

Manejo y aprovechamiento

Conservación de bosques de montaña a través de manejo ecoturístico en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas México

Conservation of mountain forests through ecotourism management in San Cristóbal de Las Casas, Chiapas Mexico

José Gerardo Domínguez-Vera ^{a, *}, Lorena Ruiz-Montoya ^a,
Miguel Ángel Castillo-Santiago ^b y Guadalupe Álvarez-Gordillo ^c

^a El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Conservación de la Biodiversidad, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Barrio de María Auxiliadora, 29290 San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México

^b El Colegio de la Frontera Sur, Departamento Observación y Estudio de la Tierra, la Atmósfera y el Océano, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Barrio de María Auxiliadora, 29290 San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México

^c El Colegio de la Frontera Sur, Departamento Sociedad y Cultura, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Barrio de María Auxiliadora, 29290 San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México

*Autor para correspondencia: gerardodominguez020695@gmail.com (J.G. Domínguez-Vera)

Recibido: 23 marzo 2023; aceptado: 28 julio 2023

Resumen

Los bosques de montaña de Los Altos de Chiapas se han fragmentado y han modificado su estructura y composición florística debido a la tala, la agricultura y el crecimiento urbano. Una alternativa que se ha promovido para su conservación es el ecoturismo. El objetivo fue diagnosticar la efectividad del manejo ecoturístico en la conservación de los bosques de montaña de los Parques Ecoturísticos Arcotete, Grutas de Mamut y Grutas de Rancho Nuevo del municipio de San Cristóbal de Las Casas. Se registraron variables de estructura vertical, horizontal y de uso del bosque en parcelas de 1,000 m². Se calcularon índices de diversidad de números de Hill y un índice de condición ecológica por parcela a través de un modelo determinístico. Se procesaron imágenes de satélite de los años 2005, 2011, 2015, 2021 para obtener cambios en los usos de suelo. Arcotete y Grutas de Mamut tuvieron un índice de condición ecológica del bosque de 0.5 y Grutas de Rancho Nuevo de 0.3, lo que indica que los 2 primeros tienen un estado de conservación intermedio. Se concluye que el ecoturismo permitió el incremento en la cobertura forestal, que se traduce en una condición ecológica baja y moderada.

Palabras clave: Bosque pino-encino; Índice de condición ecológica; Manejo ecoturístico; Números de Hill; Parques ecoturísticos; Turismo; Uso de suelo

Abstract

The mountain forests of Los Altos de Chiapas have been fragmented and their structure and floristic composition have been modified due to logging, agriculture, and urban growth. An alternative that has been promoted for its conservation is ecotourism. The objective was to diagnose the effectiveness of ecotourism management in the conservation of mountain forests in the Arcotete, Grutas de Mamut and Grutas de Rancho Nuevo Ecotourism Parks in the municipality of San Cristóbal de Las Casas. Variables of vertical and horizontal structure and use of the forest were registered in plots of 1,000 m². Diversity indices of Hill numbers and an ecological condition index per plot were calculated through a deterministic model. Satellite images from the years 2005, 2011, 2015, 2021 were processed to obtain changes in land use. Arcotete and Grutas de Mamut had an ecological condition index of the forest of 0.5 and Grutas de Rancho Nuevo of 0.3, which indicates that the first 2 have an intermediate state of conservation. It is concluded that ecotourism allowed the increase in forest cover that translates into a low and moderate ecological condition.

Keywords: Pine-oak forest; Ecological condition index; Ecotourism management; Hill numbers; Ecotourism parks; Tourism; Land use

Introducción

En la región de Los Altos de Chiapas se reconocen 5 tipos de bosques, el bosque de pino-encino, encino, pino, mesófilo de montaña y bosque transicional a selva baja caducifolia (Cayuela, 2006; González-Espinosa y Ramírez-Marcial, 2013). Su dosel se constituye de asociaciones de especies de los géneros *Quercus*, *Pinus* y otras especies latifoliadas (González-Espinosa et al., 2007, 2009; Mora-Donjuán y Alanís-Rodríguez, 2016). Los bosques se presentan en elevaciones altitudinales que van de los 800 a los 2,500 m snm (González-Espinosa y Ramírez-Marcial, 2013). Lo anterior genera en los bosques amplios intervalos de temperatura (14 - 25 °C) y precipitación (1,600-2,600 mm de lluvia anual), lo que propicia la presencia de numerosas especies de plantas en el interior del bosque (González-Espinosa y Ramírez-Marcial, 2013, 2014), lo que a su vez genera una singular riqueza y estructura de la vegetación leñosa, tanto horizontal como vertical, cuya complejidad o simplicidad suele ser indicadora del grado de conservación o perturbación (González-Espinosa et al., 2009; Ruiz-González et al., 2023).

El cambio de uso de suelo por la expansión de la frontera agrícola, la tala selectiva, el pastoreo y el crecimiento urbano, han provocado que en Los Altos de Chiapas existan paisajes donde se intercalan áreas agrícolas, pastizales, asentamientos humanos y pequeños remanentes de bosques originales y secundarios (Galindo-Jaimes et al., 2002; González-Espinosa et al., 2009; Ramírez-Marcial et al., 2001). Dependiendo del grado de disturbio o perturbación, los pequeños remanentes de bosques pueden mantener la capacidad de regenerarse, aunque en algunos casos ocurren cambios en su composición, estructura, funciones ecológicas y servicios ecosistémicos (Cayuela, 2006; González-Espinosa et al., 2009; Mora-Donjuán y Alanís-Rodríguez, 2016; Ruiz-González et al., 2023).

Una estrategia que se ha impulsado como medio de conservación de los bosques y selvas es el ecoturismo, el cual se propone como una posible alternativa de desarrollo para las comunidades rurales que se encuentran dentro de los polígonos de áreas naturales protegidas, para bosques comunales conservados y para áreas voluntarias de conservación. El ecoturismo se propone como un medio para alcanzar simultáneamente un desarrollo socioeconómico y la conservación de la biodiversidad (Obombo y Velarde, 2019; Sector, 2006). Esta actividad se ha implementado en la periferia de algunas ciudades del mundo para proteger pequeñas islas de vegetación o áreas con vegetación natural que persisten a pesar del crecimiento urbano (Higham y Lück, 2002; Montoya y Hernández, 2013). Esta forma de ecoturismo se le ha nombrado ecoturismo urbano, que se desarrolla en sitios dentro o fuera de las ciudades, en donde aún se conservan elementos de naturalidad y en los que se reconoce un potencial para realizar actividades vinculadas con la educación ambiental y la restauración (Higham y Lück, 2002).

Sin embargo, el ecoturismo ha sido debatido a nivel mundial debido a los impactos positivos y negativos que se han reportado, tales como la pérdida de aspectos culturales, el privilegiar lo económico y restar importancia a la procesos naturales, así como la falta de metodologías para evaluar el desfase entre resultados esperados y los obtenidos en la práctica (Das y Chatterjee, 2015); ello ha generado posiciones a favor y en contra del manejo ecoturístico de los recursos naturales (Stronza et al., 2019). En este sentido, es necesario contar con investigaciones interdisciplinarias y rigurosas para tener una mayor claridad sobre los beneficios, alcances, patrones, procesos y relaciones del ecoturismo en términos económicos, sociales y ambientales a diferentes escalas (Das y Chatterjee, 2015; Obombo y Velarde, 2019; Stronza et al., 2019). A pesar de que se ha sido investigado en temas como: impactos

económicos, sociales y ambientales, diversificación de los modos de vida, conceptualización, capacidad de carga, gobernanza, participación de la comunidad local, empoderamiento, gestión y desarrollo, motivaciones, percepciones, entre otros temas (Stronza et al., 2019; Uswathul et al., 2022; Wondirad, 2019). Se observa la falta de estudios enfocados al efecto del manejo ecoturístico sobre la conservación de los bosques y sistemas ecológicos (González y Neger, 2020).

En la ciudad de San Cristóbal de Las Casas (SCLC), perteneciente a la región Altos de Chiapas se ha impulsado el desarrollo de proyectos ecoturísticos en comunidades indígenas en las que se observan pequeños fragmentos de bosques de montaña. Entre los proyectos más avanzados en su desarrollo se encuentran los Parques Ecoturísticos Arcotete, Grutas de Mamut y Grutas de Rancho Nuevo. Éstos se encuentran bajo una dinámica de uso de suelo (crecimiento urbano y de expansión de la agricultura) que compromete su continuidad y aún se desconoce su efectividad respecto a la conservación de la biodiversidad (Calderón et al., 2012; Enríquez-Rocha et al., 2013), conocimiento que es necesario tener en cuenta para asegurar la sostenibilidad de los proyectos a largo plazo.

