

**IMPORTANCIA DEL CAPITAL
ECOLÓGICO
DE LA REGIÓN DEL CORREDOR
BIOLÓGICO
MESOAMERICANO-MÉXICO:**

*evaluación de la biodiversidad,
ciclo hidrológico y
dinámica de la cobertura forestal*

Centro de Investigación
en Geografía y Geomática



Corredor Biológico Mesoamericano / México
Serie Conocimientos



Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad



*Importancia del capital ecológico
de la región del Corredor Biológico
Mesoamericano-México:
evaluación de la biodiversidad, ciclo hidrológico
y dinámica de la cobertura forestal*

Centro de Investigación en Geografía y Geomática
CentroGEO



Juan Rafael Elvira Quesada
Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales

José Sarukhán Kermez
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
Coordinador Nacional

Ana Luisa Guzmán y López Figueroa
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
Secretaria Ejecutiva

Pedro Álvarez Icaza
Corredor Biológico Mesoamericano-México
Director General

Xochitl Ramírez Reivich
Corredor Biológico Mesoamericano-México
Directora Técnica

Primera edición, enero de 2008

ISBN: 978-970-9000-55-9

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
Corredor Biológico Mesoamericano / México
Liga Periférico Insurgentes Sur 4903
Col. Parques del Pedregal
14010. Tlalpan. México, D.F.
Tel. (55) 5004 5000 / (55) 5004 4939
<www.cbmm.gob.mx> <www.cbmex.gob.mx>

México, 2008

PRESENTACIÓN

La dinámica de la cubierta terrestre es uno de los principales indicadores del estatus y tendencias del capital ecológico del Corredor Biológico Mesoamericano-México. En las últimas dos décadas, la dinámica de la cobertura forestal ha captado gran atención debido a la acelerada pérdida de hábitat, con efectos directos e indirectos sobre la biodiversidad, la calidad de los recursos hídricos, la erodabilidad de suelos, el riesgo de inundaciones y la pérdida general de servicios ambientales que estos cambios han traído consigo. Por ello, los cambios en la cobertura forestal constituyen un indicador medible del capital natural de la región.

La permanencia de los bosques en el paisaje del CBMx no está exenta de amenazas y presiones de cambio de uso de suelo que se presentan en otras regiones del planeta. La conversión de selvas y bosques en pastizales y zonas agrícolas, la especulación en el cambio de uso de suelo forestal a agrícola y urbano, y la sobreexplotación de recursos forestales, siguen siendo las amenazas más importantes contra los planes y programas de conservación y manejo sustentable de recursos naturales. Desde el punto de vista de las necesidades de información, es imperativo reconocer en dónde se presentan las mayores transformaciones de la región forestal, así como los lugares en los cuales se mantienen las áreas con relativa integridad ecológica, y en dónde puede cumplirse, con mayores probabilidades de éxito, el objetivo de conservar la diversidad biológica de una de las áreas más ricas a nivel mundial.

Para promover políticas de uso de recursos naturales que integren como premisa fundamental la conservación de la biodiversidad y la reducción de la pobreza, es necesario establecer una línea base de geoinformación que permita identificar las áreas de mayor impacto de la actividad humana y las tendencias más importantes de deterioro de relaciones ecológicas en un marco regional, y que integre una concepción holística de la región.

El presente estudio ofrece un análisis del nivel de conocimiento del capital ecológico de la región, entendido éste como el conjunto de elementos clave para mantener los servicios ambientales, concretamente de soporte y regulación, que además están relacionados con los de aprovisionamiento o de suministro. Con una visión regional, este reporte contiene estadísticas sobre la importancia del capital ecológico de la región, que incluyen información sobre la biodiversidad y los recursos hidrológicos como elementos

del capital natural. Se identifican también el estatus y las tendencias de la cobertura terrestre, específicamente de la forestal, así como la extensión y distribución de los bosques en el paisaje del CBMx en dos décadas (1990-2000). Las estimaciones de la cubierta forestal se basan en la aplicación del proceso de percepción remota. Aunado a la aplicación de métodos de análisis espacial, también ha sido posible evaluar el estatus de fragmentación de bosques reconociendo el valor ecológico de la cubierta forestal remanente, lo cual permite establecer una línea de análisis sobre sus posibles efectos en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, cuyos componentes clave son la biodiversidad y el ciclo hidrológico.

Después de estudiar la información presentada en este reporte, es innegable que el desarrollo de un sistema de monitoreo ecológico regional sobre el estatus y las tendencias del capital ecológico debe estar basado en la dinámica de la cobertura forestal en el Corredor Biológico Mesoamericano. Y el análisis de la extensión y condición de la cubierta forestal debe realizarse dentro del contexto de sus efectos en el capital ecológico de la región.

La intención de este reporte es proveer del marco necesario para el desarrollo de un sistema de monitoreo que cumpla con tales requerimientos.

