

Priorización para la Conservación de los Bosques de Niebla en México

L.M. Ochoa-Ochoa¹, N.R. Mejía-Domínguez^{2,*}, J. Bezaury-Creel³

(1) Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, México.

(2) Red de Apoyo a la Investigación, Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, México.

(3) The Nature Conservancy, Programa México y Norte de Centroamérica, Ricardo Palmerín 110, Colonia Guadalupe Inn, Álvaro Obregón, Ciudad de México 01020, México.

* Autor de correspondencia: N.R. Mejía-Domínguez [nmejia@cic.unam.mx]

> Recibido el 10 de marzo de 2017 - Aceptado el 02 de julio de 2017

Ochoa-Ochoa, L.M., Mejía-Domínguez, N.R., Bezaury-Creel, J. 2017. Priorización para la Conservación de los Bosques de Niebla en México. *Ecosistemas* 26(2): 27-37. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-2.04

Los bosques de niebla, son ecosistemas con una distribución restringida y una gran biodiversidad, pero están altamente amenazados debido al cambio de uso de suelo. El objetivo del presente estudio es evaluar y priorizar los fragmentos de bosque de niebla existentes para lograr su conservación a largo plazo, combinando los niveles de amenaza y la capacidad de respuesta potencial de diversos instrumentos de conservación existentes en México, a través de una herramienta de triaje. Con base en la cobertura de afectación humana, estimada especialmente para México, se calcularon los niveles de amenaza. La capacidad de respuesta se estimó utilizando la presencia de los diferentes instrumentos de conservación en cada fragmento. Una vez obtenido el nivel de triaje por fragmento, éstos se analizaron por ecorregiones. Los resultados mostraron que la superficie del bosque de niebla 'primario' se ha reducido entre 53-73%, y sólo el 31.6% (incluyendo bosque primario y secundario) se encuentra bajo algún esquema de protección. Identificamos un grupo de fragmentos en la vertiente del Pacífico que requieren especial atención por la escasa superficie que abarcan y su alto nivel de prioridad. Las ecorregiones: Sierra Madre del Sur de Guerrero y Oaxaca, Los Altos de Chiapas, Sierra Madre Oriental y el Centro de México —correspondiente a la Faja Volcánica Transmexicana— concentran la mayor superficie de bosque de niebla y donde más del 70% del área fue también calificada como prioritaria para implementar medidas urgentes de conservación.

Palabras clave: biodiversidad; áreas naturales protegidas gubernamentales; instrumentos sociales para la conservación y aprovechamiento sustentable de la biodiversidad; bosque mesófilo de montaña; ecorregiones

Ochoa-Ochoa, L.M., Mejía-Domínguez, N.R., Bezaury-Creel, J. 2017. Prioritization for Cloud Forest Conservation in Mexico. *Ecosistemas* 26(2): 27-37. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-2.04

Cloud Forests (Bosque de Niebla) are ecosystems with restricted distribution and high biodiversity, which are also highly threatened due to land use change. Our aim was to evaluate and prioritize remaining cloud forest fragments for the long-term conservation, combining threats and the potential response capacity of the existing conservation instruments in Mexico as a triage tool. Threat levels were based upon an estimation of the human footprint for Mexico. The response capacity was estimated based on the presence of different conservation instruments in each fragment. Once obtained the triage level for all fragments, those were then cataloged by ecoregions. Results indicate that the area of 'primary' cloud forest has been reduced by 53-73%. Only 31.6% of the cloud forest (including primary and secondary forest) is currently under some protection scheme. We identified a group of cloud forest fragments in the Pacific slope that require special attention due to their reduced coverage and high level of priority. Currently, Sierra Madre del Sur of Guerrero and Oaxaca, Los Altos de Chiapas, Sierra Madre Oriental and Central Mexico ecoregions concentrate the largest coverage area of cloud forest and more than 70% of their coverage was qualified as priority areas to implement conservation measures.

Key words: biodiversity; cloud montane forest; ecoregions; governmental protected areas; social instruments for conservation; triage

Introducción

En las montañas de la zona intertropical y a manera de parches discontinuos con limitada extensión, se presenta uno de los ecosistemas que alberga la mayor biodiversidad en México (CONABIO 2010; González-Espinosa et al. 2012; Ochoa-Ochoa y Mejía-Domínguez 2014). Este ecosistema generalmente es denominado 'bosque mesófilo de montaña' (BMM) haciendo referencia a la característica mesófila de las hojas de las especies arbóreas dominantes y a la zona fisiográfica en que se encuentra (Rzedowski 1978; Luna-Vega et al. 2001b). Bajo este nombre encontramos un

conjunto heterogéneo de comunidades ecológicas, ya que constituyen una compleja transición entre las comunidades de tierras bajas y las que se desarrollan a mayor altitud (Mejía-Domínguez et al. 2004; Villaseñor 2010). La heterogeneidad de este conjunto de comunidades se refleja en la variedad de nombres con las que se le ha hecho referencia en la literatura como bosque deciduo templado (Rzedowski 1963), bosque nublado o bosque de niebla (Gómez-Pompa 1982), selva nublada o "montane rain forest" (Beard 1955), "cloud forest" (Hamilton et al. 1995) y bosque mesófilo de montaña (Miranda 1947; Rzedowski y McVaugh 1966; Rzedowski 1978), por mencionar algunos.

A pesar de la extensa variación en los nombres para referirse a estas comunidades ecológicas, éstas se unifican por las características del clima donde se desarrollan, por la fisonomía y la florística de la vegetación que lo conforman (Ortega-Escalona y Castillo-Campos 1996). Este tipo de vegetación (Fig. 1) se desarrolla en sitios donde la temperatura media anual es de entre 12 y 23°C, con una precipitación media anual no menor a 1000 mm, pero llegando a 3000 mm e incluso en algunas zonas hasta más de 5000 mm (Rzedowski y Palacios-Chávez 1977). Esto indica que se puede hallar tanto en climas templados o tropicales con o sin estacionalidad en la precipitación (Rzedowski 1978). Fisonómicamente, son bosques caracterizados por una gran diversidad de plantas y diversidad de epífitas tanto vasculares como no vasculares (Mayorga-Saucedo et al. 1998; Barthlott et al. 2001). En México, en cuanto a composición florística y número de especies, existen diferencias importantes entre autores. Por ejemplo, González-Espinoza y colaboradores (2011, 2012) han descrito entre 2500-2822 especies, 650-815 géneros y 144-176 familias típicas de este tipo de vegetación; destacando la familia Lauraceae y el género *Quercus* como los mejor representados. Por otro lado, Villaseñor (2010) menciona que en este tipo de bosque existen al menos 6790 especies pertenecientes a 1625 géneros y 238 familias de plantas vasculares. De éstas, 2361 especies son endémicas a México. Sin embargo, la principal característica unificadora es la presencia, constante o al menos frecuente, de niebla en las montañas en que se desarrollan (Hamilton et al. 1995). En este contexto, sin dejar de lado el resto de sus características y su complejidad, es más adecuado llamarlos bosques de niebla (CONABIO 2010; González-Espinoza et al. 2012).

En el contexto global, los bosques de niebla son raros. Por ejemplo, se estima que ocupan alrededor del 0.26% de superficie

terrestre y 2.5% de los bosques tropicales del mundo (Sánchez-Ramos y Dirzo 2014). En general, podemos decir que se les considera prioritarios en todo el mundo tanto por la poca superficie que abarcan, así como por su distribución en fragmentos relativamente aislados, pero sobre todo por la particularidad única que tiene de captura y filtración de agua a través de precipitación horizontal (Bruijnzeel y Proctor 1995). No obstante, a pesar de que en ciertos lugares se mantiene el bosque de niebla como tal (México no es la excepción), no se le da la misma prioridad a la matriz de selvas tropicales y bosques templados que lo rodean. Esto podría tener como consecuencia la elevación de la altitud a la que se desarrollan las nubes, ocasionando que disminuya la humedad del suelo del bosque con consecuencias negativas para la diversidad (p. eg. Anchukaitis y Evans 2010). Asimismo, debido a la estrecha dependencia de la humedad tanto en forma de nubes como de precipitación, estos bosques son particularmente vulnerables a los cambios climáticos globales (Mulligan 2010; Rojas-Soto et al. 2012).

