones Salas, 2012; Cortés Marcial y Briones Salas, 2014).

Asimismo, un estudio realizado con fototrampeo en la estación de Los Tuxtlas, Veracruz, registró un total de 17 especies de mamíferos terrestres (Flores *et al*., 2014).

Tomando estos estudios como referencia, la reserva ecológica Sierra de Otontepec puede ser considerada como un sitio importante para la conservación de la diversidad de mamíferos terrestres a nivel regional y nacional, no solo por la riqueza de especies *per se*, sino también por albergar a diversas especies incluidas en alguna categoría de conservación.

Diversidad alfa

La mayor riqueza registrada para la selva se puede deber al tipo de vegetación, disponibilidad de recursos y presencia de cuerpos de agua, ya que son los hábitats más utilizados para alimentación, descanso y reproducción de varias especies, entre ellas los mamíferos (Rautenstrauch y Krausman, 1989; Mandujano y Gallina, 1995). La mayor abundancia que presentó este sitio (162 individuos) se debió a que especies como *C. paca, T. pecari* y *N. narica* fueron registradas con abundancias altas (≥ 30 ind.), y en algunos casos fueron captados con crías, lo que concuerda con lo reportado en las regiones del país y del neotrópico (Lira Torres y Briones Salas, 2012; Cornejo Solchaga, 2015; Blake *et al*., 2017).

La presencia de *C. paca* es favorecida por la presencia de rascaderos, cuevas y túneles que utilizan como madrigueras, así como una buena cobertura vegetal y árboles frutales. Por otro lado, la abundancia de *P. tajacu* varía dependiendo del tipo de cobertura, el tamaño de los fragmentos y la presión de la cacería, ya que los obliga a refugiarse en sitios de difícil acceso (Gómez Valencia y Montenegro, 2016). Por su parte, *N. narica* es una especie gregaria que forma grupos numerosos, de alimentación omnívora; el tamaño grande de sus camadas y su alta capacidad repro-

ductiva le puede conferir la capacidad de tolerar el impacto antrópico (Valenzuela, 2005; Yupanqui Castañeda, 2005).

Las especies con menor abundancia se registraron en acahual y riparío, debido a que son sitios más antropizados en cercanía con fragmentos silvícolas y ganaderos, ya que los procesos de reducción y fragmentación del hábitat provocan localmente una disminución del número de individuos en las poblaciones de organismos silvestres (Bruna y Oli, 2005).

También es importante mencionar el registro de *T. canescens* en el sitio de selva, ya que representa el segundo registro de la especie para el estado de Veracruz (González Christen y Rodríguez, 2014), hecho que confirma su presencia en la zona norte del mismo.

Diversidad beta

Se registraron altos niveles de complementariedad entre los sitios de muestreo, en especial en las combinaciones de sitios donde se incluye a la selva, ya que ésta presentó la mayor cantidad de especies de forma exclusiva; lo anterior puede atribuirse a la heterogeneidad ambiental que se presenta en este sitio y que permite la presencia de una mayor cantidad de especies, tal como se ha descrito en otras regiones del país, donde se reporta que la mayor riqueza de especies se presentan en los sitios conservados con relación a los perturbados (Cortés Marcial y Briones Salas, 2014).

Entre la temporada de secas y lluvias se presentó una baja complementariedad, esto debido a que comparten la mayoría de sus especies y solo hay tres especies exclusivas para cada temporada, sin embargo, al inicio de la época lluvias se registró la presencia de puma y ocelote en la selva alta subperennifolia, esto podría deberse a las precipitaciones que incrementaron la productividad primaria, aumentando con ello la riqueza de especies que incluye a los carnívoros (Cortés Marcial y Briones Salas, 2014), ya que esta temporada favorece la disponibilidad de alimento y, por consecuencia, la reproducción de los mamíferos medianos y pequeños, los cuales son presas potenciales para estos depredadores.

La utilización de diferentes técnicas de muestreo fue un factor importante para incrementar el registro de las especies. Las cámaras trampas fueron el método con el que se registraron más especies en los diferentes sitios de muestreo, ya que además de registrar de manera exclusiva a mamíferos medianos y grandes, también permiten detectar horarios de actividad y otros comportamientos (Coronel Arellano, 2004), ya que el uso tradicional de métodos de captura de los individuos vivos, como las Tomahawk y Sherman, tienen la desventaja de que muchas especies son poco susceptibles al trampeo por conducta evasiva, o por el tamaño para entrar en ellas (Ojasti 2000). De forma adicional, el uso de las trampas Sherman permitió el registro exclusivo de tres especies de ratones, lo que demuestra la importancia del uso combinado de varias técnicas de muestreo para lograr adecuados inventarios de diversidad de mamíferos pequeños (Santos Filho *et al.*, 2015).

A pesar de que la reserva ecológica Sierra de Otontepec presenta diferentes grados de perturbación, en la selva alta subperennifolia se identificaron cuatro especies incluidas en algún estatus de conservación: *P. tajacu* y *Leopardus pardalis* en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y UICN, y *N. narica* y *Puma concolor* en apéndices de CITES; aunque el registro histórico por medio de encuestas indica la presencia de *Panthera onca* (Rivera y Sobal, 2007), en el presente estudio la presencia de esta especie no pudo ser verificada en campo con los métodos de muestreo empleados, esto debido probablemente a que estos felinos son de hábitos nocturnos o crepusculares, se desplazan solitarios en grandes extensiones de terreno, tienen baja tasa de reproducción y baja abundancia poblacional (Seymour, 1989). Estos felinos son especies indicadoras de conservación, por sus requerimientos de hábitat y sensibilización a la perturbación humana, por ello es importante que se aumente el esfuerzo de muestreo e iniciar con el monitoreo de estas especies para de esta manera verificar si son especies que ocupan la reserva como sitios de paso o como poblaciones residentes, así como actualizar los inventarios que se generan para esta reserva y establecer acciones de conservación que eviten su extinción local (Rodas Trejo *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

Los sitios muestreados dentro de la Sierra de Otontepec presentan una riqueza de 17 especies, 16 géneros, 14 familias y seis órdenes de mamíferos; los órdenes Carnivora, Didelphimorphia y Rodentia son los más representados. Además, se registraron cuatro especies que se encuentran dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010, UICN y CITES, lo que demuestra la importancia ecológica del área, así como la utilidad de implementar estrategias para la conservación del hábitat de la fauna silvestre y de esta manera evitar la caza o la extracción de mamíferos, además de crear conciencia ambiental, recalcando los servicios ambientales que estos mamíferos brindan.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), por otorgar una beca para estudios de posgrado al primer autor (607207); a los guías y todas las personas que colaboraron en el trabajo de campo, así como en el análisis de los datos.

BIBLIOGRAFÍA

ARANDA-SÁNCHEZ, M. J. 2012. *Manual para el rastreo de mamíferos terrestres de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 255 pp.

ARITA, H. T., F. FIGUEROA, A. FRISCH, P. RODRÍGUEZ Y K. SANTOS DEL PRADO. 1997. Geographical range size and the conservation of Mexican mammals. *Conservation Biology* 11: 92-100.

AZUARA, S. D. 2005. *Estimación de abundancia de mamíferos terrestres en un área de la selva lacandona, Chiapas*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM, México.

BLAKE, J. G., D. MOSQUERA, B. A. LOISELLE, K. SWING Y D. ROMO. 2017. Long-term variation in abundance of terrestrial mammals and birds in eastern Ecuador as measured by photographic rates and occupancy estimates. *Journal of Mammalogy* 98: 1168-1178.

BRUNA, E. M. Y M. K. OLI. 2005. Demographic effects of habitat fragmentation on a tropical herb: life-table response experiments. *Ecology* 86: 1816-1824.

BURGIN, C. J., J. P. COLELLA, P. L. KAHN Y N. S. UPHAM. 2018. How many species of mammals are there? *Journal of Mammalogy* 99: 1-14

CEBALLOS, G. Y D. NAVARRO. 1991. Diversity and conservation of Mexican mammals. Pp.167-198. En: M. A. Mareas y D. Schmidly (Eds.). *Latin American Mammalogy: History, Diversity, and Conservation*. Oklahoma University Press, Norman, Oklahoma, EUA. 468 pp.

CEBALLOS, G. Y P. RODRÍGUEZ. 1993. Diversidad y conservación de los mamíferos de México: II. Patrones de endemicidad. Pp. 87-108. En: R. Medellín y G. Ceballos (Eds.). *Avances en el estudio de los mamíferos de México*. Publicaciones Especiales núm. 1. Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C. México. 464 pp.

CEJA, C. 2003. *Mastofauna de la cara sur de la Sierra de Otontepec*. Trabajo recepcional. Universidad Veracruzana. Veracruz, México.

CLARKE, K.R. Y R. M WARWICK. 2001. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. 2a ed. PRIMER-E, Plymouth, UK.

COLWELL, R. K. 2013. *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Version 9. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>.

COLWELL, R. K. Y J. A. CODDINGTON. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions: Biological* 345: 101-118

CORNEJO-SOLCHAGA, A. 2015. *Un análisis de la diversidad y abundancia de mamíferos terrestres en la reserva de la biosfera El Triunfo, Chiapas*. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.

CORONEL-ARELLANO, H. 2004. *Inventario de la mastofauna terrestre: el caso del rancho Santa Elena, Huasca De Ocampo, Hidalgo*. Tesis de Licenciatura. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Biología. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.

CORTÉS-MARCIAL, M. Y M. BRIONES-SALAS. 2014. Diversidad, abundancia relativa y patrones de actividad de mamíferos medianos y grandes en una selva seca del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical* 62: 1433-1448.

CORTÉS–MARCIAL, M., Y. M. MARTÍNEZ AYÓN Y M. BRIONES-SALAS. 2014. Diversity of large and medium mammals in Juchitan, Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico. *Animal Biodiversity and Conservation* 37: 1-12.

DÍAZ-PULIDO, A. Y E. PAYÁN. 2012. *Manual de fototrampeo: una herramienta de investigación para la conservación de la biodiversidad en Colombia*. Instituto de investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Phantera, Colombia. 32 pp.

ESPINOSA, D. Y S. CEGUEDA. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. En: J. Soberón, G. Halffter y J. Llorente-Bousquets (Eds.). *Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México, pp. 33-65.

FEINSINGER, P. 2003. *El diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad*. Editorial FAN, Bolivia. 236 pp.

FLORES, J. J., R. I. COATE, V. SÁNCHEZ-CORDERO Y V. J. MENDIETA. 2014. Mamíferos terrestres de la Estación de Biología Tropical de Los Tuxtlas. *Revista Digital Universitaria*15: 1-10.

GÓMEZ-VALENCIA, B. Y O. MONTENEGRO, O. 2016. ¿Densidad, abundancia relativa u ocupación del pecarí de collar? Optimizando el esfuerzo de muestreo. *Mastozoología Neotropical* 23: 543-550.

GONZÁLEZ-CHRISTEN A. Y C. A. DELFÍN-ALFONSO. 2016. Los mamíferos terrestres de Veracruz, México y su protección. Pp. 499-534. En: Briones-Salas, M., Y. Hortelano y Moncada, Magaña-Cota, G. Sánchez-Rojas y J. E. Sosa-Escalante (Eds.). *Riqueza y conservación de mamíferos en México a nivel estatal*. Instituto de Biología, UNAM, Asociación Mexicana de Mastozoología A.C. y Universidad de Guanajuato, Ciudad de México.

GONZÁLEZ-CHRISTEN, A. Y N. V. RODRÍGUEZ. 2014. Primer registro de *Tlacuatzin canescens* (Mammalia, Didelphimorphia: Marmosidae) en Veracruz, México. *Therya* 5: 845-854.

GUERRERO, S. BADII., H. MOHAMMAD, S. S. ZALAPA Y J. A. ARCE. 2004. Variación espacio-temporal en la dieta del coyote en la costa norte de Jalisco, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 20: 145-157.

HERNÁNDEZ-PÉREZ, E. L., R. REYNA-HURTADO, G. E. CASTILLO VELA, M. SANVICENTE LÓPEZ Y J. F. MOREIRA RAMÍREZ. 2015. Fototrampeo de mamíferos terrestres de talla mediana y grande asociados a petenes del noroeste de la península de Yucatán, México. *Asociación Mexicana de Mastozoología* 6: 559-574.

JOST, L. Y J. A. GONZÁLEZ-OREJA. 2012. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana* 56: 3-14.

LIRA-TORRES, I. Y M. BRIONES-SALAS. 2012. Abundancia relativa y patrones de actividad de los mamíferos de los Chimalapas, Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 28: 566-585.

LLORENTE-BOUSQUETS, J. Y S. OCEGUEDA. 2008. Estado del conocimiento de la biota. En: J. Soberón, G. Halffter y J. Llorente-Bousquets (Eds.). *Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México, pp. 283-322

MANDUJANO, S. Y S. GALLINA, S. 1995. Disponibilidad de agua para el venado cola blanca en un bosque tropical caducifolio de México. *Vida Silvestre Neotropical* 4: 107-118.

MAYEN-ZARAGOZA, M., L. GUEVARA, G. HERNÁNDEZ-CANCHOLA Y L. LEÓN-PANIAGUA. 2019. First record of shrews (Eulipotyphla, Soricidae)

in the Sierra de Otontepec, an isolated mountain in Veracruz, Mexico. *Therya* 10: 59-64.

OJASTI, J. 2000. *Manejo de fauna silvestre neotropical*. Smithsonian Institution / MAB Biodiversity Program. Washington, EUA. 304 pp.

RAMÍREZ-PULIDO, J., N. GONZÁLEZ-RUIZ, A. GARDNER Y J. ARROYO-CABRALES. 2014. List of Recent Land Mammals of Mexico, 2014. *Special Publications Museum of Texas Tech University* 63: 1-69.

RAMÍREZ-PULIDO, J., N. GONZÁLEZ-RUIZ Y D. F. GARCÍA-MENDOZA. 2017. References on Mexican Mammals: Origin and Impact. *Therya* 8: 151-170.

RAUTENSTRAUCH, K. Y P. KRAUSMANN. 1989. Influence of water availability on rainfall and movements of desert mule deer. J*ournal of Mammalogy* 70:197–201.

RIVERA, C.A.S. Y M. A. C. SOBAL. 2007. *Diagnóstico de los mamíferos mayores y medianas en el Área Natural Protegida de Otontepec, Veracruz, México*. Trabajo Recepcional, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, Mexico.

