

Diversidad, amenazas y oportunidades para la conservación del bosque tropical caducifolio en el estado de Oaxaca, México

J.A. Meave¹, M.A. Romero-Romero¹, S.H. Salas-Morales^{1,2}, E.A. Pérez-García¹, J.A. Gallardo-Cruz¹

(1) Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad 3000, Circuito Exterior s/n, 04510 México, Distrito Federal, México.

(2) Sociedad para el Estudio de los Recursos Bióticos de Oaxaca A.C., San Sebastián Tutla 71246, Oaxaca, México.

➤ Recibido el 21 de diciembre de 2011, aceptado el 13 de marzo de 2012.

Meave, J.A., Romero-Romero, M.A., Salas-Morales, S.H., Pérez-García, E.A., Gallardo-Cruz, J.A. (2012). Diversidad, amenazas y oportunidades para la conservación del bosque tropical caducifolio en el estado de Oaxaca, México. *Ecosistemas* 21(1-2):85-100.

El bosque tropical caducifolio es uno de los ecosistemas más característicos del estado de Oaxaca (sur de México). Se estima que este ecosistema ocupó alrededor de 30% del territorio estatal antes de la acción humana. La exploración botánica ha demostrado que en él se alberga aproximadamente una tercera parte de la diversidad vegetal total de este estado. A pesar de su importancia basada en sus atributos únicos, su función como hábitat para una fauna muy diversa y con un alto nivel de endemismo, así como los servicios ecosistémicos que presta, el bosque tropical caducifolio oaxaqueño ha sido eliminado o seriamente afectado en una proporción grande de su extensión original. La permanencia de este tipo de vegetación está amenazada principalmente por la expansión agrícola y ganadera, el establecimiento de cultivos comerciales a gran escala y el desarrollo de infraestructura turística e industrial. A diferencia de otros ecosistemas presentes en el estado, el bosque tropical caducifolio es menos carismático o atractivo y por lo tanto se vislumbran menos oportunidades para su conservación. Por estas razones, es urgente que distintas organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, junto con la sociedad entera, se involucren en acciones serias y efectivas encaminadas a su conservación y restauración.

Palabras clave: áreas naturales protegidas, cambio de uso del suelo, conservación biológica comunitaria, ecosistemas tropicales secos, pérdida de cobertura vegetal, selva baja caducifolia, servicios ecosistémicos.

Meave, J.A., Romero-Romero, M.A., Salas-Morales, S.H., Pérez-García, E.A., Gallardo-Cruz, J.A. (2012). Diversity, threats and opportunities for tropical dry forest conservation in Oaxaca State, Mexico. *Ecosistemas* 21(1-2):85-100.

The tropical dry forest is one of the most iconic ecosystems in the State of Oaxaca (southern Mexico). This ecosystem may have occupied close to 30% of the state's territory prior to human-caused disturbance. Botanical exploration suggests that this ecosystem sustains approximately one third of the state's total plant diversity. This forest plays an important role as a habitat for a diverse and highly endemic fauna, as well as providing essential ecosystem services. Despite its importance, the tropical dry forest of Oaxaca has been eliminated or dramatically modified throughout a large portion of its original range. The future of this ecosystem is threatened by the expansion of agriculture and cattle ranching activities, the establishment of large-scale cash crops, and the development of infrastructure for tourism and industry. Unlike other ecosystems in the state, the tropical dry forest is less charismatic or attractive, and therefore opportunities for its conservation seem in jeopardy. It is urgent that government agencies, NGOs, ENGOs, and society at large should begin serious and effective actions aimed at its conservation and restoration.

Key words: natural protected areas, land use/land cover change, community-based biological conservation, tropical dry ecosystems, plant cover loss, tropical deciduous forest, ecosystem services.

Introducción

México alberga en sus casi dos millones de kilómetros cuadrados de territorio continental un asombroso mosaico de ecosistemas que abarca desde formaciones boscosas tropicales húmedas hasta matorrales desérticos propios de sitios prácticamente carentes de lluvia y páramos alpinos en sus montañas más elevadas (Rzedowski, 1978; Challenger, 1998). El sureño estado de Oaxaca, con una superficie de 93 793 km² (un poco más grande que Portugal), puede considerarse como la entidad federativa más biodiversa de esa nación (García-Mendoza et al., 2004), no sólo por su fauna y su flora tan ricas (Lorence y García-Mendoza, 1989; García-Mendoza, 2004; González-Pérez et al., 2004), sino también por la gran heterogeneidad de su cubierta vegetal (Torres-Colín, 2004).

La vegetación predominante en la región tropical estacionalmente seca de Oaxaca es la formación boscosa conocida como bosque tropical caducifolio (*sensu* Rzedowski, 1978, o selva baja caducifolia *sensu* Miranda y Hernández-X., 1963). El bosque tropical caducifolio (BTC) es uno de los más emblemáticos y representativos del estado, tanto por la superficie que ocupa como por su presencia en las regiones donde se concentra la mayor proporción de la población oaxaqueña (**Fig. 1**).



Figura 1. Paisaje de bosque tropical caducifolio (BTC) en la región de La Cañada en el noroeste del estado de Oaxaca, durante la época de máximo crecimiento vegetal en la temporada lluviosa (junio-octubre). En esta región el BTC crece en contacto estrecho con matorrales xerófilos propios de climas más secos.

Las presión demográfica derivada de las actividades económicas de una población de más de 112 millones de habitantes en todo el país, de los cuales casi cuatro millones viven en Oaxaca (INEGI, 2010), es un factor constante de deterioro de los ecosistemas oaxaqueños. Entre éstos, el BTC es particularmente susceptible de ser eliminado para el impulso de actividades agrícolas y de producción ganadera. El ritmo del deterioro del BTC en Oaxaca parece haber aumentado en las últimas dos décadas (Velázquez et al., 2003), lo cual constituye un motivo de preocupación, pues pone en riesgo una proporción considerable de la diversidad biológica de Oaxaca y de México.

En este trabajo ofrecemos en primer lugar un panorama general del BTC en el estado de Oaxaca; posteriormente analizamos la situación de conservación de estas comunidades vegetales, intentamos identificar qué amenazas ponen en riesgo su persistencia y señalamos oportunidades para su conservación.

Distribución geográfica y relaciones ambientales

El término bosque tropical caducifolio se refiere a un tipo de comunidad vegetal o ecosistema propio de las partes más secas de las regiones tropicales (principalmente áreas con clima cálido subhúmedo en sus tres variantes de humedad creciente – Aw_0 , Aw_1 y Aw_2 – y en menor grado con clima semiárido cálido BS1), donde la precipitación presenta una fuerte estacionalidad (Trejo-Vázquez, 1999; Trejo, 2004). En estos ambientes es notable el contraste fisonómico entre las

temporadas lluviosa (junio a octubre) y seca (noviembre a mayo, ésta de mayor duración que la anterior). Dada esta limitante hídrica, el BTC se distingue por tener un dosel relativamente bajo (7-15 m, raramente 20 m), y por presentar un comportamiento rítmico muy marcado de pérdida y producción de follaje (**Fig. 2**).