Montoya y Hernández (2013), Picado et al. (2014), Álvarez et al. (2016), Hernández et al. (2018), Cruz et al. (2019) y Domínguez-Vera y Ruiz-Montoya (2021) han realizado investigaciones dentro de los 3 parques ecoturísticos enfocadas en temas como la transformación del territorio, la inclusión de personas con discapacidad, procesos de apropiación y reapropiación de los recursos naturales por medio del ecoturismo, respecto a la adopción del ecoturismo y una evaluación basada en los lineamientos de la Norma Oficial NOM-133-SCFI-2013 de ecoturismo. Los autores mostraron el éxito social y económico de los 3 parques, y aunque en estos estudios se menciona que el ecoturismo ha permitido la conservación de los recursos naturales, no presentan algún indicador o estimador biológico que permita verificar con mayor confianza que se cumple con la conservación de la diversidad y que efecto conlleva el manejo por medio del ecoturismo en los bosques de montaña. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue diagnosticar la efectividad del manejo ecoturístico en la conservación de los bosques de montaña de los parques ecoturísticos Arcotete, Grutas de Mamut y Grutas de Rancho Nuevo, del municipio de San Cristóbal de Las Casas (SCLC).

Materiales y métodos

Los parques ecoturísticos Arcotete, Grutas de Mamut y Grutas de Rancho Nuevo se localizan en el municipio de SCLC, Chiapas, México (fig. 1). Grutas de Mamut

cuenta con una extensión de 12 ha con bosque de pino-encino (Domínguez-Vera y Ruiz-Montoya, 2021). Es administrado por pobladores indígenas tsotsiles del ejido Agua de Pajarito (Aguilar et al., 2016). Actualmente la cooperativa se encuentra integrada por aproximadamente 270 ejidatarios (Aguilar et al., 2016). Arcotete está integrado por 136 socios indígenas tsotsiles del ejido Río Arcotete (Cruz et al., 2019; Domínguez-Vera y Ruiz-Montoya, 2021). Cuenta con una extensión de 20 ha de bosque de pino-encino y ciprés (Montoya y Hernández, 2013; Picado et al., 2014). Grutas de Rancho Nuevo pertenece a la Zona Sujeta a Conservación Ecológica Rancho Nuevo (aproximadamente 3,037.65 ha). El sitio ecoturístico es un espacio de cerca de 20 ha de bosque de pino, administrado por la Sociedad Cooperativa de Prestadores de Servicio Turístico.

Para conocer la condición de conservación del bosque de los parques ecoturísticos Arcotete, Grutas de Mamut y Grutas de Rancho Nuevo, en cada uno se registraron la riqueza y la abundancia de especies en parcelas circulares de 1,000 m² (Chediack et al., 2015; Galindo-Jaimes et al., 2002; Ramírez-Marcial, Martínez et al., 2010). Para ubicar las parcelas se buscó estandarizar la elección y los atributos de los sitios dentro los remanentes de bosques de cada parque ecoturístico (con dosel, menos perturbados por el tránsito de turistas, y a la vista con riqueza de especies). Para ubicarlos, se realizaron recorridos de reconocimiento.

Dentro de cada parcela se tomaron las siguientes variables: *a*) cobertura del dosel, se midió cuánta área del suelo estaba cubierta por la copa de los árboles por medio de la aplicación Canopeo (Patrignani y Ochsner, 2015); *b*) usos de los recursos del bosque, se identificaron rastros de pastoreo (presencia de animales domésticos como borregos, vacas), pisoteo, tocones y árboles muertos dentro de la parcela de 1,000 m² (Ochoa-Gaona et al., 2010); *c*) abundancia y riqueza de plántulas, se identificaron como plántula a individuos < 50 cm de altura de especies de árboles y arbustos en un área de 50 m² en el centro de la parcela de 1,000 m²; *d*) número de juveniles, fueron individuos > 50 cm de altura y un diámetro a la altura del pecho (DAP) < 5 cm, en un círculo concéntrico de 100 m² dentro de la parcela de 1,000 m²; *e*) número de árboles jóvenes con un DAP >5 cm - < 10 cm y número de árboles medianos con DAP >10 cm - < 20 cm, en un círculo concéntrico de 500 m². Se registraron en la parcela de 1,000 m²; *f*) árboles adultos con DAP > 20 cm y < 30 cm, y aquellos con DAP > 30 cm (Chediack et al., 2015). Con la riqueza y abundancia de especies de las categorías de DAP (juveniles, árboles pequeños, árboles medianos y árboles grandes) se obtuvo la diversidad verdadera de números de Hill. Asimismo, se buscó la categoría de riesgo, dentro de la Lista Roja de la IUCN, de todas las

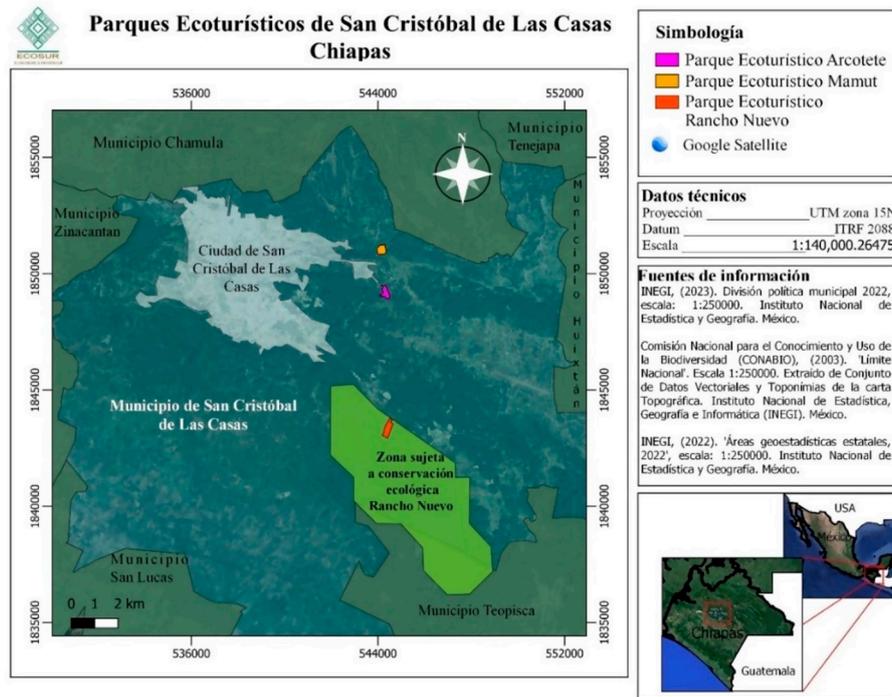


Figura 1. Ubicación de los parques ecoturísticos Arcotete, Mamut y Rancho Nuevo en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

especies registradas. Con todas las categorías (plántulas, juveniles, árboles pequeños, árboles medianos y árboles grandes) se construyeron gráficas de frecuencias para valorar la estructura de edades de los bosques. Con los tocones se analizó el aprovechamiento forestal dentro de cada parque.

Para caracterizar la diversidad de especies de los 3 sitios, se utilizaron curvas de extrapolación y rarefacción de la abundancia y riqueza de especies con base en los 3 primeros números de Hill: $q = 0$, $q = 1$ y $q = 2$ (Chao et al., 2014; Hsieh et al., 2016; Jost, 2006). Fórmula:

$${}^qD = \left(\sum_{i=1}^s p_i^q \right)^{\frac{1}{1-q}}$$

donde qD es la riqueza efectiva de especies y el parámetro q determina la sensibilidad de D a la abundancia relativa de las especies (Chao et al., 2014; Jost, 2006). Cuando $q = 0$ el índice de diversidad 0D representa la riqueza de especies, es el número de especies presentes con al menos un individuo. Para $q = 1$ la riqueza es indefinida, pero como q tiende a 1, es equivalente a la exponencial del índice de Shannon, por lo que el índice de diversidad 1D es una estimación de la riqueza de especies considerando su abundancia relativa. Para $q = 2$, el índice de diversidad

2D representa el índice de Simpson, el cual considera las especies dominantes, así, 2D puede interpretarse como el número efectivo de especies dominantes dentro del conjunto observado (Chao et al., 2014; Hsieh et al., 2016; Jost, 2006). Los datos se analizaron en el programa iNEXT Online <https://chao.shinyapps.io/iNEXTOnline/> (Chao et al., 2016).