RODAS-TREJO, J., A. ESTRADA, J. RAU, M. MORALES Y H. MANDUJANO. 2017. Lekil Kuxlejal Cultura, Educación y Sustentabilidad. Ed.: 1: Riqueza y Abundancia de Mamíferos Medianos y Grandes en Metzabok, Chiapas, México.

RODRÍGUEZ-LUNA, E., A. GÓMEZ-POMPA, J. C. LÓPEZ-ACOSTA, N. VELÁZQUEZ-ROSAS, Y. AGUILAR-DOMÍNGUEZ Y M. VÁZQUEZ-TORRES. 2011. *Atlas de los espacios naturales protegidos de Veracruz*. Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana. México. 352 pp.

SÁNCHEZ-CORDERO, V., BOTELLO, FLORES-MARTÍNEZ, F. GÓMEZ-RODRÍGUEZ, L. GUEVARA, G. GUTIÉRREZ-GRANADOS Y A. RODRÍGUEZ-MORENO. 2014. Biodiversidad de Chordata (Mammalia) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 496-504.

SANTOS-FILHO, M., P.R. DE LÁZARI, C.P.F. DE SOUSA Y G.R. CANALE. 2015. Trap efficiency evaluation for small mammals in the southern Amazon. A*cta Amazonica* 45: 187-194.

SEDESMA-CGMA. 2007. *Programa de manejo del área natural protegida Sierra de Otontepec*. Sedesma-Coordinación General de Medio Ambiente. Veracruz, México. 200 pp.

SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental-Especies nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-Categorías de Riesgo y Especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 56, 2ª. Sec.: 1-85.

SEYMOUR, K. 1989. *Panthera onca*. Mammalian Species. *The American Society of Mammalogist* 340: 1-9

VALENZUELA, D. 2005. Tejón, Coatí. *Nasua narica* (Linnaeus, 1766) Pp. 411-413). En: G. Ceballos y G. Oliva (Eds.). *Mamíferos Silvestres de México*. Fondo de Cultura Económica, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. 986 pp.

VOSS, R. S. Y L. H. EMMOS. 1996. Mammalian diversity in Neotropical lowland rainforests. A preliminary assessment. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 230: 1-115.

YUPANQUI-CASTAÑEDA, C.M. 2005. *Perfil bioquímico sanguíneo hepático en coatíes (Nasua nasua) criados en cautiverio en el Departamento de Lima, Perú. T*esis de Licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Capítulo 10

Abundancia, importancia cultural y uso del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en tres ejidos

Abundance, cultural importance and use of the white-tailed deer (Odocoileus virginianus) in three ejidos

Rosa Esteban Santiago[1]*
Joel Hernández Rivera[1]
Sol de Mayo Araucana Mejenez López[1]
Jorge Luis Chagoya Fuentes[2]
José Luis Alanís Méndez[2]

Resumen. El área natural protegida Sierra de Otontepec posee los últimos relictos de bosque nativo en la zona norte de Veracruz. Asimismo, es el último refugio para especies que dependen de esos bosques para vivir, como es el caso del venado cola blanca *Odocoileus virginianus*. Desafortunadamente, se desconoce la abundancia de esta especie en esa montaña. Debido a lo anterior, el presente trabajo evaluó la abundancia poblacio-

1 Instituto Tecnológico de Huejutla. Carretera Huejutla-Chalahuiyapa, km. 5.5. CP 43000. Huejutla de Reyes, Hidalgo. Email: rrossa_30@hotmail.com (RES); j_oel_19@hotmail.com (JHR) *Autor para correspondencia

2 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica-Tuxpan, Universidad Veracruzana. Carretera Tuxpan-Tampico, km. 7.5, col. Universitaria, CP 92860, Tuxpan, Veracruz, México. E-mail: jochagoya@uv.mx (JCHF) y lalanis@uv.mx (JLAM)

nal y se caracterizó el hábitat de *O. virginianus*. Se realizaron salidas de campo en los ejidos Citlaltépetl, Adolfo López Mateos y San Nicolasillo, durante los meses de agosto de 2010 a febrero de 2011, donde se trazaron 10 transectos de un kilómetro de longitud. En cada uno se instalaron 50 parcelas a cada 20 metros, con un diámetro de 78.54 m^2 pertenecientes a seis asociaciones vegetales con el método de conteos de grupos focales. Para el cálculo de la abundancia se utilizó el modelo de Eberhardt y Van Etten. Se logró cuantificar que el ejido de Citlaltépetl cuenta con mayor cantidad de venados que los otros dos ejidos, es decir, un venado por cada 11.9 hectáreas. En contraste, en el ejido Adolfo López Mateos se determinó un venado por cada 20.4 hectáreas, mientras que en el ejido de San Nicolasillo se cuantificó un venado por cada 66.6 hectáreas. Los lugares con mayor avistamiento fueron los pastizales, en los meses de abril, mayo y junio. Por otro lado, mediante reuniones de trabajo se determinó el estatus de conservación que se le da a esta especie en cada uno de los ejidos. Adicionalmente, se concientizó a la población de la importancia de conservar esta especie. La información obtenida será de ayuda para que los ejidatarios puedan crear una unidad de manejo (UMA).

Palabras clave: biodiversidad, ejido Citlaltépetl, modelo de Eberhardt, norte de Veracruz, bosque mesófilo.

Abstract. Theprotected natural area Sierra de Otontepec, has the last relics of native forest in the North of Veracruz. It is also the last refuge for species that depend on these forests to live, as is the case of the white-tailed deer *Odocoileus virginianus*. Unfortunately, the abundance of this species in this mountain is unknown. Due to the above, the present work evaluated the population abundance and characterized the habitat of the *O. virginianus*. Field trips were carried out in the Ejidos Citlaltépetl, Adolfo López Mateos and San Nicolasillo, during the months of August 2010 to February 2011, where 10 transects of a kilometer in length were drawn. In each transect, every 20 meters one plot was installed (50 in total) with a diameter of 78.54 m^2 belonging to 6 plant associations with the method of focus group counts. For the cal-

culation of abundance, the Eberhardt and Van Etten model was used. It was possible to quantify that the Citlaltépetl ejido has a greater number of deer than the other two ejidos, that is, one deer for every 11.9 hectares. In contrast, in the Adolfo López Mateos ejido a deer was determined for every 20.4 ha. While in the San Nicolasillo ejido a deer was quantified for every 66.6 hectares. The places with the greatest sighting were the pastures in the months of April, May and June. On the other hand, through working meetings, the conservation status given to this species in each of the ejidos was determined. Additionally, the population was made aware of the importance of conserving this species. The information obtained will be of help so that ejidatarios can create a management unit (UMA).

Keywords: biodiversity, ejido Citlaltépetl, Eberhardt Model, mesophilic forest, Veracruz north.

INTRODUCCIÓN

En la prehistoria, los hombres plasmaban en sitios de difícil acceso pinturas rupestres que representaban grupos de ciervos que eran cazados por figuras humanas con lanzas y arcos. Además, diversos animales han formado parte de su cosmogonía, de su herencia cultural y social; dentro de la fauna que ha estado ligada a los humanos se encuentran los cérvidos (Serra y Valdéz, 1989).

En el continente americano, de donde es originario el género de cérvidos *Odocoileus*, se reconocen principalmente 38 subespecies de venado cola blanca: 30 subespecies para la parte norte y centro del continente y 8 subespecies para la parte sur (Galindo-Leal y Weber, 1997).

La familia Cervidae está ampliamente distribuida en México, donde se encuentran cuatro especies: *Odocoileus hemionus, Odocoileus virginianus, Mazama americana* y *Mazama pandora*. En su caso, el venado cola blanca (*O. virginianus*) se distribuye prácticamente en todo el territorio nacional exceptuando la península de Baja California (Aranda, 2000). También se

localiza en el sur de Canadá, Estados Unidos de América y desde Centroamérica hasta Bolivia (Galindo-Leal y Weber, 1997).

En México existen 14 subespecies, las cuales habitan desde las selvas de Chiapas y Yucatán hasta los matorrales de Nuevo León. Generalmente su tamaño es mayor en las latitudes más al norte y poseen una coloración grisácea, en contraste, en los climas tropicales son más pequeños y de color rojizo (Mandujano *et al*., 2010).

La geografía de Veracruz, y en particular en el área natural protegida Sierra de Otontepec, cuenta con amplios valles, altas montañas, ríos y arroyos, que en conjunto albergan una extraordinaria biodiversidad de flora y fauna que no corresponde generalmente con el aprovechamiento racional de su ecosistema. Tradicionalmente, estos recursos naturales han sido desaprovechados, por lo que se han perdido oportunidades presentes o futuras de desarrollo rural y regional, ligadas a la conservación y utilización sustentable de los recursos naturales (Sedesma, 2007).

Adicionalmente, la vegetación de la sierra está compuesta por tres formaciones principales que se distribuyen de manera altitudinal de acuerdo con la clasificación propuesta por Rzedowski (1978) y el estudio específico llevado a cabo por Castillo y Medina (1996). Son bosques y acahuales de encinos, bosque tropical perennifolio, bosque mesófilo de montaña. Adicionalmente, los encinares tropicales se encuentran comúnmente asociados al bosque tropical perennifolio y han sido considerados como un tipo de vegetación relicto de antiguos desplazamientos de vegetación de zonas templadas a otras de menor altitud, en la costa de México (Pennington y Sarukhán, 1968).

En la actualidad, el vínculo entre comunidades de plantas, venados y humanos se ha quebrantado. Los ecosistemas naturales han sido alterados y fragmentados. Lo que ha provocado que, con el paso del tiempo, ocupen una menor superficie. A consecuencia de lo anterior, la población de las diversas especies de venados ha disminuido considerablemente. En contraste, las comunidades humanas han crecido sin control. Por otro lado, las poblaciones de venados están restringidas a unas cuantas áreas destinadas a su conservación y manejo (Galindo-Leal y Weber, 1997).

En el presente trabajo se calculó la abundancia poblacional de venados en el área que corresponde a tres ejidos (Citlaltépetl, Adolfo López Mateos y San Nicolasillo) dentro del área natural protegida Sierra de Otontepec. Además, se identificó la importancia cultural y el uso que los ejidatarios le dan al venado cola blanca.

ANTECEDENTES

Resulta evidente que el área natural protegida Sierra de Otontepec presenta un fuerte deterioro en sus ecosistemas forestales, lo anterior, motivado principalmente por la actividad agropecuaria donde 50.8% de su superficie (7,700 ha) ha sido fuertemente afectada y se conserva 35.3% de bosque (5,335 ha). Adicionalmente, se puede establecer que 13.9% restante (2,097 ha), tiene vegetación en proceso de regeneración (Gaceta Oficial del Estado de Veracruz, 2005).

A pesar del interés que ha despertado en la comunidad académica la conservación de la Sierra de Otontepec, los proyectos de investigación en la región han sido escasos, ya que solo se registra un inventario de la flora (Sedesma, 2007).

El presente estudio tuvo como objetivo general determinar la abundancia de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en los ejidos Adolfo López Mateos, Citlaltépetl y San Nicolasillo, localizados en el área natural protegida Sierra de Otontepec, e identificar la importancia cultural y uso que se le da a esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se desarrolló en el área natural protegida Sierra de Otontepec, la cuál se encuentra situada al norte del estado de Veracruz, en la llanura costera del Golfo de México. Tiene una extensión de 15,200 hectáreas y se ubica entre las coordenadas 97º58´30´´ y 97º48´00´´ ongitud Oeste, y coordenadas 21º19´19´´ y 21º09´34´´ Latitud Norte,

con una altitud máxima de 1,300 msnm (INEGI, 2009). Territorialmente involucra a los municipios de Ixcatepec, Tepetzintla, Chontla, Citlaltépetl, Tantima, Tancoco, Cerro Azul y Chicontepec (Sedesma, 2007). El estudio se realizó en los ejidos Adolfo López Mateos, Citlaltépetl y San Nicolasillo (Figura 1).

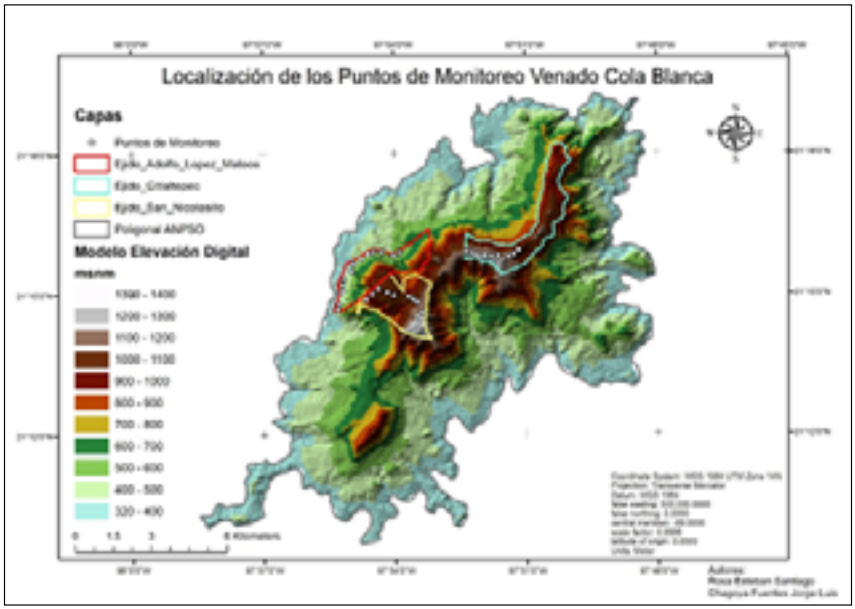


Figura 1. Área de estudio en la Sierra de Otontepec, Veracruz.

Es muy importante resaltar que, para llevar a cabo el presente estudio fue necesario desarrollar varias reuniones con los ejidatarios para coordinar con ellos el trabajo de campo. A continuación, se presentan las metodologías que se aplicaron en las etapas de campo y gabinete.

Trabajo de campo

Durante los meses de agosto 2010 a febrero del 2011, se realizaron 12 salidas a campo. En total se llevaron a cabo 10 transectos de 1 km de

longitud en los terrenos de los ejidos Citlaltépetl (3 transectos), Adolfo López Mateos (4 transectos) y San Nicolasillo (3 transectos) (Figura 2). En cada transecto se realizaron 50 parcelas a cada 20 metros, con un diámetro de 78.54 m^2. En cada parcela se identificaron huellas, excretas y raspaduras de los venados (Madujano y Aranda, 1993; Eberhardt y Van Etten, 1956; citado en Sánchez y Vázquez-Domínguez, 1999).