La combinación de los factores ambientales que propician el desarrollo de un bosque de niebla pueden ser encontradas en todas las regiones montañosas de México, dependiendo de la humedad, entre 600 y 3200 m s.n.m. (Luna-Vega et al. 2001b). La distribución de los bosques de niebla abarca regiones discontinuas de las zonas montañosas de la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur, Sierra Norte de Oaxaca, Faja Volcánica Transmexicana y Sierra Madre de Chiapas (Rzedowski 1996; Challenger 1998; Luna-Vega et al. 2001a). Esta distribución es el resultado de una compleja historia biogeográfica y de la heterogeneidad ambiental de los lugares donde se encuentra (Luna-Vega et al. 2001a; Halffter et al. 2008). A estas características se les considera como las principales causas de la gran diversidad de



Figura 1. Ejemplos de Bosques de niebla de Teipan (esquina superior izquierda), Roayaga (esquina inferior izquierda) y Sierra de Juárez (derecha); todas de Oaxaca, México. Fotos: N. Mejía-Domínguez (Teipan) y L. Canseco-Márquez (Roayaga y Sierra de Juárez).

Figure 1. Example of cloud forest from Teipan (top-left), Roayaga (bottom-left) and Sierra de Juárez (right); all from Oaxaca state, México. Photographs: N. Mejía-Domínguez (Teipan) and L. Canseco-Márquez (Roayaga and Sierra de Juárez).

especies y de endemismos que albergan (Ornelas et al. 2013; Ochoa-Ochoa y Mejía-Domínguez 2014). La alta incidencia de especies endémicas, así como de especies de distribución restringida, son atributos a resaltar de los bosques de niebla. Un ejemplo particularmente interesante son las salamandras diminutas del género *Thorius*. Este género es endémico de México y cuenta con 23 especies de distribución restringida asociadas al bosque de niebla. Además, estudios recientes muestran que hay un linaje filogenético distinto de salamandras prácticamente para cada una de las regiones de bosque de niebla (Rovito et al. 2015). En este contexto, los resultados de los análisis para estudiar las relaciones de éstas áreas indican que precisamente la historia evolutiva de los linajes contemporáneos de los bosques nublados es compleja. Aunque existen patrones generales de vicarianza, los bosques de niebla tienen historias biogeográfico-evolutivas diferentes, haciendo que cada una de sus áreas sea única y de gran importancia para la conservación (Watson y Peterson 1999; Marshall y Liebherr 2000; Ornelas et al. 2013; Rovito et al. 2015).

Desafortunadamente, los bosques de niebla también se caracterizan por una gran pérdida de cobertura vegetal y una alta incidencia de otras actividades económicas que modifican su estructura y composición de especies (Toledo-Aceves et al. 2011). A nivel global, el cambio de uso de suelo es una de las mayores amenazas a la biodiversidad y el bosque de niebla no es la excepción. Debemos resaltar que la pérdida de superficie de bosque de niebla implica la pérdida de todos los servicios ecosistémicos, particularmente los servicios hidrológicos, proporcionados. Para el año 2007, se reportó que quedaba el 71.5% de la superficie de bosque de niebla primario de los 11 885 km² que había en 1976. Además, el área que cubría el bosque de niebla secundario se incrementó en un 52.7% (Rosete-Vergés et al. 2014). Sin duda la estimación de la superficie que cubre este tipo de vegetación representa un reto. Pero la evaluación del grado de conservación de los fragmentos remanentes no es menos complicada (Mas et al. 2009; CONABIO y SEMARNAT 2009). Aunado a estas evaluaciones, la planeación para la conservación de los bosques de niebla requiere determinar el grado de amenaza de los mismos, y una buena aproximación es el nivel de afectación humana (Challenger 1998; Ochoa-Ochoa et al. 2011). La única manera de contrarrestar estas amenazas son las estrategias de conservación. Bezaury-Creel y Gutiérrez-Carbonell en 2009 reportaron que de los más de 18 000 km² de bosque de niebla (primario y secundario) de México, sólo 1543 km² estaban bajo algún estatus de conservación. El caso de los bosques de niebla no es particularmente alentador y pone en evidencia la ausencia de estrategias de conservación, sobre todo en el largo plazo. En este contexto, nuestro objetivo fue priorizar los fragmentos de bosque de niebla para su conservación a largo plazo, combinando los niveles de amenaza y la capacidad de respuesta potencial de los instrumentos de conservación ubicados en cada fragmento. Para ello se utilizó una herramienta de triaje. Esta herramienta asigna a cada fragmento un nivel que permite determinar las acciones más apropiadas a seguir en términos de costos para la conservación. Finalmente, considerando la historia única de cada una de las áreas de bosque nublado y los valores obtenidos a través de la herramienta de triaje, se evaluó la representación por ecorregiones para establecer sitios prioritarios para su conservación y proponer estrategias para su protección a largo plazo.

Material y métodos

Datos espaciales (coberturas) de vegetación

Se utilizaron las capas de vegetación generadas por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística de México (INEGI). Dicha institución ha publicado a la fecha 5 Series de tipos de vegetación: I, II, III, IV y V en orden cronológico. El conjunto de capas de uso de suelo y vegetación Serie I se publicó en 1993 (INEGI 1993, última edición en 1997) contiene información de 1968-1986. La Serie II (INEGI 1999) contiene información de 1993-1996. La Serie III se publicó en

2005, la IV en (INEGI 2010) y la Serie V (INEGI 2013) contiene información del 2011. Para cada capa se utilizaron imágenes de satélite, Landsat en su mayoría (las cuales han cambiado de tamaño y la última resolución, la serie TM, es de 30m), con verificación en campo. El proceso detallado mediante el cual se generaron estas bases de datos espaciales se puede consultar en <http://www.inegi.org.mx/>.

A pesar de que se actualmente se tienen coberturas de vegetación más precisas, sólo se pueden hacer comparaciones generales sobre las áreas estimadas que existían originalmente en el país de bosque de niebla y lo que existe actualmente. Para hacer dicha comparación, se utilizaron las capas de todas las Series I-V de cartografía de uso de suelo y vegetación, y las estimaciones de vegetación primaria potencial hechas por la CONABIO, las cuales están basadas en Rzedowski (1990). Los cálculos de las áreas se hicieron en km² utilizando la proyección plana Cónica Conforme de Lambert, calculando la extensión de bosque de niebla, tanto primario como secundario determinado como arbóreo, para así obtener una estimación de la pérdida de cobertura y el área transformada. Las clasificaciones de vegetación primaria y secundaria se tomaron directamente de los metadatos de las capas de uso de suelo, ya que puede existir controversia en cuanto a su definición. Vegetación Primaria: "condición natural, real o aparente (cuando no hay evidencias de una condición climax diferente), y cuando los factores de disturbio no han afectado aun la estructura y composición florística general de la comunidad" (INEGI 2005). Vegetación Secundaria: "estado alterado o modificado de la comunidad en su composición florística o estructural, generalmente por influencia antropogénica o catástrofes naturales" (INEGI 2005).

Para evaluar la proporción de bosques de niebla que presenta iniciativas de conservación, se utilizaron las coberturas de distintos tipos de instrumentos de conservación y la última cobertura de uso de suelo (Serie V). Estas iniciativas incluyen las áreas naturales protegidas gubernamentales con tres categorías: Federal, Estatal y Municipal; y en áreas protegidas no-gubernamentales o iniciativas de conservación de la tierra a través de la acción social que incluyen: áreas destinadas voluntariamente a la conservación, pagos por servicios ambientales (actualizados hasta 2012), unidades de manejo para la conservación de vida silvestre (SEMARNAT 2016) y ordenamientos comunitarios territoriales. Éstos últimos no son estrictamente instrumentos de conservación, ya que tienen como objetivo primordial el ordenar el uso del suelo en terrenos ejidales y comunales (Bezaury-Creel et al. 2012), presentando sin embargo en muchas ocasiones espacios destinados a la conservación y el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas.

Las capas de las áreas naturales protegidas (ANP) federales que utilizamos fueron modificadas de las coberturas publicadas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Bezaury-Creel et al. 2017), el resto fue desarrollado por Bezaury-Creel et al. (2012). Es común que existan solapamientos geográficos entre las coberturas de los diversos instrumentos. En la práctica, no hay conflicto ya que si hay recursos de dos fuentes distintas (e.g. federales y estatales), ambos se invierten. Además, la jerarquía de las leyes sobre los instrumentos dedicados a la conservación es muy clara. No obstante, cuando únicamente se trabaja con las coberturas en los análisis, si no se eliminan estas áreas solapadas, se pueden generar sobreestimaciones y hacer parecer que se está protegiendo un área mayor a la que corresponde. Es por esto que extrajimos todas las áreas duplicadas dando prioridad jerárquica, en primer lugar, a los decretos de áreas naturales protegidas federales sobre las estatales, excepto en los casos de áreas de protección de recursos naturales donde los decretos estatales prevalecen por ley; y en segunda instancia, las áreas naturales protegidas estatales prevalecen sobre las municipales en todos los casos. Finalmente, siguiendo la misma lógica, sólo tomamos en cuenta las iniciativas de protección de la tierra a través de acciones sociales que se ubican fuera de las áreas naturales protegidas gubernamentales. Después de extraer todas las áreas sobrepuestas, determinamos la extensión de bosques de niebla bajo algún instrumento de conservación.

