

# Situación actual, fragmentación, áreas prioritarias de conservación y principales amenazas del bosque mesófilo de Chiapas

Navarrete, Dario<sup>1</sup>; Méndez, Delfino<sup>1</sup>  
Flamenco, Alejandro<sup>1</sup> y Patrocinio Alba<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Análisis de Información Geográfica y Estadística (LAIGE).

El Colegio de la Frontera Sur.

<sup>2</sup>Centro Pronatura de Información para la Conservación (CPIC).

Pronatura Chiapas A.C.

## Introducción

El bosque mesófilo de montaña (BMM) se presenta a lo largo de las cadenas montañosas de Los Andes, Mesoamérica y El Caribe y se caracteriza por la presencia de nubosidad. Este tipo de ecosistema se encuentra por arriba de los 1000 msnm y ocupa una superficie de 48 millones de hectáreas de las cuales aproximadamente el 50% se encuentran en América Latina. Las extensiones más importantes están distribuidas en la región mesoamericana que incluye a México, Guatemala, Nicaragua y Honduras; y en la región Sudamericana que incluye a Perú, Colombia, Bolivia, Venezuela y Argentina. Sin embargo del total de su extensión en el Continente Americano (aproximadamente 596478 km<sup>2</sup>) únicamente el 36.1% se encuentra en áreas con

algún estatus de conservación (Brown y Kappelle, 2000; tabla 1), por lo que es uno de los ecosistemas más amenazados en Latinoamérica.

Tabla 1. Superficie de los BMM en América Latina y superficie sujeta a protección por país (Modificada de Brown y Kappelle, 2000)

	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Superficie protegida (ha)</b>	<b>Porcentaje de superficie protegida</b>
México	800000	183000	22.9
Guatemala	50000	20000	40.0
Honduras	417600	103200	24.7
Nicaragua	551000	510000	92.6
Costarrica	1 075700	648900	60.3
Panamá	2 265500	566400	25.0
Venezuela		9 100000	
Colombia	33 288000	4 770000	14.3
Ecuador	11 200000	144700	1.3
Perú		2 355500	
Bolivia	6 000000	2 900000	48.3
Argentina	4 000000	243000	6.075
Total	59 647 800	21 544700	36.12

Para nuestro país, las comunidades arbóreas que conforman el BMM se distribuyen principalmente en zonas montañosas entre los 400 y los 2800 msnm. Sin embargo, debido a la fragmentación, cambio de uso de suelo, incendios forestales y en épocas recientes eventos climatológicos extraordinarios, este ecosistema se encuentra restringido a áreas entre los 1100 y los 1500 msnm, en laderas escarpadas y fondos de cañadas de poca insolación y vientos leves (Ortega y Castillo, 1996). El dosel tiene una altura promedio desde 12 hasta 18 m; más baja que la del bosque tropical lluvioso y en comparación con éste último, se ubica por lo general, en un piso altitudinal más alto. La mayor parte de las especies de árboles y arbustos del BMM presentan hojas esclerófilas y abundancia de epífitas. En el piso forestal, los suelos son húmedos con alto contenido de materia orgánica y humus tipo *mor*.

Debido a su antiguo origen y a su aislamiento geológico, cuentan con muchas especies paleoendémicas y varias especies endémicas de evolución vicariante más reciente. De igual manera, presentan una composición y estructura características que son el resultado de la migración y mezcla a gran escala de las floras holártica y neotropical en el pasado geológico, de modo que en el dosel suelen dominar especies caducifolias de climas templados y en el sotobosque prevalecen las especies tropicales perennifolias (Challenger, 1998; Luna *et al.*, 2000).

Este ecosistema se considera de un alto valor de diversidad biológica (comparable con las selvas tropicales), siendo una importante fuente captadora de agua, en principio por la escorrentía de ríos y arroyos superficiales; además de la nubosidad que se presenta ya sea por eventos climáticos de gran escala o factores orográficos.

En México, este tipo de vegetación es heterogéneo en su fisonomía y composición florística. Las diferentes comunidades vegetales que lo componen representan el 10% de la riqueza florística del país en tan solo el 1% de la superficie nacional, siendo considerado por lo anterior como el ecosistema más diverso por unidad de superficie, en el cual se estima una riqueza fanerogámica de aproximadamente 3000 especies, de las cuales el 30% son endémicas al país; para los vertebrados se estiman 450 especies que también se distribuyen en bosques de coníferas y selvas medianas (Rzedowski, 1992; Luna *et al.*, 2001; Acosta, 2004); sin embargo, es también uno de los más amenazados por las actividades humanas.

Importantes extensiones de este bosque han sido desmontadas con fines agrícolas (Brown y Kappelle, 2000; Bautista *et al.*, 2003). En general, para el país y en particular para algunos estados de la República Mexicana, el conocimiento del BMM es insuficiente (Acosta, 1997). Su distribución es dispersa y fragmentada, en enclaves ecológicos de la Sierra Madre Occidental, desde Sinaloa hasta Michoacán; para la región de la Sierra Madre Oriental se tienen áreas desde Tamaulipas hasta el Centro de Veracruz; para la región sur en la Sierra Madre del Sur en Guerrero y Oaxaca; en la Sierra Norte de Oaxaca, la Sierra Madre de Chiapas y otras regiones del mismo estado. Aparte de estas áreas, existen remanentes de este bosque en las pendientes meridionales de sotavento en algunas de las montañas más altas del eje neovolcánico

transversal con clima tropical de la Depresión del Balsas (Challenger, 1998; Luna *et al.*, 2000).

Hasta 1993, se consideraba una superficie aproximada de 14119 km<sup>2</sup> para el BMM (SARH, 1994). Sin embargo, datos más actuales como el Inventario Nacional Forestal (INF) del año 2000, proporcionó un estudio a gran escala para el país representando los tipos de vegetación de México. En este trabajo se estimó una superficie de 17356 km<sup>2</sup> (0.89 %) para el BMM; 3,237 km<sup>2</sup> más que los datos de 1993. No obstante, y a pesar de los datos obtenidos en el INF, se estima que la pérdida de este tipo de bosque ha sido de más de la mitad.

La deforestación y la fragmentación son los principales factores que han influido en la pérdida del BMM en el país. La persistencia de este tipo de bosque depende de un microclima que es mantenido por el mismo bosque y que al ser talado, frecuentemente es sustituido por bosques de pino. La explotación intensiva del BMM en México es un fenómeno reciente que inició después de la conquista y como resultado de esto, el cambio que se ha dado ha sido hacia áreas urbanas; la tala de árboles para la obtención de madera, la producción de pulpa de papel o su utilización como combustible y la producción de café, maíz y monocultivos de frutales; así como la introducción de pastizales para el ganado (ganadería extensiva) son las principales actividades humanas que influyen en su transformación (Dirzo y García 1992; Challenger, 1998).

## El bosque mesófilo de montaña en Chiapas

Al estado de Chiapas le corresponde la segunda mayor extensión de este tipo de vegetación en el país (27526 has) precedido únicamente por Oaxaca con 35217 has (Ortega y Castillo, 1996). En las Montañas del Norte (MN), La Altiplanicie Central (AC) en las regiones de Tila-La Yerbabuena, Rayón-Coapilla y Tapalapa y en las Montañas de la Sierra Madre (SM), como El Triunfo y La Sepultura, este tipo de vegetación está bien representado. En estas regiones con clima templado y precipitaciones anuales entre 2000 y 4000 mm, temperaturas medias anuales de alrededor de 18° C y altitudes entre 1300 y 2550 msnm, el BMM ocupa cañadas y laderas protegidas (Breedlove, 1981).

El BMM se encuentra sujeto a una acelerada fragmentación debido a las actividades agropecuarias como son: café tecnificado, roza-tumba-quema, ganadería extensiva, incendios forestales y extracción ilegal de madera. A pesar de lo anterior, se desconoce la situación actual del BMM para el estado; trabajos anteriores (Brown *et al.*, 1981; Bubb, 1991; González-Espinosa, 1991; y más recientemente Cayuela y Colaboradores 2006) han proporcionado la base para la cartografía y el conocimiento florístico de algunas áreas en el estado.