DR. FRANZ MORA
*Coordinador Académico
Proyecto Corredor Biológico
Mesoamericano-México
CentroGEO*

CONTENIDO

Introducción

Sección 1. Contexto poblacional: tendencias poblacionales y de ocupación del espacio en el Corredor Biológico Mesoamericano-México

YOSU RODRÍGUEZ Y ALEJANDRO MOHAR

11

Sección 2. Biodiversidad en el Corredor Biológico Mesoamericano-México: diversidad de especies y de ecosistemas

PILAR RODRÍGUEZ

17

Sección 3. Geoinformación de relevancia hidrológica para el Corredor Biológico Mesoamericano-México

OMAR TAPIA Y JUAN MANUEL NÚÑEZ

37

Sección 4. Caracterización de la cobertura forestal en el Corredor Biológico Mesoamericano-México: patrones espaciales en la pérdida y fragmentación de bosques

FRANZ MORA

55

Sección 5. Elementos de diseño para un sistema de monitoreo regional del Corredor Biológico Mesoamericano-México

FRANZ MORA, PILAR RODRÍGUEZ Y OMAR TAPIA

85

INTRODUCCIÓN

La extensión y la condición de los bosques son de vital importancia para mantener los sistemas soporte de vida de amplias regiones. En la del Corredor Biológico Mesoamericano-México, los bosques y selvas juegan un papel preponderante en el desarrollo socioeconómico, al proveer recursos de soporte y materia prima asociados a diversos servicios ambientales. Como aprovisionamiento, los recursos maderables y no maderables cubren ciertas necesidades básicas de la población local al utilizarse para la alimentación, el consumo energético –con el uso de materiales para construcción y leña– y a través del empleo de plantas medicinales y fibras. Además, al permitir algunas actividades secundarias, generan empleos locales que proveen a la población local de recursos económicos adicionales, aparte de las actividades primarias de subsistencia. Desde el punto de vista de los servicios ambientales, principalmente en aquellos que se relacionan con la regulación o el soporte, la cobertura forestal juega un papel preponderante en la conservación de la biodiversidad (flora y fauna), la protección de cuencas hidrográficas, la conservación de suelos y la regulación del clima. Por ello, la conservación de la cobertura natural terrestre es un factor primordial en el desarrollo sustentable (UN, 1993). Así, el capital ecológico de la región del Corredor Biológico Mesoamericano-México (CBMx) está determinado por la extensión y calidad de la cobertura forestal.

Desde el punto de vista de la biodiversidad, el valor ecológico de la región es ampliamente reconocido como elemento clave del capital natural que provee recursos de soporte. En una de las áreas más extensas de selva tropical fuera del Amazonas, los ecosistemas que componen el paisaje del CBMx representan un mosaico heterogéneo de condiciones ecológicas que van desde selvas tropicales hasta bosques secos, bosques mesófilos y de coníferas, que en conjunto, contienen miles de especies de plantas vasculares, más de la mitad de las especies conocidas de mamíferos, aves reptiles y anfibios en el país, y una gran cantidad de especies en alguna categoría de riesgo. Debido a la riqueza ecológica de la región, se han designado trece áreas con propósitos de conservación, que integran una red de parques nacionales y zonas protegidas (Recuadro 1), incluidas dos de las más importantes y extensas áreas catalogadas como reservas de la biosfera en el país: Calakmul, en la Península de Yucatán y Montes Azules, en la zona Lacandona.

Además, la cobertura forestal es fundamental en la región, pues provee de una gran cantidad de servicios ambientales de regulación, de los que sobresalen los asociados con la captación de agua y la regulación del clima.



Dos de las cuencas más importantes del país se encuentran en el paisaje del CBMx, la del río Usumacinta y la del Grijalva. El caudal recabado por estas extensas áreas de captación pluvial, constituye un recurso estratégico para el suministro de agua y energía eléctrica que va más allá del contexto regional en el que se utilizan. Por sus características litológicas, la región hidrológica que corresponde a la Península de Yucatán le confiere características especiales, pues se trata de uno de los sistemas hidráulicos subsuperficiales más importantes a nivel mundial. La interacción de sistemas acuáticos y terrestres sostiene uno de los arrecifes coralinos y uno de los sistemas de humedales más extensos e importantes del continente. Así, los bosques y las selvas siguen jugando un papel primordial en la cantidad y calidad de recursos hídricos de la región, con efectos importantes en el manejo de los mismos, como la generación de energía eléctrica y el uso de los recursos de humedales internos y costeros que mantienen a los habitantes con actividades primarias como la pesca.

Sin embargo, el capital ecológico se encuentra bajo diversas amenazas que ponen en riesgo la capacidad de los ecosistemas para continuar ofreciendo servicios de soporte y regulación. Éstas se expresan a través de la pérdida potencial de una gran cantidad de especies, de la capacidad de regulación de eventos climáticos extremos y de la productividad de los ecosistemas. De este modo, la pérdida de la cobertura forestal es la amenaza más evidente hacia el capital ecológico de la región. Tradicionalmente, esta pérdida ha estado asociada a políticas de desarrollo, como la colonización de áreas que permanecieron relativamente marginadas en el contexto de desarrollo nacional, promoviendo programas extensivos de agricultura (aquellos experimentales de cultivo de arroz en “los bajos”, por ejemplo) y la ganadería extensiva.

Sin haber obtenido resultados deseables por décadas, en fechas recientes esta amenaza vuelve a surgir, y con más fuerza, a través de diversos programas de creación de infraestructura, que han llevado a la consolidación de áreas urbanas y semiurbanas donde se promueven el turismo y la



recreación, y se planea la construcción de caminos y carreteras para hacer de la región uno de los más grandes esquemas turísticos y arqueológicos del mundo, desde México hasta El Salvador. Los efectos de tales proyectos se traducirán en la reducción de áreas naturales, con el consecuente acceso a áreas remotas, promoviendo el cambio de uso de suelo e intensificando la ocupación del territorio.

Para evaluar los efectos de todo lo anterior, es necesario un esfuerzo de sistematización de la información ecológica de la región. En este sentido, los objetivos de este trabajo son:

- Resaltar la importancia de la conservación del capital ecológico en una de las regiones de mayor biodiversidad en el país, tomando en consideración la dinámica poblacional y sus perspectivas de cambio, así como la dinámica de ocupación del territorio.
- Analizar los elementos más importantes que componen el capital ecológico de la región (particularmente sobre la biodiversidad y el ciclo hidrológico) del CBMx, a partir de los recursos de información más exhaustivos y consistentes disponibles hasta la fecha.
- Identificar las amenazas más serias a la conservación del capital ecológico, particularmente a través de la identificación del estatus y tendencias de los cambios en la cobertura forestal, evaluando su dinámica de cambio y haciendo estimaciones regionales de las recientes tasas de pérdida y/o ganancia de bosques y de su fragmentación.
- Delinear una estrategia general para el monitoreo de la cubierta forestal del CBMx y sus posibles efectos en el capital ecológico de la región.