Clasificación de riesgo

Se utilizó la cobertura de Afectación Humana sobre el territorio terrestre mexicano (Afectación Humana; [Bezaury-Creel y Ochoa-Ochoa 2009](#)) para determinar el grado de amenaza. Esta capa tiene valores de afectación humana por píxel (~1km²), que van de 1 a 15, de menor a mayor nivel de afectación. Esta capa conjunta distintas actividades antropogénicas que pueden ser una amenaza a la biodiversidad. Para cada fragmento de bosque de niebla, se extrajeron los valores de los píxeles correspondientes, así como los que se encontraran dentro de una zona de amortiguamiento de 1, 5, 10km y se calculó un promedio. Asignándose posteriormente a 5 categorías de amenaza: Nivel I, cuando el área tiene un valor promedio de 0.1 a 2.9 de afectación humana; Nivel II de 3 a 5.9; Nivel III de 6 a 8.9; Nivel IV de 9 a 12.9 y Nivel V de 13 a 15. Se utilizó un índice para evaluar la capacidad potencial de respuesta a la reducción de la amenaza de los instrumentos de conservación, la clasificación y los valores se tomaron de [Ochoa-Ochoa et al. \(2011\)](#). Los valores utilizados para el índice fueron: áreas naturales protegidas federales = 5, estatales y municipales = 4, áreas destinadas voluntariamente a la conservación y áreas protegidas privadas comunitarias = 3, ordenamientos comunitarios territoriales

(OCT) = 2, finalmente tanto pago por servicios ambientales (PSA) como unidades de manejo para la conservación de vida silvestre = 1. A pesar de que el valor máximo teórico del índice de capacidad de respuesta es de 20, la probabilidad de que esto suceda es muy baja (no así nula); por lo que se escogieron los mismos rangos de valores de las amenazas para determinar las categorías del índice potencial de respuesta.

Posteriormente, los fragmentos bosques de niebla fueron priorizados por la herramienta de triaje propuesta por [Ochoa-Ochoa et al. \(2011\)](#). La herramienta se basa en el principio de triaje, aplicado comúnmente a víctimas de un accidente, en la cual si un fragmento de bosque nublado (en este caso) tiene un nivel demasiado alto de amenaza y ningún instrumento de conservación ([Fig. 2](#)) se descarta porque es poco probable que se pueda conservar en el largo plazo, en cambio los fragmentos de bosque con niveles medios de amenaza y con algún instrumento de conservación son los prioritarios a atender porque la probabilidad de que se mantengan en el largo plazo es alta. Finalmente, las áreas prioritarias se establecieron conforme al porcentaje de bosque nublado en la ecorregión y al porcentaje de bosque en cada nivel de triaje. Se utilizó el nivel III de la capa de ecorregiones propuesta por [INEGI et al. \(2008\)](#).

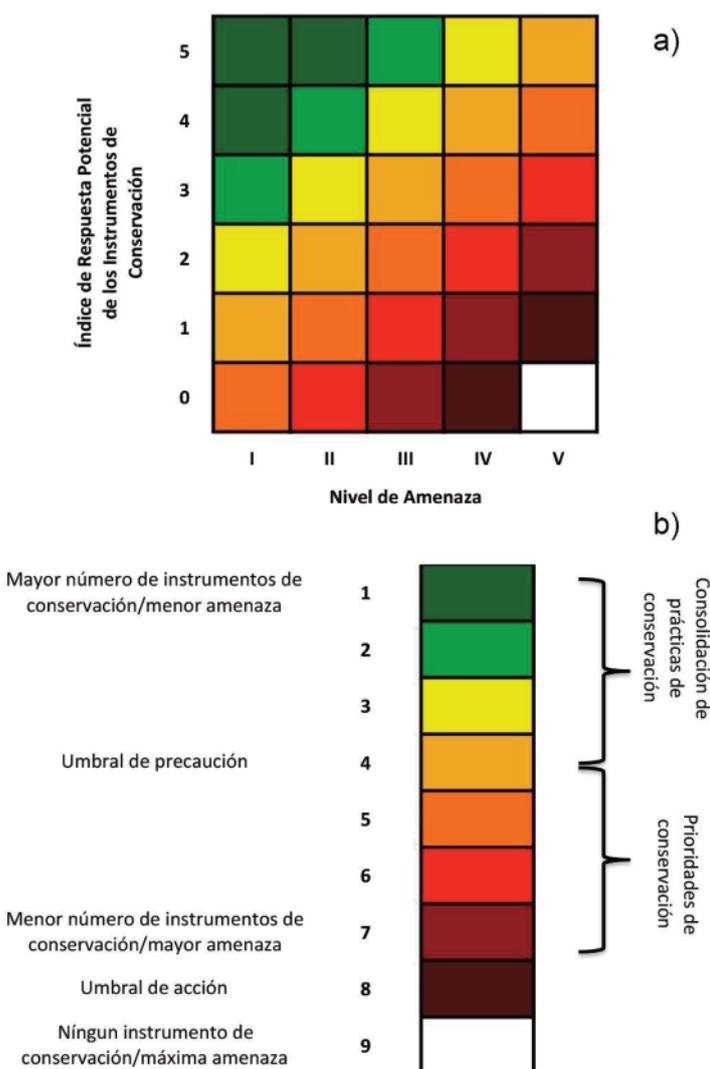


Figura 2. Herramienta de triaje para determinar prioridades de conservación. En esta herramienta se evalúa, por un lado, las amenazas y se determina el nivel/status del fragmento de bosque; por otro lado, se evalúa la respuesta potencial que tienen los instrumentos de conservación (ANP, OCT, UMA, reservas privadas, pago por servicios ambientales, etc.) presentes en el fragmento. Ambos aspectos se integran a en la matriz de triaje (a), donde se establece el nivel de triaje para cada fragmento de bosque (b). El nivel 1 representa fragmentos de bosque de niebla con un nivel bajo de amenaza con un gran potencial de respuesta en términos de instrumentos de conservación; del nivel 1 al 3 representan sitios donde para preservar en el largo plazo únicamente es necesario consolidar las prácticas de conservación ya existentes en el área. El nivel 4 representa un umbral de precaución y es a partir de este valor y hasta el 7 donde se tienen que concentrar las prioridades de conservación e implementar estrategias de conservación adecuadas. El nivel 7 representa fragmentos de bosque de niebla con un alto nivel de amenaza y un potencial de respuesta de conservación bajo; es en este nivel donde se establece el umbral de acción es decir se tiene que valorar si vale la pena invertir, dado el costo en términos de conservación, para establecer acciones de conservación. Los fragmentos ubicados en el nivel 9 representan sitios con el máximo nivel de amenaza y ningún instrumento de conservación, por lo cual va a resultar inefectivo invertir en acciones de conservación.

Figure 2. Triage tool to determine conservation priorities. This tool evaluates, on the one hand, the threats and determines the status the forest fragment has; on the other hand, the potential response of conservation instruments (ANP, OCT, UMA, private reserves, payment for environmental services, etc.) present in the fragment. According to the threat level and the response index the forest fragment is located in the triage matrix (a), then the triage level is established (b). Level 1 represents fragments of cloud forest with a low level of threat with a high response potential in terms of conservation instruments; from levels 1 to 3 represent sites where to preserve effectively in the long term it is only necessary to consolidate existing conservation practices in the area. Level 4 represents a precautionary threshold and it is from this value up to 7 that conservation priorities have to be concentrated and appropriate conservation strategies implemented. Level 7 represents fragments of cloud forest with a high level of threat and low conservation response potential; it is at this level that the threshold of action is established, it has to be assessed whether it is worth investing, given the costs in terms of conservation, to establish conservation actions. The fragments located at level 9 represent sites with the highest threat level and no conservation tools present, so it will be ineffective to invest in conservation actions in these areas.

Resultados

De acuerdo a las coberturas analizadas, a la fecha se ha perdido entre el 26% (si se toma en cuenta a la vegetación secundaria arbórea) y el 53% (si no se considera) del bosque de niebla en México de acuerdo con la vegetación propuesta por Rzedowski (1990; ver Fig. 3). Pero resulta más dramático si se considera como vegetación original a la carta de vegetación primaria (INEGI 2000), donde más del 57% se ha perdido si se toma en cuenta a la vegetación secundaria y más del 73%, si no se considera (ver Tabla 1, Fig. 4).