El índice de condición ecológica del bosque se obtuvo con el modelo de Ochoa-Gaona et al. (2010), el cual considera variables cuantitativas y semicuantitativas de elementos ecológicos (estructura vertical y horizontal) y de manejo de un bosque, cuyos valores son predeterminados y ponderados entre 0 (baja o nula condición ecológica) y 1 (mayor o mejor condición ecológica). Dependiendo de la variable, se establecen 3, 4 o 5 niveles de ponderación (Ochoa-Gaona et al., 2010). Las variables incluidas en el modelo fueron estrato arbóreo superior (> 20 m de altura), estrato arbóreo (10 a 20 m de altura), estrato arbóreo inferior (< 10 m de altura), estrato arbustivo, altura de la vegetación (m), categorías diamétricas (DAP 5-10 cm; DAP 11-20 cm; DAP 21-30 cm; DAP > 30 cm), porcentaje de cobertura del dosel, reclutamiento (árboles jóvenes con DAP ≤ 5 cm), riqueza de plántulas, abundancia de plántulas, riqueza de árboles, tipo de vegetación, intensidad de quema, intensidad de pastoreo/pisoteo, extracción de leña, extracción de madera y árboles muertos en pie. Es

un modelo jerárquico en donde a cada variable se le asigna un valor inicial. Cuando se ejecuta el modelo, se toman 2 o más variables a las que se aplica promedio ponderado, promedio, lógica difusa o reglas de “igual si” (ejemplo: el promedio ponderado de todas las variables de estratos), los nuevos valores pasan a la fase intermedia (ejemplo: el resultado obtenido de las variables de estratos con los resultados de las categorías diamétricas) a las que se les aplica nuevamente la lógica difusa o reglas de “igual si”. Finalmente, la fase intermedia arroja 2 resultados que se toman para la fase final (el resultado obtenido a través de todas las variables de nivel de perturbación y el resultado de todas las variables de estructura) donde se aplica la lógica difusa para obtener el valor de condición del bosque. El modelo es sencillo de usar, permite hacer una evaluación rápida del estado y condición ecológica de un bosque. Los datos se ejecutaron en el sitio web <http://201.116.84.136:9500/index.html> con autorización de Ochoa-Gaona et al. (2010).

Para obtener información referente al cambio de cobertura y uso de suelo de las áreas con manejo ecoturístico y ecológico del municipio de SCLC, se utilizaron imágenes satelitales RapidEye del 2011, a una resolución de 5×5 m por pixel; imágenes Spot para 2005 y 2015, con una resolución de 6×6 m por pixel y una imagen Sentinel 2 del 2021 a una resolución de 10×10 m, obtenida a través del servidor Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>).

Para el estudio se establecieron 8 clases de uso de suelo siguiendo la nomenclatura de Calderón et al. (2012), Figueroa-Jáuregui et al. (2010) y con base en los mapas temáticos del departamento de la TAO-ECOSUR (ver en: <https://www.ecosur.mx/laboratorio-de-observacion-de-la-tierra/>): vegetación secundaria de pino-encino, vegetación secundaria de encino, vegetación secundaria de pino, vegetación arbustiva —agricultura, potreros y campos, asentamientos humanos, zonas desprovistas de vegetación, y cuerpos de agua. Para el análisis de Arcotete y Grutas de Mamut se consideró un buffer de 1,538.82 ha que incluyen los bosques protegidos colindantes Parque El Encuentro, reservas Gertrude DUBY y Quembo Cuxtitali, para tener una tasa de cambio de lo que ocurre en las afueras y dentro de los bosques de las áreas ecoturísticas. Para el caso de Rancho Nuevo, se consideró toda la reserva estatal a la cual pertenece el sitio ecoturístico del mismo nombre. El análisis de las imágenes se realizó con el software libre Qgis 3.18.3. Cada imagen satelital se proyectó a la zona 15 N, sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) y Datum WGS 84. Es importante mencionar que la clasificación se hizo por medio de fotointerpretación, ya que las áreas de estudio son pequeñas para la escala de los procedimientos de clasificación automatizados.

Finalmente, se obtuvo la tasa de cambio de cobertura forestal por año, con la fórmula propuesta por la FAO (1996) para identificar el porcentaje de pérdidas o ganancias de vegetación de los alrededores de las reservas y parques ecoturísticos. Fórmula: $TC = ((S_2/S_1)^{(1/n)} - 1)$, donde: TC = tasa de cambio (%); S_1 = superficie en el año inicial (ha); S_2 = superficie en el año final (ha) y n = número de años en el periodo de análisis.

Resultados

Se registraron 30 especies arbustivas y arbóreas de 19 géneros y 16 familias, en los recorridos y muestreos de parcelas. Los sitios con la mayor riqueza fueron Arcotete y Grutas de Mamut con 23 especies. En Rancho Nuevo se registraron 14 especies (tabla 1). En los recorridos realizados se observaron 5 especies adicionales a las registradas en las parcelas de muestreo en Arcotete, 2 en Grutas de Mamut y 4 en Grutas de Rancho Nuevo (tabla 1).

En Arcotete se registraron 511 individuos, en Grutas de Mamut 271 y en Grutas de Rancho Nuevo 237. Las especies más abundantes fueron *Quercus rugosa* y *Pinus montezumae* (tabla 1). En Grutas de Mamut las especies más abundantes fueron *Quercus rugosa*, *Q. crispipilis*, *Prunus serotina* y *P. pseudostrubus*. En el parque Arcotete las especies más abundantes fueron *Q. rugosa*, *Garrya laurifolia*, *Litsea glaucescens* y *P. ayacahuite*. En rancho nuevo se registraron a *P. montezumae*, *Q. crispipilis* y *Frangula mucronata* como las especies más abundantes.

En los 3 sitios de estudio se observaron individuos de las categorías de desarrollo consideradas (plántulas, juveniles), así como de las clases diamétricas de árboles jóvenes, medianos y adultos. Para el caso de Grutas de Mamut, la categoría de árboles medianos (DAP 10-20) tuvo la mayor abundancia (92 individuos en total) y la de adultos (DAP > 30) fue la que registró menos individuos (16) (fig. 2b). Mientras que en Arcotete se obtuvieron valores más homogéneos entre las categorías (fig. 2a), la categoría árboles con DAP 20-30 fue la que tuvo más individuos (73) y la categoría árboles grandes (DAP > 30) fue la que tuvo menos (49). El resto de las categorías se mantuvieron entre 61 y 67 individuos.

Rancho Nuevo fue el sitio con árboles más grandes (fig. 2c), la categoría árboles grandes (DAP > 30 cm) fue la que tuvo más individuos (54). Se observó un dosel dominado por pinos, con pocos árboles juveniles (9 ind. 0.3 ha^{-1}), plántulas y una ausencia de sotobosque (fig. 2c).

Aprovechamiento del bosque

Dentro de los 3 parques ecoturísticos se registraron tocones de diferentes tamaños diamétricos de los géneros

Tabla 1

Riqueza (S) y abundancia (N), número de individuos por especie registrada en recorridos observacionales y parcelas de muestreo. Se usó el trabajo de Taylor-Aquino et al. (2016) para asignar la forma de crecimiento (Cre), la categoría sucesional y el estrato del bosque que ocupa. Se presenta la categoría de riesgo de acuerdo con la lista roja de la UICN, donde Lc = preocupación menor; Nt = casi amenazado; Vu = vulnerable; ^a = registrada como plántula, ^b = especie observada en los recorridos. A = Arcotete; M = Grutas de Mamut; RN = Grutas de Rancho Nuevo.