El presente documento técnico está estructurado de la siguiente manera. Primero, se analiza el papel de la dinámica de crecimiento poblacional y de la ocupación del territorio mediante la consolidación de sus ciudades más importantes como un indicador de las posibles presiones a las que estará sujeta la región. Después, se estudia el valor ecológico de la misma en función del nivel de conocimiento actual sobre la biodiversidad, presentando información dis-



ponible sobre la distribución de grupos de especies, particularmente de los grupos más conocidos (aves, mamíferos, anfibios y reptiles) y sobre la diversidad a nivel de ecosistemas. Además, se resalta el valor del capital ecológico de la región a través del papel funcional de los bosques en cuanto a servicios ambientales adicionales de regulación, a través del ciclo hidrológico.

Establecida su importancia ecológica, en la sección de caracterización de cobertura forestal, se hace un análisis detallado para identificar los patrones de una de las mayores amenazas al capital ecológico, la tendencia de pérdida de la cobertura forestal. En esta sección, a través de la aplicación del proceso de percepción remota y el análisis de información satelital, se presentan estimaciones regionales de las tasas de deforestación a nivel regional por tipos de vegetación y las tendencias de cambio de cobertura más importantes. Luego, por medio del análisis espacial de la cantidad de bosques y su continuidad, se determina el estatus de fragmentación de los mismos y su dinámica de cambio. Finalmente, se retoman los elementos más importantes para delinear un sistema de monitoreo regional que permita la evaluación del estatus del capital ecológico, así como las tendencias de pérdida y deterioro.

En este estudio se definió la región del CBMx como el área comprendida dentro de las cuencas hidrográficas propuestas recientemente por el Instituto Nacional de Ecología (INE), la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (INEGI, INE, Conagua, 2007), y los límites de las áreas de captación pluvial. La región definida de esta forma comprende los estados de Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Chiapas, parte del estado de Tabasco y una pequeña fracción del estado de Veracruz.

SECCIÓN 1. **CONTEXTO POBLACIONAL: TENDENCIAS POBLACIONALES Y DE OCUPACIÓN DEL ESPACIO EN EL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO-MÉXICO**

YOSU RODRÍGUEZ Y ALEJANDRO MOHAR

1. 1 La ocupación de la región del Corredor Biológico Mesoamericano: tendencias poblacionales

1.1.1 *Lenta reducción de la tasa de crecimiento poblacional*

La Región en donde se encuentra el Corredor Biológico Mesoamericano-México (CBMx) está formada por los estados de Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Tabasco y Chiapas. En conjunto, representa 12% del territorio nacional y en ella habita casi 10% de la población del país, es decir, del orden de los 10 millones de habitantes (Figura 1.1).

De acuerdo con información proveniente del Censo General de Población y Vivienda 2000 (INEGI, 2002) y del Conteo de Población y Vivienda 2005 (INEGI, 2006), el crecimiento poblacional nacional en 10 años fue del 14%, mientras que en la región fue del 24%. Este dato indica que la región del CBMx está rezagada respecto a la tendencia nacional de acelerada contención del crecimiento poblacional que se dio especialmente hacia finales del siglo pasado.

Un panorama de la distribución poblacional en la región del CBMx muestra que las ciudades que destacan, de acuerdo con el tamaño de la población, son Cancún, Mérida, Tuxtla Gutiérrez y Villahermosa (Figura 1.2). Un análisis básico nos

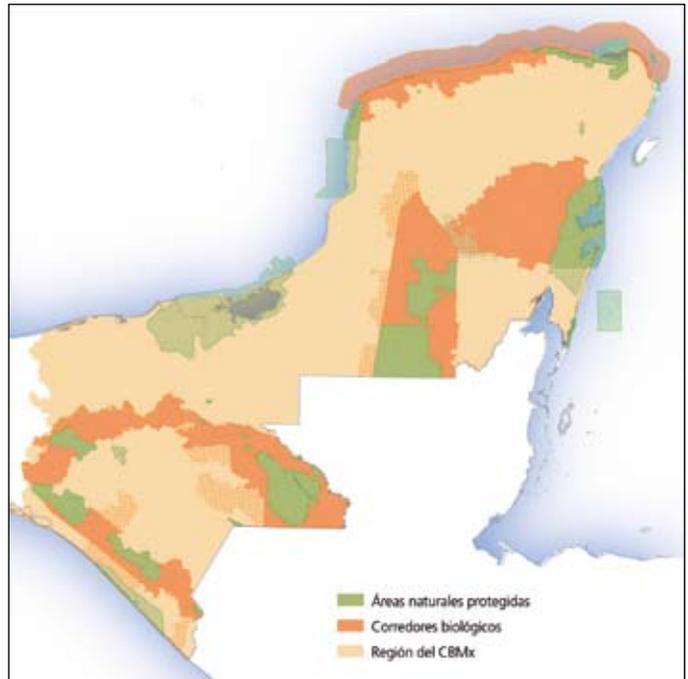


Figura 1.1 Localización y límites del Corredor Biológico Mesoamericano-México y áreas naturales protegidas