Aproximadamente el 31.56% del bosque de niebla se encuentra dentro de algún instrumento de conservación (Tabla 2). Siendo los

instrumentos gubernamentales los que mayor área de bosque de niebla protegen. De las áreas naturales protegidas gubernamentales no es sorprendente que las Federales sean las que mayor área protejan con más de 1765 km², seguidas de las Estatales con ~536 km², y finalmente las municipales con 0.01 km². Dentro de los instrumentos sociales para la conservación, los Ordenamientos Comunitarios Territoriales son los principales con ~1436 km², seguidos por las unidades de manejo para la conservación de vida silvestre (241.81 km²), los pagos por servicios ambientales (108.32 km²), y de éstos, principalmente los hidrológicos con 104.41 km². Por último, se encuentran las áreas destinadas voluntariamente a la conservación junto con las áreas protegidas privadas y comunitarias con casi 72 km².

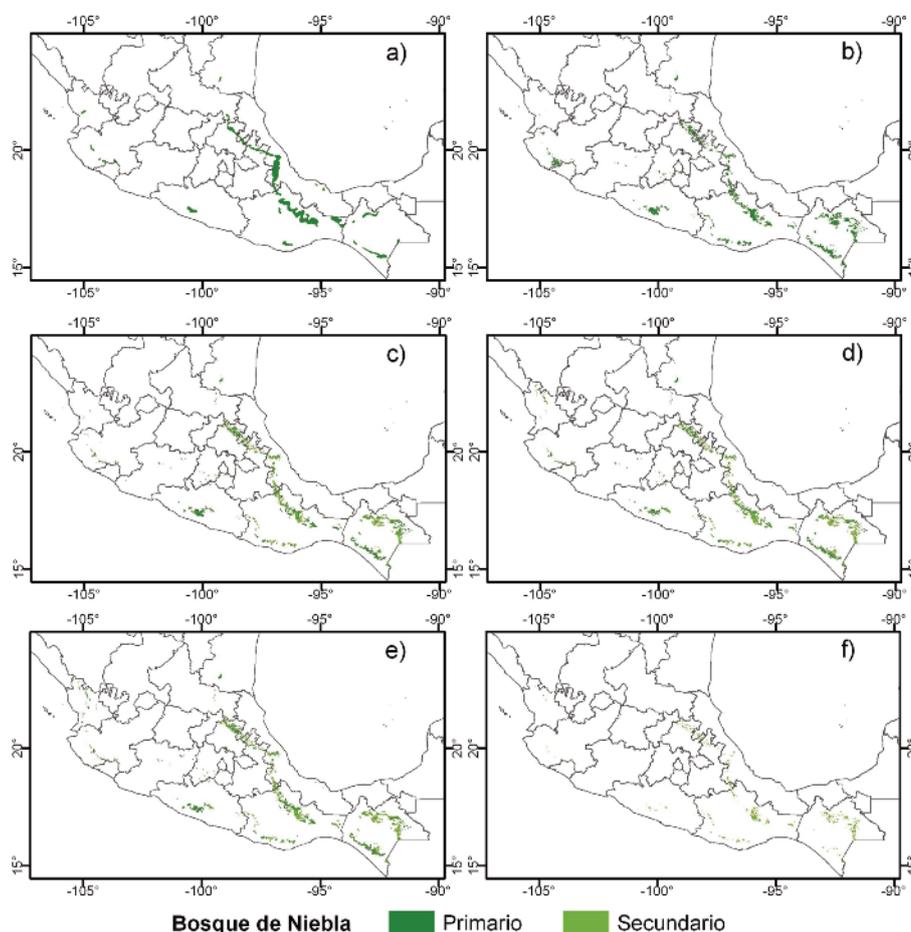


Figura 3. Distribución del bosque mesófilo de montaña según las distintas coberturas de Uso de suelo y vegetación del INEGI. bosque de niebla potencial de acuerdo a CONABIO (a), Serie I (b), Serie II (c), Serie III (d), Serie IV (e) y Serie V (f).

Figure 3. Distribution of cloud montane forest from different land use and vegetation layers from INEGI. Cloud forest potential vegetation according to CONABIO (a), Series I (b), Series II (c), Series III (d), Series IV (e) and Series V (f).

Tabla 1. Área en kilómetros cuadrados de Bosque de Niebla de acuerdo a las coberturas de uso de suelo y vegetación generadas por el INEGI en diferentes años. *Suma del área de la vegetación primaria y secundaria arbórea.

Table 1. Area of cloud forest, in square kilometers, according to the different land use layers from INEGI in different years. *Sum of area of conserved and secondary arboreus forest.

Coberturas	Vegetación Primaria	Vegetación Secundaria		TOTAL*
		Arbórea	Arbustiva y herbácea	
CONABIO potencial	17.887			
INEGI potencial	30.883			
Serie I (1993)	18.113			
Serie II (1999)	10.020	3.189	4.931	13.209
Serie III (2005)	8.695	3.960	5.597	12.655
Serie IV (2010)	8.475	4.528	5.415	13.003
Serie V (2013)	8.472	4.708	5.348	13.180

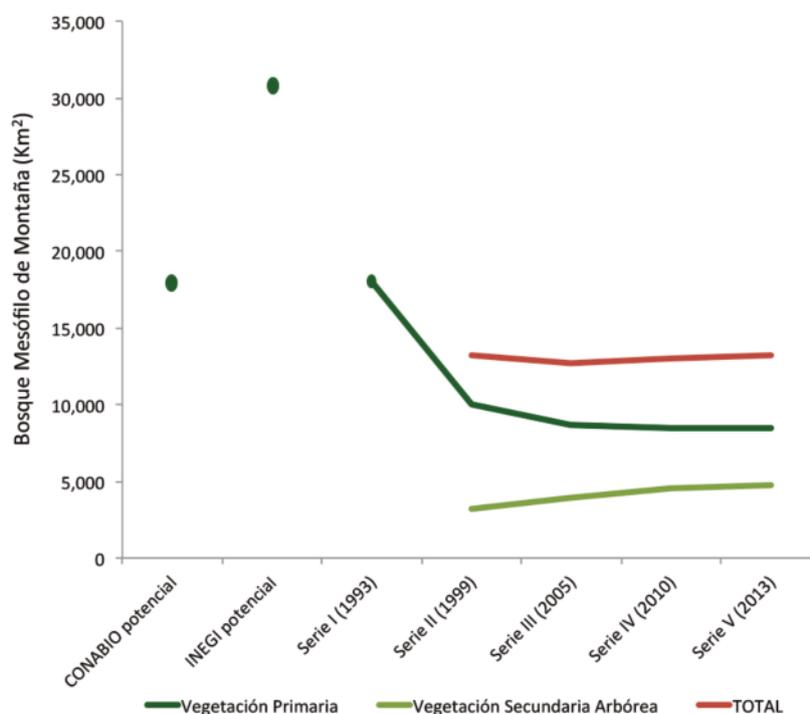


Figura 4. Área en kilómetros cuadrados ocupada por el bosque mesófilo de montaña en México de acuerdo a las distintas coberturas de vegetación y uso de suelo.

Figure 4. Area, in square kilometers, occupied by the cloud forest in Mexico according to different vegetation and land use layers.

Tabla 2. Superficie de Bosque de Niebla bajo algún tipo de protección en Km². Para calcular el área de bosque de niebla se utilizó la Serie V tanto la vegetación primaria como la secundaria arbórea (INEGI 2013).

Table 2. Area, in square kilometers, of cloud forest within the instruments of conservation. Sum of area of conserved and secondary arboreous forest from the Series V (INEGI 2013).

Tipo	Área de Bosque de Niebla protegida (km ²)
GUBERNAMENTALES	2301.59
Áreas Naturales Protegidas Federales	1765.62
Áreas Naturales Protegidas Estatales	535.96
Áreas Naturales Protegidas Municipales	0.01
NO GUBERNAMENTALES	1857.49
Áreas destinadas voluntariamente a la conservación y áreas protegidas privadas y comunitarias	71.80
Comunidad	69.43
Pequeña Propiedad	2.36
Ordenamientos comunitarios territoriales	1435.56
Comunidad	689.25
Ejido	146.56
Otros	599.75
Servicios ambientales	108.32
Conservación de la Biodiversidad	3.90
Servicios Ambientales Hidrológicos	104.41
Unidades de manejo para la conservación de vida silvestre	241.82
TOTAL	4159.08

En total, se detectaron 747 fragmentos de bosque de niebla, de los cuales 291 son bosque secundario y 456 bosque primario. Los niveles de amenaza, índice potencial de respuesta para la conservación y el nivel de triaje se reportan en conjunto (Tabla 3). Del total de fragmentos, 85 tienen un valor de cero, es decir, cero en el valor de amenaza y ningún instrumento de conservación. Estos fragmentos se ubicaron en una categoría aparte porque, aunque en estos análisis no presentan alguna amenaza, no dejan de ser vulnerables ante cualquiera que surja. De los restantes, para 89 se deberían consolidar las estrategias de conservación

que tienen y 531, el 71%, son prioritarios en la conservación, es decir, se tienen que implementar estrategias para estos sitios. Finalmente, hay que evaluar 42 fragmentos equivalentes al 5.6% del total para verificar si vale la pena invertir en estrategias de conservación, enfocar los esfuerzos a restauración o no invertir. La mayoría de estos fragmentos se encuentran en el sur de la Sierra Madre Oriental, donde la mayor área se localiza entre Coscomatepec y Huatusco, en Veracruz. Otro grupo de sitios de esta categoría se ubica en los alrededores de Rayón y Simojovel, Chiapas (Fig. 5).