Especies	Número de individuos			Cre	Categoría sucesional	Estrato	Lista UICN
	M	A	RN				
<i>Acer negundo</i> subsp. <i>mexicanum</i> (DC.) Wesm.	20	1 ^b	0	Árbol	Tardía	Dosel	Vu
<i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth) Decne. et Planch.	0	1 ^b	0	Árbol	Intermedia	Interior	Lc
<i>Viburnum jucundum</i> C.V Morton.	1 ^a		0	Árbol	Intermedia	Interior	Vu
<i>Alnus acuminata</i> subsp. <i>arguta</i> (Schltdl.) Furlow.	4	1 ^b	1 ^b	Árbol	Temprana	Dosel	Lc
<i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K.Koch.	4	1 ^b	0	Árbol	Temprana	Interior	Lc
<i>Buddleja cordata</i> Kunth.	4	8	1 ^b	Árbol	Temprana	Interior	Lc
<i>Ageratina ligustrina</i> (DC.) R.M.King et H.Rob.	0	4	0	Arbusto	Intermedia	Interior	Lc
<i>Cornus excelsa</i> Kunth.	21	1	0	Árbol	Temprana	Interior	Lc
<i>Cupressus lusitanica</i> (Mill.) Bartel.	0	0	1	Árbol	Temprana	Dosel	Lc
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth.	2	5	1 ^b	Árbol	Temprana	Dosel	Lc
<i>Comarostaphylos discolor</i> (Hook.) Diggs	2	1	0	Árbol	Temprana	Interior	
<i>Quercus acatenangensis</i> Trel.	1	0	0	-	-	-	Lc
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	8	7	0	Árbol	Intermedia	Dosel	Lc
<i>Quercus crispipilis</i> Trel.	38	50	52	Árbol	Temprana	Dosel	Nt
<i>Quercus x dysophilla</i> Benth.	8	0	0	-	-	-	---
<i>Quercus rugosa</i> Née	76	96	9	Árbol	Temprana	Dosel	Lc
<i>Quercus segoviensis</i> Liebm.	1	2	0	Árbol	Temprana	Dosel	Lc
<i>Garrya laurifolia</i> Hartw. ex Benth.	8	80	1 ^b	Árbol	Intermedia	Interior	Lc
<i>Litsea glaucescens</i> Kunth.	1 ^b	42	12	Arbusto	Intermedia	Dosel	Lc
<i>Malvaviscus arboreus</i> Dill. ex Cav.	0	8 ^a	0	Arbusto	Intermedia	Interior	
<i>Pinus chiapensis</i> (Martínez) Andresen	0	1 ^b	0	Árbol	Pionera	Dosel	
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	26	0	0	Árbol	Temprana	Dosel	Lc
<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i> (Lindl.) Shaw.	1	67	6	Árbol	Temprana	Dosel	Lc
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltdl.	0	75	2	Árbol	Intermedia	Dosel	Lc
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	1	0	120	Árbol	Temprana	Dosel	Lc
<i>Pinus tecunumanii</i> F.Schwerdtf. ex Eguiluz et J.P. Perry.	1 ^b	4	0	Árbol	Temprana	Dosel	Vu
<i>Frangula capreifolia</i> var. <i>grandifolia</i> (M.C. Johnst et L.A. Johnst.) A. Pool	6 ^a	0	0				
<i>Frangula mucronata</i> (Schltdl.) Grubov.	0	35	22	Árbol	Intermedia	Interior	Lc
<i>Crataegus pubescens</i> (C. Presl.) C. Presl.	8	2	2	Árbol	Temprana	Interior	----
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	31	24	11	Árbol	Temprana	Interior	Lc
<i>S</i>	23	24	15				

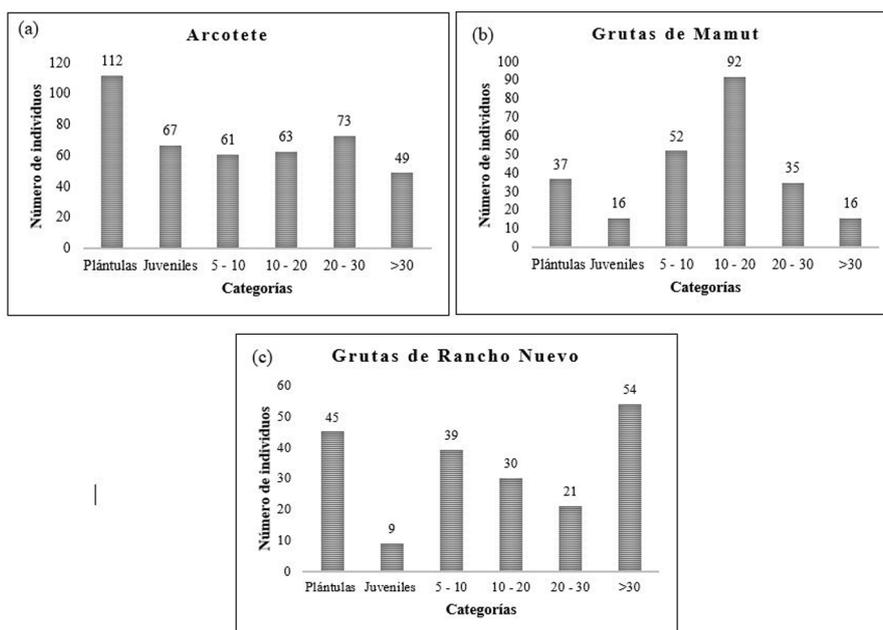


Figura 2. Frecuencia de estados de desarrollo y categorías diamétricas de árboles registrados en (a) Arcotete, (b) Mamut y (c) Rancho Nuevo. Juveniles, son individuos con DAP < 5 cm y las plántulas < 50 cm de altura.

Quercus y *Pinus* (tabla 2). En Grutas de Mamut se observó un mayor número de tocones de especies de encinos, con un intervalo diamétrico de 10 cm y 20 cm. En los casos de Arcotete y Rancho Nuevo se observaron principalmente tocones de pinos (tabla 2); no se observaron árboles recién cortados ni en las parcelas ni durante los recorridos en Arcotete y Grutas de Mamut. En Grutas de Mamut la mayoría de los árboles de *Quercus* estuvieron bifurcados, con rebrotes y con marcas, indicio de que fueron talados en el pasado. En el caso de Rancho Nuevo se observaron tocones recién cortados, de acuerdo con los administradores se debió a que fue una medida de control de descortezadores.

Índice de diversidad por número de Hill

La cobertura de la muestra para los sitios Grutas de Mamut y Grutas de Rancho Nuevo fue de 0.98, y para Arcotete de 0.99. El resultado indica que el muestreo por parcela fue casi completo para cada sitio. La diversidad del orden $q = 0$ indicó que el sitio que presentó una mayor diversidad fue Grutas de Mamut con ${}^0D = 19$ especies, seguido de Arcotete con 2 especies menos que Grutas de Mamut (${}^0D = 17$) y, finalmente, Rancho Nuevo con 8 especies menos que Arcotete (${}^0D = 9$). Los números de Hill de primer y segundo orden indicaron que Grutas de Mamut presentó la mayor diversidad en comparación con los otros 2 sitios.

Las curvas de acumulación de especies por rarefacción y extrapolación de los números de Hill (número de individuos como esfuerzo de recolecta) mostraron una aproximación a la asíntota para todos los índices de diversidad (fig. 3a-c), en particular para 2D (fig. 3c). Los intervalos de confianza (al 95%) se superponen entre Arcotete y Grutas de Mamut para 0D y 2D (fig. 3a, c), mientras que para 1D es menor la superposición (fig. 3b). Las curvas para Grutas de Rancho Nuevo se observaron con valores menores respecto a los otros 3 sitios, independientemente del índice. Las curvas de acumulación de especies con 1D y 2D para Rancho Nuevo alcanzaron la asíntota, lo que indica que la intensidad de muestreo registró prácticamente todas las especies del sitio ecoturístico (fig. 3b, c).

El índice de condición ecológica promedio del bosque fue de 0.5 para Arcotete y Grutas de Mamut y de 0.3 para Rancho Nuevo. El índice para cada parcela varió entre 0.5 y 0.6 para el caso de Arcotete y Grutas de Mamut; de acuerdo con el método, se interpreta como una condición intermedia de conservación (0 peor - 1 mejor). Para el caso de Rancho Nuevo, el índice fue de 0.3 para todas las parcelas lo que indica un alto grado de perturbación antropogénica (tabla 3).

Cambio de cobertura y uso de suelo

En la tabla 4 se presentan las ha netas por clase de uso de suelo para 2005, 2011, 2015 y 2021. Se observa que la clase de uso de suelo predominante por el número de ha en

Tabla 2

Número de tocones por clase DAP y géneros registrados en los parques ecoturísticos Arcotete, Grutas de Mamut y Grutas de Rancho Nuevo.