El muestreo realizado consistió en obtener el número de excretas, huellas y raspaduras presentes dentro del área determinada, y se estimó con ella el número total de venados al que corresponden las excretas, huellas y raspaduras encontradas en el área muestreada; para los trazos de transectos se utilizó una cinta métrica de 50 metros; para que la alineación fuera precisa y las áreas trazadas o muestreadas se pudieran localizar fácilmente en el campo se utilizó un GPS (GARMIN etrex 20©). La toma de registros de las excretas, huellas y raspaduras en cada uno de los transectos se realizó cada 15 días durante siete meses.

Figura 2. Transectos realizados en los ejidos del área natural protegida.

El material que se utilizó fue el siguiente:

a) Cinta métrica de un metro, para medir la raspadura en los árboles (largo y ancho).

b) Libreta de campo en la que se registró toda la información de las excretas, raspaduras y huellas que se encontraron en cada parcela.

c) Cámara fotográfica para el registro visual de las evidencias.

d) Marcadores para enumerar las estacas de cada una de las parcelas.

e) Cuadro de registro de las excretas, huellas y raspaduras del venado cola blanca, el cual está conformado por cinco columnas que indican la estación y el número de transecto.

La ecuación que se utilizó para realizar la estimación de la población de venados cola blanca a partir del conteo de excretas, se realizó de acuerdo con el modelo propuesto por Eberhardt y Van Etten (1956) citado en Sánchez y Vázquez-Domínguez (1999).

Ecuación:

$$Dp = \frac{(NP)(PG)}{(TP)(TD)}$$

donde:

Dp = Densidad media de la población de venados, expresadas en venados por hectáreas.

NP = Número de parcelas de un área determinada que caben dentro de una hectárea (10,000 m^2/superficie del área)

PG = Promedio de excretas por parcela o total de excretas contadas entre el número total de parcelas muestreadas.

TP = Tiempo en el que se depositaron las heces en días.

TD = Tasa diaria de defecación, es decir, el número promedio de excretas que produce un venado diariamente.

Trabajo de gabinete

Después de cada recorrido se realizaba el análisis de la información en las instalaciones de la estación de campo propiedad de la Funda-

ción Pedro y Elena Hernández A.C., donde se cotejó la información generada en campo con la literatura existente sobre huellas de mamíferos y otros rastros (Aranda, 2000). Además, se recurrió a diversas fuentes (Aranda, 2000; Galindo-Leal y Weber, 1997; Gallina y Mandujano, 2009). Posteriormente, los resultados de los transectos recorridos, identificación de huellas, raspaduras y excretas, se integraron a una base de datos con relación a abundancia, importancia cultural y uso del venado cola blanca (*O. virginianus*). Una vez cotejados los registros, se determinó la abundancia existente de venados en cada ejido estudiado.

Por otra parte, la importancia y uso cultural del venado cola blanca se determinó mediante el método etnozoológico en los tres ejidos (Morales y Pacheco, 2009) donde se llevaron a cabo tres sesiones de trabajo con los ejidatarios para determinar la importancia y el uso que tiene el venado cola blanca y, al mismo tiempo, se aplicaron 30 cuestionarios, 10 para cada ejido (Cuadro 1). Cada instrumento incluyó las preguntas siguientes (véase Anexo I):

¿Existen venados cola blanca en su ejido?
¿Dónde?
¿En qué mes son más evidentes?
¿Cuántos ha visto en cada salida a campo?
¿Se le da algún uso?
¿Se tienen algún proyecto para su conservación?

RESULTADOS

En mil hectáreas de superficie se trazaron 10 transectos de mil metros de longitud cada uno, en el cual se define un total de 500 parcelas de muestreo de 78.54 m^2 de superficie cada una (50 parcelas por transectos). De manera general se puede indicar que entre los tres ejidos que comprenden mil hectáreas es posible encontrar 1 venado cada 21.7 hectáreas.

Registros del ejido Adolfo López Mateos

En 459 ha se realizaron cuatro transectos de 1000 m de longitud en cada uno, de los cuales se definieron un total de 200 parcelas de muestreos de 78.54 m^2 de superficie. El primer registro del ejido fue de un venado por cada 21.2 ha, y el segundo registro indicó un venado por cada 19.6 ha. En promedio este ejido tiene 1 venado cada 20.4 hectáreas (Cuadro 2).

Registros del ejido San Nicolasillo

En 421 ha del ejido de San Nicolasillo se trazaron tres transectos de 1000 m de longitud cada uno, en los cuales se definieron un total de 150 parcelas de muestreo de 78.54 m^2 cada una. Durante el primer registro se calculó un venado por cada 66.6 ha durante el segundo registro, se determinó un venado por cada 66.6 ha. De acuerdo con las dos revisiones en promedio se determinó un venado por cada 66.6 ha (Cuadro 3).

Registros del Ejido San Citlaltépetl

En 561 ha del ejido Citlaltépetl se trazaron tres transectos de 1000 m de longitud cada uno en el cual se definieron un total de 150 parcelas de muestreo de 78.54 m^2 de superficie cada una. Durante el primer registro se calculó la presencia de un venado por cada 13.3 ha y en el segundo recorrido se determinó un venado por cada 10.6 hectáreas. En promedio, la población es de un venado por 11.9 hectáreas (Cuadro 4).

RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS APLICADAS

Ejido Adolfo López Mateos

De acuerdo con los resultados que arrojaron las 10 entrevistas aplicadas a hombres (7) y mujeres (3) de 41 a 85 años, los lugares en los cuales se pueden encontrar venados con mayor frecuencia son: potrero con un

50%, caminos con un 25%, monte, milpa, acahuales con 15% y 10% en el arroyo (Figura 3). Los meses en el que se pueden observar fueron abril y julio con 50%, marzo y junio con 30%. En contraste, los meses con menos avistamientos son enero, febrero, mayo y agosto con 10%; septiembre, octubre y noviembre con 10%.

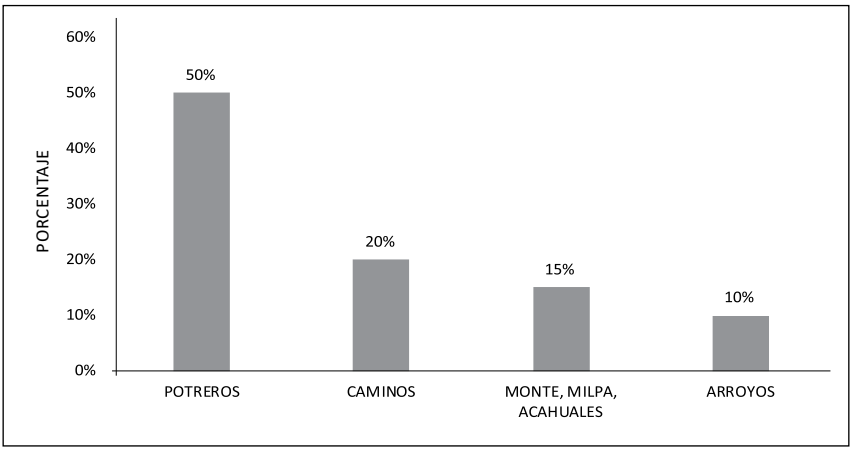


Figura 3. Usos de suelo, donde se identificó la presencia de *O. virginianus* en el ejido Adolfo López Mateos, Sierra de Otontepec.

En cuanto a las salidas que se realizan a campo, cinco de las personas han visto dos venados juntos, tres han visto de uno a tres y dos de ellos han visto de cuatro a ocho; de igual manera, 80% de las personas entrevistadas dicen que se encuentran en conservación y 20% indica que los venados son cazados y utilizados como alimento (Figura 4).

Ejido Citlaltépetl

Las personas a las que se les aplicó las entrevistas fueron hombres (6) y mujeres (4) de 36 a 63 años de edad, todas saben que existen los venados cola blanca dentro de los terrenos del ejido. Además, mencionaron los lugares donde se pueden encontrar: en potreros con 50%, monte 25%, mil-

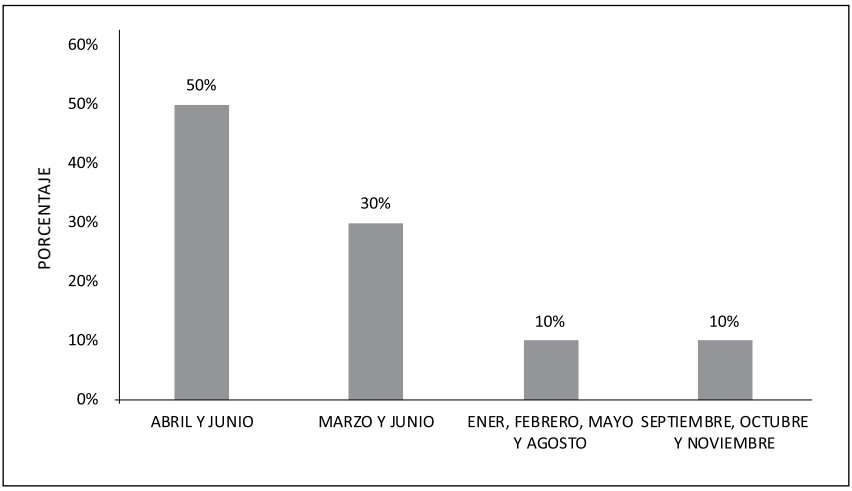


Figura 4. Meses en los cuales se encontró mayor evidencia de venado cola blanca (*O. virginianus*) en el ejido Adolfo López Mateos, Sierra de Otontepec.

pa, acahuales, caminos con 15% y 10% solamente se encuentra en arroyos (Figura 5).

Los meses en los que se pueden observar con más frecuencia fueron enero y mayo con 60%, febrero y marzo con 30%, abril, junio, agosto y septiembre con 10%. Nueve personas han visto de uno a tres venados y una ha llegado a ver seis venados en sus salidas a campo. En este ejido todas las personas entrevistadas mencionan que los venados están en conservación, ya que anteriormente se cazaban y que hoy en día se encuentra protegidos por Semarnat (Figura 6).

Ejido San Nicolasillo

De las 10 entrevistas que se aplicaron en este ejido a hombres (8) y mujeres (2) de 36 a 64 años, 100% sabe que existen los venados cola blanca en los terrenos de su ejido. Los lugares en que se pueden encontrar con más frecuencia son: potreros con un 50%, acahuales con un 25%, caminos con un 15% y en arroyos con un 10% (Figura 7). Los meses en los que se ven con más frecuencia son: abril, junio y septiembre, con 50%, octubre

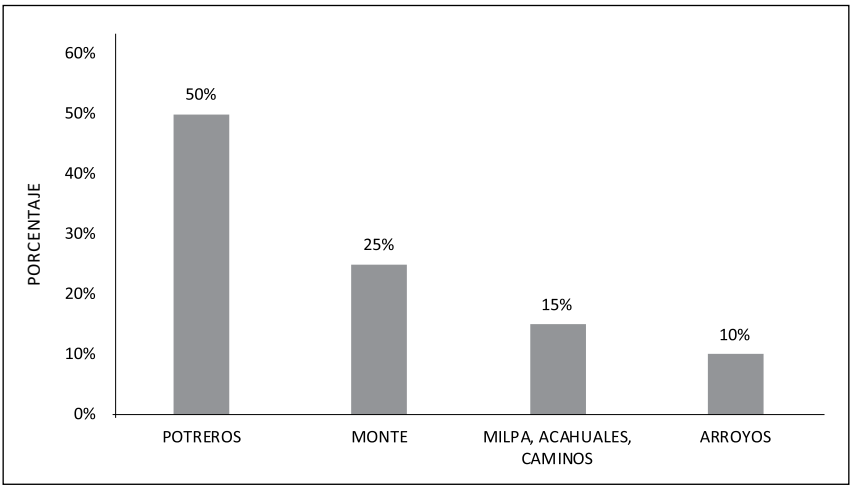


Figura 5. Usos de suelo, donde se identificó la presencia de *O. virginianus*, en el ejido Citlaltépetl, Sierra de Otontepec.

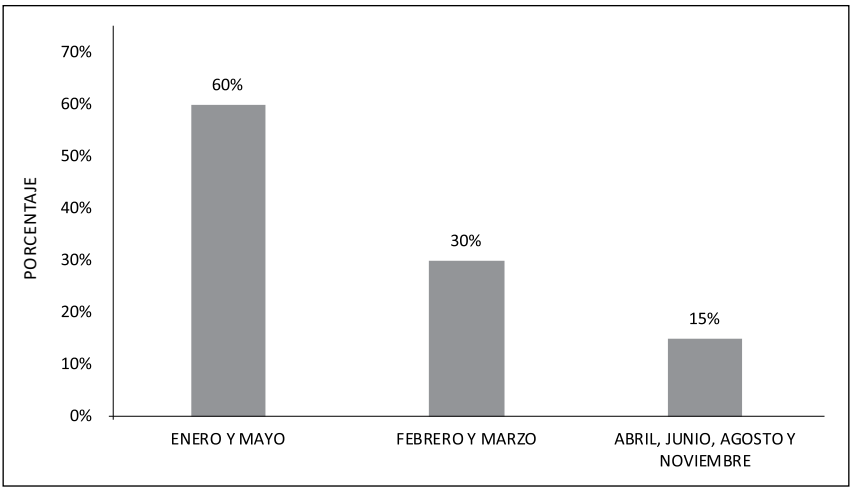


Figura 6. Meses en los cuales se encontró mayor evidencia de venado cola blanca (O. *virginianus*), en el ejido Citlaltépetl, Sierra de Otontepec.