Tabla 3. Evaluación de los fragmentos de Bosque de Niebla de acuerdo la herramienta de triaje basada en las amenazas y capacidad potencial de respuesta de los instrumentos de conservación. En la tabla se presenta el número de fragmentos que caen en cada categoría de la herramienta (ver Fig. 2) dependiendo de la zona de amortiguamiento utilizada.

Table 3. Results of the evaluation of the cloud forest fragments according to the triage tool applied. This tool is based on the threats that each fragment of cloud forest presents and the potential response capacity of the conservation instruments implemented there. In the box it is possible to observe the number of fragments that fall into each category of the triage tool (see Fig. 2) depending on the buffer zone used.

		Triage	Bosque de niebla Serie V	Buffer 1km	Buffer 5km	Buffer 10km
	Cero nivel de amenaza/independientemente del índice de respuesta	0	101	53	11	1
Consolidación de prácticas de conservación	Mayor número de instrumentos de conservación/menor amenaza	1	6	10	10	44
		2	16	21	65	103
		3	52	61	82	142
Prioridades de conservación	Umbral de precaución	4	95	119	210	233
		5	260	261	196	183
		6	210	232	208	90
	Menor índice de respuesta/mayor amenaza	7	56	39	14	0

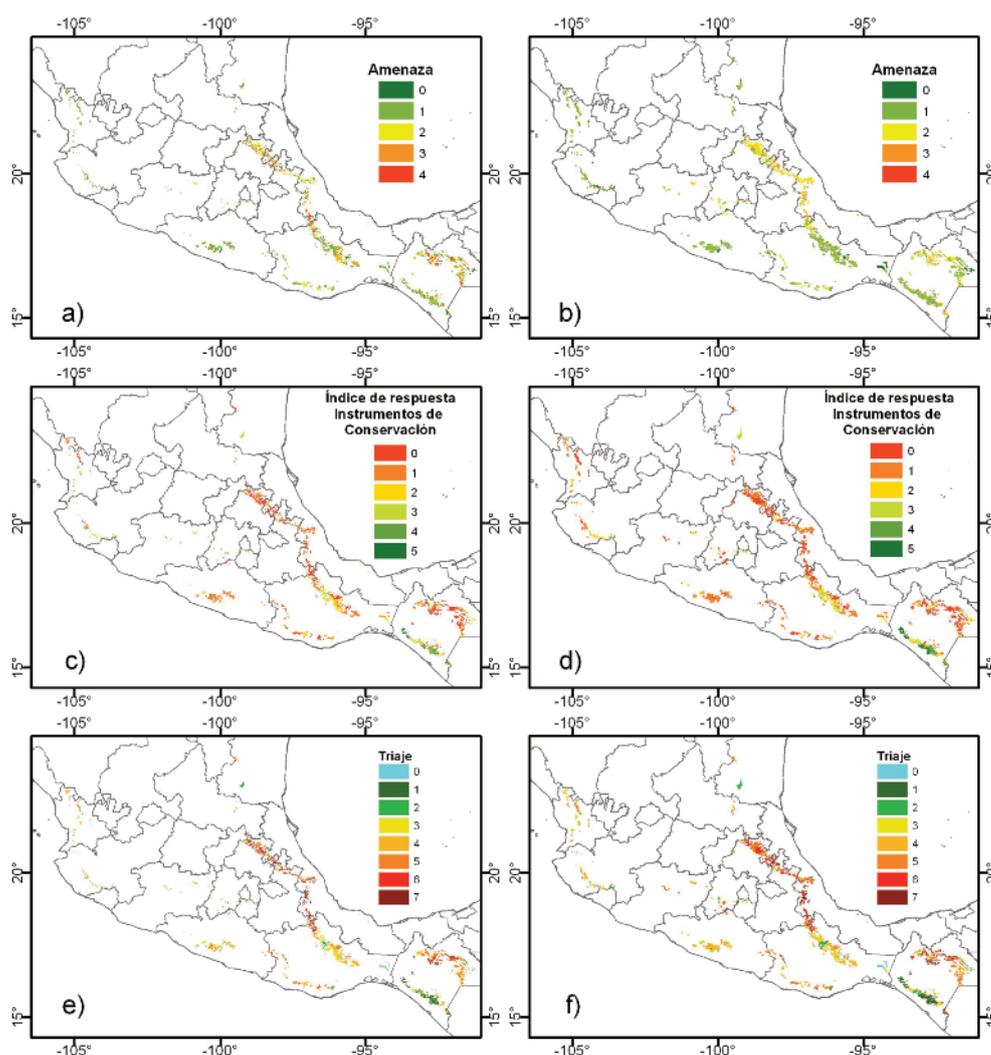


Figura 5. Evaluación de los fragmentos de Bosque Mesófilo de Montaña de acuerdo a la afectación humana; índice potencial de respuesta de acuerdo a la presencia de los distintos instrumentos de conservación; y finalmente la evaluación de la herramienta de triaje. Fragmentos solos (a, c, e correspondientemente) y fragmentos con zona de influencia de 1km (b, d, f).

Figure 5. Evaluation of the fragments of cloud forest, threats based on the human footprint; potential response index according to the presence of different conservation instruments; and finally the evaluation of the triage tool. Single fragments (a, c, e correspondingly) and fragments with a buffer zone of 1 km (b, d, f).

La ecorregión que presenta mayor área de bosque de niebla es la Sierra Madre del Sur de Guerrero y Oaxaca con más del 36% y de éste casi el 74% está clasificado como prioritario a ser conservado de acuerdo al resultado del triaje. Después le sigue la Sierra Madre Centroamericana, área conocida más comúnmente como Sierra Madre de Chiapas, con un 16% y de éste casi el 83% únicamente requiere de la consolidación de los instrumentos de conservación. Le siguen Los Altos de Chiapas con casi el 15% del bosque nublado del país y de éste más del 82% se clasifica como prioritario. Después le siguen los bosques nublados

de la Sierra Madre Oriental con poco más del 11% y de éste más del 85% es considerado como prioritario. En quinto lugar se encuentra el Centro de México con más del 9% y de éste casi el 79% es considerado como prioritario. Estas 5 ecorregiones tienen casi el 88% de los bosques nublados del país. Las siguientes 5 ecorregiones en conjunto presentan el 11.35% (ver [Tabla 4](#); [Fig. 5](#)), y el resto de las ecorregiones en conjunto presentan menos del 1% del bosque de niebla. Sin embargo, vale la pena resaltar que en total el 65.4% de los bosques nublados son prioritarios para la conservación.

Tabla 4. Bosque de Niebla, en porcentaje, de acuerdo a la superficie total que se encuentra en cada ecorregion (INEGI et al. 2008) y al valor de triaje obtenido.

Table 4. Cloud forest area, in percentage, per ecoregion (INEGI et al. 2008) and per triage value.