### Deforestación en áreas naturales con bosque mesófilo y fragmentación en áreas establecidas como reservas

La situación del BMM al igual que otros tipos de ecosistemas en México es preocupante; cerca del 50% de la cobertura de este tipo de bosque se ha desmontado y la tendencia continúa (Challenger, 1998; Luna *et al.* 2001). Es de llamar la atención que, a pesar de su importancia ecológica proporcionada por la captación de agua, biodiversidad y recursos maderables y no maderables, el BMM cuenta con menos del 3% de su superficie con algún estatus de conservación.

Muchas de las áreas naturales que protegen este importante ecosistema están siendo propuestas para ser consideradas con algún estatus de conservación (Challenger, 1998). En este sentido, algunas de las Áreas Naturales Protegidas del país son necesarias para el mantenimiento de la biodiversidad nativa. Un ejemplo es la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas, en donde la conservación depende de los fragmentos más extensos de vegetación primaria y se considera que detener la tala es crucial. La reserva incluye tres zonas núcleo que suman cerca de 30,000 hectáreas que protegen a los remanentes de selva húmeda y bosque de niebla o 'mesófilo de montaña' (*sensu* Rzedowski, 1978) más extensos y mejor conservados de la región (Guevara *et al.*, 2005).

Otra área natural es la Reserva de la Biosfera El Cielo, la cual comprende características singulares, ya que se ubica principalmente en una zona de transición entre selvas y bosques de encino-pino-Liquidambar y Abies, la cual representa únicamente el 0.72% de su superficie (16367 hectáreas), (Valdez-Taméz *et al.*, 2003). Por otro lado, la región

conocida como Sierra de Manantlán, en el estado de Jalisco, incluye la Reserva de la Biosfera que alberga dentro de su superficie decretada este tipo de vegetación y aunque ocupa la menor extensión es de gran interés por las características antes mencionadas. Las principales presiones en esta Área Natural Protegida son la erosión por prácticas de labranza deficientes, problemas de tenencia y deslinde de la tierra, tala clandestina y extracción de tierra de monte para uso en jardinería (INE, 2000). La Sierra Gorda en Querétaro, otra de las áreas importantes, posee aproximadamente 10,000 hectáreas y la presión sobre este tipo de vegetación recae en la deforestación, manejo de residuos sólidos y la tala clandestina, entre otros.

En Chiapas, la tendencia es la misma, a pesar de tener en su territorio una de las áreas naturales con la mayor extensión de este tipo de vegetación por ejemplo. Reserva de la Biosfera El Triunfo, que posee una extensión de 100,000 has, que protege una de las mayores superficies de bosque de niebla de México y en donde habitan, además, el Quetzal (*Pharomachros moccino*) y el Pavón (*Oreophasis derbianus*), los cuales son aves endémica de Chiapas y Guatemala (Ávila, 1998; Solórzano *et al.*, 2003).

Para aquellas áreas del país y del estado que no presentan un mecanismo de protección ya sea municipal, estatal o federal, la situación es más crítica. En Chiapas, la zona norte del estado cuenta aún con fragmentos de BMM, pero debido a lo pequeño de su superficie, prácticamente han desaparecido o bien se han transformado totalmente en cuanto a su estructura.

## Método

En Chiapas, la distribución de BMM ocurre en seis de las siete regiones fisiográficas que componen el estado (Müllerried, 1982; figura 1 y 2). La extensión de estos bosques se ha reducido notablemente durante las últimas décadas y tanto los patrones de cambio como la intensidad con la que se han transformado, varían de una región a otra. En este contexto, evaluamos la transformación del BMM considerando las regiones fisiográficas en donde se distribuyen.

Figura 1. Distribución de BMM durante la década de los setenta. Se muestra además la cobertura de las imágenes de satélite Landsat utilizadas para elaborar la cartografía de los BMM del estado de Chiapas. Las claves dentro de los límites de cada imagen corresponden a la columna de barrido (*path*) y a la línea (*row*) del Sistema Mundial de Referencia del sistema LANDSAT (WRS2 por sus siglas en inglés).

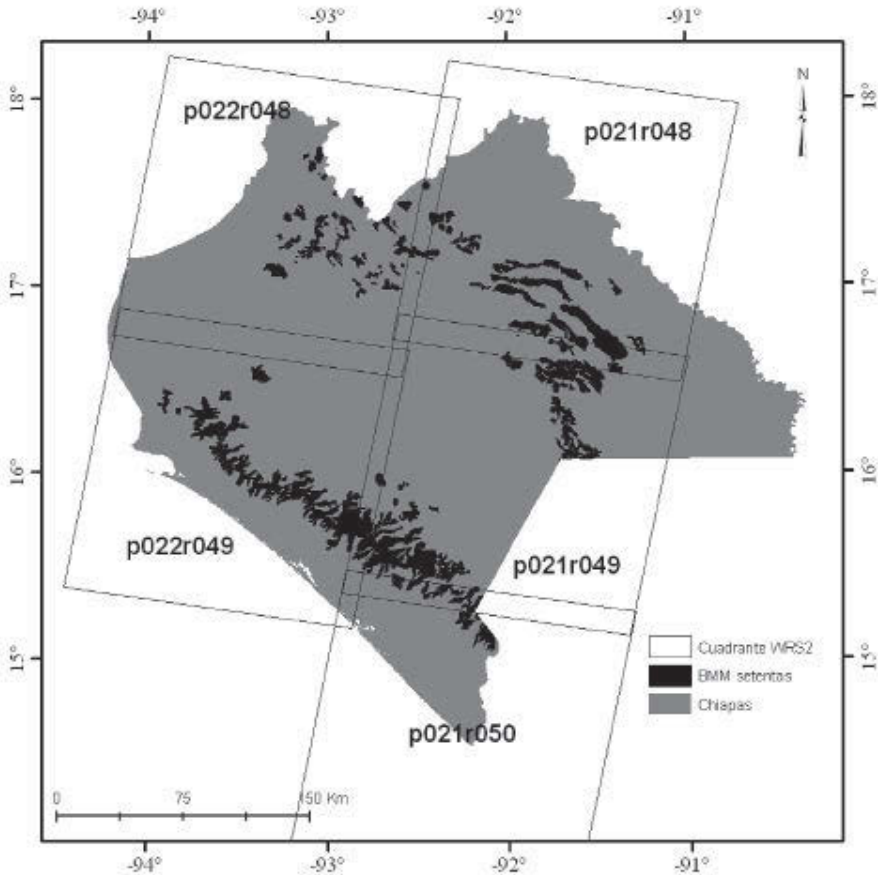
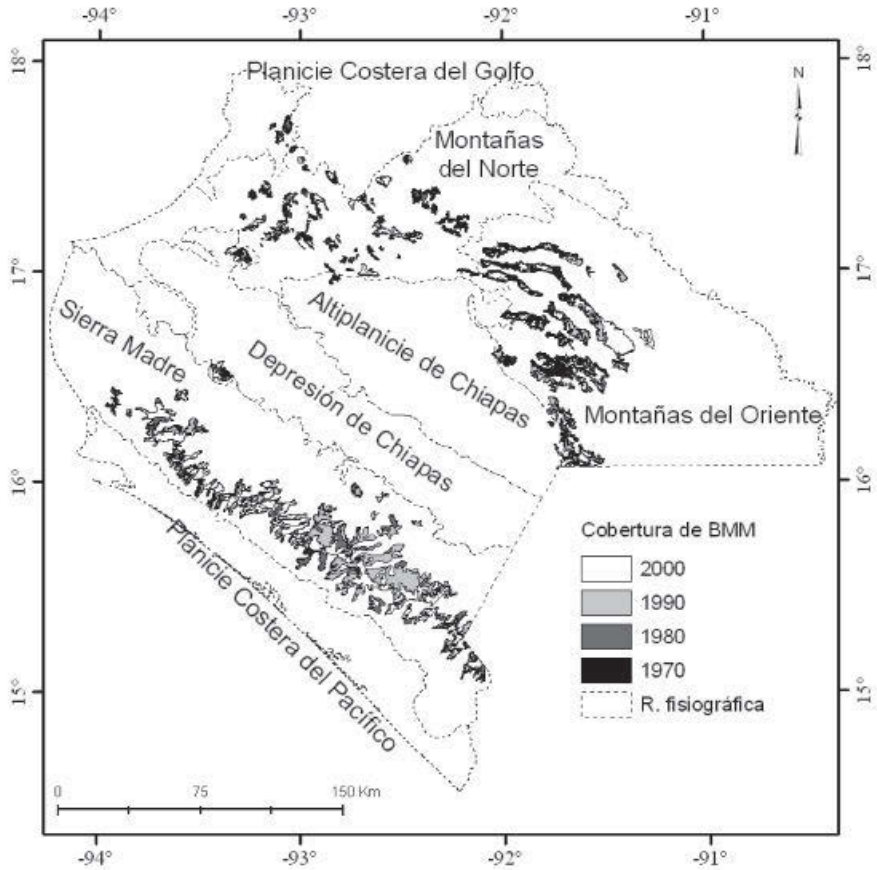