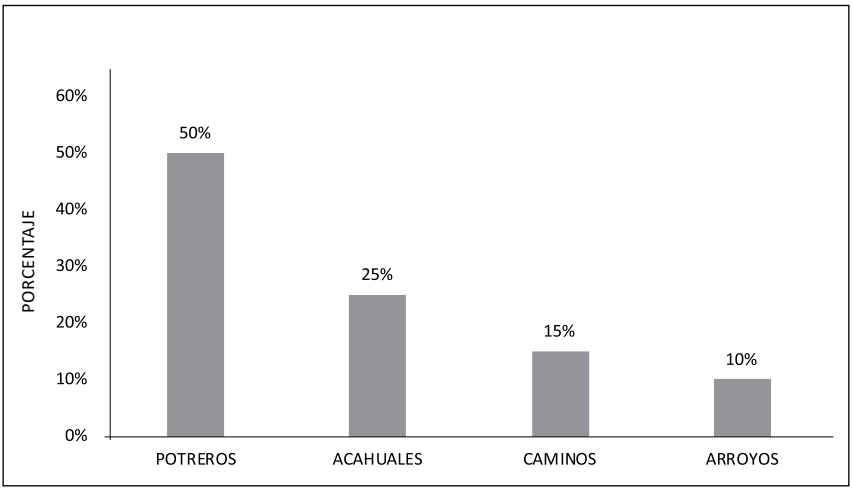


Figura 7. Usos de suelo donde se identificó la presencia de *O. virginianus,* en el ejido San Nicolasillo, Sierra de Otontepec.

y febrero con 30%, mayo, agosto y diciembre con 20%. Adicionalmente, indicaron que seis personas han visto entre uno y cuatro venados, mientras que cuatro personas han visto dos venados en sus salidas a campo. Finalmente, cabe mencionar que las personas los mantienen en un estatus de conservación con un 80%, y 20% es cazado y utilizado como alimento (Figura 8).

DISCUSIÓN

El venado cola blanca es una especie ecológica y económicamente importante en México. Debido a esto, es importante generar información sobre el estado de sus poblaciones para evitar que disminuyan, principalmente por la cacería excesiva y la degradación de su hábitat, como se ha reportado en diversas localidades del país (Gallina y Mandujano, 2009). Afortunadamente, los estudios de densidad poblacional de *O. virginianus* en México se han incrementado en las últimas décadas como resultado del interés por el aprovechamiento sostenido y su conservación.

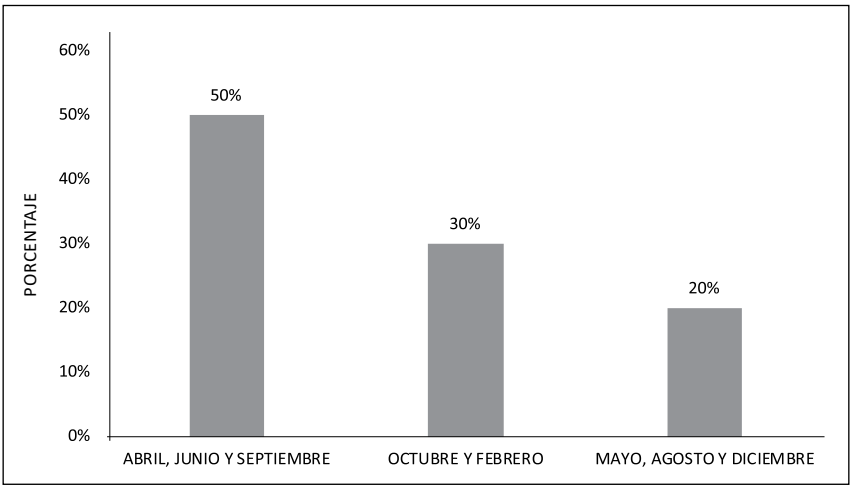


Figura 8. Meses en los cuales se encontró evidencia de la presencia de venado cola blanca (*O. virginianus*), en el ejido San Nicolasillo, Sierra de Otontepec.

De acuerdo con los datos obtenidos en el presente estudio, la densidad poblacional para el venado cola blanca (*O. virginianus*) fue más alta para el ejido Citlaltépetl (8.45 ind/km^2), en comparación con el ejido Adolfo López Mateos (4.9 ind/km^2) y con el ejido San Nicolasillo (1.5 ind/km^2). Además, cabe comentar que los indicadores obtenidos son semejantes a los reportados por: Valenzuela (1991) que indicó una densidad de 4.83 ± 0.98 ind/km^2; Román (1994) con un dato de 1.09 ± 7.94 ind/km^2; Galindo-Leal y Weber (1997) indicaron 5.90 ± 3.40 ind/km^2; Ortiz-Martínez *et al.* (2005) mostraron una densidad de 1.13 ± 1.15 ind/km^2 y finalmente, Sánchez-Rojas *et al.* (2009) calcularon una densidad de 2.10 ± 1.60 ind/km^2.

Sin embargo, las evidencias que soportan el cálculo de la densidad pueden variar a lo largo del año. Por ejemplo, se considera que en la sierra de San Luis, la población de venado cola blanca se encuentra en buen estado, pero hay estudios que han reportado una densidad muy baja de hasta 0.7 ind/km^2 (Villarreal, 1999).

En cuanto a su hábitat, el venado cola blanca prefirió sitios muy perturbados, inclusive acahuales combinados con cultivos, pero con alta co-

bertura de protección. La preferencia de sitios acahualados es un comportamiento natural en el trópico, ya que no prefiere zonas de selva alta (Bello y Mandujano, 1994).

Las zonas de acahual son preferidas por el venado cola blanca por varias razones, una de ellas es que puede encontrar mayor diversidad de especies vegetales para su alimentación, ya que es una especie selectiva. Además, encuentran sitios con alta cobertura de protección, sobre todo en estrato por abajo del metro de altura, este comportamiento ya ha sido mencionado para esta especie en sitios áridos y templados.

Como parte de su cosmovisión, los pobladores de la Sierra de Otontepec identifican a los venados como especies culturales y como un alimento sagrado. Lo anterior es debido a que parte del ejemplar es utilizado como medicina tradicional y se emplea para tratar enfermedades como la anemia, el asma, la tos y la bronquitis. Además, las patas se conceptualizan como amuletos y las astas se utilizan para la tradicional danza del venado en las fiestas patronales.

En sincronía con lo anterior, los indígenas mayas de Campeche y Yucatán, además de aprovechar la carne en su alimentación, utilizan la grasa del venado para tratar afecciones como el asma, tos y bronquitis, así como para aliviar reumas o dolor de huesos. Además, para tratar el dolor de oídos emplean ceniza que resulta de quemar la cola del venado. También la piel es utilizada para elaborar asientos de mecedoras, así como para elaborar fundas para machete, bolsos, fajas y un tipo de sandalias llamadas “tabi-xana´”. Finalmente, las astas suelen usarse como percheros o adornos de la caza, así como para elaborar un tipo de punzón para quitar las hojas (brácteas) de la mazorca y desgranarla (Retana y Lorenzo, 2016).

CONCLUSIONES

Con el estudio realizado se logró identificar que en el ejido de Citlaltépetl se tiene una mayor cantidad de venados que en los otros dos ejidos muestreados. Es decir, un venado por 11.9 hectáreas. En contraste, en el

ejido Adolfo López Mateos se puede encontrar un venado por cada 20.4 hectáreas, mientras que en el ejido de San Nicolasillo es posible hallar un venado por cada 66.6 hectáreas de terreno.

Para los ejidatarios de la Sierra de Otontepec es muy importante esta especie, y forma parte de sus creencias y costumbres.

La información obtenida será de mucha ayuda para los ejidatarios, ya que pretenden crear una unidad de manejo de los venados.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios a largo plazo es importante, ya que los venados son animales con ciclo de vida relativamente largo, y solo a través del seguimiento de las poblaciones durante varios años se puede tener un panorama más completo de su comportamiento poblacional en un mismo sitio.

Es relevante vincular los resultados de las investigaciones a problemas concretos. Lo anterior es necesario debido a que muchos estudios ha tenido la finalidad solamente de la generación de información biológica, lo cual obviamente es muy importante, pero con un escaso compromiso en cuanto a la utilidad de esta información para resolver problemas concretos de la sociedad.

Es necesario no solo generar información referente a la biología y ecología de los venados, sino buscar formas de manejo que incorporen las diferencias culturales, económicas y sociales de las comunidades que viven en las áreas donde se encuentran estas especies. En este sentido, una fuente adicional importante de información biológica acerca de los venados es el conocimiento tradicional que tienen estos grupos indígenas. Por lo que rescatar este conocimiento es importante y debería ser parte de las líneas de investigación a seguir.

El trabajo aquí presentado es un esfuerzo por crear una base de datos de la población de venados en la Sierra de Otontepec. Sin embargo, es necesario generar diversos estudios donde se incorpore información ecológica, como áreas de distribución, estructura de edades, proporciones de sexos, capacidad de carga, uso del hábitat, patrones de

actividad, depredación, competencia y datos de tipo antrópico, como unidades de manejo y aprovechamiento, datos de animales cazados, mejora de hábitat, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue posible gracias al apoyo otorgado en los ejidos Adolfo López Matéos, Citlaltépetl y San Nicolasillo, y al apoyo logístico de la Fundación Pedro y Elena Hernández A.C. A los señores ejidatarios, Enrique Celestino Cabrera, Doroteo Santiago Hernández, Juan Baltazar Santiago y Felipe Chávez Trinidad, por el apoyo brindado durante la colecta de datos en campo.

BIBLIOGRAFÍA

ARANDA, M. 2000. *Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México*. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa. México. 212 pp.

BELLO, G. J. Y S. MANDUJANO. 1994. Estado actual de las poblaciones de venado cola blanca y temazate en Los Tuxtlas, Veracruz. Pp. 90-101. En: *Memorias del IV Simposio sobre Venados en México*. UNAM, ANGADI, SOMMAP.

CASTILLO, C. G. Y A. M. E. MEDINA. 1996. La vegetación de la sierra de Tantima-Otontepec, Veracruz, México. *La Ciencia y el Hombre,* Vol. XXIV: 45-67.

GACETA OFICIAL DEL ESTADO DE VERACRUZ, 2005. Decreto por el que se declara área natural protegida con categoría de reserva ecológica el área que conforma la sierra de Otontepec en el estado de Veracruz. Tomo CLXXII. núm. 43

GALINDO-LEAL, L. Y M. WEBER. 1997. *El venado de la Sierra Madre Occidental: ecología, manejo y conservación*. México: EDICUSA-Conabio, Ediciones Culturales, S.A. de C.V.

GALINDO-LEAL, C. Y M. WEBER. 1998. *El venado de la Sierra Madre Occidental. Ecología, manejo y conservación*. EDICUSA-Conabio. México. 272 pp.

GALLINA, S. Y S. MANDUJANO. 2009. Investigación sobre ecología, conservación y manejo de ungulados silvestres en México. Departamento de Biodiversidad y Ecología Animal, Instituto de Ecología, A. C. *Tropical Conservation Science*. 2: 128-139.

INEGI. 2009. *Síntesis Geográfica del Estado de Veracruz*. 25 pp.

MANDUJANO, S. Y M. ARANDA. 1993. *Conteo de venado (Odocoileus virginianus: Cervidae) en transectos: recomendaciones para su aplicación*. Departamento de Ecología y Comportamiento Animal, Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver. Pp. 43-46.

MANDUJANO, S., C.A. DELFÍN-ALFONSO Y S. GALLINA. 2010. Comparison of geographic distribution models of white-tailed deer *Odocoileus virginianus* (Zimmermann, 1780) subspecies in Mexico: biological and management implications. *Therya* 1: 41-68.

MORALES, R. D. Y C. N. PACHECO. 2009. Importancia cultural, uso y aprovechamiento de los venados cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y temazate (*Mazama americana*) en dos comunidades del centro y oeste de Yucatán. *Memoria de resúmenes del VII Congreso Mexicano de Etnobiología y I congreso latinoamericana de Etnobiología*. Asociación Etnobiológica, Sociedad Latinoamericana de Etnobiología. Pachuca de Soto, Hidalgo. México.

ORTIZ-MARTÍNEZ, T., S. GALLINA, M. BRIONES-SALAS Y G. GONZÁLEZ. 2005. Densidad poblacional y caracterización del hábitat del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus oaxacensis*), en un bosque templado de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana* 21(3):65-78.

PENNINGTON, T. D. Y J. SARUKHÁN. 1968. *Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México. 413 pp.

RETANA, G. O. Y C. LORENZO. 2016. Valor cinegético y cultural del venado cola blanca en México. Universidad Autónoma de Campeche. *Revista etnobiólogica,* 14:60-70.

ROMÁN, T. 1994. *Estimación poblacional de venado cola blanca (Odocoileus virginianus) en bosques montanos de Jalisco y Colima*. Tesis de Licenciatura, UNAM. México.

RZEDOWSKI, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México. 432 pp.

SÁNCHEZ, O. Y E. E. VÁZQUEZ-DOMÍNGUEZ. 1999. *Conservación y manejo de vertebrados del norte árido y semiárido de México*. Diplomado en manejo de vida silvestre, Conabio, UANL. México. 247 pp.

SÁNCHEZ-ROJAS, G., C. AGUILAR-MIGUEL Y E. HERNÁNDEZ-CID. 2009. Estudio poblacional y uso del hábitat por el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en un bosque templado de la sierra de Pachuca, Hidalgo, México. *Tropical Conservación Science*. 2(2): 204-214.

SERRA, M. Y R. VALDÉZ, R. 1989. Importancia de los venados en Terremote-Tlaltenco. *Ciencia y Desarrollo,* 15: 63-72.

SEDESMA. 2007. *Programa de manejo de la reserva ecológica Sierra de Otontepec*. Xalapa, Veracruz: Gobierno del Estado de Veracruz. México. 200 pp.

VALENZUELA, D. 1991. *Estimación de la densidad y distribución de la población de venado cola blanca (Odocoileus virginianus) en el bosque La Primavera, Jalisco.* Tesis profesional. Universidad Autónoma de Guadalajara, México. 67 pp.

VILLARREAL. J. G. 1999. *Venado cola blanca. Manejo y aprovechamiento cinegético.* Editorial Unión Ganadera Regional de Nuevo León. Impresora Monterrey, S. A. de C. V., Monterrey, N. L. México.