Rangos de DAP	Grutas de Mamut		Arcotete		Grutas de Rancho Nuevo	
	<i>Quercus</i>	<i>Pinus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Pinus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Pinus</i>
5 - 10	6	0	0	0	0	4
10 - 20	8	0	1	4	0	14
21 - 30	6	6	1	1	0	6
31 - 40	0	2	0	4	0	1
41 - 50	1	1	0	1	0	1
< 50	1	0	0	3	0	1

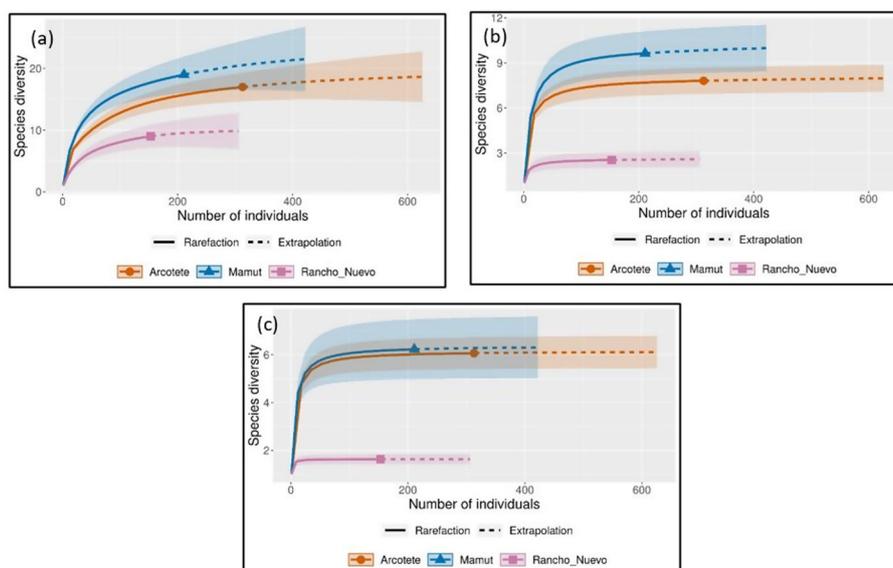


Figura 3. Curva de acumulación de especies con base en el número de individuos como esfuerzo de muestreo para los 3 números de Hill. La línea sólida representa la muestra de rarefacción y la línea punteada la extrapolación al doble de tamaño de cada muestra por parque ecoturístico. (a), Índice de diversidad (0D) de primer orden $q = 0$; (b) índice de diversidad (1D) de segundo orden $q = 1$; (c) índice de diversidad (2D) de tercer orden $q = 2$.

los años de análisis fue la vegetación secundaria de pino-encino. Al mismo tiempo, es la clase con el mayor número de ha perdidas (tabla 5; material complementario 1-7 para los mapas temáticos). Las clases agricultura, potreros y campos, vegetación arbustiva, asentamientos humanos y zonas desprovistas de vegetación (bancos de arena) son las que ganaron ha cada año (con una tasa de cambio de 0.4 a 9.1% para Grutas de Mamut y Arcotete, y de 0.7 a 5.5% para Rancho Nuevo (tabla 6).

Se obtuvo que al interior de los parques Arcotete y Grutas de Mamut existe un aumento de la cobertura forestal del bosque de pino-encino y la disminución de hectáreas de las zonas abiertas y vegetación secundaria arbustiva (tabla 7). Asimismo, las zonas donde han reforestado han tenido éxito y han pasado a formar parte de la cobertura. Por su parte, la cobertura del bosque de pino en Rancho Nuevo disminuyó 1.32 ha del 2005 al 2021, y tuvo un aumento de infraestructura (tabla 7).

Tabla 3

Índice de condición ecológica del bosque por parcela. TS20 = Estrato arbóreo superior > 20 m; TS10 = estrato arbóreo 10-20 m; TS0 = estrato arbóreo inferior < 10 m; SS = estrato arbustivo; VH = altura de la vegetación (m); D6 = DAP 5-10 cm; D11 = DAP 11-20 cm; D21 = DAP 21-30 cm; D41 = DAP > 30 cm; CC = % de cobertura del dosel; R = reclutamiento (árboles jóvenes con DAP ≤ 5 cm); SR = riqueza de plántulas; SA = abundancia de plántulas; TR = riqueza de árboles; VT = tipo de vegetación; BI = intensidad de quemado; GI = intensidad de pastoreo/pisoteo; FE = extracción de leña; WE = extracción de madera; SD = árboles muertos en pie; FEC = condición ecológica del bosque.

Sitio	parcela	Estratos					Categorías diamétricas						Regeneración				Perturbación							
		TS20	TS10	TS0	SS	WS	VH	D6	D11	D21	D41	DBH	CC	R	SR	SA	TR	VT	BI	GI	FE	WE	SD	FEC
Mamut	1	0.33	0.66	0.66	0.33	0.624	0.25	0.66	0.66	0.33	0.33	0.55	0.33	0.33	1	0.66	0.5	0.66	1	0.5	1	1	1	0.5
	2	0.33	0.66	0.66	0.33	0.624	0.75	0.33	0.66	0.33	0.33	0.528	0.33	0.33	1	0.66	0.5	0.66	1	0.5	1	1	1	0.5
	3	0.33	0.66	0.66	0.33	0.624	0.25	0.33	0.66	0.33	0.33	0.528	0.33	0.33	1	0.66	0.5	0.66	1	0.5	1	1	1	0.5
Arcotete	4	0.33	0.66	0.66	0.33	0.624	0.5	0.33	0.66	0.66	0.33	0.624	0.33	0.66	1	0.66	0.5	0.66	1	0.5	1	1	1	0.5
	5	0.33	0.66	0.66	0.33	0.624	0.25	0.66	0.33	0.66	0.33	0.6	0.33	0.33	1	0.66	0.5	0.66	1	0.5	1	1	1	0.5
	6	0.33	0.66	0.66	0.33	0.624	0.75	1	0.66	0.66	0.66	0.808	0.33	0.66	1	0.66	0.5	0.66	1	0.5	1	1	1	0.6
Rancho Nuevo	7	0.66	0.33	0.33	0	0.584	1	0.33	0.33	0.33	0.66	0.624	0	0.33	5	0.33	0	0.66	1	0	0.5	0.5	0.5	0.3
	8	0.66	0.33	0.33	0	0.584	0.75	0.66	0.33	0.33	0.33	0.504	0	0.33	0	0.33	0	0.66	1	0	0.5	0.5	0.5	0.3
	9	0.66	0.33	0.33	0	0.584	0.5	0.33	0.33	0.33	0.33	0.48	0	0.33	1	0.33	0	0.66	1	0	1	1	1	0.5

Tabla 4

Hectáreas obtenidas por clase de uso de suelo para los años 2005, 2011, 2015 y 2021 en los sitios ecoturísticos y sus alrededores.

Clase de uso de suelo	Arcotete y Grutas de Mamut				Grutas de Rancho Nuevo		
	2005	2011	2015	2021	2005	2015	2021
Vegetación secundaria pino-encino	999.87	896.41	877.50	804.67	3,579.45	3,448.09	3,378.36
Vegetación secundaria encino	46.73	31.15	29.19	27.25	0	0	0
Vegetación secundaria pino	0	0	0		342.30	343.01	299
Agricultura, potreros y campos	320.56	353.48	365.73	400.36	515.11	566.92	578.85
Vegetación arbustiva	107.72	173.23	164.88	116.42	125.91	175.07	218.46
Asentamientos humanos	39.94	66.51	82.24	162.3	56.1	78.08	132.81
Zonas desprovistas de vegetación (bancos de arena)	14.62	14.96	15.29	18.87	22.21	29.62	32.66
Cuerpos de agua	8.68	8.68	8.68	8.68	1.78	2.5	2.6

Discusión

La conservación de bosques a través del ecoturismo en los parques Arcotete, Grutas de Mamut y Grutas de Rancho Nuevo de SCLC ha sido medianamente efectiva. En los sitios permanecen individuos de 30 especies de árboles y arbustos propias de los bosques de montaña de la región Los Altos de Chiapas, no obstante, la continuidad de los bosques y su mantenimiento requieren de intervención para su conservación en el largo plazo.

Con base en los números de Hill (0D , 1D , 2D), el sitio ecoturístico más diverso fue Grutas de Mamut ($D^0 = 19$, ${}^1D = 9.64$, ${}^2D = 6.23$), seguido de Arcotete ($D^0 = 17$, ${}^1D = 7.81$ y ${}^2D = 6.07$ especies). Las especies registradas son propias de los bosques de montaña de Los Altos de Chiapas, por lo que la actividad ecoturística ha permitido el desarrollo de algunas especies de ese tipo de bosque y es posible conservar especies sensibles al disturbio antropogénico (González-Espinosa y Ramírez-Marcial, 2013; González-Espinosa et al., 2009; Tavera-Carreño et al., 2020).

Tabla 5

Número de hectáreas perdidas (-) o ganadas (+) por clase en 2005, 2011, 2015 y 2021.

Clases de uso de suelo	Arcotete y Grutas de Mamut			Grutas de Rancho Nuevo	
	2005-2011	2011-2015	2015-2021	2005-2015	2015-2021
Vegetación secundaria pino-encino	-104.58	-24.01	-66.61	-131.36	-69.79
Vegetación secundaria encino	-14.58	-3.13	-1.77	0	0
Vegetación secundaria pino	0	0	0	+0.71	-44.01
Agricultura, potreros y campos	+33.07	+18.64	+28.65	+51.81	+11.93
Vegetación arbustiva	+65.51	-18.21	-18.21	+49.16	+43.39
Asentamientos humanos	+28.26	+19.98	+19.98	+21.92	+54.73
Zonas desprovistas de vegetación (bancos de arena)	+0.35	+0.64	-3.26	+7.41	-3.04

Tabla 6

Porcentaje de tasa de cambio por clase definidas en el estudio.