Ecorregiones	Valor de triaje								Total
	0	1	2	3	4	5	6	7	
1. Bosques de coníferas, encino y mixtos de la Sierra Madre del Sur de Guerrero y Oaxaca	3.700		5.941	16.033	39.084	29.110	5.470	0.661	36.323
2. Bosques de coníferas, encino y mixtos de la Sierra Madre Centroamericana	5.448	41.829	22.652	18.253	4.718	2.234	4.091	0.775	16.081
3. Bosque de coníferas, encino y mixtos de los Altos de Chiapas	4.749		0.521	11.649	6.697	46.902	28.516	0.966	14.853
4. Bosques de coníferas, encino y mixtos de la Sierra Madre Oriental	1.091		10.845	1.167	10.210	33.614	41.571	1.502	11.294
5. Lomeríos y Sierras con bosques de coníferas, encino y mixtos del Centro de México	4.119	2.648	2.105	5.202	19.635	33.981	25.116	7.193	9.147
6. Lomeríos con selva perennifolia	12.758		6.143	10.338	12.583	29.795	24.784	3.600	3.907
7. Bosques de coníferas, encino y mixtos de la Sierra Madre Occidental	11.876				30.580	57.006	0.538		2.439
8. Bosques de coníferas, encino y mixtos de la Sierra Madre del Sur de Jalisco y Michoacán	22.644		3.090	27.329	35.929	11.008			2.275
9. Planicie y Lomeríos Costeros del Soconusco con selva perennifolia		57.561	14.165	24.545			1.079	0.027	1.499
10. Lomeríos y Planicies Costeras de Nayarit y Jalisco con selva perennifolia	2.931				86.172	10.734	0.163		1.231
11. Lomeríos y Piedemontes del Pacífico Sur Mexicano con selva espinosa	0.656		0.525	6.966	75.279	16.574			0.505
12. Lomeríos y Planicies del Interior con matorral xerófilo y bosque bajo de Mezquite						100.000			0.210
13. Sierra de los Tuxtlas con selva perennifolia				100.000					0.081
14. Depresión Central de Chiapas con Selva Caducifolia				0.404		33.300	66.296		0.072
15. Lomeríos de Sonora y Sinaloa y Cañones de la Sierra Madre Occidental con matorral xerófilo y selva caducifolia	2.530					97.470			0.063
16. Depresión del Balsas con selva caducifolia y matorral xerófilo					19.845	80.155			0.019
17. Planicies del Sur de Texas / Planicies y Lomeríos Interiores con matorral xerófilo y bosque de encino						100.0			0.001
18. Cañón y Planicie de Tehuantepec con selva caducifolia y selva espinosa				1.00					0.0003
Total por valor de triaje	4.770	7.832	7.821	12.608	22.398	28.137	14.920	1.516	

Discusión

Por la naturaleza de su distribución, restringida a manera de islas y por la gran pérdida en la superficie que cubren, los bosques de niebla siempre se han considerado prioritarios en la conservación (González-Espinosa et al. 2012; CONABIO 2010). Asimismo, se ha reportado que existen sobreestimaciones en el cálculo de la superficie del bosque de niebla en los estudios basados en la calidad de las imágenes de satélite (Cayuela et al. 2006). Lo anterior significa que es posible que los bosques de niebla se encuentren en una situación más precaria de lo que se cree actualmente (González-Espinosa et al. 2012). No obstante, la información y las herramientas analíticas basadas en sensores remotos siguen siendo el medio más eficaz para la evaluación del estado de conservación de la vegetación en general (Bezaury-Creel y Gutiérrez-Carbonell en 2009), y es quizá la única manera de tener un panorama general de la situación del bosque de niebla, al menos para el caso de México. El presente estudio confirma el hecho de que del bosque de niebla 'primario' ha sido dramáticamente afectado, reduciendo su superficie hasta en un 73% (valor estimado más alto). Aún la cifra más alentadora (53% de pérdida) casi duplica el valor de pérdida de 28.8% reportado en 2007 para un periodo de 30 años (Rosete-Vergés et al. 2014). Aunque considerando el bosque secundario (sólo el componente arbóreo), la cifra pareciera menos desalentadora, dónde sólo el 31% de esta superficie tiene algún estatus de protección.

Independientemente del estado de conservación, vegetación primaria o secundaria; debido a la gran riqueza de recursos naturales, un alto porcentaje de los bosques de niebla han tenido asentamientos humanos por largo tiempo (Williams-Linera 2007). Estudios sobre la diversidad y la estructura de la vegetación han encontrado evidencias del manejo de los mismos, por ejemplo se ha observado que los aprovechamientos forestales han disminuido la diversidad de especies, modificado la distribución espacial de los árboles y cambiado la diferenciación dimensional (diámetro y altura de los árboles) (Corral-Rivas et al. 2005). Pero la situación puede ser peor aún, ya que además del cambio de uso de suelo, existen otras amenazas latentes para los bosques de niebla, éstas son el cambio climático (Williams-Linera 2007; Toledo-Aceves et al. 2011) y la extracción selectiva tanto de hojarasca, tanto de orquídeas como de árboles (Ruiz-Jiménez et al. 2012). Estas actividades de bajo impacto, en apariencia menos graves, modifican directamente la composición de especies vegetales y afectan de manera negativa la diversidad y composición de las especies animales al modificarse o perderse microhábitats generados en el bosque de niebla (Ruiz-Jiménez et al. 2012; Toledo-Aceves et al. 2014). Sin embargo, hay que hacer hincapié en que casi no se han realizado estudios específicos al respecto para bosque de niebla en México.

Debido a la escasez relativa de los bosques de niebla en México y su importancia biológica (CONABIO 2010; Sánchez-Ramos y Dirzo 2014), es crucial conservar el 100% de su cobertura remanente e inclusive plantear la restauración de aquellas porciones de bosque secundario con potencial para recuperar su estructura y funciones. Sin embargo, alcanzar esta cifra es prácticamente imposible y es por esto que la herramienta de triaje permite optimizar los esfuerzos y recursos destinados a su conservación. Tradicionalmente, se ha visto a las áreas naturales protegidas como la herramienta ideal para conservación (Bezaury-Creel 2009), sin embargo en un país tan betadiverso (con altas tasas de recambio de especies; ver Williams-Linera et al. 2013), no sólo biológicamente sino culturalmente (existe una gran diversidad de culturas con alto recambio entre regiones), se requiere del uso de una amplia gama de instrumentos y/o estrategias de conservación que se ajusten a los requerimientos sociales de cada región para que su uso sea efectivo. Los instrumentos de conservación no son homogéneos y casi todos contemplan un uso sustentable de los recursos naturales por las poblaciones humanas (Bezaury-Creel y Gutiérrez-Carbonell 2009). Esto significa que en cierta forma, los bosques nublados que actualmente se encuentran cubiertos bajo algún instrumento de conservación, seguirán manteniendo algún nivel de

'amenaza'. En este sentido, el método de triaje es el más adecuado para priorizar y tomar decisiones sobre qué fragmentos deberían atenderse primero, en un contexto de conservación a largo plazo (Ochoa-Ochoa et al. 2011). En un alto porcentaje (> 71%) de fragmentos de bosque de niebla es necesario implementar de manera inmediata instrumentos de conservación, ya sea por su alto nivel de amenaza o porque aún no están cubiertos por algún instrumento, es decir son prioritarios. Los menos están en un nivel más asequible para su conservación, es decir, sólo basta consolidar los instrumentos con los que cuentan actualmente. Vale la pena resaltar que la ubicación geográfica de los fragmentos no sólo es importante en términos de su historia evolutiva sino del contexto social, y por lo tanto es determinante para que las posibles herramientas a implementar sean verdaderamente efectivas. Un ejemplo interesante es Oaxaca, donde por cuestiones sociales/culturales ha sido complicado establecer áreas naturales gubernamentales, no obstante, se ha visto que las iniciativas sociales de conservación son verdaderamente efectivas (Bray y Merino-Pérez 2004).

Durante mucho tiempo, se discutió cuáles eran las mejores estrategias para la conservación: de arriba hacia abajo (Top-Down) o de abajo hacia arriba (Bottom-Up). Actualmente parece haber un consenso en la importancia de utilizar ambas estrategias. No obstante, vale la pena hacer hincapié en que en la práctica, la conservación la lleva a cabo la gente (regida por las leyes y/o recursos). En este sentido, son las personas las que perciben y se ven afectadas por los cambios en el ecosistema que les rodea. Además, en general las estrategias de arriba-hacia abajo dependen de los recursos asignados, los cuales varían temporal y espacialmente; no así las estrategias sociales de conservación. Por lo anterior, al menos en México, las estrategias sociales de conservación han resultado particularmente exitosas (Martin et al. 2011; Bezaury-Creel y Gutiérrez-Carbonell 2009). Ya que estas comunidades rurales dependen inmediatamente del estado de conservación de sus recursos naturales.

Ponderando por ecorregiones, resulta interesante que en las regiones donde se concentra el bosque de niebla, en la mayoría de los casos más del 70% de los fragmentos son prioritarios.