Capítulo 11

Diversidad de murciélagos

Bat diversity

Isaías Rivera Vázquez[1]
Juan Manuel Pech Canché[1*]
Maribel Ortiz Domínguez[1]

Resumen. El estado de Veracruz es uno de los más ricos en mastofauna en México, sin embargo, la zona norte es una de las regiones menos estudiadas en cuanto a la diversidad, particularmente para el grupo de los murciélagos. El objetivo del presente trabajo fue determinar la diversidad de murciélagos en tres ecosistemas naturales: bosque de encino (BE), bosque mesófilo de montaña (BMM) y selva mediana subperennifolia (SMSP), en la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz. El trabajo de campo se realizó de mayo a octubre de 2013, empleando redes de niebla. Se capturaron 741 individuos agrupados en 18 especies de tres familias. La mayor riqueza se registró en el BMM (17 especies), seguida por SMSP (12 especies) y BE (7 especies). La especie más abundante en los tres ecosistemas fue *Sturnira hondurensis*. El valor mayor de diversidad verdadera se registró en SMSP y BE, fue superior al BMM; el máximo recambio de especies se obtuvo al comparar el BE con BMM. La

1 Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica-Tuxpan, Universidad Veracruzana. Carretera Tuxpan-Tampico, km. 7.5, col. Universitaria, CP 92860, Tuxpan, Veracruz, México. Email: riveravi_bio@hotmail.com (IRV); jmpech@gmail.com (JMPC). * Autor para correspondencia.

comunidad de murciélagos en los tres ecosistemas se agrupó en cinco gremios: insectívoros, frugívoros de sotobosque, frugívoros de dosel, nectarívoros y hematófagos. Los resultados de este trabajo muestran que la estructura y composición de los ensamblajes de murciélagos en la Sierra de Otontepec, Veracruz, varían en función del tipo de vegetación. Se requieren programas de manejo para reducir el impacto de los murciélagos vampiro sobre las actividades ganaderas, así como estrategias de conservación que favorezcan la conectividad a nivel de paisaje y la conservación de las especies de murciélagos no hematófagos.

Palabras clave: Chiroptera, conservación, *Desmodus rotundus*, gremios tróficos, *Sturnira hondurensis*.

Abstract. Veracruz is one of states richest in mammalian species, however, the northern is the least studied region in terms of the diversity of mammals, especially bats. The objective of the study was to determine the diversity in three natural ecosystems in the Sierra de Otontepec Ecological Reserve, Veracruz. The field work was carried out from May to October 2013 through the use of mist nets. In total, we recorded 741 individuals grouped in 18 species of three families. The greatest species richness was recorded in the cloud forest (17 species); the most abundant species was *Sturnira hondurensis*. The lowest true diversity was registered in cloud forest in regard to the other ecosystems; the maximum complementarity was recording when comparing BE with BMM. The community of bats in the three ecosystems was grouped into five guilds: insectivores, understorey frugivores, canopy frugivores, nectarivores and hematophagous. The results of this study show that the structure and composition of bat assemblages in the Sierra de Otontepec, Veracruz, can vary depending on the type of vegetation; also, management programs are required to reduce the impact of vampire bats on livestock activities, as well as conservation strategies that favor connectivity at landscape level and the conservation of non-haematophagous bat species.

Key words: Chiroptera, conservation, *Desmodus rotundus*, trophic guilds, *Sturnira hondurensis*.

INTRODUCCIÓN

La Sierra de Otontepec es importante por los servicios ecológicos que brinda a la región norte del estado de Veracruz, México, como la captación de agua, la cual abastece a 10 municipios (Sedesma, 2007). Otra característica notable es su posición geográfica, ya que se encuentra aislada de la Sierra Madre Oriental, lo que la convierte en un ecosistema con un alto grado de endemicidad.

Desde el punto de vista biológico, la Sierra posee tres ecosistemas bien definidos: bosque de encino (BE), selva mediana subperennifolia (SMSP) y bosque mesófilo de montaña (BMM), los cuales albergan más de 365 especies de plantas vasculares (Castillo y Medina, 1996). Gran parte de la vegetación original ha sido reemplazada por cultivos y otras actividades antrópicas, de tal manera que en la actualidad 50.8% corresponde a zonas alteradas (Rodríguez Luna *et al*., 2011). Para contrarrestar la pérdida del hábitat, flora y fauna, en el 2005 la Sierra de Otontepec fue declarada por el gobierno estatal como área natural protegida (ANP) en la categoría de reserva ecológica (Sedesma, 2007). Sin embargo, esto parece no ser suficiente para cumplir con los objetivos del ANP, que es la protección y conservación de la diversidad biológica y recursos ambientales (Rodríguez Luna *et al*., 2011).

En la Sierra de Otontepec los estudios acerca de los mamíferos son escasos, se cuenta entre ellos con un diagnóstico de los mamíferos grandes y medianos del área (Rivera y Sobal, 2007) y un programa de manejo de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) (Cameras, 2008). Los murciélagos son un grupo ecológicamente importante debido a que brindan una gran variedad de servicios ecosistémicos (Kunz *et al*., 2011), que incluyen la dispersión de frutos y semillas (Lobova *et al*., 2009), la polinización de muchas especies de plantas (von Helversen y Winter, 2003), el control de poblaciones de insectos que pueden ser considerados plagas (Cleveland *et al*., 2006), además, han sido reportados como grupo bioindicador (Jones *et al*., 2009) debido a que sus patrones de variación pueden reflejar los cambios en la estructura de los ecosistemas y su grado de conservación (Fenton *et al*., 1992; Medellín *et al*., 2000).

A nivel estatal, el estudio sobre murciélagos ha sido de interés en los últimos años, se han abordado diferentes aspectos, como la caracterización de la estructura y diversidad a nivel de comunidades (Madrid-López, 2010; Lizama-Hernández, 2011), la variación en la composición de las comunidades en diferentes tipos de vegetación (Estrada y Coates-Estrada, 2002), la respuesta de los murciélagos a impactos ocasionados por las actividades humanas, como la fragmentación de los ecosistemas y la intensificación de cultivos (Galindo González, 2004; Saldaña Vázquez *et al*., 2010), las interacciones con las plantas (Aguilar Rodríguez *et al*., 2014), moscas ectoparásitas (Cuxim Koyoc *et al*., 2018) y helmintos parásitos (Clarke Crespo *et al*., 2017), así como la ampliación en la distribución de algunas especies (Alavez-Tadeo *et al*., 2017). Sin embargo, la mayoría de los trabajos que se han realizado se concentran principalmente en la zona centro de Veracruz, dejando la zona norte con vacíos de información.

Por lo anterior, es necesario realizar estudios con murciélagos en lugares poco estudiados, lo cual permitirá contar con criterios técnicos que coadyuven a una adecuada toma de decisiones para fortalecer la conservación en la reserva ecológica Sierra de Otontepec. Por ello, en este estudio el objetivo es determinar la composición y diversidad de murciélagos en tres ecosistemas naturales (bosque de encino, bosque de mesófilo y selva mediana subperennifolia) en la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz, mediante el uso de redes de niebla y en el caso del registro de especies insectívoras con un monitoreo acústico complementario, así como evaluar el recambio de especies que se presenta entre dichos ecosistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La reserva ecológica Sierra de Otontepec se encuentra al norte del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, en la Llanura Costera del Golfo, y

cuenta con una superficie total de 15,152 ha, incluye ocho municipios: Ixcatepec, Tepetzintla, Chontla, Citlaltépetl, Tantima, Tantoco, Cerro Azul y Chicontepec (Sedesma, 2007). De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por García (1988), se presentan dos tipos de climas: Am (cálido húmedo con abundantes lluvias en verano), con una temperatura promedio que oscila entre los 18 y los 22 °C en las partes más altas (entre los 750 y 1,320 msnm) y aumenta hasta una temperatura media de 30 °C en la cota de los 500 msnm, y; A(w) (cálido subhúmedo con lluvias en verano). El periodo de lluvias abarca un intervalo de cinco meses (mediados de junio a principios de noviembre) con su más alta expresión en septiembre. El promedio de precipitación anual es de aproximadamente 1500 mm, por lo que la zona se considera de precipitación abundante al superar los 1000 mm anuales (Sedesma, 2007).

Para el presente trabajo se consideraron tres ecosistemas naturales representativos de la Sierra de Otontepec: bosque mesófilo de montaña, selva mediana subperennifolia y bosque de encinos, los cuales fueron considerados debido a que presentan cobertura de dosel, un elemento de paisaje importante para los murciélagos (Castro-Luna *et al.*, 2007). Para cada ecosistema se seleccionaron tres réplicas espaciales, las cuales estuvieron separadas aproximadamente 2 km entre sí (Figura 1), con excepción del BMM, ya que éste solo se presenta de forma fragmentada en la parte superior de la sierra (Sedesma, 2007).

Trabajo de campo

Los muestreos se realizaron de mayo a octubre de 2013, evitando los periodos cercanos a la luna llena, ya que este factor disminuye el éxito de captura de algunas especies (Saldaña-Vázquez y Munguía-Rosas 2013).

La captura de murciélagos se realizó durante tres noches continuas en cada sitio de muestreo, empleando cinco redes de niebla, de 12 metros de largo por 2.5 metros de alto, a nivel del sotobosque, las cuales permanecieron abiertas durante cinco horas a partir del anochecer y fueron

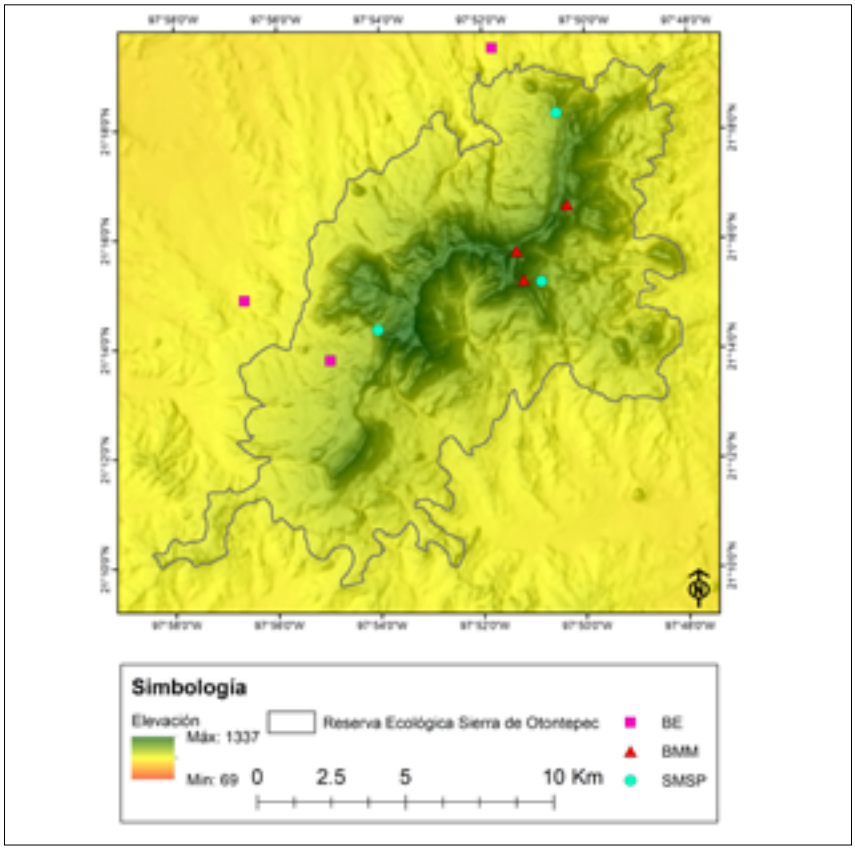


Figura 1. Puntos de muestreo de murciélagos en tres tipos de vegetación en la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz.

revisadas a intervalos de 30 min. Las redes fueron movidas unos metros cada noche en el interior del mismo sitio para evitar la reducción en capturabilidad en los murciélagos (Marques *et al.*, 2013).

Los murciélagos capturados fueron tratados con base en las normas recomendadas por la American Society of Mammalogist (Sikes y Gannon, 2011) y bajo autorización legal mediante permiso de colecta expedido por la Semarnat (SGPA/DGVS/022211/13). Todos los ejemplares capturados fueron identificados hasta nivel de especie con base en guías especializadas (Medellín *et al.*, 2008), usando como referencia el sistema

taxonómico propuesto por Ramírez-Pulido *et al.* (2014). Previo a su liberación, todos los murciélagos fueron marcados con violeta de genciana para descartar una posible recaptura.

De forma adicional, durante junio de 2013 y abril de 2015 se realizaron muestreos en la selva mediana y el bosque de encino, usando un detector ultrasónico Echo Meter EM3 (Wildlife Acoustics©, Inc.) el cual utiliza la tecnología de grabación "full spectrum" de 16-bit, que registra los archivos en una tarjeta SDHC incorporada (Santos-Moreno y Kraker-Castañeda, 2013); dichos muestreos fueron realizados durante tres días; se grabaron por 10 minutos con un intervalo de 30 minutos durante las primeras tres horas después del anochecer.

Análisis de datos

Para estimar la representatividad del muestreo en cada tipo de vegetación se utilizaron los estimadores Chao2, Jacknife 1 e ICE, considerando 90% de la riqueza estimada como un nivel satisfactorio de eficacia del esfuerzo de muestreo (Moreno y Halffter, 2001). Para comparar la riqueza de especies acumulada entre los tipos de vegetación se realizaron curvas de rarefacción, usando el programa EstimateS 9.1 (Colwell, 2013). El orden de captura fue aleatorizado mil veces para suavizar la curva y eliminar el sesgo del orden de captura. Para este análisis y los subsecuentes solo se incluyeron los datos de capturas con redes de niebla; debido a la falta de estandarización de los muestreos acústicos, los registros obtenidos de esta manera solo se incorporaron al listado general de especies de la zona.

La diversidad de especies se estimó por medio del índice de Shannon-Weiner y diversidad verdadera (q1). El primero asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra (Moreno, 2001). Los valores se compararon con una prueba de t (Zar, 1999) para probar diferencias significativas entre todas las combinaciones de pares de tipos de vegetación. La diversidad verdadera de orden 1 (q1) pondera proporcionalmente a todas las especies según su abundancia en la comunidad (Moreno *et al.*, 2011). Este valor se

obtuvo mediante el exponencial del índice de Shannon (Jost y González Oreja, 2012).

Para analizar la estructura de la comunidad en cada ecosistema se realizaron gráficas de rango-abundancia, las cuales son una técnica adicional a los índices de diversidad que permiten la comparación de aspectos biológicamente importantes, como la riqueza de especies, la abundancia relativa de las mismas y sus cambios a través de los diferentes ecosistemas, el número de especies raras (especies con uno o dos individuos) así como la estructura de la comunidad (equitativa o dominante) (Feisinger, 2003).