Clases de uso de suelo	Arcotete y Grutas de Mamut			Grutas de Rancho Nuevo			
	2005-2011	2011-2015	2015-2021	2005-2021	2005-2015	2015-2021	2005-2021
Vegetación secundaria pino-encino	-1.8	-0.5	-1.4	-1.3	-0.3	-0.3	-0.3
Vegetación secundaria encino	-6.5	-1.6	-1.1	-3.3	0	0	0
Vegetación secundaria pino	0	0	0	0	0	-2.2	-0.8
Agricultura, potreros y campos	1.6	0.8	1.5	1.3	0.9	0.3	0.7
Vegetación arbustiva	8.2	-1.22	-5.6	0.4	3.3	3.7	3.5
Asentamientos humanos	8.8	5.4	11.9	9.1	3.3	9.2	5.5
Zonas desprovistas de vegetación (bancos de arena)	0.3	0.5	3.5	1.6	2.9	1.6	2.4

Tabla 7

Hectáreas netas obtenidas por clase al interior de los polígonos de cada parque ecoturístico.

Clase	Grutas de Mamut				Arcotete				Grutas de Rancho Nuevo		
	2005	2011	2015	2021	2005	2011	2015	2021	2005	2015	2021
Bosque de pino-encino	2.5	2	4	8	15.4	13.9	15	17.2	2.67	2.67	2.67
Bosque de pino	0	0	0	0	0	0	0	0	16.66	16.14	15.3
Campos de recreación y estacionamiento	6	6	4.5	3	4.7	5	4	2.74	0.69	1.11	0.77
Cuerpos de agua y ríos	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0
Restaurantes, cabañas, casetas, entre otros	0	0.3	0.6	0.6	0	0.5	0.5	0.6	0	0.09	1.29
Vegetación arbustiva	4	4	2.8	0.4	0.4	1.1	1	0	0	0	0
Reforestación	0	0	0.3	0.4	0	0	0	0.02	0	0	0
Total de hectáreas	12.8	12.6	12.6	12.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20	20	20

También se conservan especies que están en la Lista Roja de la UICN en la categoría de vulnerables como *Acer negundo*, *Viburnum jucundum*, *Pinus tecunumanii* y una especie casi amenazada como *Quercus crispipilis*.

La diversidad de pequeños fragmentos de bosques de montañas se compone regularmente de varias especies raras o poco frecuentes, por lo que, hasta cierto punto de disturbio, los pequeños fragmentos contribuyen a la conservación de la diversidad regional (Ramírez-Marcial et al., 2005). Los sitios ecoturísticos considerados en este estudio, particularmente Arcotete y Grutas de Mamut, pueden incluirse como parte de la red de pequeños fragmentos de bosque de montaña, con una riqueza y composición semejante a la que se puede encontrar en fragmentos de bosques en la región de Los Altos de Chiapas (Ramírez-Marcial et al., 2005). Con una planeación en el largo plazo y reconociendo especies de la región como objetos específicos de conservación en los sitios ecoturísticos, se puede coadyuvar al mantenimiento de la diversidad de especies, la efectividad de conservación de bosques y su condición ecológica.

En Arcotete y Grutas de Mamut se observó que la mitad de las especies tienen una abundancia relativamente baja (por ejemplo, *Litsea glaucescens*, *Viburnum jucundum*, *Comarostaphylos discolor*, entre otras) y la dominancia de una tercera parte la tiene *Quercus rugosa*. En tanto que, en Rancho Nuevo, son pocas las especies raras (*Quercus crispipilis*) y solo una especie domina el bosque (*Pinus montezumae*). A pesar de que los sitios ecoturísticos están en la misma zona geográfica, se identificaron especies que se registraron solo en un sitio, como: *Ageratina ligustrina* en Arcotete, *Quercus acatenangensis* en Grutas de Mamut y *Pinus montezumae* en Rancho Nuevo. Es posible que la composición de especies de los sitios se deba a la diversidad y abundancia de especies arbóreas que había en el momento del cambio de uso de suelo de agricultura a ecoturismo.

El estudio de Chediack et al. (2015), respecto a la diversidad de árboles en el polígono de la Zona Sujeta de Conservación Ecológica Rancho Nuevo, señala que en la parte alta de la zona se encuentran bosques de pino-encino y mesófilo de montaña, mientras que en la parte baja, en donde se encuentra el parque ecoturístico, se registra un bosque con baja riqueza y una alta densidad de pinos y con pocos árboles en el sotobosque. Asimismo, Chediack et al. (2015) argumentan que, posiblemente, la parte baja es el resultado de un proceso de pinarización ocurrido antes de decretarse como área natural protegida. En el sitio Grutas de Mamut se registró el mayor número de árboles de *Quercus* con rebrotes, lo que demuestra que en el pasado existió el aprovechamiento de este género.

En los 3 sitios se observaron estados de desarrollo de todas las clases definidas: plántulas, juveniles y árboles jóvenes, medianos y adultos. Las clases de DAP en los árboles oscilaron entre > 5 y > 30 cm. Sin embargo, sus frecuencias son heterogéneas y distan de la curva de frecuencias (J invertida) que suele tener un bosque maduro de montaña (Crow et al., 2002; Rubin et al., 2006; Zenner, 2005). Posiblemente de forma inadvertida, se favorecen las clases diamétricas mayores, particularmente en Rancho Nuevo, en donde la frecuencia de árboles con DAP > 30 cm fue superior a cualquier otra fase de desarrollo o crecimiento.

El número de plántulas fue menor para Grutas de Mamut y Grutas de Rancho Nuevo en comparación con Arcotete, pero posiblemente su transición a etapas superiores puede estar impedido por el paso de turistas, o por las medidas de limpieza de maleza que se hacen con regularidad en el parque (observación personal J.G. Domínguez-Vera). Las plántulas y juveniles que se registraron son las que tuvieron supervivencia, ya que los muestreos cuantitativos se hicieron fuera de los senderos donde se concentran los turistas, aunque es importante recalcar, que se registraron pocos individuos juveniles. El estado de desarrollo del bosque posiblemente tenga relación con el manejo que la administración define para los sitios (Ruiz-González et al., 2023).

Desde la perspectiva ecológica, se considera necesario definir intervenciones espaciales y temporales, en la que se proyecte el reemplazo de los adultos que invariablemente llegarán a morir o que pueden morir prematuramente por plagas u otras causas potenciales como incendios y tala clandestina. La planeación y evaluación oportuna de la condición del bosque sujeto a conservación en los parques ecoturísticos, incrementará la viabilidad del ecoturismo a largo plazo (González y Neger, 2020; Su et al., 2014).

Se observó que el aprovechamiento forestal en Arcotete y Grutas de Mamut ha disminuido o se ha dejado de hacer, ya que los tocones registrados presentan marcas que indican su aprovechamiento en el pasado como los rebrotes sobre tocones de árboles viejos. En este estudio no se observaron rastros de árboles recién cortados. Los patrones de aprovechamiento del bosque de los sitios, en el pasado, concuerdan con las dinámicas de extracción que se llevan en la región de los Altos de Chiapas, en donde se aprovechan especies de *Quercus* con DAP que van de 10 a 30 cm y especies de *Pinus* con DAP entre 20 y 70 cm (Taylor-Aquino et al., 2016). En el caso de Rancho Nuevo se observaron árboles recién cortados de *Pinus montezumae*, debido a que es una forma de controlar a la plaga de escarabajos descortezadores que hay en el parque (comunicación personal de los administradores del

parque, 2022). Esta forma de control de la plaga también fue reportada por Chediack et al. (2015), quienes proponen una alternativa mediante la modificación del rodal, donde se encuentran los árboles plagados o enfermos, por medio de la plantación de otras especies vegetales nativas.

El índice de condición ecológica del bosque que se registró en Arcotete y Grutas de Mamut fue intermedio respecto a la escala de 0.0 - nula o baja condición ecológica y 1.0 - mejor condición ecológica del bosque (Ochoa-Gaona et al., 2010). La apertura del ecoturismo impulsó cambios en el manejo y que se les diera un nuevo valor a los elementos naturales, al ofrecerlos como atractivos turísticos. Dejaron de talar árboles y las áreas abiertas destinadas a la agricultura y pastoreo ahora son parte del estacionamiento, área de acampar y de recreación (Aguilar et al., 2016; Montoya y Hernández, 2013). Además, se observaron acciones de reforestación con *Pinus ayacahuite*, que han tenido éxito, ya que el análisis de imágenes reveló un incremento de cobertura de la vegetación secundaria en regeneración entre los años 2015 y 2021. Este resultado puede ser otro indicador de que el ecoturismo tiene un efecto positivo en la conservación de bosques de montaña de Los Altos de Chiapas. Es importante mencionar que los cambios que trajo el ecoturismo en los sitios de estudio concuerdan con los que reportan Das y Chatterjee (2015), González y Neger (2020), Obombo y Velarde (2019) y Su et al., (2014) respecto a la influencia del ecoturismo en propiciar cambios en el uso de suelo y los recursos naturales, en los modos de vida, en las formas de organización y en la generación de prácticas locales encaminadas al cuidado de la naturaleza.