Figura 2. Distribución del BMM en Chiapas desde la década de los setenta hasta el año 2000. Se mencionan las siete regiones fisiográficas que componen el estado de Chiapas. Los polígonos negros representan la cobertura de BMM durante la década de los setentas; en gris claro la cobertura que aún existía en la década de los ochentas; en gris oscuro los remanentes para la década de los noventa; y con polígonos blancos la superficie de bosque que existía para el 2000



Debido a que se ha documentado que los procesos de deforestación varían de acuerdo con la época analizada (Dirzo y García, 1992; March y Flamenco, 1996; Velásquez *et al.*, 2003; Flamenco *et al.*, 2007) y con el propósito de evaluar los cambios que han ocurrido sobre la extensión



del BMM en Chiapas, decidimos realizar un análisis multitemporal que comprendiera la distribución de este tipo de vegetación sobre el territorio estatal en el intervalo de tiempo más amplio que fuera posible; considerando además, distintas etapas intermedias.

## Información de base

El presente trabajo utilizó como línea base la cartografía de uso y vegetación Serie I, elaborada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la cual incluía la distribución de los BMM. Adicionalmente, se utilizaron como fuentes auxiliares de información datos de otras cartografías, como la Serie II del INEGI, el INF de 2000 (Palacio *et al.*, 2000) y a partir de publicaciones anteriores y recientes (Bubb, 1991; Cayuela *et al.*, 2006).

La cartografía de la serie I del INEGI está elaborada a partir de una serie de mapas con un cubrimiento para todo el país en hojas escala 1:250 000. En esta serie, Chiapas esta cubierto por diez cartas (E15-07, E15-08, E15-09, E15-10-D15-01, E15-11, E15-12-D15-03, D15-02 y D15-05), que fueron elaboradas a partir de fotografías aéreas pancromáticas en blanco y negro de diferentes escalas (1:50000; 1:75000 y 1:80000) y fechas (1972, 1973, 1974, 1979, 1980).

Posteriormente se elaboró por parte del INEGI la carta de vegetación y uso del Suelo serie II, utilizando para este proceso imágenes de satélite de 1993 rodalizadas en escala 1:250000 por medio de interpretación visual de espaciomaps en formato analógico de 1993, verificación de campo, recopilación bibliográfica sobre la distribución geográfica y características florísticas de la vegetación (Vázquez Sánchez, 2005). La cartografía elaborada fue un acercamiento a partir de fotografías aéreas extrapoladas a la cartografía temática de INEGI en escala 1:50,000. Este acercamiento es bueno y da la pauta para poder elaborar aproximaciones más exactas de lo que esta ocurriendo en este tipo de vegetación.

La cartografía del año 2000 fue elaborada por el Instituto de Geografía de la UNAM y personal de INEGI a solicitud de la SEMARNAP empleándose tecnología de vanguardia, imágenes de satélite y sistemas de

información geográfica, para mapear el territorio nacional. Las imágenes de satélite utilizadas fueron las Landsat ETM (Enhanced Thematic Mapper) de los años 1999 y 2000 (Palacio-Prieto *et al.*, 2000).

Con el propósito de llevar a cabo el análisis multitemporal, fue necesario elaborar nuevos mapas de distribución de los macizos de BMM para Chiapas. El proceso se basó en una interpretación visual de imágenes de satélite Landsat que comprendieron un periodo de 26 años período desde 1974 hasta 2000. Se optó por este método porque cualquier otro implicaba variaciones en las interpretaciones posibles de fuentes secundarias como la cartografía temática del INEGI o los inventarios forestales nacionales. Adicionalmente, no fue posible conseguir información más antigua que la relativa a la década de los setentas.

La obtención de las imágenes de satélite para las diferentes décadas fue a partir del proyecto *Global Land Cover Facility (GLCF)* y algunas más del Laboratorio de Análisis de Información Geográfica y Estadística (LAIGE) de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Para la década de los setenta utilizamos imágenes de la serie Landsat MSS, Landsat TM para las de la década de los ochenta y noventa, para la década correspondiente al de 2000 se utilizaron imágenes Landsat TM y Landsat ETM. Con el insumo de esta información, se realizó un análisis de pérdida de vegetación primaria de este tipo de bosques.

A partir de la información referida, se obtuvo un primer acercamiento a las poligonales de los BMM en el estado para posteriormente construir cuatro mapas, uno para cada una de las décadas analizadas (70, 80, 90 y 2000).

Para elaborar el primer mapa (década de los setenta) se tomaron como base los rodales de las cartas de uso del suelo y vegetación del INEGI en lo que se ha denominado Serie I. Dichos rodales habían sido digitalizados anteriormente en el LAIGE de ECOSUR a partir de cartas impresas en escala 1:250 000 utilizando un programa para el manejo de sistemas de información geográfica (SIG), específicamente el programa ArcInfo 3.4. Estos polígonos se sobrepusieron a compuestos de falso color (RGB 4,2,1) para cada una de las 5 imágenes que cubren el estado de Chiapas, según el Sistema Mundial de Referencia 2 (WRS 2 por sus siglas en inglés) del sistema Landsat y se modificaron utilizando el programa ArcGis 8.3.

Las escenas utilizadas, incluyendo la cobertura utilizada de las pertenecientes a la serie MSS y su índice de ubicación correspondiente al Sistema Mundial de Referencia 2 (WRS 2 por sus siglas en inglés) se presentan en la figura 1. Estas imágenes MSS fueron remuestreadas en el proyecto *GLCF* para lograr un tamaño de píxel de 60 m<sup>2</sup> con el propósito de hacerlas compatibles con el resto de las imágenes de la serie Landsat.

Los polígonos de los BMM sobrepuestos se ajustaron de manera visual con respecto a los macizos forestales que podían distinguirse en los compuestos de falso color de las imágenes, aprovechando la mayor escala de trabajo que se podía conseguir con dicho insumo.

Para separar selvas y otros tipos de vegetación de los BMM utilizamos un modelo digital de elevación, asignando una altitud mayor a los 1500 msnm para la distribución de estos últimos (Bubb, 1991; Cayuela *et al.*, 2006).

Una vez realizados los ajustes necesarios y la adición de los polígonos o rasgos que no fueron considerados en las cartas de INEGI, se contó con el primer mapa de cobertura, que en adelante será referido como mapa 1970 y cuyos polígonos se muestran en la figura 1. Este mapa fue transferido a las imágenes de 1980 y sus segmentos modificados en el SIG con base en los compuestos de falso color RGB 4, 3, 2 o RGB 4, 7, 5, dependiendo de las condiciones de bruma que existiera en las imágenes Landsat correspondientes. Este proceso de actualización de arcos (ver Flamenco *et al.*, 2007) evita la comisión de errores de posición por la ubicación de los segmentos que conforman los polígonos y busca que las modificaciones ocurridas entre la fecha anterior y la actual se reflejen con fidelidad. El producto de esta actualización fue el mapa 1980. El mapa resultante a su vez fue utilizado como base para realizar la actualización de la cartografía de BMM para 1990 y este sirvió de base para elaborar el mapa 2000 (figura 2).