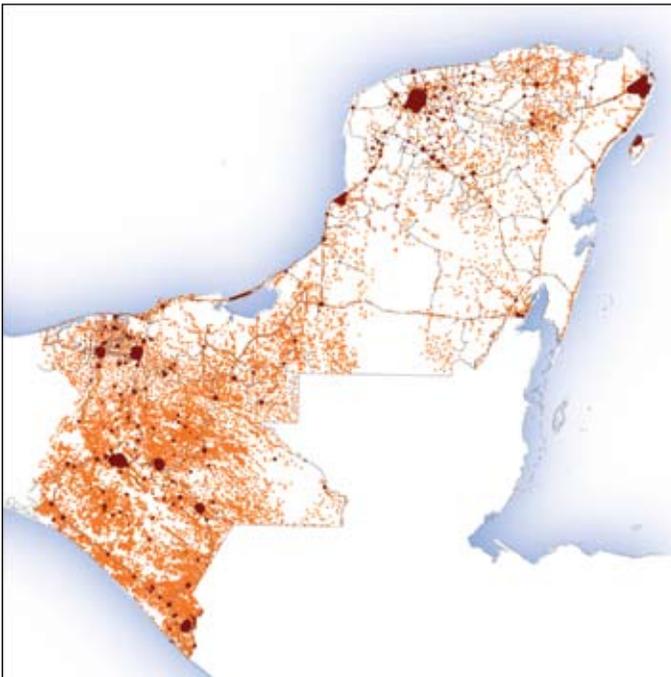


muestra los siguientes fenómenos de concentración urbana en la región:

a) Para el conteo de 2005 (INEGI, 2006), Mérida y su zona de influencia directa, definida como la colindancia de la mancha urbana, rebasaron el millón de habitantes y el crecimiento en 10 años fue de casi 20%. Como se puede observar en el mapa (zonas en color café), en aquella ciudad y su entorno existe una gran cantidad de localidades con una población mayor a 2500 habitantes. Se trata de una zona de larga formación histórica y con una combinación de procesos de densificación y expansión espacial relativamente reciente que tiende a consolidar la zona metropolitana (Figura 1.2).

b) En el periodo 1995-2005, Villahermosa y Cárdenas crecieron 18%, rebasando ambas ciudades los 600 mil habitantes. Sin embargo, si en el análisis consideramos un radio de 40 kilómetros tomado desde el punto medio de cada ciudad, en 2005 la población fue de 900 mil habitantes, distribuidos en 54 localidades mayores a 2500 habitantes y en sus zonas de influencia directa.

Figura 1.2 Proceso de urbanización en el Corredor Biológico Mesoamericano-México



c) En el periodo 1995-2005, Cancún creció 77%, superando el medio millón de habitantes. En conjunto con la Costa Caribe, Cancún rebasó los 750 mil habitantes y la tendencia de crecimiento se mantuvo a un ritmo intenso. La ciudad Playa del Carmen presentó un espectacular crecimiento del 26% anual. Esto quiere decir que en cinco años casi triplicó su población, pasando de 40 mil a más de 100 mil habitantes. El fenómeno poblacional de Playa del Carmen es un factor que ha acelerado la



conformación de un corredor urbano-turístico desde Cancún hasta Tulum.

d) La población de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas, creció 30% en 10 años, llegando a medio millón de habitantes. Junto a San Cristóbal de las Casas (al este) y Ocozocoautla (al oeste), Tuxtla Gutiérrez conformó una dinámica urbana que provocó que la población superara los 800 mil habitantes y se concentrara en 10 municipios.

Estos conglomerados urbanos, como los de casi todo el país, están acompañados de una serie de fenómenos que marcan la ocupación espacial del territorio, como son:

- Densificación de la conectividad entre asentamientos urbanos.
- Incremento de la pobreza urbana, concentrada principalmente en asentamientos precarios y la desigualdad.
- Influencia creciente de los patrones y niveles de consumo bajo pautas urbanas, la cual se extiende a las zonas colindantes e inclusive hacia poblaciones no contiguas a las manchas urbanas, por medio de las carreteras pavimentadas.
- Concentración en el ámbito urbano de los agentes clave cuyas decisiones, políticas, programas y estrategias económicas (según se trate de agentes privados, entidades públicas u organismos sociales), determinan de forma indirecta el curso de la conservación y uso de la biodiversidad en la región.

Desde otra perspectiva, en las concentraciones urbano-regionales del CBMx se une el vínculo entre capital natural y capital social. Siguiendo el marco conceptual del *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), en el medio urbano cristalizan en mayor medida los beneficios de los servicios ambientales derivados de la biodiversidad y se generan profundas tensiones sobre ésta. En otras palabras, en las ciudades se gestan los *indirect drivers* de cambio sobre el capital natural y los mismos sistemas productivos primarios.



1.1.2 Dispersión de localidades y pobladores

A pesar de esta acelerada concentración urbana en varias ciudades, de acuerdo con las definiciones del INEGI, en 10 años la concentración urbana en la región creció, en conjunto, de 62% a 64%, esto es, por debajo del nivel nacional que fue del 77%. Este fenómeno se explica, en parte, por el incremento de la dispersión de la población en localidades menores a 2500 habitantes. Este proceso de dispersión ha sido particularmente notorio en Chiapas, entidad que mantuvo sólo una quinta parte de su población en ciudades mayores a 50 mil habitantes y del orden de 30% de la población en localidades de 2500 a 50 mil habitantes. La mitad de la población del estado se distribuye en más de 18 mil localidades menores a 2500 habitantes.

En contraste con Chiapas, en el estado de Quintana Roo la población se concentró en ciudades de más de 50 mil habitantes. Esta pauta se intensificó en el periodo 1995-2005, pues pasó del 66% al 74% de la población en ciudades de más de 50 mil habitantes. A tal categoría está por incorporarse la ciudad de Playa del Carmen. En Quintana Roo hay sólo 1700 localidades menores a 2500 habitantes fuera de las áreas de influencia de las localidades urbanas.