Rancho Nuevo, pese a que tuvo una cobertura forestal visible localmente y por imágenes de satélite, tuvo una condición ecológica de 0.3, el cual es un valor bajo y sugiere que el bosque tiene poca diversidad y recibe perturbación antropogénica, lo que favorece la dominancia de *Pinus* (González-Espinosa y Ramírez-Marcial, 2014; Martínez-Ramos et al., 2022). El problema de los pinares inducidos es que tienen suelos más compactados, son menos fértiles y con una menor biomasa microbiana, además, presentan una menor riqueza de especies y estructuras verticales más simples (Galindo-Jaimes et al., 2002); por lo que el grado de pinarización de Rancho Nuevo puede ser impedimento para establecimiento de otras especies de los bosques de montaña de Los Altos de Chiapas. Sin embargo, en Rancho Nuevo hay un número importante de individuos de *Quercus crispipilis*, una especie de encino en la lista de la UICN cercana de estar amenazada, lo que realza la importancia del sitio como medio de conservación para la especie.

Asimismo, es importante mencionar que Rancho Nuevo lleva más tiempo abierto, cuyo manejo ha mantenido la dominancia de *Pinus*. Por otro lado, Rancho Nuevo tiene

la mayor afluencia turística y posiblemente se supere la capacidad de carga del sitio, lo que impide el desarrollo de otras especies, e incluso la de individuos de pinos. También, es probable que la plaga de descortezadores se favorezca por la dominancia de *Pinus*, en particular de *P. montezumae*, que es una de las preferidas de descortezadores (Chediack et al., 2015; Vázquez-Ochoa et al., 2022). Sería importante realizar un estudio en los 3 sitios que permita comparar entre las zonas de vegetación moderadamente conservadas con las zonas donde transitan los turistas y zonas donde no llegan, para analizar los cambios en composición y abundancia de especies que genera el tránsito del turismo, además de identificar las medidas de conservación que realiza la administración de los parques. También es deseable, conocer la diversidad de otros grupos biológicos que pueden residir en los bosques con manejo ecoturístico, por ejemplo, aves, insectos, pequeños mamíferos, anfibios y reptiles.

El análisis de imágenes de satélite muestra que la vegetación secundaria se incrementó, aunque no a una tasa superior a la pérdida de bosques secundarios, lo que indica que se siguen perdiendo bosques y con ello los servicios ambientales. En este estudio se muestra que el ecoturismo permite la conservación de bosques, sin embargo, el crecimiento urbano de SCLC es una presión constante y que puede llegar a comprometer su permanencia al quedar un fragmento de bosque aislado y distante de otros parches de bosque de la región (Calderón et al., 2012; Enríquez-Rocha et al., 2013).

El estado y condición de conservación de los bosques de montaña que se encuentran bajo manejo ecoturístico en Arcotete y Grutas de Mamut son acorde con el tiempo de cese de la agricultura y tala del bosque, su condición ecológica es intermedia (0.5), y para Rancho Nuevo, se conserva la cobertura forestal, sin embargo, su condición ecológica es baja (0.3).

Para los 2 primeros casos, se demuestra la efectividad del manejo ecoturístico en la conservación de los bosques de montaña, ya que éste generó cambios en el manejo de los bosques y contribuyó a mantener y permitir el desarrollo de la cobertura forestal, la cual puede ser mejorada en términos de riqueza de especies, a través de favorecer el crecimiento de individuos reclutados naturalmente y mediante la plantación de más especies de *Quercus* y otras latifoliadas propias de la región (Ramírez-Marcial, Camacho-Cruz et al., 2010), acciones que seguramente incrementarán la importancia ecológica de los sitios ecoturísticos y pueden ser aún más relevantes para la conservación de la biodiversidad, al convertirse en pequeños espacios de preservación del bosque de montaña de Los Altos de Chiapas, y además, permitan recordar los atributos florísticos y estructurales de los bosques naturales.

Asimismo, bajo la dinámica de crecimiento urbano y expansión de la frontera agrícola, los parques ecoturísticos pueden representar para el futuro un punto de oportunidad para mitigar algunos problemas ambientales que se presentan en las ciudades al mantener remanentes de bosques y generar servicios ecosistémicos que necesita la población.

Agradecimientos

A los administradores de los parques ecoturísticos Arcotete, Grutas de Mamut y Grutas de Rancho Nuevo por permitirnos realizar la investigación dentro de sus espacios; a los compañeros Diana Yaneth Sánchez Molina, Henry Eustorgio Castañeda Ocaña, Citlali Berenice Núñez Guízar, Carlos Eduardo Luna Santiz y José Guadalupe Colmenares Natarén, quienes apoyaron en el trabajo de campo. Asimismo, agradecemos al proyecto Ermes por brindarnos su apoyo en el financiamiento de las imágenes satelitales Spot 2005 y 2015 y a la Comisión Nacional Forestal (Conafor) por financiar la imagen Rapyday 2011. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por brindar financiamiento para realizar el trabajo.

Referencias

- Aguilar, G., Montoya, G., Hernández, R. y Vázquez, M. (2016). *Procesos de reapropiación local y apropiación externa de los recursos en el Proyecto Ecoturístico Las Grutas del Mamut, San Cristóbal de Las Casas (Tesis de maestría)*. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.
- Calderón, A., Soto, L. y Estrada, E. (2012). Entre la conservación del bosque y el crecimiento de la ciudad: las localidades rurales en el espacio periurbano del Huitepec en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 27, 739–787. <https://doi.org/10.24201/edu.v27i3.1426>
- Cayuela, L. (2006). Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. *Ecosistemas*, 15, 192–198.
- Chao, A., Gotelli, N., Hsieh, T., Sander, E., Ma, K., Colwell, R. et al. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84, 45–67. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>
- Chao, A., Ma, K. H. y Hsieh, T. C. (2016). *iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) online: software for interpolation and extrapolation of species diversity*. Program and user's guide available at http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/inext-online/
- Chediack, S., Ramírez-Marcial, N. y González-Espinosa, M. (2015). *Vegetación de la zona sujeta a conservación ecológica Rancho Nuevo: estado actual y propuestas de manejo*. Informe. San Cristóbal de Las Casas: El Colegio de la Frontera Sur.
- Crow, T., Buckley, D., Nauertz, E. y Zasada, J. (2002). Effects of management on the composition and structure of Northern Hardwood Forests in Upper Michigan. *Forest Science*, 48, 129–145.
- Cruz, A., Bello, E., Enríquez, P. y Mondragón, R. (2019). Percepción del turismo accesible para personas con discapacidad, el caso del Centro Ecoturístico El Arcotete, Chiapas, México. *El Periplo Sustentable*, 37, 222–240. <https://doi.org/10.36677/elperiplo.v0i37.9215>
- Das, M. y Chatterjee, B. (2015). Ecotourism: A panacea or a predicament? *Tourism Management Perspectives*, 14, 3–16. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2015.01.002>
- Domínguez-Vera, J. y Ruiz-Montoya, L. (2021). El manejo de proyectos ecoturísticos en el municipio de San Cristóbal de las Casas: ¿siguen la norma oficial mexicana 133? *Dimensiones Turísticas*, 5, 59-80. <https://doi.org/10.47557/DYFV8352>
- Enríquez-Rocha, P., Rangel-Salazar, J., Vázquez-Pérez, J. y Partira-Lara, R. (2013). *Distribución, abundancia y selección de hábitat de especies de aves amenazadas y en peligro de extinción en los bosques de montaña de Chiapas*. Informe. México D.F.: El Colegio de la Frontera Sur/ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Nacional/ Departamento de Ecología y Sistemática Terrestre.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1996). *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. FAO. Roma.
- Figueroa-Jáuregui, M., Ibáñez-Castillo, L., Arteaga-Ramírez, R., Arellano-Monteros, J. y Vázquez-Peña, M. (2011). Cambio de uso de suelo en la cuenca de San Cristóbal de Las Casas, México. *Agrociencia*, 45, 531–544.
- Galindo-Jaimes, L., González-Espinosa, M., Quintana-Ascencio, P. y García-Barrios, L. (2002). Tree composition and structure in disturbed stands with varying dominance by Pinus spp. in the highlands of Chiapas, México. *Plant Ecology*, 162, 259–272. <https://doi.org/10.1023/A:1020309004233>
- González-Espinosa, M. y Ramírez-Marcial, N. (2013). Comunidades vegetales terrestres. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) (Ed.), *La biodiversidad en Chiapas* (pp. 21–42). México D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Gobierno del Estado de Chiapas.
- González-Espinosa, M. y Ramírez-Marcial, N. (2014). Ecología y restauración de los bosques de *Quercus* de Chiapas, sur de México. En C. Solano y N. Vargas (Eds.), *Memorias del I Seminario Internacional de Roble y Ecosistemas Asociados* (pp. 203–2014). Bogotá, Colombia.
- González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Camacho, A., Holz, S., Rey-Benayas, J. y Parra-Vázquez, M. (2007). Restauración de bosques en territorios indígenas de Chiapas: modelos ecológicos y estrategias de acción. *Sociedad Botánica de México*, 80, 11–23. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57708003>