Figura 2. Vistas generales y contraste fisonómico del bosque tropical caducifolio oaxaqueño entre la época lluviosa (derecha arriba) y la época seca (derecha abajo). La foto de la izquierda corresponde al momento de la transición, a finales de noviembre. En esta región se estima que más de 90% de los árboles pierden su follaje, pero algunas especies (p.ej. *Jacquinia macrocarpa*) sólo producen hojas en la época seca del año.

La distribución del BTC en Oaxaca está restringida a las porciones del estado al oeste, sur y sureste de la Sierra Norte de Oaxaca, macizo montañoso con picos de > 3000 m de altitud que detiene el paso de los vientos alisios cargados de humedad provenientes del Golfo de México. La región ecológica que abarca la distribución potencial del BTC en Oaxaca no es continua sino que está conformada por seis núcleos principales con diferentes grados de aislamiento (**Fig. 3**). Éstos muestran una correspondencia general con las regiones fisiográficas del estado. Las mayores extensiones se ubican en la vertiente pacífica del Istmo de Tehuantepec (región marcada IT en la **Figura 3**), por un lado, y una franja colindante con ésta que se extiende y se estrecha paulatinamente hacia el oeste, bordeando la región de la costa (CO). Otra porción importante se ubica al oeste de la región istmeña y se extiende de manera irregular a lo largo de las partes bajas de la cuenca del río Tehuantepec (CT) y sus tributarios. Los Valles Centrales (VC), justo en el corazón del estado, albergaban una extensión considerable de BTC a lo largo de tres valles principales que se extienden hacia el NO, E y S desde la capital estatal (Rodrigo-Álvarez, 1994). Otra porción importante es la región de la Cañada (CA), de gran diversidad biológica y que alberga la mayor diversidad de cactáceas columnares del mundo (Dávila et al., 2002). Una quinta área importante se sitúa en la esquina SO, en el límite con el estado de Guerrero, alrededor del poblado de Pinotepa Nacional (PN). El núcleo más pequeño se ubica en las partes bajas de la región de la Mixteca (MX), en las estribaciones orientales de la cuenca del río Balsas. Todas estas áreas forman parte de la Provincia Morfotectónica de la Sierra Madre del Sur (Ferrusquía-Villafranca, 1993), en la que se distinguen un gran número de terrenos tectonoestratigráficos y una notable variedad de sustratos geológicos (Centeno-García, 2004). El BTC está bien representado en seis de las 12 subprovincias fisiográficas delimitadas por Ortiz-Pérez et al. (2004) para el estado (aunque aparece con extensiones menores en otras cuatro).

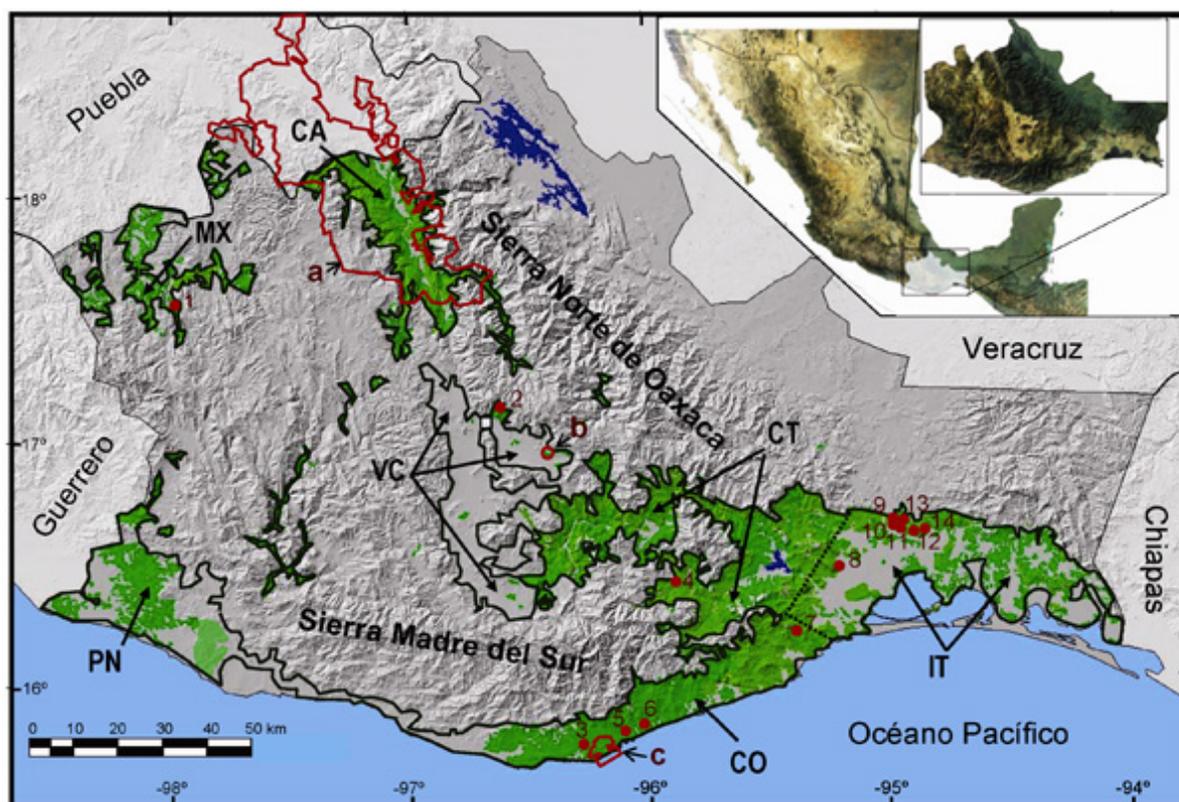


Figura 3. Distribución del bosque tropical caducifolio en el estado de Oaxaca. Los polígonos delimitados por líneas de color verde oscuro denotan el área de distribución original o potencial de este ecosistema. El área de color verde claro representa la distribución remanente del BTC. Las letras mayúsculas indican los seis núcleos definidos para el BTC del estado: Cañada (CA), Mixteca (MX), PN (Pinotepa Nacional), Valles Centrales (VC), Cuenca del río Tehuantepec (CT), Costa (CO), Istmo de Tehuantepec (IT). Los polígonos delimitados por líneas de color rojo oscuro representan las áreas naturales protegidas del sistema federal: Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán (a), Monumento Natural Yagul (b), Parque Nacional Huatulco (c). Los 14 puntos de color rojo corresponden a las Áreas de Conservación Certificadas a nivel municipal o comunitario mencionadas en la **Tabla 2**.