Usando un procedimiento de superposición de mapas, a cada rasgo de cada fecha se le asignó la ubicación correspondiente en las regiones fisiográficas que componen el estado (Müllerried, 1982). El mismo SIG nos permitió calcular el área de los diferentes rodales de BMM para cada una de las fechas consideradas en el análisis.

## Análisis de cambio

Para evaluar el cambio entre décadas (1970-1980, 1980-1990, 1990-2000) se tuvieron que elegir fechas específicas que representaran un valor intermedio con respecto a las fechas de las imágenes analizadas para la década correspondiente. Para la década de los setentas se utilizó el año 1974; para la década de los ochentas, 1986; para la década de los noventas, 1995; y 2000 fue el último año analizado. Estos valores se eligieron con el propósito de obtener cifras conservadoras, procurando evitar fechas extremas.

El análisis de cambio se basó en la estimación de las tasas de deforestación observadas entre las diferentes fechas analizadas. Para estimarlas se utilizó la fórmula propuesta por la FAO (1996) y que ha sido utilizada en otros trabajos (Dirzo y García, 1992; Mendoza y Dirzo, 1999):

$$TD = 1 - \left( 1 - \left( \frac{A_1 - A_2}{A_1} \right) \right)^{\frac{1}{t}} \times 100$$

En donde TD es la tasa de deforestación (porcentaje de área perdida/año);  $A_1$  y  $A_2$  son el área forestal inicial y final, respectivamente; y  $t$  es el intervalo de tiempo en años durante el cual ocurrió el cambio. En este estudio la tasa calculada para el primer período comprendió 12 años (1974-1986), mientras que el segundo nueve (1986-1995) y el tercero cinco (1995-2000).

Además de calcular la tasa de deforestación de los BMM del estado en cada uno de los tres períodos, se hizo el mismo análisis para cada una de las regiones fisiográficas que han incluido este tipo de vegetación. Usando un análisis de varianza de medidas repetidas para determinar la diferencia entre décadas y regiones.

## Resultados

La superficie del BMM en el estado ha disminuido drásticamente con el paso del tiempo pero con diferente intensidad, dependiendo la re-

gión fisiográfica de la que se trate. En un contexto general, la tasa de deforestación ha variado considerablemente dependiendo del lapso de tiempo considerado en el análisis. La tasa de deforestación en Chiapas para este tipo de vegetación fue de 2.7% anual entre 1974 y 1986 disminuyendo en el siguiente periodo (2.1%). Sin embargo para el último periodo de tiempo (desde 1995 hasta 2000), la tasa de deforestación sufrió un incremento de 8.5% en comparación con el periodo inicial (tabla 2)

### Diferencias temporales y espaciales en los patrones de deforestación

Con base en los resultados, se puede señalar que el proceso de cambio de uso del suelo fue diferencial con respecto a la región fisiográfica y a la época en que ocurrió, esto se puede apreciar al revisar las variaciones en las tasas de deforestación para las diferentes regiones (tabla 2; figuras 3 y 4).

Tabla 2. Tasas de deforestación obtenidas a partir del análisis multitemporal para los BMM por región fisiográfica del estado de Chiapas, México.

Región fisiográfica	Tasas de deforestación		
	1974-1986	1986-1995	1995-2000
Planicie Costera del Golfo (PCG)	4.8	10.7	-
Depresión Central (DC)	4.1	3.5	2.6
Altiplanicie Central (AC)	1.3	4.9	6.4
Montañas del Norte (MN)	6.5	1.6	5.0
Montañas del Oriente (MO)	3.6	2.5	10.8
Sierra Madre (SM)	1.1	1.8	12.9
Tasa global	2.7	2.1	11.2

Figura 3. Superficie en hectáreas de Bosque Mesófilo de Montaña para cada una de las regiones fisiográficas considerando la fecha en el estado de Chiapas

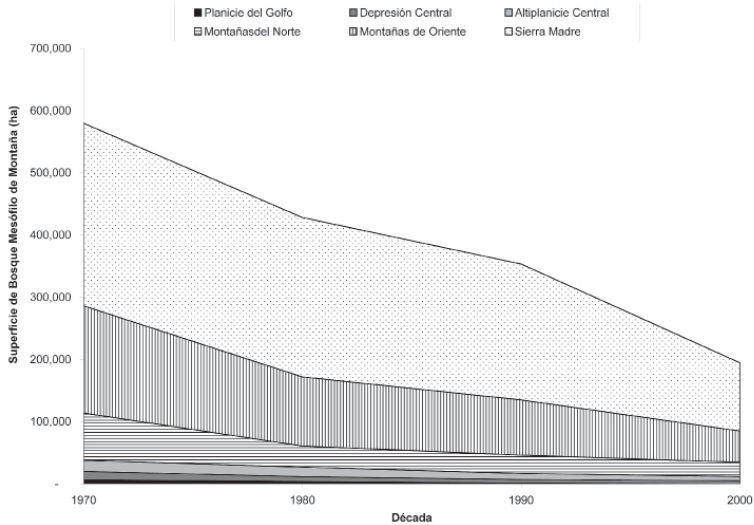
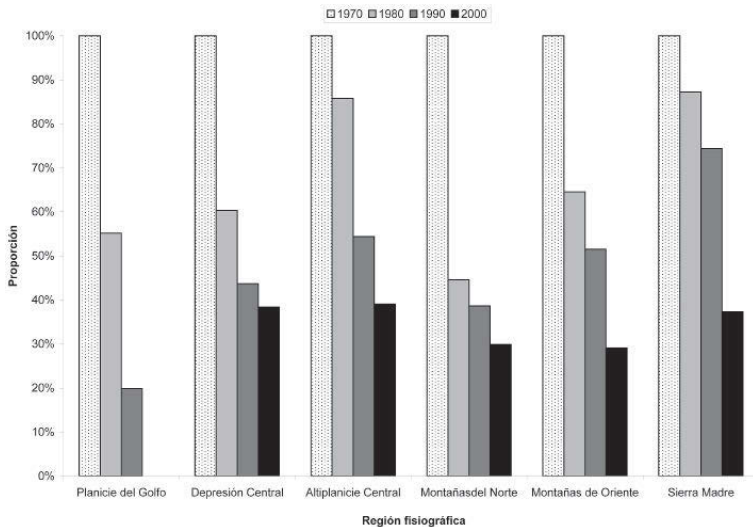


Figura 4. . Proporción de BMM para el estado de Chiapas por región fisiográfica para cada década analizada. El 100% corresponde al área cubierta por BMM durante la década de los setentas



Todas las regiones que en 1970 presentaban BMM en buen estado de conservación vieron disminuir esa superficie; tres de ellas experimentaron los cambios más drásticos (figura 3). En las Montañas del Norte (MN), durante la década de los 70 existían 76051 hectáreas, es decir, el 13.1 % de los BMM del estado; para el año 2000 únicamente quedaba el 3.9 % (aproximadamente 22771 hectáreas).

Por su parte, el área que contenía la mayor extensión de BMM, la Sierra Madre de Chiapas (SM) ha presentado la mayor pérdida de superficie, pasando de 293657 hectáreas (50.5% del total de los BMM en los setenta) a 109607 hectáreas (18.8%) en un periodo de 26 años, y representa junto a las Montañas de Oriente (MO) el porcentaje en la tasa anual de deforestación más alta (12.9 y 10.8% respectivamente; figura 3, tabla 2). Es de llamar la atención que para tres de las cuatro regiones: Depresión Central (DC), MN y MO, las tasas de deforestación anuales disminuyeron en el segundo periodo volviéndose a incrementar durante el tercero. Esto fue completamente diferente a lo ocurrido en la Altiplanicie Central (AC) en donde la tasa de deforestación siempre se incrementó (tabla 2).