Para analizar la estructura funcional, el ensamblaje de murciélagos fue agrupado en categorías tróficas basadas en Simmons y Voss (1998): insectívoros, frugívoros, carnívoros, nectarívoros, omnívoros, piscívoros y hematófagos. Los frugívoros fueron divididos en especies de sotobosque (antebrazo <50mm) y de dosel (antebrazo >50mm) (Pineda *et al*., 2005), considerando sus diferencias en el ámbito hogareño y uso de hábitat, ya que los frugívoros de sotobosque tienen desplazamientos hogareños a corta distancia y los frugívoros de dosel tienen desplazamientos a largas distancias (Pinto y Keitt, 2008), además de que los frugívoros de sotobosque tienen preferencia por ecosistemas continuos y más conservados mientras que los frugívoros de dosel son relacionados con ecosistemas fragmentados y ambientes perturbados (Williams Guillen y Perfecto, 2010). Para probar diferencias en la proporción de gremios por ecosistemas se realizó la prueba no paramétrica de G (Zar 1999).

Para evaluar la similitud en la composición de especies entre tipos de vegetación (diversidad beta), se usó el índice de complementariedad (IC) de Colwell y Coddington (1994), cuyo valor varía desde 0 cuando ambos sitios son totalmente idénticos en composición de especies, hasta 100 cuando las especies de ambos sitios son completamente distintas.

RESULTADOS

Se capturaron 741 individuos agrupados en 18 especies pertenecientes a tres familias (Phyllostomidae, Vespertilionidae y Mormoopidae); con los

registros ultrasónicos se registraron nueve especies de tres familias, de las cuales cuatro especies (*Molossus rufus, Promops centralis, Pteronotus davyi* y *Eptesicus furinalis*) y una familia (Molossidae) no fueron registradas con las redes de niebla, con lo cual la riqueza total de especies de murciélagos en todo el estudio es de 22 especies de cuatro familias (Cuadro 1). La familia mejor representada fue Phyllostomidae, con 12 especies y 96.9% de las capturas, la familia Vespertilionidae incluyó seis especies (entre ellas una identificada a nivel de género) y 2.6% de las capturas, mientras que la familia Mormoopidae incluyó dos especies y el 0.5% de las capturas (Cuadro 1). Se registró a *Enchisthenes hartii*, especie que se encuentra enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo la categoría de riesgo Sujeta a protección especial (Pr).

Cuadro 1. Listado general de murciélagos en la Sierra de Otontepec, Veracruz, México.
* Registro = DU: Detector ultrasónico; RN: Redes de niebla.

Familia / Especie	Bosque de encino	Mesófilo	Selva	Total	Registro *
Molossidae					
Molossus rufus È. Geoffroy Saint–Hilaire, 1805					DU
Promops centralis Thomas, 1915					DU
Mormoopidae					
Pteronotus davyi Gray, 1838					DU
Pteronotus parnellii (Gray, 1843)		4		4	DU - RN
Phyllostomidae					
Carollia perspicillata (Linnaeus, 1758)		6	19	25	RN
Carollia sowelli R. J. Baker, Solari, and Hoffmann, 2002	2	2	11	15	RN
Desmodus rotundus (È. Geoffroy Saint–Hilaire, 1810)	15	5	28	48	RN
Glossophaga soricina (Pallas, 1766)	5		20	25	RN
Artibeus jamaicensis Leach, 1821	7	2	15	24	RN
Artibeus lituratus (Olfers, 1818)	19	19	29	67	RN
Dermanura phaeotis Miller, 1902		23	6	29	RN
Dermanura tolteca (de Saussure, 1860)		1	1	2	RN

Familia / Especie	Bosque de encino	Mesófilo	Selva	Total	Registro *
Enchisthenes hartii (Thomas, 1892)		9		9	RN
Chiroderma villosum Peters, 1860		1		1	RN
Sturnira hondurensis Goodwin, 1940	23	212	145	380	RN
Sturnira parvidens Goldman, 1917	22	6	65	93	RN
Vespertilionidae					
Myotis californicus (Audubon and Bachman, 1842)		2	1	3	DU-RN
Myotis keaysi J. A. Allen, 1914		8	1	9	DU-RN
Myotis nigricans (Schinz, 1821)		2		2	DU-RN
Myotis sp.		4		4	RN
Rhogeessa tumida H. Allen, 1866		1		1	DU-RN
Eptesicus furinalis (d'Orbigny and Gervais, 1847)					DU

El mayor porcentaje promedio de representatividad se registró en el BE (100%), seguida de la SMSP (84%) y el BMM (56%) (Cuadro 2). En el BMM se registró la mayor riqueza de especies acumulada (17 especies), sin embargo, fue el ecosistema con la menor diversidad (q1= 3.81 especies efectivas), siendo significativamente menor en relación a los otros dos ecosistemas.

La mayor abundancia acumulada se registró en la SMSP (341 individuos), que fue el ecosistema con la mayor diversidad (q1= 5.99 especies efectivas), sin embargo, esta diversidad no fue significativamente diferente de lo registrado en el BE (q1= 5.64 especies efectivas), a pesar de que en este ecosistema se registró la menor riqueza y abundancia acumulada (7 especies y 93 individuos, respectivamente) (Figura 2, Cuadro 2).

Las especies más abundantes fueron *Sturnira hondurensis*, seguida de *S. parvidens* y *Artibeus lituratus*, las cuales en conjunto incluyen 73% de las capturas totales; estas tres especies fueron las más abundantes en todos los ecosistemas, con excepción del BMM, donde *Dermanura phaeotis* fue la segunda especie con mayores registros (Figura 3). De manera general se registraron cuatro especies raras (con uno o dos individuos), la cuales se encontraron principalmente en el BMM (Figura 3).

Cuadro 2. Parámetros de diversidad de murciélagos en los tres tipos de vegetación muestreados en la Sierra de Otontepec, Veracruz.

Parámetro	BMM	SMSP	BE
Riqueza	17	12	7
Abundancia	307	341	93
Chao 2	34.72	14	7
Jacknife 1	24.88	14.67	7
ICE	31.9	14.11	7
Porcentaje de representatividad	56	84	100
Shannon-Wiener	1.34	1.79	1.73
Diversidad verdadera	3.81	5.99	5.64
Especies raras	7	3	1

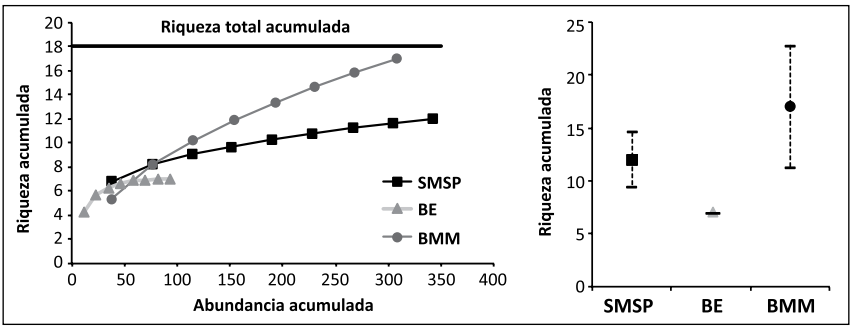


Figura 2. Puntos de muestreo de murciélagos en tres tipos de vegetación en la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz.

Se registraron cinco gremios tróficos (frugívoros de sotobosque, frugívoros de dosel, hematófagos, nectarívoros e insectívoros), con diferencias significativas en su proporción entre los ecosistemas (G^2= 55.32; P= 0.001). Los frugívoros de sotobosque fueron el gremio con la mayor proporción de individuos, se registraron principalmente en el BMM; los frugívoros de dosel fueron el segundo gremio más abundante, presentaron una mayor proporción en el BE, ecosistema en el que también se registró la mayor proporción de murciélagos hematófagos; los murciélagos nectarívoros tuvieron una mayor proporción en el BE y la SMSP, mientras

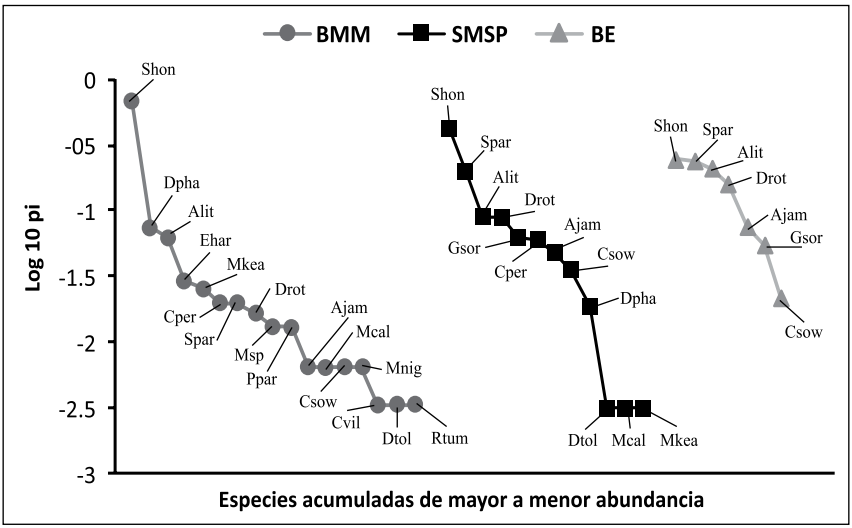


Figura 3. Puntos de muestreo de murciélagos en tres tipos de vegetación en la reserva ecológica Sierra de Otontepec, Veracruz.

que los murciélagos insectívoros se registraron principalmente en el BMM (Figura 4).

Con relación a la diversidad beta, la mayor complementariedad se registró entre el BMM y el BE (68%), mientras que entre el BMM y la SMSP, así como entre la SMSP y el BE, la complementariedad fue similar (42%).

DISCUSIÓN

Riqueza, diversidad y composición de murciélagos

La riqueza de especies de murciélagos registrada en la Sierra de Otontepec, Veracruz, es mayor a lo reportado en trabajos realizados en la zona centro del estado. Por ejemplo, Platas-Guzmán (2010) reporta ocho especies en agroecosistemas de Mafafas, municipio de Tepetlán, Veracruz; mientras que Lizama-Hernández (2011) reporta 14 especies en el ejido Buena Vista, municipio Emiliano Zapata, Veracruz. En contraste,

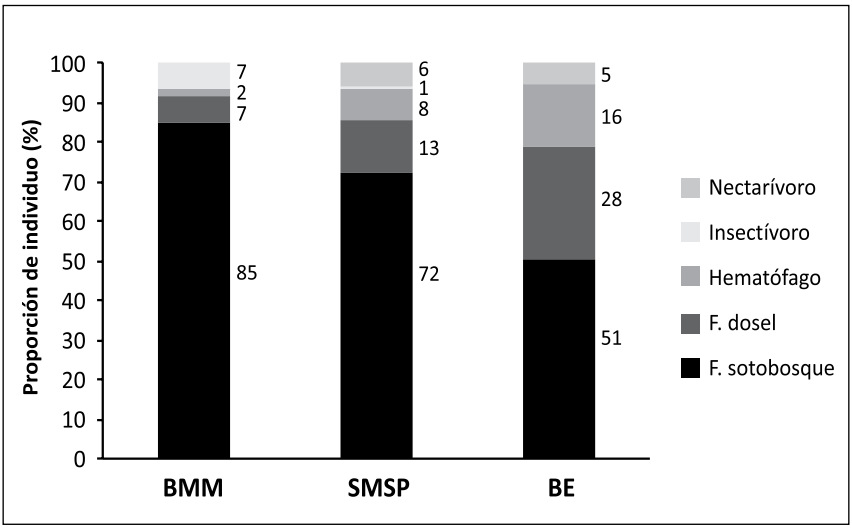


Figura 4. Proporción de gremios tróficos de los murciélagos en la Sierra de Otontepec, Veracruz.

Estrada y Coates-Estrada (2002) reportan 39 especies en Los Tuxtlas, Veracruz, uno de los sitios con mayor riqueza reportados en el estado. La marcada diferencia en la riqueza de especies de este trabajo con el de Estrada y Coates Estrada (2002) puede ser explicada por razones biogeográficas, ya que Los Tuxtlas pertenece a la zona Neotropical, una región bióticamente más diversa, a diferencia de la Sierra de Otontepec, la cual se encuentra en el sur de la región Neártica, donde existe un alto porcentaje de especies de la familia Vespertilionidae, los cuales se distribuyen principalmente en esta zona biogeográfica (Patten, 2004).

Solo en dos de los tres ecosistemas estudiados, SMSP y BE, se obtuvo un adecuado porcentaje de representatividad, ya que el BMM, a pesar de tener la mayor riqueza de especies fue donde se registró el menor porcentaje de representatividad. Aunque esto puede sugerir que en este ecosistema pudieran encontrarse una mayor cantidad de especies si se incrementara el esfuerzo de muestreo, también hay un efecto importante del número de especies localmente raras, ya que 40% de las especies registradas en este ecosistema (7 de 17) se presentan con sola-

mente uno o dos individuos, por lo cual, la representatividad en el BMM pudiera incrementarse registrando una mayor cantidad de individuos de estas especies localmente raras, ya que los estimadores empleados tienen a sobreestimar la riqueza en función de la rareza de especies (Moreno, 2001).

El uso del detector ultrasónico permitió incrementar la riqueza de especies y de familias registrada con las redes de niebla, tal como ha sido reportado en estudios previos (MacSwiney *et al.*, 2008; Pech Canché *et al.*, 2010), sin embargo, aún se requiere realizar un estudio formal con esta técnica en la zona de estudio para caracterizar de forma adecuada la estructura de la comunidad de murciélagos insectívoros, así como realizar la búsqueda exhaustiva en posibles sitios de percha, como árboles grandes, cuevas o cavernas, a fin de conocer la riqueza total de especies de murciélagos que podrían encontrarse en la Sierra de Otontepec.

Los resultados de este trabajo muestran que la estructura y composición de los ensamblajes de murciélagos registrados en la Sierra de Otontepec, Veracruz, varían en función del tipo de ecosistema. La mayor riqueza de especies de murciélagos se registró en el BMM, lo cual puede ser reflejo de la mayor diversidad y estructura (estratificación vertical, altura del dosel, diámetro a la altura del pecho) de la vegetación en este ecosistema con relación al BE y la SMSP. Además de que se encuentra en las zonas más elevadas e inaccesibles de la Sierra, lo que dificulta el desarrollo de actividades productivas.

Esta riqueza de especies del BMM es superior a la reportada por otros autores en bosque mesófilo de montaña, ya que Calderón-Patrón *et al.* (2013) reportan en la Sierra Norte de Oaxaca cuatro especies; Mendoza Sáenz y Horváth (2013) reportan ocho especies en la zona cafetalera del volcán Tacaná, Chiapas; Saldaña Vázquez (2008) en la zona centro de Veracruz reporta 11 especies.