La estructura vegetal, la composición florística y los procesos dinámicos del BTC varían local y regionalmente de acuerdo con la disponibilidad de agua (Trejo y Dirzo, 2002; Segura et al., 2003; Gallardo-Cruz et al., 2009). Las variaciones edáficas grandes permiten la coexistencia de diversas formaciones vegetales en el mismo paisaje (Gallardo-Cruz et al., 2010). Por ejemplo, en el piedemonte de los cerros o en las cañadas las mismas especies alcanzan tallas mayores y tienden a ser más perennifolias que en las laderas altas o en las cimas (Trejo, 2010). Cuando la humedad en el suelo es mayor la vegetación puede clasificarse como bosque tropical subperennifolio o subcaducifolio. Además, se presentan palmares en sitios inundables, así como mezquitales (bosques de árboles espinosos perennifolios del género *Prosopis*) en suelos aluviales con mantos freáticos poco profundos.

En condiciones de suelo más somero la disponibilidad de agua y nutrientes es menor. Por lo tanto la vegetación tiende a ser más baja y caducifolia, pudiéndose clasificar como matorral subinermé o espinoso, o incluso como sabana xerófila (Pérez-García et al., 2010b). En un extremo, en sitios con roca expuesta se establece el matorral xerófilo, dominado por plantas suculentas (Pérez-García y Meave, 2004).

Diversidad biológica

Aun en el contexto de un país megadiverso como lo es México (Goettsch-Mittermeier et al., 1997), Oaxaca destaca por su enorme diversidad biológica (García-Mendoza et al., 2004), la cual sólo encuentra paralelo en la registrada en sus vecinos estados de Chiapas y Veracruz. No obstante los esfuerzos realizados en las últimas dos décadas para documentar la biodiversidad oaxaqueña, los datos disponibles aún no permiten desglosar la información por tipo de ecosistema.

En el caso de la flora, para el estado de Oaxaca se publicó recientemente un inventario que incluye 8903 especies de plantas vasculares (García-Mendoza y Meave, 2011). A partir de las cifras regionales publicadas para las distintas áreas de BTC en Oaxaca, y según la base de datos del herbario de la Sociedad para el Estudio de los Recursos Bióticos de Oaxaca (SERO),

se puede estimar que en el BTC de Oaxaca existen alrededor de 3000 especies, lo cual significa que este ecosistema alberga un poco más de la tercera parte de la flora del estado y prácticamente 10% de las 29 000 especies de angiospermas estimadas para México (Villaseñor, 2003).

La información sobre la diversidad de los grupos de fauna presentes en el BTC de Oaxaca es asimétrica. Entre los grupos mejor conocidos están las aves y los mamíferos, aunque también destaca la gran riqueza de reptiles en algunas zonas (**Tabla 1**). En términos generales, la fauna que habita en este ecosistema se caracteriza por incluir muchas especies endémicas (es decir, de distribución restringida) si se toma la vertiente pacífica de México como referencia geográfica (Ceballos et al., 2010 y trabajos incluidos ahí), y aunque falta evaluar con precisión el nivel de endemismo propio del BTC oaxaqueño, hay indicios de que éste es alto (González-Pérez et al., 2004).

Nombre del área	Grupo biológico	Riqueza	Referencia
Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán	Plantas vasculares	2621	
	Anfibios	11-25	
	Reptiles	48-78	
	Aves	141-336	Dávila et al. (2002), <tehuacan-cuicatlan.conanp.gob.mx>
	Mamíferos	131	
	Murciélagos	34	
	Hemípteros	24	
Tonalá	Plantas vasculares	400	S. Salas-Morales (inédito)
La Tuza-Chacahua	Anfibios	4	Salas-Morales (2010)
	Reptiles	23	
	Aves	136	
	Mamíferos	20	
Huatulco	Plantas	736	Salas-Morales et al. (2007), Lira y Ceballos (2010)
	Anfibios	15	
	Aves	291	
	Mamíferos*	61	
	Reptiles	72	
Zimatán	Plantas	1384	Salas-Morales et al. (2003), Salas-Morales y Casariego-Madorell (2010)
	Aves	400	
Cuenca de Río Tehuantepec	Plantas	780	Acosta-Castellanos (2002)
Nizanda	Plantas vasculares	915	Pérez-García et al. (2010a, b), Barreto-Oble (2000), Rodríguez-Contreras (2004)
	Anfibios	12	
	Reptiles	47	
	Aves	132	

* Incluye mamíferos marinos. Las referencias corresponden a cada sitio, no a cada grupo biológico por separado.

Tabla 1. Ejemplos de la riqueza biológica documentada en diferentes zonas de BTC en el estado de Oaxaca, México.

Servicios ecosistémicos

Todavía no conocemos con precisión el valor de los servicios ecosistémicos que brinda el BTC a la población, por lo que se requieren investigaciones que los cuantifiquen adecuadamente. Entre los esfuerzos más significativos que se han hecho sobre este tema están los trabajos de Maass et al. (2005) y Balvanera y Maass (2010), quienes sintetizaron la información disponible para el BTC de México (aunque con muy poca información para Oaxaca), compilando datos referentes al mantenimiento de la diversidad, la regulación biológica de polinizadores, plagas y vectores de enfermedades, los controles de la erosión y el ciclo hidrológico, así como la provisión de bienes y servicios culturales (ver también Balvanera, 2012, en este número).

Entre los principales productos que se extraen del BTC oaxaqueño destaca la madera de varias especies. Si bien en general ésta no es de buena calidad, la madera es muy utilizada para la construcción de casas tradicionales y encierros (**Fig. 4a, b**), así como para la fabricación de diversos utensilios (**Fig. 4c**). Es notoria la extracción de troncos de algunas especies del género *Bursera* para producir artesanías conocidas como alebrijes (**Fig. 4d**) (Hernández-Apolinar et al., 2006; Peters, 2011;

Balvanera, 2012). Asimismo, en este sistema se practica la cacería furtiva de varias especies de animales; algunas, como los pericos (*Aratinga* spp.), las tortugas (*Rhynoclemis* spp.) y las tarántulas (principalmente *Brachypelma* spp.), se comercializan como mascotas en el mercado ilegal, y otras especies son consumidas con frecuencia, como el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el armadillo (*Dasyurus novemcintus*), la chachalaca (*Ortalis poliocephala*) y especialmente la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*), entre otros (Naranjo y Cuarón, 2010; Balvanera, 2012).



Figura 4. Ejemplos de servicios ambientales de provisión que brinda el BTC de Oaxaca a la población: (A) madera para la construcción de casas. (B) madera para la construcción de cercos. (C) material para la construcción de carretas y otros utensilios. (D) madera para la elaboración de alebrijes.

Aunque parezca paradójico, el mantenimiento de la diversidad biológica del BTC depende de la existencia misma del bosque original. Por ejemplo, la mayoría de sus especies están ausentes en los estadios sucesionales tempranos y sus propágulos no permanecen en los bancos de semillas en campos agrícolas (Meave et al., 2012). Aparentemente, la regeneración natural del BTC ocurre de forma natural mediante el establecimiento ocasional de plántulas de los árboles del dosel debajo de las copas de los preexistentes (Dechnik, 2011). En contraste, el sistema agrícola usado tradicionalmente en México, conocido como roza-tumba y quema, altera radicalmente las condiciones de establecimiento de las especies (Lebrija-Trejos et al., 2011) y la regeneración del BTC toma otro rumbo. Según datos obtenidos en Oaxaca y en coincidencia con observaciones de otros sitios de BTC en México, el proceso sucesional comienza con el establecimiento de unas pocas especies de leguminosas espinosas (principalmente de los géneros *Mimosa* y *Acacia*). Estas especies no son propias de los bosques maduros, pero son las que dominan el proceso de regeneración por casi 50 años (Lebrija-Trejos et al., 2008, 2010a, b).