1.2 Tensiones sobre el capital natural

Los conglomerados urbanos descritos y la dispersión de la población netamente rural marcan diferentes formas de tensión sobre el capital natural y sus servicios ambientales. Así vemos, en un extremo, grandes conglomerados urbanos que, con sus patrones y niveles de consumo, requieren cantidades enormes de agua, productos forestales, alimentos, opciones de recreación y turismo, entre otros servicios ambientales. Y, en el otro extremo, la presión directa de los asentamientos humanos pequeños que inducen cambios en el uso de suelo ampliando la frontera agropecuaria hacia zonas de alta sensibilidad ambiental. Por otra parte, estos pequeños asentamientos degradan el medio natural ejerciendo o permitiendo la tala ilegal y contaminando ríos. Un ejemplo



emblemático es el uso de gasolina altamente contaminante en Guatemala y Belice.

Sin embargo, también existen los productores exitosos dedicados a subsanar parte de la demanda regional, especialmente por medio de extensiones ganaderas en expansión.

1.3 Políticas territoriales eficaces

Las repercusiones sociales, ambientales y culturales de la existencia de conglomerados urbanos como Playa del Carmen o Cancún, y de la dispersión poblacional en la región, son incalculables y hay que hacerles frente con el diseño innovador y con un gran impulso de políticas diferenciadas territorialmente. Para el contenido, orientación, jerarquización y la propia evaluación de su eficacia y posibles desviaciones, son fundamentales el enfoque territorial, los objetivos, el acervo de conocimiento e información y el instrumental asociado al Corredor Biológico Mesoamericano.

El monitoreo ecológico regional complementado con información de contexto, socioeconómica y particularmente de asentamientos humanos, con sus sistemas y prácticas productivas predominantes, en las zonas de alta sensibilidad ambiental, proporcionarán los elementos para diferenciar territorialmente las políticas y, en consecuencia, definir sus propósitos específicos, contenidos, instrumentos y alcances. Sólo así se podrá avanzar hacia políticas públicas eficaces que permitan responder a los diversos procesos causales y dar cuenta de avances y obstáculos, con fines de retroalimentación y mejora de las mismas.

Referencias

- INEGI. 2002. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Principales resultados por localidad. México.
- INEGI. 2006. II Censo de Población y Vivienda 2005. Principales resultados por localidad 2005. México.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being*. World Resources Institute, Washington, DC.

SECCIÓN 2. **BIODIVERSIDAD EN EL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO-MÉXICO: DIVERSIDAD DE ESPECIES Y DE ECOSISTEMAS**

PILAR RODRÍGUEZ

2.1 Introducción

El concepto de biodiversidad se refiere en general a la variedad de la vida en tres niveles básicos: ecosistemas, especies y genes. Esto significa que la biodiversidad de un país o de una región se puede medir de acuerdo con los diferentes tipos de ecosistemas que contenga, el número de especies, la diferencia en la composición de especies entre un sitio y otro (diversidad beta), el nivel de endemismos (especies exclusivas para el país o región), así como las subespecies y variedades o razas de una misma especie (PNUMA-CCAD, 2003). En términos prácticos, sin embargo, para caracterizar la diversidad de un país o región es más común utilizar el número o riqueza de especies y el número de especies endémicas. Estos dos criterios, más elementos relacionados con la diversidad de ecosistemas son los que se utilizarán en esta sección.

El Corredor Biológico Mesoamericano, conformado por los siete países de Centroamérica (Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá) y cuatro estados del sureste de México (Campeche, Chiapas, Quintana Roo y Yucatán) ocupa una extensión de alrededor del 0.5% de las tierras emergidas del planeta. De acuerdo con datos de Conservation International (CI, 2004), en este espacio se concentra entre 5% y 10% de las formas de vida conocidas a nivel mundial y el 17% de las especies terrestres conocidas. En conjunto, México y Centroamérica ocupan el primer lugar en el mundo en número de reptiles y el segundo en aves, mamíferos y anfibios.

Aunado a la gran diversidad de especies, en la región existe un mosaico de ecosistemas terrestres y marinos que incluye bosques de coníferas, bosque mesófilo de montaña, selvas bajas y selvas húmedas, entre otros. En relación con las selvas húmedas, en esta región se localiza el segundo continuo de selva más extenso del continente, precedido sólo por las selvas del Amazonas (CI, 2004). En el medio marino, en la región se encuentra el segundo sistema arrecifal más extenso del planeta, precedido sólo por el sistema arrecifal de Australia. Si bien la diversidad de ecosistemas es en sí un elemento de gran valor, hay que agregar el valor que representan estos ecosistemas en términos de los bienes y los servicios que proveen, un elemento que es tomado cada vez más en cuenta para evaluar el capital natural



de una región (Milenium Ecosystem Assessment, 2005).

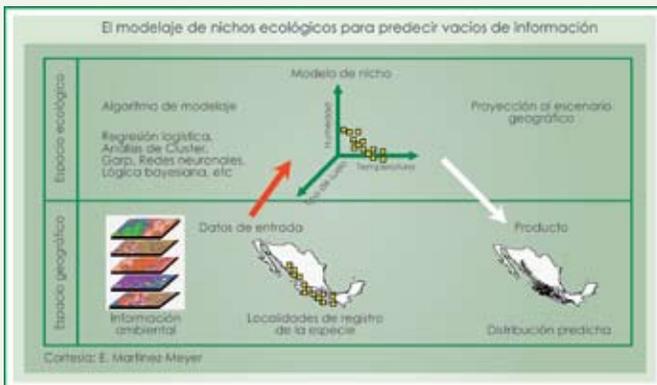
En esta sección se presenta información de diversidad a nivel de especies y ecosistemas para la parte del Corredor correspondiente a México exclusivamente. El objetivo que se pretende es presentar un panorama actualizado de la diversidad del sureste de México, a la luz de la nueva información y nuevas ideas que se ha generado en los últimos años. Para ello se realizó una búsqueda en distintas fuentes bibliográficas, información que se complementó con información extraída de las bases de datos de distribución de especies, generadas por distintas instituciones (ver Recuadro 1 para detalles metodológicos).