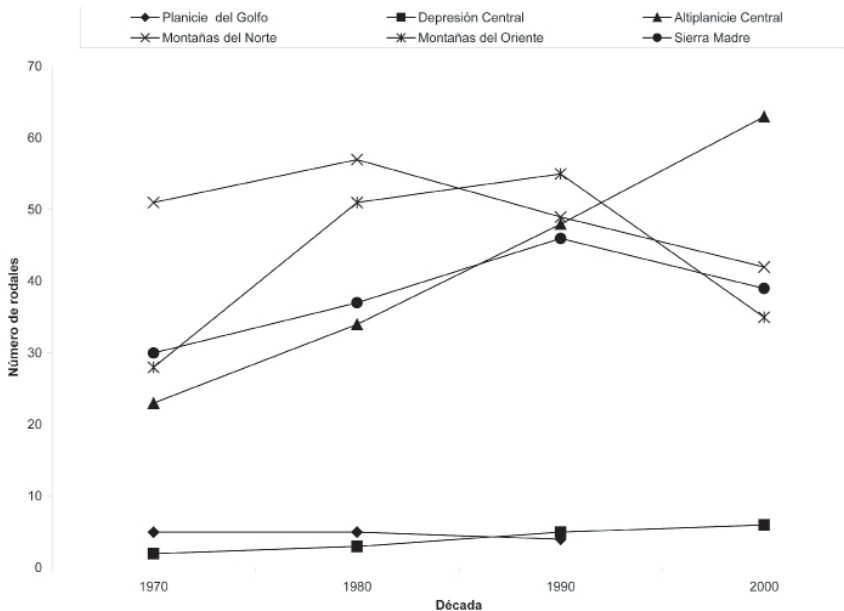
## Fragmentación de los BMM

Los procesos de fragmentación asociados a la deforestación en el estado también han mostrado comportamientos distintos, dependiendo de la época y la región examinada. El análisis de varianza mostró que existen diferencias en la pérdida de superficie entre décadas ( $F_{3,15} = 8.6$ ;  $P < 0.001$ ) y entre regiones ( $F_{4,15} = 7.4$ ;  $P < 0.001$ ).

La relación entre el número de manchones o parches de BMM que existían en cada fecha considerada (figura 5) nos ayuda a identificar tres patrones diferentes: (i) Se presenta en las MO, las MN y la SM. En este caso hubo un incremento en el número de parches de BMM, seguido por un decremento que aunque varió entre décadas, fue más intenso en la última. (ii) Observado en la AC y en la DC. En ambos casos hubo un incremento sostenido en el número de parches remanentes, aunque en el caso de la AC este aumento es mucho mayor que en la DC,

esto se relaciona con el número de parches que existían en un principio. Con base en el patrón observado en las regiones antes analizadas, se puede esperar que en algún momento la tendencia cambie y haya un decremento en el número de fragmentos. El hecho de que exista un incremento en el número de parches no significa un aumento en la superficie de BMM; (iii) Finalmente, la Planicie del Golfo (PG) presentó un patrón de decremento continuo. Los parches que conformaban los BMM en esta región terminaron por desaparecer para la década de los noventas (Figura 6b).

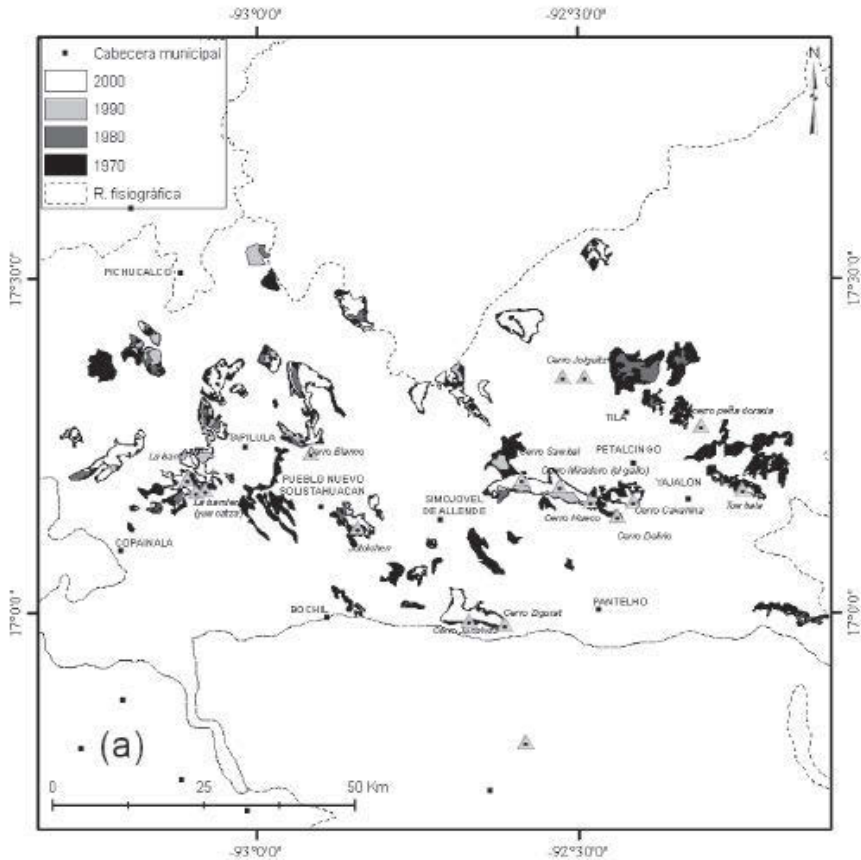
Figura 5. Número de parches de BMM por década para cada una de las regiones fisiográficas