La capacidad del BTC para mantener biodiversidad va más allá de su propia circunscripción, ya que también influye de manera importante sobre otros ecosistemas. Quizás el ejemplo más ilustrativo sea la conservación de numerosas especies de animales, particularmente aves y murciélagos que suelen migrar entre pisos altitudinales. Este flujo estacional podría verse interrumpido al alterarse el BTC y así afectar negativamente no sólo a la fauna (Sánchez-Cordero, 2001) sino también a la flora de ecosistemas adyacentes (p.ej. el matorral xerófilo y los bosques templados de elevaciones mayores), ya que muchas especies migratorias son polinizadores importantes. Por otro lado, en una visión temporal de largo plazo, un servicio ecosistémico potencial se deriva de la gran tolerancia de las plantas del BTC a la sequía. Esta adaptación de sus especies podría permitir que sean usadas en actividades de restauración, principalmente en regiones afectadas por sequías más agudas debido al cambio climático global. Asimismo, se ha demostrado que abejas silvestres del BTC de los géneros *Peponapis* y *Xenoglossa* son polinizadores más eficientes de algunas plantas cultivadas que la especie introducida *Apis mellifera*.

La provisión de servicios ecosistémicos del BTC ha sido poco estudiada y por lo tanto está subvalorada, sobre todo si se le compara con otros ecosistemas cuyos servicios ambientales tienen un valor muy obvio, como es el caso de la gran capacidad de suministrar agua del bosque nuboso (Toledo et al., 2011). En términos del agua, Balvanera y Maass (2010) destacaron la fuerte limitación hídrica de este sistema que resulta del balance desfavorable entre la evaporación y el consumo de agua por parte de las plantas, por un lado, y la precipitación relativamente baja y muy estacional, por el otro. En consecuencia, el excedente de agua en el BTC de Oaxaca es bajo, lo que hace necesario mantener grandes extensiones de vegetación bien conservada para asegurar el abasto a la población.

En un esfuerzo por sintetizar las consecuencias funcionales de la intervención humana sobre el BTC asociada al sistema de roza-tumba y quema (**Fig. 5a**), Jaramillo et al. (2010) y García-Oliva y Jaramillo (2011) analizaron en detalle el funcionamiento ecosistémico del BTC de la región de Chamela (estado de Jalisco), localizada aproximadamente a 1000 km al NO de Oaxaca. Estos autores señalaron modificaciones preocupantes en variables hidrológicas (como el aumento en la demanda evaporativa), los bancos de nutrientes (como una reducción considerable en los almacenes totales de varios elementos en el suelo) y en los procesos biogeoquímicos (como un aumento sensible en las tasas de mineralización de N y de C orgánico). La magnitud de las alteraciones llevó a estos autores a señalar enfáticamente la necesidad de conservar tanto BTC como sea posible.

A pesar de los esfuerzos aislados por cuantificar los servicios ecosistémicos del BTC, la ausencia de esta información para el estado de Oaxaca es abrumadora. Precisamente esta carencia puede ser una de las razones por las cuales este tipo de bosque no es valorado en toda su magnitud. En consecuencia, en la actualidad y en todo el país, los beneficios económicos más inmediatos y tangibles se derivan de la transformación total del BTC para dar lugar a sistemas agropecuarios (Balvanera et al., 2011; Balvanera, 2012).



Figura 5. Ejemplos de las actividades económicas que amenazan la permanencia del bosque tropical caducifolio en el estado de Oaxaca. (A) agricultura practicada con el sistema de roza, tumba y quema. (B) ganadería extensiva. (C) desarrollos turísticos con campos de golf. (D) cultivos de *Agave* para la producción de tequila y mezcal. (E) parques eólicos para la producción de energía eléctrica.

Estado de conservación y amenazas

A principios de la segunda década del siglo XXI, la mayoría de los ecosistemas mexicanos presentan un estado de deterioro que fluctúa entre moderado en el mejor de los casos a francamente grave, y que la situación alarmante reportada a finales del siglo pasado (Challenger, 1998) sólo se ha acentuado. A nivel nacional, el BTC se enlista entre los ecosistemas más afectados por el impacto de la creciente población humana. Por ejemplo, Trejo y Dirzo (2000) estimaron que ya en 1990 sólo persistía 27% de la superficie total de BTC en México, y que en algunos estados la pérdida llegaba a 60%. La situación en Oaxaca es incierta, pero hay datos que permiten intentar un ejercicio de cuantificación semejante.

A principios de este siglo, Anta-Fonseca y Merino (2003) señalaron que un poco más de la mitad (54%) de las 9.5 millones de hectáreas del estado aún estaban cubiertas por selvas y bosques en buen estado de conservación. Esta estimación, sin duda acertada para algunas regiones, no parece reflejar fielmente la situación en todo el estado. Por ejemplo, mediante un análisis multitemporal de imágenes Landsat, Velázquez et al. (2003) reportaron una pérdida de medio millón de hectáreas de vegetación nativa en el estado en un periodo de 20 años y predijeron que para 2022 sólo quedaría una superficie equivalente a 22% del territorio oaxaqueño cubierta con vegetación nativa (sus datos confirman que el BTC tuvo una pérdida neta en ese periodo). Nuestros cálculos para el BTC oaxaqueño también arrojan cifras alarmantes. El polígono potencial de BTC señalado en la **Figura 3** cubre una superficie de 26 731 km² (28.5% del estado). El área aún cubierta por vegetación más o menos inalterada es de cerca de 14 000 km², es decir, sólo se conserva un poco más de la mitad (52.4%) de la superficie original del BTC en Oaxaca. Al margen de la necesidad de hacer una cuantificación más precisa para cada una de las regiones de BTC por separado, la magnitud de la pérdida es indiscutible.

No obstante esta destrucción tan acelerada y masiva (siendo el caso de los Valles Centrales el más extremo), el BTC de algunas regiones está suficientemente bien conservado como para poderlo considerar entre las prioridades de conservación nacional (Arriaga-Cabrera et al., 2000). Usando este criterio, proponemos a las regiones de la costa, el Istmo de Tehuantepec y la cuenca del río Tehuantepec como áreas prioritarias de conservación del BTC; en todas ellas existen aún grandes superficies cubiertas con este tipo de vegetación, en algunos lugares prácticamente intactas.