Lo anterior puede ser un reflejo del buen estado de conservación en el que se encuentra el BMM en la Sierra de Otontepec, condición que permite la disponibilidad de recursos, factor que influye en la riqueza y abundancia de murciélagos.

El BMM presentó la menor diversidad verdadera, lo cual puede deberse a que tanto la riqueza de especies como las abundancias fueron muy inequitativas, es decir, fue el ecosistema con la mayor proporción de especies raras (41%), así con una marcada dominancia de *S. hondurensis*, la cual representa 69% de la abundancia total. De acuerdo con Moreno (2001), los índices de diversidad representan una medida combinada de la riqueza de especies y la equidad, esta es probablemente la razón por la cual en el BMM se registró el menor valor de diversidad de los tres tipos de vegetación. Es por lo anterior que, el uso de los índices, como una aproximación para medir la diversidad alfa, deberían realizarse con cautela a la hora de tomar una decisión sobre la importancia de algún sitio, ya que también hay que considerar aspectos como la riqueza de especies o la presencia de especies bajo algún estatus de protección. Durante esta investigación, el BMM fue el ecosistema donde se realizó el único registro de *E. hartti*, una especie relativamente rara y que prefiere ambientes con alta humedad y con una buena estratificación (Arroyo-Cabrales y Owen, 1997); registros importantes como éste podrían ser considerados a la hora de tomar decisiones para la conservación en la zona de estudio.

Las variaciones en el número de gremios tróficos estuvieron relacionadas con las características de los distintos ecosistemas estudiados. Los frugívoros fueron el gremio más diverso en los tres tipos de vegetación, lo cual es importante para el mantenimiento y regeneración de los ecosistemas debido a su alta capacidad de dispersión de semillas (Galindo-González, 1998). Las especies frugívoras de sotobosque fueron los de mayor riqueza de especies y proporción respecto a los otros gremios, en particular la especie *S. hondurensis*. Este resultado es consistente con lo reportado en otros estudios, como en la Selva Lacandona de Chiapas (Medellín *et al.*, 2000) y puede deberse a que es una especie de hábitos generalistas o "adaptables" que se beneficia de la fragmentación, además de que se alimenta de frutos de plantas pioneras que ofertan recursos alimenticios a lo largo de todo el año (Galindo González, 2004). Los murciélagos frugívoros de dosel estuvieron mejor representados en el BE, lo que puede deberse a que son

especies de mayor tamaño que utilizan preferentemente áreas abiertas y su abundancia aumenta frente a la perturbación antrópica del hábitat (Medellín *et al.*, 2000; Gorresen y Willig, 2004).

La elevada proporción de *D. rotundus* (vampiro común) en el BE y SMSP se debe a la presencia de ranchos ganaderos en las zonas aledañas a ambos ecosistemas, esto coincide con lo propuesto por Galindo-González (2004), quien considera a *D. rotundus* como una especie asociada a condiciones de perturbación y actividades agropecuarias. Esto debido a que el ganado provee una fuente importante de alimento, y aunque también se ha podido documentar en algunos sitios conservados, su incidencia es ocasional y con tamaños poblaciones bajos con relación a los sitios perturbados (Medellín *et al.*, 2000).

Los resultados de los análisis de complementariedad muestran que el BMM y el BE son los ecosistemas más diferentes en cuanto a composición del ensamble de murciélagos; esto puede deberse a las características de la vegetación, ya que el BE es un ecosistema más homogéneo, dominado por unas pocas especies arbóreas y carente de sotobosque. En contraste, el BMM es un ecosistema complejo formado por una gran variedad de especies arbóreas y de sotobosque que proporcionan diferentes recursos. Asimismo, la presencia de cuerpos de agua en el BMM pudo haber influido en los valores obtenidos, ya que según Ciechanowski (2002), los cuerpos de agua son un recurso importante para las especies insectívoras, lo cual puede explicar el mayor registro de este gremio en BMM.

Estrategias de conservación

Se ha propuesto que los murciélagos funcionan adecuadamente como un grupo bioindicador, debido al papel primordial que desempeñan en la dinámica de los ecosistemas tropicales y a los servicios ambientales en los que participan, en especial las especies polinizadoras y dispersoras, que son vitales para la reproducción de las plantas y la regeneración de los bosques tropicales (Galindo González, 1998). La Sierra de Otontepec presenta actualmente procesos de transformación de vegetación natural a campos agrícolas y de pastoreo, cuyos principales efectos son la frag-

mentación de los ecosistemas y el aislamiento de las comunidades biológicas. Los resultados del presente estudio permiten establecer al BMM como un área prioritaria para la conservación en la zona debido a la alta riqueza de especies de murciélagos que alberga, incluyendo una especie protegida por la normatividad nacional (*E. hartii*). Por lo anterior, se recomienda realizar programas de reforestación que brinden conectividad a través de corredores biológicos entre los fragmentos, con la finalidad de permitir el flujo de las especies, en especial de murciélagos frugívoros, que ayuden en la regeneración natural de los bosques.

El registro de murciélagos vampiro, *D. rotundus*, en los tres ecosistemas muestreados demuestra el impacto de las actividades ganaderas en la región, por lo cual es importante el desarrollo de programas técnicos y focalizados para el control poblacional estratégico del murciélago hematófago por personal especializado. Esto, no sólo reduciría las pérdidas económicas derivadas de los ataques al ganado, sino también ayudaría a la promoción de la conservación de la comunidad de murciélagos no hematófagos, enfatizando los servicios ambientales que estos prestan en los ecosistemas.

CONCLUSIONES

El presente trabajo demuestra la importancia ecológica de la Sierra de Otontepec, basado en la alta riqueza de especies de murciélagos que alberga, en especial en el BMM, ecosistema que incluye 17 de las 18 especies capturadas en la región. El registro de cinco gremios tróficos demuestra la variedad de recursos alimenticios que pueden encontrar los murciélagos a nivel de paisaje, ya que la proporción de los diferentes gremios varió entre los ecosistemas muestreados, lo que enfatiza la importancia de la conservación regional y no sólo puntual. Se requiere la implementación de estrategias de manejo y conservación que coadyuven a la conservación, no sólo de los murciélagos sino del hábitat mismo, incluyendo el establecimiento de corredores biológicos que favorezcan el flujo de los murciélagos a nivel de paisaje. De igual manera,

se sugiere realizar adecuadas estrategias de control del vampiro común, con el fin de reducir el impacto negativo en las actividades ganaderas y también para lograr una concientización acerca de la importancia ecológica que tienen los murciélagos como grupo biológico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo formó parte del proyecto Evaluación de la biodiversidad en la Sierra de Otontepec usando a los murciélagos como grupo indicador, del Programa de Apoyos Complementarios para la Consolidación Institucional de Grupos de Investigadores de Conacyt (191336); al Conacyt por la beca de Maestría otorgada al segundo autor (registro 492029); a los guías y a todas las personas que colaboraron en el trabajo de campo. Al revisor anónimo que aportó adecuados comentarios para mejorar el presente manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR-RODRÍGUEZ, P. A., M. C. MACSWINEY G., T. KRÖMER, J. G. GARCÍA-FRANCO, A. KNAUER Y M. KESSLER. 2014. First record on bat-pollination in the species-rich genus *Tillandsia* (Bromeliaceae). *Annals of Botany* 113: 1047-1055

ALAVEZ-TADEO, C. T., A. GONZÁLEZ-CHRISTEN Y N. V. RODRÍGUEZ SANTIAGO. 2017. New state record and range extension of the Big Crested Mastiff Bat, *Promops centralis* Thomas, 1915 (Chiroptera, Molossidae), in Veracruz, Mexico. *Check List* 13: 727-731.

ARROYO-CABRALES, J. Y R. D. OWEN. 1997. *Enchisthenes hartii*. Mammalian Species. *The American Society of Mammalogist* 546: 1-4.

CALDERÓN-PATRÓN, J., M. BRIONES-SALAS Y C. E. MORENO. 2013. Diversidad de murciélagos en cuatro tipos de bosque de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Therya* 4: 121-137.

CAMERAS, J. C. 2008. *Manejo sustentable de venado cola blanca Odocoileus virginianus, en un área natural protegida del norte de Veracruz*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, Coahuila, México.

CASTILLO-CAMPOS, C. G. Y M. E. MEDINA-ABREO. 1996. La vegetación de la Sierra de Tantima- tontepec, Veracruz, México. *La Ciencia y El Hombre* 24: 45-67.

CASTRO-LUNA, A. A., SOSA, V. J. Y G. CASTILLO-CAMPOS. 2007. Bat diversity and abundance associated with the degree of secondary succession in a tropical forest mosaic in Southeastern Mexico. *Animal Conservation* 10: 219-228.

CIECHANOWSKI, M. 2002. Community structure and activity of bats (Chiroptera) over different water bodies. *Mammalian Biology* 67: 276-285.

CLARKE-CRESPO, E., G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN, S. MONTIEL-ORTEGA Y M. RUBIO-GODOY. 2017. Helminth Fauna Associated with Three Neotropical Bat Species (Chiroptera: Mormoopidae) in Veracruz, México. *Journal of Parasitology* 103:338-342

CLEVELAND, C. J., M. BETKE, P. FEDERICO, J. D. FRANK, T. G HALLAM, J. HORN, J. D. LÓPEZ JR, G. F. MCCRACKEN, R. A. MEDELLÍN, A. MORENO-VALDEZ, C. G. SANSONE, J. K. WESTBROOK Y T. H. KUNZ. 2006. Economic value of the pest control service provided by Brazilian free-tailed bats in south-central Texas. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4: 238-243.

COLWELL, R. K. 2013. *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples.* Version 9. Persistent URL: purl.oclc.org/estimates.

COLWELL, R. K. Y J. A. CODDINGTON. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B* 345: 101-118.

CUXIM-KOYOC A., E. REYES-NOVELO, M. C. MACSWINEY C. Y J. M. PECH-CANCHÉ. 2018. Moscas ectoparásitas de murciélagos (Diptera: Streblidae y Nycteribiidae) del valle de Uxpanapa, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89: 1074-1088

ESTRADA, A. Y R. COATES-ESTRADA. 2002. Bats in continuous forest, forest fragments and in an agricultural mosaic habitat-island at Los Tuxtlas, México. *Biological Conservation* 103: 237-245.

FEINSINGER, P. 2003. *El diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad.* Editorial FAN. Bolivia. 236 pp.

FENTON, M. B., L. ACHARYA, D. AUDET, M. B. HICKEY, C. MERRIMAN, M. K. OBRIST, D. M. SYME Y B. ADKINS. 1992. Phyllostomyd bats (Chiroptera: Phyllostomidae) as indicators of habitat disruptions in the Neotropics. *Biotropica* 24: 440-446

GALINDO-GONZÁLEZ, J. 1998. Dispersión de semillas por murciélagos: su importancia en la conservación y regeneración del bosque tropical. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 73: 57-74.

GALINDO-GONZÁLEZ, J. 2004. Clasificación de los murciélagos de la región de Los Tuxtlas, Veracruz, respecto a su respuesta a la fragmentación del hábitat. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 20: 239-243.

GARCÍA, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de* Köppen. Instituto de Geografía, Universidad. Nacional Autónoma de México, México. 71 pp.

GORRESEN, P. M. Y M. R. WILLIG. 2004. Landscape responses of bats to habitat fragmentation in Atlantic Forest of Paraguay. *Journal of Mammalogy* 85: 688-696.

JONES, G., D. S. JACOBS, T. H. KUNZ, M. R. WILLIG Y P. A. RACEY. 2009. Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research* 8: 93-115

JOST, L. Y J. A. GONZÁLEZ-OREJA. 2012. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana* 56: 3-14.

KUNZ, T. H., E. BRAUN DE TORREZ, D. BAUER, T. LOBOVA Y T. H. FLEMING. 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223: 1-38.

LIZAMA-HERNÁNDEZ, I. 2011. *Diversidad alfa y distribución local de los murciélagos en el ejido Buena Vista, municipio de Emiliano Zapata, Veracruz, México.* Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.

LOBOVA, T.A., GEISELMAN C.K. Y MORÍ, S. A. 2009. *Seed dispersal by bats in the Neotropics.* New York Botanical Garden, US. 471 p.

MACSWINEY G., M. C., CLARKE, F. M. Y RACEY, P. A. 2008. What you see is not what you get: the role of ultrasonic detectors at maximising inventory completeness in Neotropical bat assemblages. *Journal of Applied Ecology* 45: 1364-1371.

MARQUES, J. T., M. J. RAMOS PEREIRA, T. A. MARQUES, C. A. SANTOS, J. SANTANA, P. BEJA Y J. M. PALMEIRIM. 2013. Optimizing sampling design to deal with mist-net avoidance in Amazonian birds and bats. *PLoS ONE* 8: e74505.

MADRID-LÓPEZ, S. M. 2010. *Abundancia, diversidad y composición de murciélagos en fragmentos de selva mediana subcaducifolia y cultivos de árboles frutales en la región de Apazapan, Veracruz.* Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.

MEDELLÍN, R. A, M. EQUIHUA Y M.A. AMÍN. 2000. Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in neotropical rainforest. *Conservation Biology* 14: 1666-1675

MEDELLÍN, R. A, H. T. ARITA Y O. SÁNCHEZ. 2008. *Identificación de los murciélagos de México, clave de campo,* 2a ed. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 84 pp.

MENDOZA-SÁENZ, V. H. Y A. HORVÁTH. 2013. Roedores y murciélagos en la zona cafetalera del volcán Tacaná, Chiapas, México. *Therya* 4: 409-423

MORENO, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad.* MyT, Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.

MORENO, C. E. Y G. HALFFTER. 2001. Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using accumulation curves. *Journal of Applied Ecology* 37: 149-158.

MORENO, C. E., F. BARRAGÁN, E. PINEDA Y N. P. PAVÓN. 2011. Reanalizando la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1249-1261.

PATTEN, M. A. 2004. Correlates of species richness in North American bat families. *Journal of Biogeography* 31: 975-985.

PECH-CANCHE, J. M., C. MACSWINEY G. Y E. ESTRELLA. 2010. Importancia de los detectores ultrasónicos para mejorar los inventarios de murciélagos Neotropicales. *Therya* 1: 227-234.

PINEDA, E., C. MORENO, F. ESCOBAR Y G. HALFFTER. 2005. Frog, Bat, and Dung Beetle Diversity in the Cloud Forest and Coffee Agroecosystems of Veracruz, Mexico. *Conservation Biology* 19: 400-410.