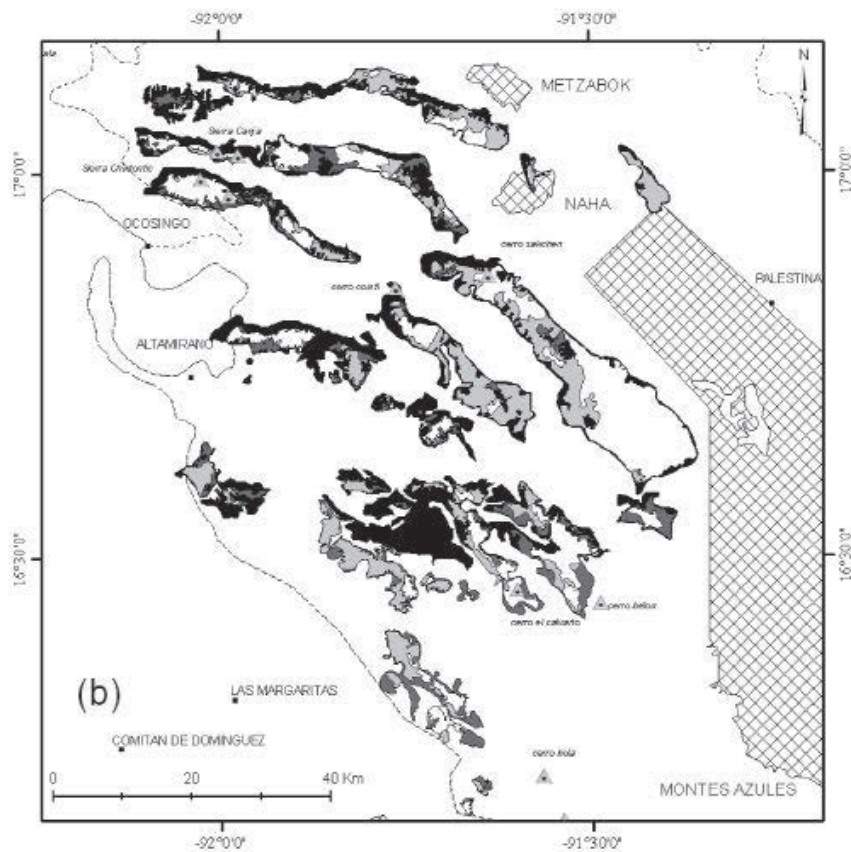


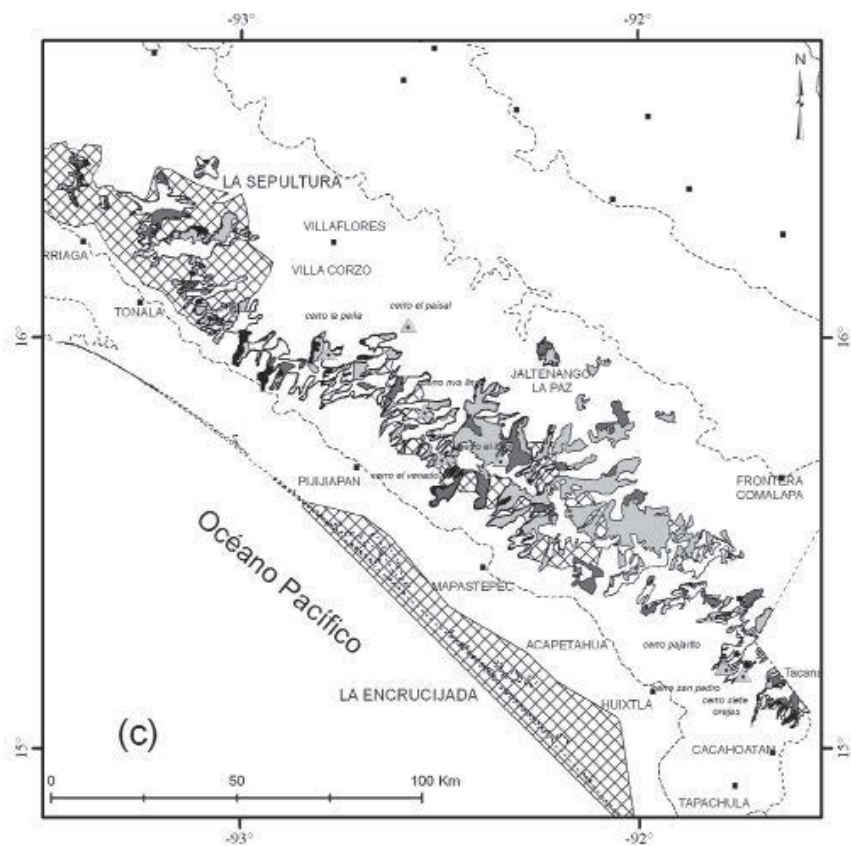


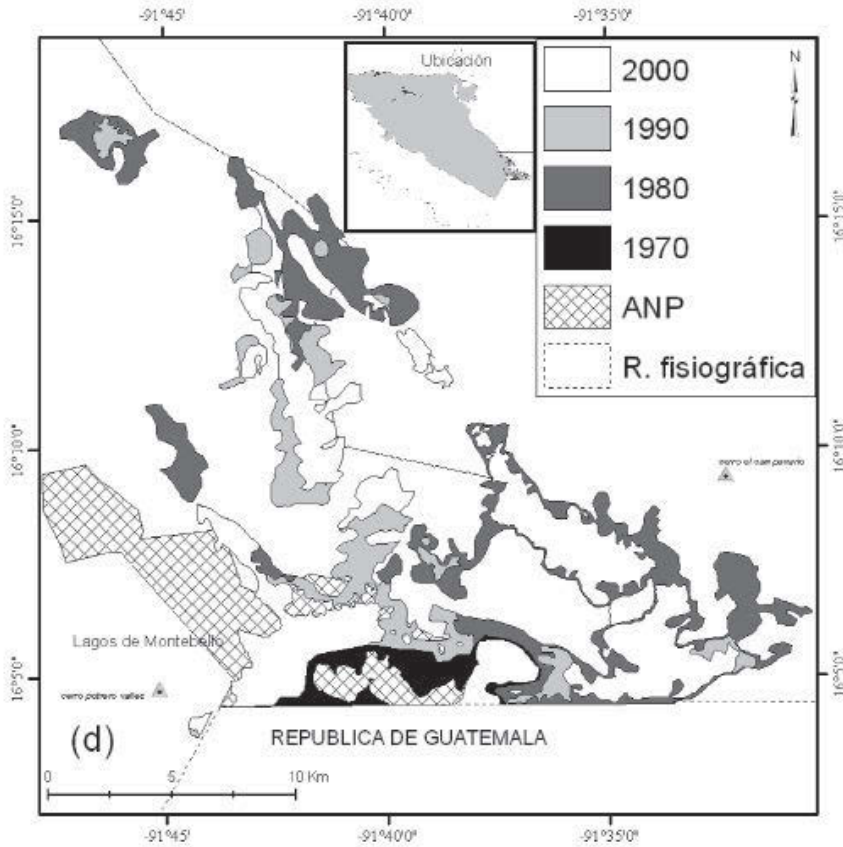
Considerando la proporción de BMM por provincia fisiográfica, la (PG) y las MN mostraron el principal decremento en la década de los ochentas (figura 4). Sin embargo, en la primera región, esta situación persistió en el siguiente periodo, desapareciendo por completo para el año 2000 (figuras 4 y 6). Esta región fue la que presentó menor proporción de BMM con respecto a su superficie, comprendiendo sólo el 3% en la década de los setenta y desapareciendo completamente para 2000. La cobertura de BMM en la DC fue mínima (figura 6), reduciéndose del 1.3 al 0.5% de su superficie. En esta última región, después de una pérdida importante entre la primera y segunda década, la velocidad de deforestación disminuyó de manera considerable (figura 4). La AC y la SM mostraron una pérdida menos drástica que la experimentada por el resto de las regiones; durante el tránsito de la primera a la segunda década. La AC registró en la década de los noventa un fuerte incremento en la tasa de pérdida, dinámica que no experimentó la SM. Esta última mantuvo tasas bajas de deforestación (1 y 1.8% anual respectivamente), hasta la última década, en que se registró la tasa de deforestación más alta de todas las registradas en este estudio. Este cambio drástico puede identificarse claramente en la figura 4, pero también en la forma en que los manchones de BMM se distribuían en la figura 6. Las MN se vieron afectadas desde el principio, experimentando una pérdida del 55% al pasar a la década de los ochentas (figura 4), registrando la tasa más alta de ese periodo (6.5% anual).

Figura 6. Distribución de los BMM en las regiones fisiográficas Montañas del Norte (a), Montañas de Oriente (b), Sierra Madre (c) y en la porción sureste de la Altiplanicie de Chiapas (d). Las áreas negras representan BMM que perduró hasta la década de los setenta, pero ya no existía en la de los ochenta; las áreas en gris claro son aquellos bosques que aún existían en la década de los ochenta; las áreas en gris oscuro representan las áreas en que el bosque se mantuvo hasta la década de los noventa; finalmente, los polígonos blancos representan aquellos manchones que aún mantenían bosque en el año 2000.









## Discusión

Nuestros datos aportan información relevante acerca de lo que ha sucedido con este tipo de vegetación durante tres décadas. Con base en nuestros resultados, la tasa de deforestación es por mucho una de las más altas para cualquier tipo de vegetación en el país, en la región y en el estado y a su vez la más alta reportada hasta el momento para el BMM (Velázquez *et al.* 2002; 2003).

Hasta este trabajo, la deforestación paulatina del BMM en Chiapas había sido determinada en tasas de cambio entre 3.3 y 6.8 % anual (Solórzano *et al.*, 2003). Sin embargo, este trabajo se basó en los BMM

con presencia verificada para el quetzal (*Pharomachrus mocinno*) y no se incluyeron aquellos bosques sin incidencia de la especie. Dichas áreas corresponden a zonas de transición entre el BMM y las selvas medianas perennifolias.

## Tasas de deforestación del BMM en relación a otros tipos de vegetación

Considerando las tasas de deforestación obtenidas para el BMM en Chiapas, consideramos que sigue los mismos patrones para este tipo de vegetación que otras regiones del país en donde se han registrado tasas de deforestación de 10.1% en un periodo de tiempo de diez años (Mas *et al.* 1996). Sin embargo, algunas tasas de deforestación obtenidas en este trabajo son más altas que las registradas para otros tipos de vegetación tanto en el estado, como en el país. En comparación, para la Selva Lacandona (constituida por selvas altas perennifolias) se ha estimado una tasa de deforestación de 8.1% anual (Mendoza y Dirzo, 1999), para la región de los Tuxtlas, Veracruz del 4.2% anual en un periodo de nueve años (Dirzo y García, 1992). Para otro tipo de vegetación, la región noroeste de Chiapas (donde se presentan macizos de selvas y bosques de pino en buen estado de conservación), registra tasas de deforestación de hasta 6.8% anuales entre 1995 y 2000. Cabe mencionar que al separar de los análisis las selvas inmersas en el Área Natural Protegida Reserva de la Biosfera El Ocote, la tasa se incrementó al 12.4% anual (Flamenco *et al.*, 2007).