Desafortunadamente, para todas estas regiones también existen diferentes amenazas que ponen en riesgo su permanencia. Durante la mayor parte de los últimos 10 000 años la principal causa del cambio del uso de suelo y la concomitante pérdida de vegetación nativa en la región oaxaqueña de BTC fue la agricultura de subsistencia (Flannery, 1986), sobre todo la basada en el cultivo de maíz (p.ej. Solano-Hernández, 1997; **Fig. 5a**). Sin embargo, en décadas más recientes la implementación de políticas de desarrollo por parte del Estado mexicano ha representado un importante motor de deforestación y cambio de uso del suelo, al promover actividades extensivas como la ganadería (**Fig. 5b**) y los cultivos comerciales (Velázquez et al., 2003).

En la región costera del Pacífico, por ejemplo, la amenaza más severa está representada por el desarrollo poco (o nada) planeado de polos turísticos. Los puntos de mayor riesgo son las Bahías de Huatulco y Puerto Escondido, destinos turísticos alrededor de los cuales ya se han perdido extensas áreas de BTC por la expansión de las zonas urbanas y creación de campos de golf, con el consecuente aumento de la contaminación de suelos y aguas (**Fig. 5c**). Con el fin de dar un mayor impulso turístico a esta zona, se inició recientemente la construcción de la autopista que comunicará Puerto Escondido con Huatulco, acción que ya impacta fuertemente el BTC en este tramo. Además del impacto por la construcción en sí, su presencia puede fomentar la aparición de nuevas zonas urbanas a lo largo de ella, como ha sucedido repetidamente en todo el país.

La cuenca del río Tehuantepec merece especial atención, ya que se trata de una región de baja densidad poblacional y con buen estado de conservación de la cubierta vegetal nativa (aunque también una de las más desconocidas desde el punto de vista biológico). Desafortunadamente, en este momento se cierne una amenaza grave sobre esta región, pues se proyecta la construcción de una carretera que uniría la ciudad de Oaxaca con la región del Istmo de Tehuantepec a lo largo de la cuenca de este río. Además, en la región se ha dado recientemente un acelerado proceso de desmonte de vegetación original de BTC a fin de crear parcelas para el cultivo de agave mezcalero y tequilero. Este fenómeno repentino fue causado por la acción de promotores gubernamentales que distribuyeron pagos entre los pobladores para extender la superficie sembrada con *Agave* spp. (**Fig. 5d**). En este momento la tendencia parece haber disminuido, pero la amenaza sigue latente. Recientemente, Davis et al. (2011) propusieron que debería fomentarse el cultivo de especies de *Agave* como fuente de biocombustible, si bien para amortiguar nuevos cambios de uso de suelo ellos sugieren recuperar áreas antiguamente dedicadas a la producción de fibras duras (p.ej. henequén) perdidas por la introducción de fibras sintéticas en el mercado. Sin embargo, la experiencia en Oaxaca arriba descrita demuestra que cuando media un estímulo económico casi nada puede detener la eliminación de la cubierta vegetal original, a pesar de que dicha transformación está prohibida por la legislación ambiental mexicana.

Muchos de los procesos de cambio de uso del suelo descritos hasta ahora también tienen vigencia en la región del Istmo de Tehuantepec, pero en ella existen además otros factores particulares y muy variados de deterioro del BTC. Además del desarrollo ganadero (**Fig. 5b**) y la creación de extensos campos agrícolas para el cultivo de sorgo, esta región es testigo del crecimiento de grandes complejos industriales, sobre todo aquellos ligados al puerto petrolero de Salina Cruz, la construcción de una densa red de autopistas y la apertura de extensos parques eólicos (**Fig. 5e**) destinados a aprovechar los vientos fuertes de la región (Chelton et al., 2000) para generar energía eléctrica.

Otras amenazas patentes poco consideradas son la cacería ilegal, la explotación no planeada de recursos forestales (maderables y no maderables), la sobreexplotación de especies, la presión asociada a malas prácticas turísticas, la contaminación de agua y suelo y el tráfico ilegal de especies silvestres.

En contraste con este escenario poco alentador, la situación que se percibe en relación con las plantas invasoras es poco preocupante, ya que éstas no parecen constituir una amenaza seria para el BTC de Oaxaca. Nuestros datos florísticos,

provenientes principalmente del Istmo de Tehuantepec y la región costeña, revelan una notoria escasez de especies de esta categoría, sobre todo en áreas con vegetación original o vegetación secundaria con cierto grado de desarrollo. De hecho, sólo hemos detectado cuatro especies invasoras con cierta prominencia: *Calotropis procera* (Apocynaceae), *Caesalpinia pulcherrima*, *Parkinsonia aculeata* (ambas Leguminosae) y *Ricinus communis* (Euphorbiaceae). Ninguna de estas especies es suficientemente abundante como para formar masas monoespecíficas, sino que más bien tienden a entremezclarse con las especies nativas.

Oportunidades para la conservación del BTC en Oaxaca

En Oaxaca hay muy pocas áreas naturales protegidas por decreto oficial por parte del Gobierno Federal. Algunas porciones considerables de BTC están protegidas dentro de tres de estas áreas, cada una con un estatus de conservación diferente (**Fig. 3**). La porción más extensa de BTC (alrededor de 142 000 ha) está protegida dentro de la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán (aproximadamente 29% de las 490 187 ha que abarca esta Reserva). A su vez, en el Parque Nacional Huatulco se protegen más de 6000 ha de BTC, mientras que en el Monumento Natural Yagul la superficie de BTC es mucho menor (apenas 1076 ha). Algunos de estos sitios podrían servir como escenario de estudios a largo plazo que produzcan información sobre el funcionamiento ecosistémico del BTC en Oaxaca (Maass et al., 2010).

Considerando la necesidad de conservar extensiones tan grandes como sea posible de BTC en Oaxaca, esta lista de áreas protegidas resulta a todas luces insuficiente. El análisis de las causas de este avance tan restringido queda fuera de los objetivos de este trabajo, pero seguramente tiene que ver, al menos en parte, con la falta de percepción social clara sobre la importancia ecológica de este ecosistema. Aparentemente, el carisma que caracteriza a los bosques húmedos tropicales de tierras bajas o de montaña no se comparte con un ecosistema que carece de follaje y que por lo tanto adquiere un aspecto desolado durante la mitad del año. Además, también parece intervenir cierto recelo entre sectores de la población rural oaxaqueña sobre las áreas naturales protegidas con reconocimiento federal (Wilshusen et al., 2002), quizá debido a que son asociadas con la posibilidad de perder capacidad de decisión sobre su territorio.