Por otro lado, debido a que existen datos disponibles principalmente para los vertebrados terrestres y a que el sis-

RECUADRO 1. EL MODELADO ESPACIAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

En los últimos años, en México se ha realizado un intenso trabajo de recopilación e integración de información contenida en los especímenes de las colectas científicas que se encuentran en museos y centros de investigación en el país y en el extranjero. A pesar del esfuerzo realizado, los datos siguen siendo incompletos, ya que las colectas se han centrado en determinados lugares como carreteras o estaciones científicas. La región donde se localiza el CBMx no es la excepción, y

aún para las especies de vertebrados terrestres, que son los grupos más estudiados en el país, no hay registros de colecta para toda la región. Una forma de llenar los grandes vacíos de información y de corregir los sesgos en la colecta es utilizar el modelado espacial de la distribución de las especies.



Modelado de nichos ecológicos para predecir vacíos de información



tema de monitoreo se ha centrado en aspectos terrestres, la información se centra en las aves, mamíferos, anfibios y reptiles. En la medida de lo posible se hacen algunas referencias a otros grupos taxonómicos de distribución terrestre. Es importante aclarar también que no se incluyen aspectos de la diversidad marina.

2.2 Diversidad a nivel de especies

La información sobre biodiversidad para el CBMx se encuentra en diferentes fuentes con variada calidad y precisión y hasta el momento no existe una descripción y una evaluación actualizada de la biodiversidad del sureste de México. El documento “Proyecto para la consolidación del Corredor

RECUADRO 1. (continúa)

A partir de datos georreferenciados para cada especie proveniente de las colecciones, y a partir de información climática y de elevación y otras variables y utilizando distintos programas, es posible predecir las áreas donde la especie no ha sido colectada, de tal forma que se puede obtener una mejor idea de su distribución.

El uso de estas técnicas ha ido en aumento en los últimos años, y actualmente se usa información de la distribución generada con el modelado espacial tanto en el ámbito académico (Pennington y Sarukhán 2005), como en la planeación y ordenamiento territorial, como por ejemplo, el Plan Eco-regional de la Selva Maya, Zoque y Olmeca (CI, ECOSUR, FDN, PFB, PPY, TNC, WCS, 2005), y recientemente en el Segundo Estudio de País, Capital Natural y Bienestar Social (Conabio, 2006).

Para los análisis tanto de riqueza como de endemismo de la región del CBMx se utilizó información donde se modela la distribución potencial de cada especie perteneciente a los cuatro grupos de vertebrados utilizando GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Production). Para cada grupo el análisis se realizó conjuntando la información de todas las especies con ayuda de Sistemas de Información Geográficos (SIG) y a partir de ahí se calculó el número de especies total en cada celda o pixel de 1 km², que es la resolución a la que se generan los mapas de distribución.



Biológico Mesoamericano” integra los datos sobre la biodiversidad existentes para México hasta el año 2002 (CCAD-PNUD/GEF, 2002) y corresponden al número de especies conocidas para todo el país de los cuatro grupos de vertebrados, aves, mamíferos, anfibios y reptiles. Estos datos a nivel nacional dan una primera idea de la gran biodiversidad de la región, sin embargo, en el CBMx no habitan todas las especies del país. Por esta razón, en este trabajo presentamos un primer acercamiento a la diversidad de la región utilizando datos obtenidos de fuentes más recientes de información.

Otra fuente de información de biodiversidad son los listados de especies de las áreas naturales protegidas (ANP). La mayoría de las ANP del Corredor cuenta con listados de distintos grupos taxonómicos, particularmente vertebrados terrestres (aves, mamíferos, anfibios, reptiles) y en algunas ocasiones de peces. En algunos casos, también se proporcionan listados florísticos que incluyen especies de hongos del sitio (INE, 2000). Sin embargo, esta información, relativamente completa para algunos sitios, y para algunos grupos tampoco refleja la diversidad de toda la región, ya que en las ANP habita sólo una fracción de las especies existentes en la misma.

Por otra parte, existe un sinnúmero de publicaciones en las que se reportan listados para determinados sitios en la región, y para ciertos grupos de especies. Por mencionar algunos, son muy interesantes los trabajos que se han desarrollado en la Selva Lacandona para mamíferos, grupo para el que se cuenta con uno de los inventarios más completos de la región (Medellín, 1994). Otro ejemplo ilustrativo son los inventarios de mariposas de Calakmul (Maya-Martínez *et al.* 2005). En cuanto a vegetación es importante destacar los esfuerzos que se han realizado en el estado de Chiapas, para el que se cuenta con sitios bien inventariados en cuanto a biodiversidad de árboles (González-Espinoza *et al.*, en prensa) y los realizados en la Península de Yucatán referentes a taxa endémicos (Espadas *et al.*, 2003).