Indiscutiblemente, estos fragmentos son la prioridad de conservación a largo plazo. Éstos se encuentran localizados en las ecorregiones: Sierra Madre del Sur de Guerrero y Oaxaca, Los Altos de Chiapas, Sierra Madre Oriental y Centro de México correspondiente a la Faja Volcánica Transmexicana. Por cubrir una mayor superficie, estas ecorregiones 'garantizan' el éxito a largo plazo. No obstante, es muy probable que las ecorregiones que contienen menor superficie de bosque de niebla se encuentren en un nivel más alto de prioridad debido a la reducida superficie de los fragmentos que contienen. Los fragmentos de bosque de niebla con menor área se localizan en su mayoría en la vertiente del Pacífico y en zonas donde la humedad atmosférica es menor en promedio que en el resto de los bosques de niebla del país (Mejía-Domínguez et al. 2004). Esta variante climática representa otro conjunto distinto de tipos de bosque de niebla que debería ser prioritario para conservarse, ya que seguramente representa comunidades escasas y únicas en cuanto a la composición y estructura de las especies que las conforman. El caso contrario es la Sierra Madre de Chiapas, donde únicamente se necesitan consolidar las áreas naturales protegidas federales El Triunfo, los terrenos de los municipios de La Concordia, Ángel Albino Corzo, Villa Flores y Jiquipilas (La Fraileskana), La Sepultura y Volcán Tacaná, así como el área natural protegida estatal Cordón Pico El Oro Paxtal. Porsupuesto, este escenario se sustenta en el supuesto de que los instrumentos respondan de manera ideal o adecuada. Por ello, es imperativo incorporar alguna medida relacionada a variables socioeconómicas como posibles indicadoras del éxito tanto de la implementación, como de la continuidad de cada uno de los instrumentos de conservación así como de la zona circundante a los mismos. En este sentido, sería importante evaluar la efectividad de los ordenamientos territoriales comunitarios, ya que abarcan un porcentaje significativo de los fragmentos de bosque de niebla, principalmente en zonas donde hay muy pocas reservas gubernamentales como Gue-

rrero y Oaxaca. Un aspecto relevante de este tipo de instrumento de conservación es que son las comunidades o ejidos los que deciden 'ordenarse', por lo tanto representan una estrategia "de abajo hacia arriba" donde los dueños de la tierra son los que están convencidos de que se requiere esta medida (Martín et al. 2011). Y es precisamente el hecho de que se hallan convencidos lo que favorece o aumenta su éxito.

Consideraciones finales

La estrategia general de priorización de conservación de los bosques de niebla de México es un proceso integral y complejo. La evaluación aquí presentada es sólo una guía simplificada útil para iniciar un proceso más completo de planeación para la conservación. Este proceso debería considerar la eficacia de los instrumentos y la viabilidad de los mismos en cada zona propuesta. Asimismo, los terrenos de propiedad social (ejidos, comunidades agrarias, etc.) merecen especial atención pues albergan una gran superficie de bosque de niebla, por lo cual es recomendable incentivar la conservación social a largo plazo y/o reforzarla con otros instrumentos socialmente idóneos. En este sentido, el Componente Pago por Servicios Ambientales operado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), cuyas reglas de operación favorecen la conservación de estos bosques de niebla otorgándoles el pago más alto por hectárea adquiere una gran importancia. Resulta relevante que el primer sitio apoyado por el Fondo Patrimonial de Biodiversidad de la CONAFOR, mediante el cual la dicha Comisión efectúa pagos por servicios ambientales a largo plazo, sea la Sierra de Camoma en Jalisco, la cual fue seleccionada precisamente por la presencia de bosques de niebla.

Finalmente, los servicios ambientales proporcionados por los bosques de niebla son amplios e incluyen los siete aspectos identificados como servicios ambientales (captación y filtración de agua, mitigación de los efectos del cambio climático por la posición estratégica en los gradientes altitudinales, generación de oxígeno, protección de la biodiversidad, retención de suelo, refugio de fauna silvestre y por supuesto, belleza escénica). No obstante, particularmente estos bosques tienen un valor adicional único en la captación de agua por la condensación de nubes y niebla, por lo que son reconocidos e incluso buscados para pago por servicios ambientales por la gran cantidad de agua que capturan e infiltran (Servicios Hidrológicos; Sánchez-Ramos y Dirzo 2014). Dado lo anterior, la conservación de estos bosques es de vital importancia.

A pesar de que el enfoque primordial de esta evaluación se enfoca en los fragmentos de Bosque de Niebla, es sumamente relevante integrar información sobre la matriz de otros ecosistemas donde se encuentran inmersos dichos fragmentos. Por lo cual resulta particularmente importante los resultados obtenidos de los fragmentos que incluyen una zona de amortiguamiento. Debido a que es inevitable que los cambios que suceden dentro del área inmediata circundante al fragmento, cualesquiera que sean, tengan una repercusión sobre el mismo.

Agradecimientos

Agradecemos a R. de Villa Magallón por revisar y mejorar la escritura del manuscrito.

Referencias

Anchukaitis, K.J., Evans, M.N. 2010. Tropical cloud forest climate variability and the demise of the Monteverde golden toad. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(11): 5036-5040.

Barthlott, W., Schmit-Neuerburg, V., Nieder, J., Engwald, S. 2001. Diversity and abundance of vascular epiphytes: a comparison of secondary vegetation and primary montane rain forest in Venezuelan Andes. *Plant Ecology* 152(2):145-156.

Beard, J.S. 1955. The classification of tropical American vegetation types. *Ecology* 36(1): 89-100.

Bezaury-Creel, J.E. 2009. El Valor de los Bienes y Servicios que las Áreas Naturales Protegidas Proveen a los Mexicanos. The Nature Conservancy Programa México - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Ciudad de México, México.

Bezaury-Creel, J.E., Gutiérrez-Carbonell, D. 2009. Áreas naturales protegidas y desarrollo social en México. En: CONABIO (ed.), *Capital Natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*, pp. 385-431. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ciudad de México, México.

Bezaury-Creel J.E., Ochoa-Ochoa L.M. 2009. *Base de Datos Geográfica de la Afectación Humana sobre el Territorio Mexicano - Versión 1.0, 07/2009*. 2 capas formato raster + 1 capa Goggle Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos Word.

Bezaury-Creel, J.E., Torres-Origel, J.Fco., Ochoa-Ochoa, L.M., Castro-Campos, M. 2012. *Áreas Naturales Protegidas y Otros Espacios Destinados a la Conservación, Restauración y Uso Sustentable de la Biodiversidad en México*. The Nature Conservancy-México. 20 capas ArcGIS en formato CD.

Bezaury-Creel, J.E., Torres-Origel, J.Fco., Ochoa-Ochoa, L.M. 2017. *Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Federales y Áreas Bajo Manejo de Conservación Federal en México, Modificada y adaptada de CONANP 2016 - Versión 3.0 Actualizada a 30/12/2016*. 8 capas ArcGIS 9.2 + 3 capas Goggle Earth KMZ + 1 Archivo de metadatos Word.

Bray, D.B., Merino-Pérez, L. 2004. *La experiencia de las comunidades forestales en México: veinticinco años de silvicultura y construcción de empresas forestales comunitarias*. Instituto Nacional de Ecología, Ciudad de México, México.

Bruijnzeel, L.A., Proctor, J. 1995. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? En: Hamilton, J.O. Juvik, F.N., Scatena, F.N. (eds.), *Tropical Montane Cloud Forests*. Ecological Studies 110, pp. 38-78. Springer Verlag, New York, Estados Unidos.

Challenger, A. 1998. *Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente y Futuro*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Biología (UNAM) y Agrupación Sierra Madre, S.C., Ciudad de México, México.

Cayuela, L., Golicher, J.D., Salas-Rey, J., Rey-Benayas, J.M. 2006. Classification of a complex landscape using Dempster-Shafer theory of evidence. *International Journal of Remote Sensing* 27(10):1951-1971.

CONABIO 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, Ciudad de México, México.

CONABIO - SEMARNAT 2009. *Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB)*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, México.

Corral-Rivas, J.J., Aguirre-Calderón, O.A., Jiménez-Pérez, J., Corral-Rivas, S. 2005. Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña «El Cielo», Tamaulipas, México. *Investigaciones Agrarias: Sistemas y Recursos Forestales* 14(2):217-228.

Gómez-Pompa, A. 1982. *Ecología de la Vegetación de Veracruz*. Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos A.C., Xalapa. México.

González-Espinosa, M., Meave, J.A., Lorea-Hernández, F.G., Ibarra-Manríquez, G., Newton, A.C. 2011. *The Red List of Mexican Cloud Forest Trees*, Fauna and Flora International, Cambridge, Reino Unido.

González-Espinosa, M., Meave, J.A., Ramírez-Marcial, N., Toledo-Aceves, T., Lorea-Hernández, F.G., Ibarra-Manríquez, G. 2012. Los bosques de niebla de México: conservación y restauración de su componente arbóreo. *Ecosistemas* 21(1-2):36-52.