Por estas razones es interesante que en el estado se haya venido impulsando una vertiente completamente diferente de conservación biológica, basada en la certificación de áreas comunitarias o privadas. Las áreas de conservación certificadas constituyen una modalidad en la que los propietarios proponen de manera voluntaria sus terrenos como áreas de conservación y representan una buena oportunidad para incorporar un mayor número de hectáreas de BTC a la conservación (Ortega del Valle et al., 2010). La conservación que tiene una base comunitaria ha sido considerada como una estrategia oportunista y carente de fundamento científico sólido (Gordon et al., 2006). Sin embargo, si tuviéramos que esperar a que dicho fundamento estuviera disponible para cada región digna de ser protegida, seguramente nunca se lograría su protección. La mayor desventaja de este tipo de áreas es su tamaño relativamente pequeño (**Tabla 2**); no obstante, siendo éstas tan numerosas y su distribución tan amplia, su potencial de constituir una estrategia efectiva de conservación es alto. Quizá parte de su éxito se deba a que 77% del territorio del estado está bajo régimen ejidal o comunal. Por ello, aunque la superficie del estado formalmente protegida en las áreas naturales es muy pequeña (3.3%), las áreas comunitarias protegidas, junto con otros instrumentos no convencionales de conservación biológica como las UMAS (unidades de manejo de vida silvestre) y los ordenamientos territoriales comunitarios constituyen una esperanza para la conservación de estos ecosistemas (ver también Perfecto y Vandermeer, 2012, en este número, sobre el valor de esta estrategia para la conservación). En su totalidad estas áreas cubren un territorio que equivale a casi 15% del estado (Anta-Fonseca y Sánchez, 2009), con el valor añadido de que allí se protegen varios tipos de ecosistemas además del BTC.

Áreas de protección ecológica	Superficie (ha)	BTC (%)
<i>Cañada</i>		
a. Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (sólo Oaxaca)	296 272*	50
<i>Mixteca Baja</i>		
1. Las Huertas (San Marcos Arteaga)	20	50
<i>Valles Centrales</i>		
2. La Cruz Corral de Piedra (San Pablo Etla)	2335	15
b. Monumento Natural Yagul	1076	90
<i>Costa</i>		
c. Parque Nacional Huatulco	6375	80
3. Sistema comunal de áreas protegidas de Santa María Huatulco	8129	100
<i>Cuenca del Río Tehuantepec</i>		
4. El Convento, Cerro Verde-Las Minas (San Juan Lajarcia)	3080	¿?
<i>Istmo de Tehuantepec</i>		
5. Área comunitaria protegida San Isidro (San Isidro Chacalapa)	5308	100
6. Reserva comunal Mascalco (San Pedro Huamelula)	10 000	90
7. Las Ánimas (Morro Mazatán)	2500	100
8. Cerro de la Garza (San Pedro Comitancillo)	208	100
9. El Bejucal (Rincón Vaquero)	935	100
10. Área de uso común (Mena Nizanda)	725	100
11. Área de uso común (La Ventosa)	2178	80
12. Ojo de Agua del Cerro Tolistoque (La Venta)	1307	100
13. Cerro Bandera de la Sierra Tolistoque (Mazahua)	328	100
14. Cerro del Chilar (El Porvenir)	762	100

* El área total de la Reserva, incluyendo la porción ubicada en el estado de Puebla, es de 490 186 ha.

Tabla 2. Síntesis de información sobre las áreas de protección ecológica en Oaxaca que incluyen porciones de BTC, agrupadas de acuerdo con las regiones descritas en el texto. Se incluye la superficie total del área protegida y la proporción porcentual aproximada de bosque tropical caducifolio (BTC) en su interior. Los números y las letras minúsculas al inicio del nombre corresponden con los mostrados en la Fig. 3.

Por supuesto, es necesario analizar los factores que motivan la creación de estas reservas pequeñas. Si bien en algunos casos las comunidades han llegado a valorar los beneficios que acarrea el mantener sus bosques, en muchos otros la motivación más fuerte ha sido el otorgamiento de estímulos económicos por parte del Gobierno Federal en el marco de los programas de pago por conservación de bosques. Por lo tanto, la continuidad de estos programas dependerá de que el país cuente con la capacidad económica –y la voluntad política– para mantenerlos. El monitoreo adecuado y permanente de estas áreas proporcionaría información muy útil para poder evaluar, y en su caso fortalecer, las iniciativas más serias y mejor organizadas. A la larga, este esfuerzo podría convertirse en un prototipo que podría ser conocido como el ‘modo oaxaqueño de la conservación biológica’.

Conclusiones

La importancia biológica y ecológica del BTC de Oaxaca reside principalmente en su biota tan rica y en el conjunto de valiosos servicios ecosistémicos que brinda, si bien éstos aguardan aún una evaluación adecuada. Por ello, no sólo debe preocupar la afectación tan severa que ha sufrido este ecosistema debido a diversos factores cuya intensidad, lejos de atenuarse, aumenta día a día, sino también la falta de información y conciencia sobre este ecosistema entre la población que coexiste con él de forma cotidiana. En las áreas de BTC que ya están fuertemente deterioradas habría que impulsar acciones de restauración. Sin embargo, en este rubro el estado de Oaxaca ha hecho un progreso casi nulo, por lo que será necesario hacer inversiones muy grandes de recursos económicos y humanos para este fin. Respecto a la conservación de áreas remanentes de BTC, es preocupante la escasez de áreas naturales protegidas de carácter federal. No obstante, la existencia de iniciativas comunitarias y privadas de conservación en Oaxaca da lugar a un cierto optimismo, pero sus logros deberán ser revisados y evaluados con objetividad.

Es urgente que los distintos sectores de los gobiernos estatal y federal en México, así como las organizaciones no gubernamentales nacionales e internacionales más pertinentes, encaren el problema del deterioro del BTC oaxaqueño con

seriedad y responsabilidad para intentar detener y revertir esta situación. Sin embargo, estas acciones podrían ser insuficientes si la sociedad en su conjunto no se involucra en el esfuerzo para alcanzar estas metas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Luis Cayuela y a Íñigo Granzow de la Cerda su invitación para participar en este monográfico y a los revisores anónimos, cuyos acertados comentarios ayudaron a mejorar este artículo. Este trabajo forma parte del proyecto "Perspectiva paisajística de la diversidad, dinámica y regeneración de la vegetación en el trópico estacionalmente seco", el cual ha sido financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) de México (proyecto CB-2009-01-128136).