2.3. Patrones de diversidad de especies

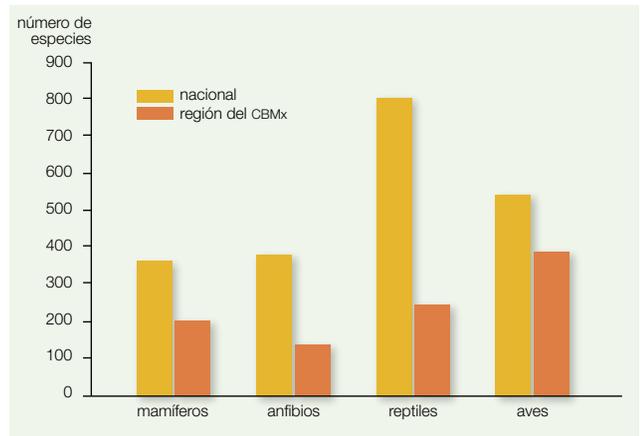
Utilizando las bases de datos proporcionadas por distintos especialistas, se realizó un análisis general de los patrones de diversidad (número o riqueza de especies) de los cuatro grupos de vertebrados mejor conocidos en el país. En el caso de aves, se utilizó el Atlas de las aves de México (Navarro *et al.*, 2003), que contiene información sobre las aves residentes únicamente. Para anfibios y reptiles se utilizó información de Ochoa-Ochoa y Flores-Villela (2006) y para mamíferos, una versión modificada de una base de datos utilizada en la realización de una tesis doctoral, que está basada a su vez en información proporcionada por la Conabio (Escalante, 2003) (ver Recuadro 1 para una explicación de la metodología utilizada).

Los resultados del análisis confirman la elevada diversidad de especies de la región, ya que se encontró que aproximadamente tres cuartas partes de las aves residentes del país, cerca del 60% de las especies de mamíferos del país, un tercio de las especies de anfibios y un tercio de las especies reptiles del país se encuentran en la región del CBMx (Figura 2.1).

El análisis de la variación espacial de la diversidad en el CBMx permite visualizar lo heterogéneo que es el patrón de diversidad de cada grupo en la región.

En relación con las aves, el estado de Chiapas casi en su totalidad, resultó ser la región con mayor diversidad de aves en el CBMx. La Península de Yucatán presentó valores intermedios y bajos en diversidad de aves, particularmente en su zona centro (Figura 2.2). En un contexto nacional, estas dos zonas del CBMx corresponden a las de mayor diversidad, ya que Península de Yucatán, junto con la tierras bajas de la planicie del Golfo de México, el Istmo de Tehuantepec y una peque-

Figura 2.1 Número de especies presentes en el CBMx en relación con el total de especies reportadas para México en los grupos: aves, mamíferos, anfibios y reptiles



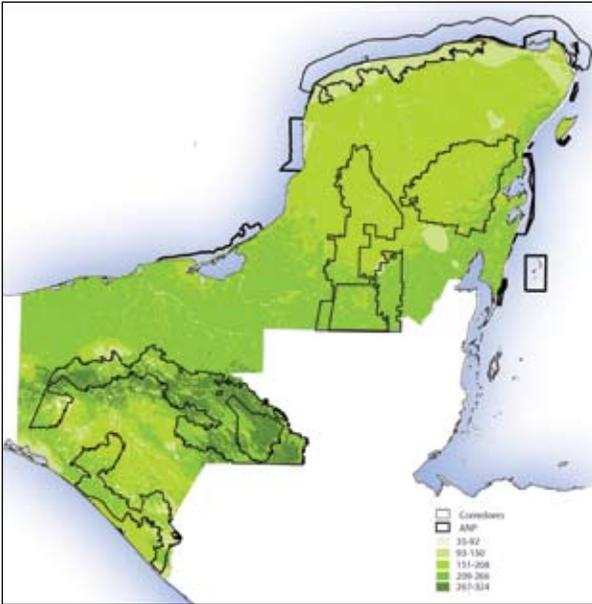


Figura 2.2 Diversidad de aves en la región del CBMx (datos de Navarro *et al.*, 2003)

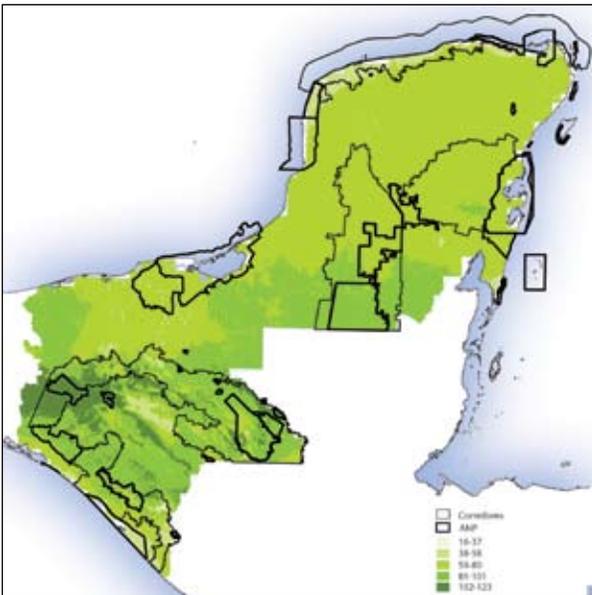


Figura 2.3 Diversidad de mamíferos en la región del CBMx (datos modificados de Escalante, 2003)

ña área de la costa del Pacífico de Oaxaca han sido identificadas como las de mayor diversidad a nivel nacional (Navarro y Sánchez-González, 2003).

En el caso de este grupo, es necesario resaltar que la información reflejada en este mapa corresponde a las aves residentes. Un análisis utilizando el complemento de este grupo que son las aves migratorias, arrojaría un patrón espacial distinto. Sería muy interesante poder realizar una comparación en estos dos grupos, ya que para fines de manejo y conservación, la información que proporcionan es distinta y de gran valor.