Halffter, G., Llorente-Bousquets, J., Morrone, J.J. 2008. La perspectiva biogeográfica histórica, en *Capital Natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. En: CONABIO (ed.), *Capital Natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*, pp. 67-86. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ciudad de México, México.

Hamilton, L.S., Juvik, J.O., Scatena, F.N. 1995. The Puerto Rico tropical cloud forest symposium: Introduction and workshop synthesis. En: Hamilton, L., Juvik, J.O., Scatena, F.N. (eds.), *Tropical Montane Cloud Forest*, pp. 1-23. Springer-Verlag, Nueva York, Estados Unidos.

INEGI 1993. *Conjunto Nacional de Uso de Suelo y Vegetación (1968, 1971-1986)*. Escala 1:250 000, Serie I. DGG-INEGI, México. Shapefile.

INEGI 1999. *Conjunto Nacional de Uso de Suelo y Vegetación (1993-1999)*. Escala 1:250 000, Serie II. DGG-INEGI, México. Shapefile.

- INEGI 2000. *Carta de Vegetación Primaria* (Tipos de Vegetación). Escala 1:1 000 000. INEGI, Aguascalientes, México. Shapefile.
- INEGI 2005. *Conjunto Nacional de Uso de Suelo y Vegetación* (2002– 005). Escala 1:250 000, Serie III. DGG-INEGI, México. Shapefile.
- INEGI 2010. *Conjunto Nacional de Uso de Suelo y Vegetación* (2007–2008). Escala 1:250 000, Serie IV. DGG-INEGI, México. Shapefile.
- INEGI 2013. *Conjunto Nacional de Uso de Suelo y Vegetación* (2012–2013). Escala 1:250 000, Serie V. DGG-INEGI, México. Shapefile.
- INEGI, CONABIO, INE. 2008. 'Ecorregiones terrestres de México'. Escala 1:1000000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - Instituto Nacional de Ecología. México.
- Luna-Vega, I., Morrone, J.J., Alcántara Ayala, O., Espinosa Organista, D. 2001a. Biogeographical affinities among Neotropical cloud forests. *Plant Systematics and Evolution* 228(3):229-239.
- Luna-Vega, I., Velázquez, A., Velázquez, E. 2001b. México. En: Kappelle, M., Brown, A.D. (eds.), *Bosques nublados del Neotrópico*, pp. 183-229. Instituto Nacional de Biodiversidad, San José, Costa Rica.
- Marshall, C.J., Liebherr, J.K. 2000. Cladistic biogeography of the Mexican transition zone. *Journal of Biogeography* 27: 203–216
- Martin, G., Camacho-Benavides, C., del Campo-García, C., Anta-Fonseca S., Chapela-Mendoza, F., González-Ortiz, M.A. 2011. Indigenous and community conserved areas in Oaxaca, Mexico. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 22(2):250-266.
- Mas, J-F., Velázquez, A., Couturier, S. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/ uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental* 1(1):23-39.
- Mayorga-Saucedo, R., Alcántara-Ayala, O., Luna-Vega, I. 1998. Florística del bosque mesófilo de montaña de Molocotlán, Molango-Xochicoatlán, Hidalgo, México. *Botanical Sciences* (antes Boletín de la Sociedad Botánica de México) 63:101-119.
- Mejía-Domínguez, N.R., Ruiz-Jiménez, C.A., Meave, J.A. 2004. Análisis estructural de una parcela de una hectárea de bosque mesófilo de montaña en el extremo oriental de la Sierra Madre del Sur (Oaxaca), México. *Botanical Sciences* (antes Boletín de la Sociedad Botánica de México) 74:13-29.
- Miranda, F. 1947. Estudios sobre la vegetación de México. V. Rasgos de la vegetación de la Cuenca del Río Balsas. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 8:95-114.
- Mulligan, M. 2010. Modeling the tropics-wide extent and distribution of cloud forest and cloud forest loss, with implications for conservation priority. En: Bruijnzeel, L., Scatena, F., Hamilton, L. (eds.), *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*, pp. 14-38. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Ochoa-Ochoa, L.M., Bezaury-Creel J., Vázquez L.B., Flores-Villela, O.A. 2011. Choosing the survivors? A GIS-based triage support tool for micro-endemics: application to data for Mexican amphibians. *Biological Conservation* 144:2710-2718.
- Ochoa-Ochoa, L.M., Mejía-Domínguez, N.R. 2014. Fauna de los Bosques Mesófilos de Montaña. En: Gual-Díaz, M., Rendón-Correa, A. (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México. Diversidad, Ecología y Manejo*, pp. 237-247. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ciudad de México, México.
- Ornelas, J.F., Sosa, V., Soltis, D.E., Daza, J.M., González, C., Soltis, P.S., Gutiérrez-Rodríguez, K., Espinosa de los Monteros, A., Castoe, T.A., Bell, C., Ruiz-Sanchez, E. 2013. Comparative Phylogeographic Analyses Illustrate the complex evolutionary history of threatened cloud forests of Northern Mesoamerica. *PLoS ONE* 8(2): e56283. doi:10.1371/journal.pone.0056283
- Ortega Escalona, F., Castillo Campos, G. 1996. El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal. *Ciencias* 43:32-39.
- Rojas-Soto, O.R., Sosa, V., Ornelas, J.F. 2012. Forecasting cloud forest in eastern and southern Mexico: conservation insights under future climate change scenarios. *Biodiversity and Conservation* 21(10):2671-269.
- Rosete-Vergés, F.A., Pérez-Damián, J.L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E.N., Salinas-Chávez, E., Remond-Noa, R. 2014. El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques* 20(1): 21-35.
- Rovito, S.M., Vásquez-Almazán, C.R., Papenfuss, T.J., Parra-Olea, G., Wake, D.B. 2015. Biogeography and evolution of Central American cloud forest salamanders (Caudata: Plethodontidae: *Cryptotriton*), with the description of a new species. *Zoological Journal of the Linnean Society* 175(1):150-166.
- Ruiz-Jiménez, C.A., Téllez-Valdés, O., Luna-Vega, I. 2012. Clasificación de los bosques mesófilos de montaña de México: afinidades de la flora. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83(4):1110-1144.
- Rzedowski, J. 1963. El extremo boreal siempre-verde en Norteamérica continental. *Vegetatio* 11:173-198.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. Ciudad de México, México.
- Rzedowski, J. 1990. Vegetación Potencial. IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora fanerogámica de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana* 35: 25-44.
- Rzedowski, J., Palacios-Chávez, R. 1977. El bosque de *Engelhardtia* (*Orumunnea*) mexicana en la región de la Chinantla (Oaxaca). Una reliquia del Cenozoico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 36:93-123.
- Rzedowski, J., McVaugh, R. 1966. La vegetación de la Nueva Galicia. *Contributions of the University of Chicago Herbarium* 9:1-123.
- Sánchez-Ramos, G., Dirzo, R. 2014. El bosque mesófilo de montaña: un ecosistema prioritario amenazado. En: *Bosques Mesófilos de Montaña de México. Diversidad, Ecología y Manejo*. En: Gual-Díaz, M., Rendón-Correa, A. (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México. Diversidad, Ecología y Manejo*, pp. 109-139. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ciudad de México, México.
- SEMARNAT 2016. 'Unidades de Manejo para el Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre 2016', escala: 1:0. edición: 2a. 08/2016. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Morelia, Michoacán de Ocampo, México.
- Toledo-Aceves, T., Meave, J.A., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N. 2011. Tropical montane cloud forests: current threats and opportunities for their conservation and sustainable management in Mexico. *Journal of Environmental Management* 92(3):974-981.
- Toledo-Aceves, T., García-Franco, J.G., Williams-Linera, G., MacMillan, K., Gallardo-Hernández, C. 2014. Significance of remnant cloud forest fragments as reservoirs of tree and epiphytic bromeliad diversity. *Tropical Conservation Science* 7(2):230-243.
- Villaseñor, J.L. 2010. *El Bosque Húmedo de Montaña en México y sus Plantas Vasculares: Catálogo Florístico-Taxonómico*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Watson, D.M., Peterson, A.T. 1999. Determinants of diversity in a naturally fragmented landscape: humid montane forest avifaunas of Mesoamerica. *Ecography* 22: 582–589.
- Williams-Linera, G. 2007. *El Bosque de Niebla del Centro de Veracruz: Ecología, Historia y Destino en Tiempos de Fragmentación y Cambio Climático*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz, México.
- Williams-Linera, G., Toledo-Garibaldi, M., Hernández, C.G. 2013. How heterogeneous are the cloud forest communities in the mountains of central Veracruz, Mexico?. *Plant Ecology* 214(5):685-701.