Referencias

- Acosta-Castellanos, S. 2002. Plantas vasculares raras, amenazadas, o en peligro de extinción del estado de Oaxaca, un panorama preliminar. *Polibotánica* 13:47-82.
- Anta-Fonseca, S., Merino, L. 2003. El manejo comunitario de los recursos naturales en Oaxaca. *The Common Property Resource* 66:1-3.
- Anta-Fonseca, S., Sánchez, G. 2009. El modelo comunitario de conservación en Oaxaca. Áreas naturales protegidas y desarrollo social en México. En: Sarukhán, J. (coord.). *Capital Natural de México. Vol II. Estado de conservación y tendencias de cambio*, p. 424. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México DF, México.
- Arriaga-Cabrera, L., Espinoza-Rodríguez, J.M., Aguilar-Zúñiga, C., Martínez-Romero, E., Gómez-Mendoza, L., Loa-Loza, E. 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México DF, México.
- Balvanera, P. 2012. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas* 21(1):136-147.
- Balvanera, P., Castillo, A., Martínez-Harms, M.J. 2011. Ecosystem services in seasonally dry tropical forests. En: Dirzo, R., Young, H.S., Mooney, H.A., Ceballos, G. (eds.) *Seasonally Dry Tropical Forests. Ecology and Conservation*, pp. 259-277. Island Press, Washington DC, EUA.
- Balvanera, P., Maass, M. 2010. Los servicios ecosistémicos que proveen las selvas secas. En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury, J., Dirzo, R. (eds.). *Diversidad, Amenazas y Áreas Prioritarias para la Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*, pp. 251-269. CONABIO y Fondo de Cultura Económica, México DF, México.
- Barreto-Oble, D. 2000. Análisis ecológico y distribucional de los anfibios y reptiles de la región de Nizanda, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México DF, México.
- Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury-Creel, J., Dirzo, R. 2010. *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. Fondo de Cultura Económica y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México DF, México.
- Centeno-García, E. 2004. Configuración geológica del estado. En: García-Mendoza, A.J., Ordóñez, M.J., Briones-Salas, M. (eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*, pp. 29-42. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza y WWF, México DF, México.
- 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, Universidad Nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre S.C., México DF, México.
- Chelton, D.B., Freilich, M.H., Esbensen, S.K. 2000. Satellite observations of the wind jets off the Pacific Coast of Central America. Part I. Case studies and statistical characteristics. *Monthly Weather Review* 128:1993-2018.
- Dávila, P., Arizmendi, M. del C., Valiente-Banuet, A., Villaseñor, J.L., Casas, A., Lira, R. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biological Conservation* 11:421-442.

- Davis, S.C., Dohleman, F.G., Long, S.P. 2011. The global potential for Agave as a biofuel feedstock. *Global Change Biology Bioenergy* 3:68-78.
- Dechnik, Y.A. 2011. Efectos de la apertura de claros del dosel en un bosque tropical caducifolio. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, México.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1993. Geology of Mexico: a synopsis. En: Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A., Fa, J. (eds.). *Biological diversity of Mexico*, pp. 3-107. Oxford University Press, Nueva York, EUA.
- Flannery, K.V. (ed). 1986. *Guilá Naquitz: archaic foraging and early agriculture in Oaxaca, Mexico*. Academic Press, San Diego, EUA.
- Gallardo-Cruz, J.A., Meave, J.A., Pérez-García, E.A., Hernández-Stefanoni, J.L. 2010. Spatial structure of plant communities in a complex tropical landscape: implications for β -diversity, *Community Ecology* 11:202-210.
- Gallardo-Cruz, J.A., Pérez-García, E.A., Meave, J.A. 2009. β -diversity and vegetation structure as influenced by slope aspect and altitude in a seasonally dry tropical landscape. *Landscape Ecology* 24:473-482.
- García-Mendoza, A.J. 2004. Integración del conocimiento florístico del estado. En: García-Mendoza A.J., Ordóñez, M.J., Briones-Salas, M. (eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*, pp. 305-325. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza y WWF, México DF, México.
- García-Mendoza, A.J., Ordóñez, M.J., Briones-Salas, M. 2004. Introducción. En: García-Mendoza, A.J., Ordóñez, M.J., Briones-Salas, M. (eds.) *Biodiversidad de Oaxaca*, pp. 19-26. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza y WWF, México DF, México.
- García-Mendoza, A.J., Meave, J.A. 2011. *Diversidad florística de Oaxaca: de musgos a angiospermas (colecciones y lista de especies)*. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México DF, México.
- García-Oliva, F., Jaramillo, V.J. 2011. Impact of anthropogenic transformation of seasonally dry tropical forests on ecosystem biogeochemical processes. En: Dirzo, R., Young, H.S., Mooney, H.A., Ceballos, G. (eds.) *Seasonally Dry Tropical Forests. Ecology and Conservation*, pp. 159-172. Island Press, Washington DC, USA.
- Goettsch-Mittermeier, C., Mittermeier, R.A., Nations, J., Robles, A., Carvajal, M.A., Robles-Gil, P. 1997. México. En: Mittermeier, R.A., Robles-Gil, P., Goettsch-Mittermeier, C. (eds.) *Megadiversidad: los países biológicamente más ricos del mundo*, pp. 140-177. Cemex, México DF, México.
- González-Pérez, G., Briones-Salas, M., Alfaro, A.M. 2004. Integración del conocimiento faunístico del estado. En: García-Mendoza, A.J., Ordóñez, M.J., Briones-Salas, M. (eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*, pp. 449-466. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza y WWF, México DF, México.
- Gordon, J.E., Bowen-Jones, E., González, M.A. 2006. What determines dry forest conservation in Mesoamerica? Opportunism and pragmatism in Mexican and Nicaraguan protected areas. En: Pennington, R.T., Lewis, G.P., Ratter, J.A. (eds.). *Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests: Plant Diversity, Biogeography and Conservation*. Pp. 343-357, Taylor and Francis CRC Press, Boca Raton, USA.
- Hernández-Apolinar, M., Valverde, T., Purata, S. 2006. Demography of *Bursera glabrifolia*, a tropical tree used for folk woodcrafting in southern Mexico: an evaluation of its management plan. *Forest Ecology and Management* 223:139-151.
- INEGI. 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México. Disponible en: [<http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx>]
- Jaramillo, V., García-Oliva, F., Martínez-Yrizar, A. 2010. La selva seca y las perturbaciones antrópicas en un contexto funcional. En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury, J., Dirzo, R. (eds.). *Diversidad, Amenazas y Áreas Prioritarias para la Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*, pp. 235-250. CONABIO y Fondo de Cultura Económica, México DF, México.