Las tasas de deforestación obtenidas en este estudio son más comparables a las observadas en áreas con selvas bajas caducifolias (consideradas como la formación vegetal más amenazada) con una tasa de deforestación del 10.4% (Mas *et al.*, 1996).

Las áreas del estado que han tenido el mayor grado de fragmentación son la SM y MO, que a pesar de la implementación de acciones encaminadas a su protección como la creación de reservas, el proceso de cambio en el uso de suelo, aunque se ha retardado nuestros datos demuestran que se han incrementado en la última década.

## Situación actual en las diferentes regiones del estado

Considerando la amplia cobertura que estos bosques representan, así como la heterogeneidad físico-ambiental que posee en el estado, la distribución espacial y temporal de los macizos de BMM aún en buen estado de conservación, está determinada por patrones diferenciables. En la figura 6, se muestran acercamientos de cuatro de las regiones fisiográficas con mayor cobertura de BMM. En cada mapa se puede distinguir la distribución de los manchones de BMM para cada una de las décadas analizadas. En color negro se presentan aquellas zonas cubiertas por BMM para la década de los setentas y que no perduraron en la de los ochentas. En color gris claro se indican aquellos que si lo lograron, pero no llegaron a la de los noventas. En gris oscuro se señalan aquellos que lograron alcanzar la década de los noventas y con polígonos blancos se muestra la distribución de los bosques que existían para el 2000.

Para cada una de las regiones se pueden identificar diferentes patrones de cambio. En el caso de las MN resalta la desaparición temprana de varios manchones al este de la región. Al suroeste y este de Pichucalco, se pueden identificar también polígonos negros que indican que ahí dejaron de existir los BM al terminar la década de los setentas. Por otra parte, al noroeste de Tila y del Cerro Jolguitz, existe un macizo que denota poca transformación a lo largo del periodo analizado. Algo similar ocurre al oeste de Pantheló en el macizo en que destacan los cerros Junalvitz y Zigurat. En la serranía, al noreste de Simojovel existe un macizo que a juzgar por el patrón de cambio que se describe, parece haber sufrido una intensa presión por el avance de la frontera agropecuaria y en el que sólo las áreas mas abruptas han permanecido, constituyendo una importante masa de BMM para el año 2000. Al nornoroeste de Tapilula hay un manchón que en el 2000 conservaba aún la mayor parte del BMM, pero se pueden distinguir puntos en su interior. Estos seguramente representan actividades de agricultura, de roza y tumba que han sido desarrollados desde los setentas. Si estos parches no se han extendido, nada asegura que no pueda ocurrir más adelante y que estas actividades fragmenten de manera significativa el remanente de bosque, como parece haber ocurrido en el polígono que se encuentra al noreste de Tapilula.

En las MO poco más del 10 % de la región estaba cubierto con BMM en la década de los setentas (figura 6b) y el patrón de distribución era de manchones grandes y menos dispersos que en el caso de las MN. Mientras que los BMM en las MO cubrían 76668 has en los setentas (5.89% de la superficie total de la región) las MN comprendían 172396 has (10.32% de la región) en el mismo periodo. En esta última región, los BMM se agrupan en la porción occidental. Aunque destacan algunos manchones que no superaron la década de los setenta, (color en negro en la figura 6b; al noreste de Las Margaritas), el patrón indica que una parte significativa de la deforestación ocurrió durante la década de los noventas (color en gris claro) y estos remanentes desaparecieron casi totalmente para el año 2000. Al norte de la Reserva Integral de la Biósfera Montes Azules (RIBMA) y al norte de la Reserva de Naha se distinguen manchones que desaparecieron en ese mismo período. También hay algunos manchones importantes que se mantuvieron incluso en el 2000, como el que se encuentra al noroeste de Ocosingo, pero sobre todo el cercano a la RIBMA.

En varios remanentes de vegetación se pueden observar un proceso de fragmentación en los que se han originado archipiélagos, en donde originalmente existía un solo macizo forestal. Esto es más evidente en los manchones que son alargados y se distribuyen de este a oeste. Dentro de la RIBMA hay dos manchones de tamaño pequeño con respecto al resto de los que se encuentran en la región, pero que no han sufrido cambios desde la década de los setentas.

En la SM, los BMM se extienden a lo largo de la mayor parte de la región sobre esta cordillera. Cubrían en los setentas 293772 hectáreas, lo que significaba el 16% de la región, sin embargo, para el 2000, sólo cubrían el 6%. La mayor parte de la Reserva de la Biósfera El Triunfo (REBITRI) y una porción de la Reserva de la Biósfera la Sepultura (REBISE) protegen BMM (Figura 6c). La REBITRI se encuentra justo al norte de la Reserva de la Biósfera La Encrucijada y a pesar de tener la mayor superficie de BMM en la región, ha sido donde más pérdida de bosque se ha experimentado. A diferencia de las dos regiones anteriores, en la SM el proceso fue poco relevante durante la década de los setentas. Destaca en cambio, el tono gris claro, lo que indica una pérdida importante



(37.6%) del área original durante la década de los noventa. Los manchones más grandes que desaparecieron en esa etapa estaban dentro y al este de la REBITRI. Para el 2000, los remanentes de BMM de la SM se encontraban dispersos tanto dentro como fuera de las Áreas Naturales Protegidas de la región.

Finalmente, la región de la AC ha sufrido una transformación intensa. En los setentas el BMM cubría el 2% de la región, pero para el 2000 sólo existía el 0.75% de la misma. Una característica singular de esta región es el aislamiento que existe entre los manchones de la región y la distancia que los separa, formándose tres áreas distintas (Figura 2). Al noreste de la región, unos 5 Km al sureste de Bochil, existió un manchón que colindaba con la región de las MN, pero que no superó la década de los setentas. Unos 30 Km al suroeste se encontraba un archipiélago de BMM. El manchón más al sur, corresponde al BMM que se encuentra en el Volcán Huítepec, al oeste de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas. El resto de los bosques de esta región se encuentran al noreste y se extienden alrededor del Volcán Tzontehuitz. Han sido bosques perturbados sobre todo desde la década de los ochenta y para el 2000 quedaba menos del 50% de lo que existió en los ochenta.

En el extremo sureste de la región, se encuentra la extensión más importante de BMM (figura 6d). Esta región fue descrita por Leopold en 1950 como *cloud forests* o bosque nuboso, donde se ubica el Parque Nacional Lagos de Montebello. Resalta que la única área que no rebasó la década de los setentas estaba en su mayor parte incluida dentro de la reserva. En el patrón, se observa una intensa pérdida o reducción de macizos durante la década de los ochenta. Sobre todo al norte de la subregión se encuentran un par de ejemplos de polígonos mucho más pequeños que los originales, que alcanzaron a mantenerse en la década de los noventa para desaparecer inmediatamente después. Algunos de los polígonos más grandes y que alcanzaron a mantenerse en el 2000, se sitúan fuera de la reserva. A diferencia de lo observado en las otras regiones (figuras 6 a, b y c) en esta región sobresale una disminución drástica durante la década de los ochenta y no en la de los noventa.

La formación de nuevos rodales está influenciada por la fragmentación de los macizos forestales en parches aislados. El primer pa-

trón descrito manifiesta un proceso en que primero se fraccionan los macizos forestales originales en elementos más pequeños, los cuales experimentan a su vez disminución en su superficie y procesos de fragmentación. Los nuevos fragmentos cuentan con menor área, de tal manera que en determinado momento los fragmentos son tan pequeños que no se vuelven a fraccionar y tienden a desaparecer.