PINTO, N. Y T. H. KEITT. 2008. Scale-dependent responses to forest cover displayed by frugivore bats. *Oikos* 117: 1725-1731.

PLATAS-GUZMÁN, J. C. 2010. *Diversidad y abundancia de murciélagos de la familia Phyllostomidae en la vegetación natural y agroecosistemas de Mafafas, Municipio de Tepetlán, Veracruz*. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.

RAMÍREZ-PULIDO, J., N. GONZÁLEZ-RUIZ, A. GARDNER Y J. ARROYO-CABRALES. 2014. *List of Recent Land Mammals of Mexico*. Special Publications Museum of Texas Tech University 63: 1-69.

RIVERA, A. S. Y A. C. SOBAL. 2007. *Diagnóstico de los mamíferos medianos y grandes en el área natural protegida Sierra de Otontepec, Veracruz, México*. Tesis de Especialización. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.

RODRÍGUEZ-LUNA, E., A. GÓMEZ-POMPA, J. C. LÓPEZ-ACOSTA, N. VELÁZQUEZ-ROSAS, Y. AGUILAR-DOMÍNGUEZ Y M. VÁZQUEZ-TORRES. 2011. *Atlas de los espacios naturales protegidos de Veracruz*. Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana. México. 352 pp.

SALDAÑA-VÁZQUEZ, R. A. 2008. *Comparación de la diversidad de murciélagos filostómidos en fragmentos de bosque mesófilo de montaña y cafetales de sombra en el centro de Veracruz*. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver. México. Pp. 76.

SALDAÑA-VÁZQUEZ, R. A. Y M. A. MUNGUÍA-ROSAS. 2013. Lunar phobia in bats and its ecological correlates: a meta-analysis. *Mammalian Biology* 78: 216-219.

SALDAÑA-VÁZQUEZ, R. A., V. J. SOSA, J. R. HERNÁNDEZ-MONTERO Y F. LÓPEZ-BARRERA. 2010. Abundance responses of frugivorous bats (Stenodermatinae) to coffee cultivation and selective logging practices in mountainous central Veracruz, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 19: 2111-2124

SANTOS-MORENO, A. Y C. KRAKER-CASTAÑEDA. 2013. Comparación de sistemas de detección ultrasónica para actividad relativa de murciélagos insectívoros. *Therya* 4:61-68.

SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL Y MEDIO AMBIENTE (SEDESMA). 2007. *Programa de Manejo de la reserva ecológica Sierra de Otontepec*. Gobierno del Estado de Veracruz. México.

SIKES, R. S, W. L. GANNON Y THE ANIMAL CARE AND USE COMMITTEE OF THE AMERICAN SOCIETY OF MAMMALOGISTS. 2011. Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research. *Journal of Mammalogy* 92: 235–253.

SIMMONS, N. B. Y R. S. VOSS. 1998. The mammals of Paracou, French Guiana: a Neotropical lowland forest fauna. Part 1. Bats. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 237: 1–219.

VON HELVERSEN, O. Y Y. WINTER. 2003. Glossophaginae bats and their flowers: Costs and benefits for plants and pollinators. Pp. 346-397. En: Kunz, T. H. Y M. B. Fenton (Eds.). *Bat Ecology*. The University of Chicago Press. EUA.

WILLIAMS-GUILLÉN, K. E I. PERFECTO. 2010. Effects of agricultural intensification on the assemblage of leaf-nosed bats (Phyllostomidae) in a coffee landscape in Chiapas, Mexico. *Biotropica* 42: 605-613.

ZAR, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Upple Saddle River. New Jersey.

INSTITUCIONES Y AUTORES

Asociación Regional de Silvicultores de la Unidad de Manejo Forestal Sierra de Otontepec, Veracruz
Benito Juárez núm. 503, Chontla, Veracruz
Juan Sosa Azuara (juansosaazuara@hotmail.com)

Comisión Nacional Forestal - Veracruz
Boulevard Xalapa-Banderilla, km 5.5. CP 91300, Banderilla, Veracruz
Gaudencio Benítez Molina (gbenitez@conafor.gob.mx)

Fundación Pedro y Elena Hernández A.C.
Sierra Nevada 712, Lomas de Chapultepec, CP 11000.
Delegación Miguel Hidalgo, CDMX
Bárbara Gabriela Hernández Ramírez

Geoanalítica, S.A.
Durango 245, Despacho 401, Roma, Cuauhtémoc, CDMX, CP 6700
Erick Vega Cortés

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Ixtacuaco, CIRGOC
Km. 4.5 Carretera Federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan,
Col. Rojo Gómez, CP 93600, Tlapacoyan, Veracruz
José Isidro Melchor Marroquín (melchor.jose@inifap.gob.mx)

Instituto Tecnológico de Huejutla, Hidalgo
Carretera Huejutla – Chalahuiyapa, km 5.5., CP 43000, Huejutla de Reyes, Hidalgo
Joel Hernández Rivera
Rosa Esteban Santiago
Sol de Mayo Araucana Mejenez López

Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Carretera Pachuca-Tulancingo, km 4.5, CP 42184,
Mineral de la Reforma, Hidalgo
José Luis Reyes Ortiz

Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica – Tuxpan
Carretera Tuxpan-Tampico, km. 7.5, col. Universitaria, CP 92860, Tuxpan, Ver.

Adán Guillermo Jordán Garza (ajordan@uv.mx)
Blanca Esther Raya Cruz (braya@uv.mx)
Consuelo Domínguez Barradas (codominguez@uv.mx)
Ernesto Rodríguez Luna (errodriguez@uv.mx)
Francisco Limón Salvador (flimon@uv.mx)
Gerardo Eliseo Cruz Morales
Isaías Rivera Vázquez (riveravi_bio@hotmail.com)
Ivette Alicia Chamorro Florescano (ichamorro@uv.mx)
Jorge Luis Chagoya Fuentes (jochagoya@uv.mx)
José Luis Alanís Méndez (lalanis@uv.mx)
Juan Manuel Pech Canché (jmpech@uv.mx)
Juana Isamar Solares del Ángel (juaniz_isa@hotmail.com)
Maribel Ortiz Domínguez (mariortiz@uv.mx)
Salvador Gómez Beda (beda_salvatore26@hotmail.com)
Víctor Soto (visoto@uv.mx)
Zuleyma Campos Mariano

REVISORES

Adriana Flores, Universidad Nacional Autónoma de México
Ana Paola Martínez Falcón, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Celia Isela Sélem Salas, Universidad Autónoma de Yucatán
Christian Alejandro Delfín Alfonso, Universidad Veracruzana
Edison Fernando Nicolalde Morejón, Universidad Veracruzana
Ermilo Humberto López Coba, Instituto Tecnológico de Tizimín, Yucatán
Janet Villalba, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay
Jorge Pinazzo, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay
Lorena Ramírez Restrepo, Instituto de Ecología, A.C.
Odilón Sánchez Sánchez, Universidad Veracruzana
Thorsten Kromer, Universidad Veracruzana

EDITORES

José Luis Alanís Méndez
Licenciado en Biología por la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco, con Maestría en Tecnología Educativa por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad de Xalapa y Especialista en Ciencias del Medio Ambiente por la Universidad Politécnica de Valencia, España. Desde el 1997 se encuentra adscrito como Académico de Tiempo Completo en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agrope-

cuarias, región Poza Rica-Tuxpan de la Universidad Veracruzana. Sus líneas de investigación son el ordenamiento ecológico y el estudio de bio-indicadores para la conservación y preservación de los ecosistemas tropicales. Ha participado en diferentes proyectos de investigación y es integrante del Grupo de investigación Orquídeas Amazónicas de la Universidad Nacional de San Martin Tarapoto, Perú. Actualmente pertenece al Sistema Nacional de Investigadores y al Padrón Veracruzano de Investigadores. Cuenta con publicaciones científicas en revistas nacionales e internacionales, dirige tesis a nivel de Licenciatura y Posgrado y ha sido evaluador-acreditador a nivel nacional e internacional de Programas de estudio de Licenciaturas de Biología y del área Ambiental. Fue miembro fundador de diferentes programas de posgrado de la Facultad de su adscripción y Coordinador de la Maestría en Ciencias del Ambiente y la Especialización en Gestión e Impacto Ambiental, ambas en el SNP-CONACYT.

Juan Manuel Pech Canché
Licenciado en Biología por la Universidad Autónoma de Yucatán, Doctor en Ecología y Manejo de Recursos Naturales por el Instituto de Ecología, A.C., Posdoctorado por el Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana y desde el 2012 se encuentra adscrito como Investigador de Tiempo Completo en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica – Tuxpan, de la Universidad Veracruzana. Sus líneas de investigación son la medición y valoración de la biodiversidad, ecología de mamíferos, en especial murciélagos, así como la diversidad de vertebrados terrestres (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) en el norte de Veracruz, México. Ha participado en diferentes proyectos de investigación, tanto en los estados de Yucatán y Veracruz, además de dirigir un proyecto sobre el monitoreo de mamíferos terrestres y voladores en la Sierra de Otontepec, Veracruz. Cuenta con diversas publicaciones científicas en revistas nacionales e internacionales, además de dirigir tesis a nivel de Licenciatura y Posgrado, incluyendo algunos tesistas internacionales, participar en la revisión de proyectos nacionales e internacionales, así como evaluador de Posgrados a nivel internacional.

Ivette Alicia Chamorro Florescano
Licenciada en Biología, con una especialidad en Métodos Estadísticos y maestría en Neuroetología en la Universidad Veracruzana, con doctorado en Ecología y Manejo de Recursos Naturales en el Instituto de Ecología, A. C. Actualmente es académica en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana en Tuxpan. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel 1. Sus líneas de investigación están orientadas a la ecología del comportamiento y patrones de diversidad. Ha publicado 11 artículos indexados, 8 arbitrados y un capítulo de libro. Ha dirigido y codirigido 22 tesis de licenciatura, 2 de especialidad y 6 de maestría.

Francisco Limón Salvador
Licenciado en Biología por la Universidad Veracruzana, Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias con línea de investigación en Biodiversidad y Sistemática por el Instituto de Ecología, A.C., Posdoctorado en la Maestría en Ciencias del Ambiente de la Universidad Veracruzana. Adscrito como Docente de Tiempo Completo en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica – Tuxpan, de la Universidad Veracruzana. Sus líneas de investigación son los aspectos ecológicos de cícadas mexicanas y análisis en la distribución de especies protegidas, principalmente plantas, usando sistemas de información geográfica. Imparte experiencias educativas a nivel de licenciatura, maestría y doctorado. Es miembro del núcleo académico básico de la Especialización en Gestión e Impacto Ambiental, perteneciente al padrón de posgrados de excelencia del CONACYT. Cuenta con publicaciones en revistas nacionales e internacionales, además de dirigir tesis a nivel de Licenciatura y Posgrado. Cuenta con reconocimiento a Perfil Deseable, y afiliado al Padrón Veracruzano de Investigadores y miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

Víctor Soto
Mexicano pionero en estudios de permafrost en el país. Se desarrolla en la investigación de clima de ambientes fríos de alta montaña y sus repercusiones en la geomorfología periglaciar, así como en estudios de nivología. Sus aportaciones han abonado al conocimiento de la criósfera mexicana y de regiones intertropicales.

Jorge Luis Chagoya Fuentes
Licenciado en Medicina Veterinaria y Zootecnia por la Universidad Veracruzana. Master of Science en Agroforestería por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Costa Rica). Philosophy Doctor in Agroforestry Systems por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y Bangor University - UK. Desde el 2017 es profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Poza Rica – Tuxpan, de la Universidad Veracruzana. Sus líneas de Investigación son sobre la provisión de servicios ambientales en paisajes fragmentados y las interacciones entre la ganadería y el ambiente. Ha participado en diferentes proyectos de investigación y transferencia de tecnología en Centro América y Veracruz. Autor de un libro, capítulos de libros, así como autor y coautor de artículos científicos de revistas nacionales e internacionales. Director y Codirector de tesis a nivel de Licenciatura y Posgrado.

Siendo rector de la Universidad Veracruzana
Martín Gerardo Aguilar Sánchez,
Patrimonio natural del área natural protegida Sierra de Otontepec, Veracruz, México,
coordinado por José Luis Alanís Méndez, Juan Manuel Pech Canché, Ivette Alicia Chamorro Florescano, Francisco Limón Salvador, Víctor Soto y Jorge Luis Chagoya Fuentes,
se publicó en noviembre de 2022.

En su composición se utilizó la fuente Gandhi Serif, diseñada por Cristóbal Henestrosa y Raúl Plancarte, con la colaboración de Gabriela Varela y David Kimura.
Diagramado: Adán Paredes Barrera; corrección de estilo: Aída Pozos Villanueva.

Universidad Veracruzana

Cuerpo Académico
Preservación y Conservación
de los Ecosistemas Tropicales

Patrimonio natural del Área Natural protegida Sierra de Otontepec, Veracruz, México

Los sistemas ecológicos como parte del capital natural que representan, aportan bienes y servicios que son fundamentales para el funcionamiento de la vida en la Tierra y contribuyen significativamente al bienestar humano, tanto directa como indirectamente.

México fue el primer país del mundo en emprender a escala nacional la evaluación de su capital natural. Al ser un país megadiverso, existe la necesidad de documentar la riqueza en cada uno de los territorios de nuestra nación. Dentro de la zona norte del estado de Veracruz, la Sierra de Otontepec emerge como una formación montañosa aislada de la Sierra Madre Oriental. En 2005 se decretó como Área Natural Protegida bajo la categoría de Reserva Ecológica, convirtiéndose en un espacio de resguardo para una importante cantidad de especies de flora y fauna, muchas de ellas amenazadas o en peligro de extinción.

La presente obra aborda el patrimonio natural del ANP "Sierra de Otontepec" desde diferentes perspectivas y escalas; tales como factores hidrometeorológicos, de la diversidad vegetal y de mamíferos, de los cambios espacio-temporales de la cobertura, a nivel de grupos biológicos en particular como orquídeas, cícadas, murciélagos y mariposas, sin dejar de abordar perspectivas socioecológicas como la importancia cultural y uso del venado. También, representa un repertorio de enfoques, métodos y técnicas de estudio que, eventualmente, serán de utilidad para dar continuidad al conocimiento de la región. Se ponen en perspectiva los logros y los retos para el mantenimiento de su capital natural y se abre una ventana para desarrollar estudios multidisciplinarios y trazar su hoja de ruta hacia la sostenibilidad.