- Lebrija-Trejos, E., Bongers, F., Pérez-García, E.A., Meave, J.A. 2008. Successional change and resilience of a very dry tropical deciduous forest following shifting agriculture. *Biotropica* 40:422-431.
- Lebrija-Trejos, E., Meave, J.A., Poorter, L., Pérez-García, E.A., Bongers, F. 2010a. Pathways, mechanisms and variability of tropical dry forest succession. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 12:267-275.
- Lebrija-Trejos, E., Pérez-García, E.A., Meave, J.A., Bongers, F., Poorter, L. 2010b. Functional traits and environmental filtering drive community assembly in a species-rich tropical landscape. *Ecology* 91:386-398.
- Lebrija-Trejos, E., Pérez-García, E.A., Meave, J.A., Poorter, L., Bongers, F. 2011. Environmental changes during secondary succession in a tropical dry forest in Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 27:477-489.
- Lira, I., Ceballos, G. 2010. Huatulco, Oaxaca. En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury, J., Dirzo, R. (eds.). *Diversidad, Amenazas y Áreas Prioritarias para la Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*, pp. 520-526. CONABIO y Fondo de Cultura Económica, México DF, México.
- Lorence, D.H., García-Mendoza, A. 1989. Oaxaca, Mexico. En: Campbell, D.G., Hammond, H.D. (eds.). *Floristic inventory of tropical countries*, pp. 253-269. The New York Botanical Garden, Nueva York, EUA.
- Maass, J., Balvanera, P., Castillo, A., Daily, G.C., Mooney, H.A., Ehrlich, P., Quesada, M., Miranda, A., Jaramillo, V.J., García-Oliva, F., Martínez-Yrizar, A., Cotler, H., López-Blanco, J., Pérez-Jiménez, A., Búrquez, A., Tinoco, C., Ceballos, G., Barraza, L., Ayala, R., Sarukhán, J. 2005. Ecosystem services of tropical dry forests: insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society* 10:17.
- Maass, J.M., Jardel, E.J., Martínez-Yrizar, A., Calderón-Aguilera, L.E., Herrera, J., Castillo, A., Euán-Ávila, J., Equihua, M. 2010. Las áreas naturales protegidas y la investigación ecológica de largo plazo en México. *Ecosistemas* 19:69-83.
- Meave, J.A., Flores-Rodríguez, C., Pérez-García, E.A., Romero-Romero, M.A. 2012 (en prensa). Edaphic and seasonal heterogeneity of seed banks in agricultural fields of a tropical dry forest region in southern Mexico. *Botanical Sciences* 90 (3):000-000.
- Miranda, F., Hernández-X., E. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28:29-179.
- Naranjo, E.J., Cuarón, A.D. 2010. Uso de la fauna silvestre. En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury, J., Dirzo, R. (eds.). *Diversidad, Amenazas y Áreas Prioritarias para la Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*, pp. 271-283. CONABIO y Fondo de Cultura Económica, México DF, México.
- Ortega del Valle, D., Sánchez-Benítez, G., Solano-Solano, C., Huerta-García, M.A., Meza-Oliva, V., Galindo-Leal, C. 2010. *Áreas de conservación certificadas en el estado de Oaxaca*. WWF, CONANP-SEMARNAP, Oaxaca, México.
- Ortiz-Pérez, M.A., Hernández-Santana, J.R., Figueroa-Mah-Eng, J.M. 2004. Reconocimiento fisiográfico y geomorfológico. En: García-Mendoza, A.J., Ordóñez, M.J., Briones-Salas, M. (eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*, pp. 43-54. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza y WWF, México DF, México.
- Pérez-García, E.A., Meave, J.A. 2004. Heterogeneity of xerophytic vegetation of limestone outcrops in a tropical deciduous forest region. *Plant Ecology* 175:147-163.
- Pérez-García, E.A., Meave, J., Salas-Morales, S.H. 2010a. Nizanda, Oaxaca. En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury, J., Dirzo, R. (eds.). *Diversidad, Amenazas y Áreas Prioritarias para la Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*, pp. 538-542. CONABIO y Fondo de Cultura Económica, México DF, México.
- Pérez-García, E.A., Meave, J.A., Villaseñor, J.L., Gallardo-Cruz, J.A., Lebrija-Trejos, E.E. 2010b. Vegetation heterogeneity and life-strategy diversity in the flora of the heterogeneous landscape of Nizanda, Oaxaca, Mexico. *Folia Geobotanica* 45:143-161.
- Perfecto, I, Vandermeer, J. 2012. Separación o integración para la conservación de biodiversidad: la ideología detrás del debate "land-sharing versus land-sparing". *Ecosistemas* 21(1):180-191.

- Peters, C.M. 2011. Economic botany and management potential of Neotropicsl seasonally dry forests. En: Dirzo, R., Young, H.S., Mooney, H.A., Ceballos, G. (eds.) *Seasonally Dry Tropical Forests. Ecology and Conservation*, pp. 239-257. Island Press, Washington DC, USA.
- Rodrigo-Álvarez, L. 1994. *Geografía General del Estado de Oaxaca*, 2ª ed. Carteles Editores, Oaxaca, México.
- Rodríguez-Contreras, V. 2004. Distribución de las aves en Nizanda, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, México.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México DF, México.
- Salas-Morales, S.H. 2010. La Tuza-Chacahua, Oaxaca. En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury, J., Dirzo, R. (eds.). *Diversidad, Amenazas y Áreas Prioritarias para la Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*, pp. 516-519. CONABIO y Fondo de Cultura Económica, México DF, México.
- Salas-Morales, S.H., Casariego-Madorell, M.A. 2010. Zimatán, Oaxaca. En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury, J., Dirzo, R. (eds.). *Diversidad, Amenazas y Áreas Prioritarias para la Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*, pp. 527-531. CONABIO y Fondo de Cultura Económica, México DF, México.
- Salas-Morales, S.H., Sánchez-Vásquez, A., Schibli, L. 2003. Flora de la costa de Oaxaca, México: lista florística de la región de Zimatán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 72:21-58.
- Salas-Morales, S.H., Schibli, L., Nava-Zafra, A., Saynes-Vásquez, A. 2007. Flora de la costa de Oaxaca, México (2): lista florística comentada del Parque Nacional Huatulco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 81:101-130.
- Sánchez-Cordero, V. 2001. Elevational gradients of diversity for rodents and bats in Oaxaca, México. *Global Ecology and Biogeography* 10:63-76.
- Segura, G., Balvanera, P., Durán, E., Pérez, A. 2003. Tree community structure and stem mortality along a water availability gradient in a Mexican tropical dry forest. *Plant Ecology* 169:259-271.
- Solano-Hernández, L. 1997. Estudio florístico y descripción de la vegetación del municipio de Asunción Cuyotepeji, Distrito de Huajuapán de León, Oaxaca, México. *Polibotánica* 5:37-75.
- Toledo, 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* 92:974-981.
- Torres-Colín, R. 2004. Tipos de vegetación. En: García-Mendoza, A.J., Ordóñez, M.J., Briones-Salas, M. (eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*. pp: 67-85. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza y WWF, México DF, México.
- Trejo, I. 2004. Clima. En: García-Mendoza A.J., Ordóñez, M.J., Briones-Salas, M. (eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*, pp. 67-85. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza y WWF, México DF, México.
- Trejo, I. 2010. Las selvas secas del Pacífico mexicano. En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury, J., Dirzo, R. (eds.). *Diversidad, Amenazas y Áreas Prioritarias para la Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*, pp. 41-51. CONABIO y Fondo de Cultura Económica, México DF, México.
- Trejo-Vázquez, I. 1999. El clima de la selva baja caducifolia en México. *Investigaciones Geográficas* 39:40-52.
- Trejo, I., Dirzo, R. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94:133-142.
- Trejo, I., Dirzo, R. 2002. Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiversity and Conservation* 11:2063-2084.
- Velázquez, A., Durán, E., Ramírez, I., Mas, J-F., Bocco, G., Ramírez, G., Palacio, J.L. 2003. Land use-cover change

processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* 13:175-184.

Villaseñor, J.L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliphyta en México. *Interciencia* 28:160-167.

Wilshusen, P.R., Raleigh, L., Russell, V.A. 2002. By, for and of the people: the development of two community-managed protected areas in Oaxaca, Mexico. *Journal of Forestry* 15:113-126.