La permanencia de los remanentes de BMM en las diferentes regiones puede deberse probablemente, a la presencia de Áreas Naturales Protegidas, como en el caso de la SM en donde las Reservas de la Biosfera El Triunfo y La Sepultura, si bien no han detenido completamente el proceso de fragmentación o el avance de la frontera agrícola, si han tenido un efecto sobre la permanencia de este tipo de vegetación.

Aunque en algunos casos la protección de áreas boscosas ha auxiliado en el mantenimiento de los hábitats, esto enmascara las tasas de deforestación reales. El establecimiento de un Área Natural Protegida, en muchas situaciones no garantiza la conservación; como ocurre con la mayoría de los BMM. En la RIBMA se han mantenido bien un par de polígonos, pero en el norte estos prácticamente han desaparecido. Nahá (un ANP con decreto federal) no logró conservar su bosque. En la SM los cambios más abruptos ocurrieron en El Triunfo mientras que en la AC los macizos más grandes quedan fuera de Montebello (figura 6c y 6d). En la SM la implementación de la Zona de Protección Forestal La Frailescana, un corredor natural entre las Reservas de la Biósfera El Triunfo y La Sepultura, podría amortiguar la presión que se está dando en la región en las últimas décadas.

## Conclusiones generales

El proceso es diferencial respecto a la región en que ocurre y ha tenido diferentes comportamientos dependiendo de la etapa en que ocurrieron los cambios. En cualquier caso los datos que tenemos son alarmantes y si no se hace algo para evitarlo, en unas cuantas décadas habrán desaparecido. Destacan sobre todo las pérdidas que han ocurrido en los años noventa.

La fragmentación amenaza con terminar con lo que aún queda. Después de un incremento en la generación de fragmentos, el tamaño de

los remanentes impide que se mantengan por tiempos prolongados y tienden a desaparecer.

Las medidas de protección a través del establecimiento de ANP son insuficientes. No pueden cubrir todos los bosques, pero además no pueden asegurar su conservación. Es necesario establecer estrategias de conservación que incluyan alternativas productivas para evitar la presión de la frontera agrícola, pero además, es necesario hacer conciencia entre los beneficiados de estos bosques de su importancia y las ventajas que tiene conservarlos.



## Bibliografía

Acosta, S., 1997, "Afinidades fitogeográficas del bosque mesófilo de montaña de la zona de Pluma Hidalgo, Oaxaca México" en *Polibotánica*, (6): 25-39.

Acosta, S., 2004, "Afinidades de la flora genérica de algunos bosques mesófilos de montaña del nordeste, centro y sur de México: un enfoque fenético" en *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*, 75(1): 61-72.

Avila, M., 1998, "The Quetzal and its Conservation in the Mexican southeast" in *Wilson Bulletin*, 110(4): 559.

Bautista, A., del Castillo, R. F. y Gutiérrez, C., 2003, "Patrones de desarrollo del suelo asociados con sucesión secundaria en un área originalmente ocupada por bosque mesófilo de montaña" en *Ecosistemas* (URL:<http://www.aeet.org/ecosistemas/033/investigacion1.htm>) 2003/03.

Breedlove D. E., 1981, "Flora de Chiapas, Parte I, Introduction to the flora of Chiapas, California Academy of Sciences. San Francisco, California. USA. 35 pp.

Brown, D. y M. Kappelle, 2000, *Bosques Nublados del Neotrópico*, INBIO, San José, Costa Rica.

Bubb, P., 1991, "The Current Situation of the Cloud Forest in Northern Chiapas, México, Final Report, ECOSFERA, PRONATURA

Cayuela, L., Golicher, D. J., Rey-Benayas, J. M., 2006, "The Extent, Distribution, and Fragmentation of Vanishing Montane Cloud Forest in the Highlands of Chiapas, Mexico" in *Biotropica*, 38(4): 544-554.

Challenger, A., 1998, *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*, Instituto de Biología, UNAM, México.

Dirzo R., y M. C. García, 1992, "Rates of Deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical Area in Southeast Mexico" in *Conservation Biology*, 6: 84-90.

FAO, 1996, *Forest Resources Assessment 1990, Survey of Tropical Forest Cover and Study of Change Processes*, Number 130, Rome.

Flamenco-Sandoval, A., M. Martínez Ramos y O. R. Masera, 2007, Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of highly diverse tropical rain forest. *Biological Conservation*, 138, 131-145.

González-Espinoza M., Quintana-Ascencio P. F., Ramírez-Marcial N. y Gaytán-Guzmán P., 1991, "Secondary Succession in Disturbed Pinus-Quercus Forests in the Highlands of Chiapas, Mexico" in *Journal of Vegetation Science* 2: 351-360.

Guevara, S., Laborde, J., Sánchez-Ríos, G., 2005, "Los árboles que la selva dejó atrás" en *Interciencia*, 30(10): 595-601.

Leopold A. S., 1950, "Vegetation Zones of Mexico" in *Ecology* 31: 507-518.

Luna, I., Velásquez, A., Velásquez, E., 2000, en: *Bosques Nublados del Neotrópico*. (Kappelle, M. y Brown, D. Eds.). INBio. San José, Costa Rica. México. Pp. 183-229.

March, M. I. y A. Flamenco-Sandoval, 1998, "Deforestación en Áreas Naturales Protegidas de Chiapas" en *La Jornada Ecológica* (67) 25 de mayo de 1998.

Mas, J. F., Sorani, V. y R. Alvarez, 1996, "Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación" en *Investigaciones Geográficas Boletín*, número especial 5:43-57.

Mendoza, E., y R. Dirzo, 1999, "Deforestation in Lacandonia (Southeast Mexico): Evidence for the Declaration of the Northernmost Tropical Hot-spot" in *Biodiversity and Conservation*, 8:1621-1641.

Müllerried, F.K.G., 1982, *Geología de Chiapas*. 2ª edición. Gobierno del Estado de Chiapas.

Ortega, F. y G. Castillo, 1996, "El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal" en *Ciencias* 43: 32-39.

Palacio-Prieto, J., Bocco, L.G., Velázquez, A., Mas, J.F., Takaki-Takaki, F., Victoria, A., Luna-González, L. Gómez-Rodríguez, G., López-García, J., Palma-Muñoz, M., Trejo-Vázquez, I., Peralta-Higuera, A, Prado-Molina, J., Rodríguez-Aguilar, A., Mayorga-Saucedo, R., González-Medrano, F., 2000, *La condición actual de los recursos forestales en México. Resultados del Inventario Nacional Forestal 2000*, Investigaciones Geográficas. Boletín 43, Instituto de Geografía, UNAM, Mexico City, Mexico.

Rzedowsky J., 1978, *Vegetación de México*, editorial Limusa, México D. F.

Rzedowski, J., 1992, "Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México" en *Ciencias*. 6:47-56.

SAHR, 1994, *Los recursos forestales no maderables de México*, Dirección General de Política Forestal, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, Secretaría de Agricultura y Recursos Holísticos, México D. F.

Saucedo R. González. Medrano F., 2000, *La condición actual de los recursos forestales en México. Resultados del Inventario Nacional Forestal 2000*. Investigaciones Geográficas. Boletín 43. Instituto de Geografía. UNAM. México D. F.

Solórzano, S., Castillo-Santiago M., Navarrete-Gutiérrez D. A. y K. Oyama, 2003, "Impacts of the Loss of Neotropical Highland Forests on the Species Distribution: a Case Study Using Resplendent Quetzal an Endangered Bird Species" in *Biological Conservation*, 114: 341-349.

Valdez-Tamez, V. Foroughbakhch R., Alanís, G., 2003, "Distribución relictual del bosque mesófilo de montaña en el noreste de México" en *Ciencia UANL*, 6(3): 360-365.

Vázquez M., Castillo M., Montoya G., Martínez G., Ramos M., Díaz D., Hernández J. F., Méndez F., Navarrete D., Valencia E., Sarabia A., Stetter S., Pérez H. L., García G., Mijangos J. R., Gallardo F., López J. L. y Méndez D., 2005, *Programa Estatal de Ordenamiento Territorial*, Gobierno del Estado de Chiapas, Secretaría de Planeación. ECOSUR, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Velázquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra and J.L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*. 62: 21-37.

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, México", en *Global Environmental Change* 13, 175-184.