- González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Galindo-Jaimes, L., Camacho-Cruz, A., Golicher, D., Cayuela, L. et al. (2009). Tendencias y proyecciones del uso del suelo y la diversidad florística en Los Altos de Chiapas, México. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública*, 1, 40–53.
- González, G. y Neger, C. (2020). El ecoturismo como estrategia de fortalecimiento en las acciones de conservación ambiental: un análisis regional en Los Tuxtlas, Veracruz, México. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 18, 571–584. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2020.18.041>
- Hernández, J. F., Montoya, G. y Aguilar, G. (2018). De la migración al ecoturismo en el ejido Agua de Pajarito, municipio de San Cristóbal de Las Casas. En M. A. Villafuerte, G. R. Zarate y O. Gordillo (Eds.), *Chiapas, economía de la pobreza* (pp. 95–105). Tuxtla Gutiérrez: Universidad Autónoma de Chiapas.
- Higham, J. y Lück, M. (2002). Urban ecotourism: A contradiction in terms? *Journal of Ecotourism*, 1, 36–51. <https://doi.org/10.1080/14724040208668111>
- Hsieh, T. C., Ma, K. H. y Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (<sc>H</sc> ill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113, 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Martínez-Ramos, M., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Negrete-Yankelevich, S. y Mena, R. (2022). Mid- and long-term ecological changes after enrichment planting with native tree species in Mexican tropical mountain forests. *Restoration Ecology*, 31, e13847. <https://doi.org/10.1111/rec.13847>
- Montoya, G. y Hernández, J. (2013). Proyectos de ecoturismo en San Cristóbal de Las Casas. En G. R. Zarate, O. Gordillo y M. A. Villafuerte (Eds.), *Cambios, rupturas y continuidades en la dinámica territorial de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas* (pp. 79–99). San Cristóbal de Las Casas: CeCol.
- Mora-Donjuán, C. y Alanís-Rodríguez, E. (2016). Resiliencia de bosques de pino-encino en América: una visión global del estado actual. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13, 1–2. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v13i33.2571>
- Obombo, K. y Velarde, M. (2019). El ecoturismo en las reservas de la biósfera: prácticas y actitudes hacia la conservación. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 17, 97–112. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2019.17.007>
- Ochoa-Gaona, S., Kampichler, C., de Jong, J., Hernández, S., Geissen, V. y Huerta, E. (2010). A multi-criterion index for the evaluation of local tropical forest conditions in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 260, 618–627. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.05.018>
- Patrignani, A. y Ochsner, T. (2015). Canopeo: a powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. *Agronomy Journal*, 107, 2312–2320. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0150>
- Picado, M., Montoya, G., y Hernández, J. (2014). Ecoturismo y transformaciones socioeconómicas y territoriales en el ejido “Río Arcotete”, del municipio de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. En J. Barragán y M. Maldonado (Eds.) *El turismo y desarrollo comunitario, investigaciones y propuestas* (pp. 369–393). Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Ramírez-Marcial, N., Camacho-Cruz, A. y González-Espinosa, M. (2005). Potencial florístico para la restauración de bosques en Los Altos de Chiapas. En M. González-Espinosa, N. Ramírez-Marcial y L. Ruiz-Montoya (Eds.), *Diversidad biológica en Chiapas* (pp. 325–365). México D.F.: Plazas y Valdés.
- Ramírez-Marcial, N., Camacho-Cruz, A., Martínez-Icó, M., Luna-Gómez, A., Golicher, D. y González-Espinosa, M. (2010). *Árboles y arbustos de los bosques de montaña en Chiapas*. San Cristóbal de Las Casas: El Colegio de la Frontera Sur.
- Ramírez-Marcial, N., González-Espinosa, M. y Williams-Linera, G. (2001). Anthropogenic disturbance and tree diversity in Montane Rain Forests in Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 154, 311–326. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00639-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00639-3)
- Ramírez-Marcial, N., Martínez, M. y Ishiki, M. (2010). Evaluación y monitoreo de la vegetación. En J. León-Cortés, E. Naranjo, N. Ramírez-Marcial, J. Rangel, A. Horvath, A. Muñoz et al. (Eds.), *Manual para el reconocimiento, evaluación y monitoreo de la diversidad biológica* (pp. 9–24). San Cristóbal de Las Casas: El Colegio de La Frontera Sur.
- Rubin, B. D., Manion, P. D. y Faber-Langendoen, D. (2006). Diameter distributions and structural sustainability in forests. *Forest Ecology and Management*, 222, 427–438. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.049>
- Ruiz-González, M., Campos, G., Reyes, V., Rodríguez, G. y Enríquez, J. (2023). Estructura y diversidad vegetal en un bosque de pino encino con disturbios en diferentes cronosecuencias. *Madera y Bosques*, 28, 1–16. <https://doi.org/10.21829/myb2022.2812245>
- Sectur (Secretaría de Turismo). (2006). *El turismo de naturaleza: retos y oportunidades*. Disponible en: <https://manuelmiroglgio.files.wordpress.com/2011/05/el-turismo-de-naturaleza-en-mexico.pdf>
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013). NMX-AA-133-SCFI-2013 requisitos y especificaciones de sustentabilidad del ecoturismo (cancela a la nmx-aa-133-scfi-2006). Declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana NMX-AA-133-SCFI-2013. Diario Oficial de la Federación. Distrito Federal, México. <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/nmx-aa-133-scfi-2013.pdf>
- Stronza, A., Hunt, C. y Fitzgerald, L. (2019). Ecotourism for conservation? *Annual reviews of Environment and Resources*, 44, 229–57. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033046>
- Su, M. M., Wall, G. y Ma, Z. (2014). Assessing ecotourism from a multi-stakeholder perspective: Xingkai Lake National Nature Reserve, China. *Environmental Management*, 54, 1190–1207. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0360-5>
- Tavera-Carreño, M., Ramírez-Marcial, N., González-Espinosa, M. y Navarrate-Gutiérrez, D. (2020). Rasgos funcionales

- de especies arbóreas raras y abundantes en los bosques de montaña del sur de México. *Polibotánica*, 48, 29–48. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.48.3>
- Taylor-Aquino, N. E., Ramírez-Marcial, N., Ferguson, B. G. y Castillo-Santiago, M. A. (2016). *Estructura y composición de bosques en paisajes manejados de Los Altos de Chiapas (Tesis de maestría)*. San Cristóbal de Las Casas: El Colegio de la Frontera Sur.
- Uswathul, H., Sampada, K., y Babu, G. (2022). A bibliometric analysis of ecotourism: A safeguard strategy in protected areas. *Regional Sustainability*, 3, 27–40. <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2022.03.001>
- Vázquez-Ochoa, M., Sánchez-Velásquez, L., Hernández-Vargas, G., Ibarra-Zavaleta, S. y Ruíz-Montiel, C. (2022). La presencia de *Dendroctonus* es diferente entre especies de pinus y sus diámetros en la región del Parque Nacional Cofre de Perote, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93, e934048. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.4048>
- Wondirad, A. (2019). Does ecotourism contribute to sustainable destination development, or is it just a marketing hoax? Analyzing twenty-five years contested journey of ecotourism through a meta-analysis of tourism journal publications. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 24, 1047–1065. <https://doi.org/10.1080/10941665.2019.1665557>
- Zenner, E. K. (2005). Development of tree size distributions in Douglas-fir forests under differing disturbance regimes. *Ecological Applications*, 15, 701–714. <https://doi.org/10.1890/04-0150>