La mayor diversidad de especies de mamíferos se localizó en el estado de Chiapas, particularmente en las selvas húmedas y en los bosques de coníferas y encinos de los Altos y en la Sierra Madre correspondiente a aquel estado, mientras que los valores intermedios y bajos se ubicaron en la Península de Yucatán. El norte de la Península presentó una diversidad mayor al resto de la península (Figura 2.3). En un contexto nacional, el estado de Chiapas, junto con los estados del este y sureste del país, Veracruz, Tabasco y Oaxaca, corresponden a las



regiones de mayor diversidad (Ceballos *et al.*, 1998; Ceballos y Oliva, 2005).

Los anfibios y reptiles mostraron patrones contrastantes entre sí. Los anfibios presentaron un gradiente de aumento de la diversidad de norte a sur del CBMx, es decir, la parte norte de la Península de Yucatán fue la menos diversa, mientras que el este y la Sierra Madre de Chiapas resultaron ser las más diversas (Figura 2.4). Los reptiles presentaron un patrón de diversidad distinto, ya que las regiones de mayor diversidad fueron el norte de Yucatán y prácticamente todo el estado de Chiapas (Figura 2.5).

En un contexto nacional, el estado de Chiapas, junto con los estados de Oaxaca y Veracruz, corresponden a las regiones con mayor diversidad (Ochoa-Ochoa y Flores-Villela, 2006).

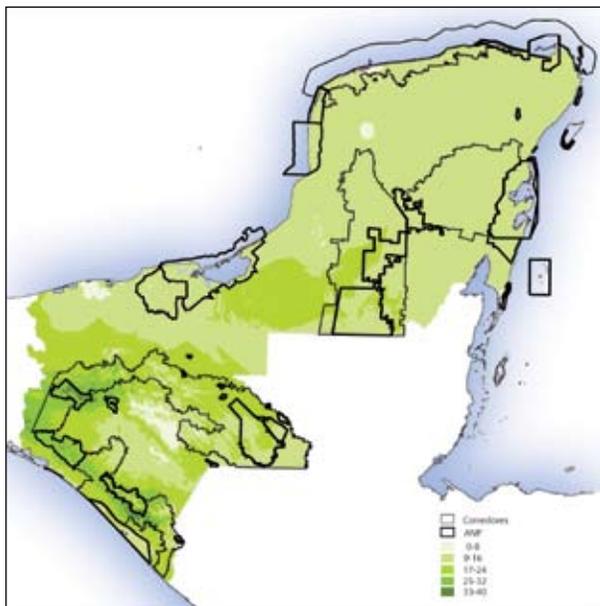


Figura 2.4 Diversidad de anfibios en la región del CBMx (datos de Ochoa-Ochoa y Flores-Villela, 2006)

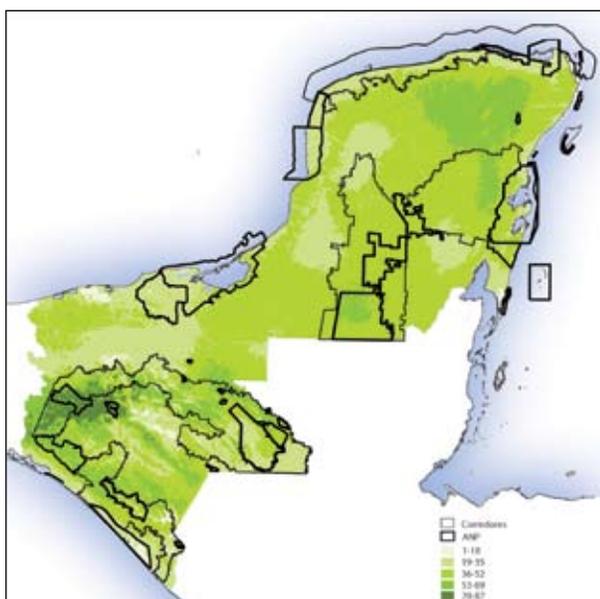


Figura 2.5 Diversidad de reptiles en la región del CBMx (datos de Ochoa-Ochoa y Flores-Villela, 2006)



2.4. Patrones de endemismo en el CBMx

El endemismo, es decir, el número especies que sólo se encuentran en una región determinada, es otro indicador de la importancia de una región en términos de biodiversidad. Para este trabajo, nos referimos como especies endémicas a aquellas especies reportadas como endémicas para México, que se encuentran en el CBMx.

A nivel país, es reconocido el elevado endemismo para varios grupos taxonómicos, que corresponde al 10% de las especies de aves y 30% de las de mamíferos y reptiles. En el caso de anfibios esta cifra alcanza valores cercanos al 70% de las especies del país (Conabio, 2006).

Existen numerosas publicaciones científicas que dan cuenta de casos particulares de endemismo en la región. Estos trabajos son de gran utilidad ya que llaman la atención de la importancia de la región por ser el hábitat de especies que no habitan en otros lugares. El caso más emblemático es la presencia en el Corredor de la *Lacandonia schismatica*, una familia endémica descubierta en 1985, que se localizó en una pequeña zona de la Selva Lacandona (Martínez y Ramos, 1989). Este descubrimiento de gran relevancia para la ciencia a nivel mundial es uno de los ejemplos del endemismo de la región.

Hasta el momento no existe un análisis de la variación espacial del endemismo en la región del CBMx. Con las bases de datos disponibles hoy en día, es posible conocer cómo las especies endémicas para el país se distribuyen en la región, y conocer por ejemplo, en qué lugares se concentra el mayor número de estas especies. Este análisis se realizó utilizando las mismas fuentes de información que se utilizaron para analizar el patrón espacial de diversidad, y los principales resultados se describen a continuación.

En relación con las aves, la mayoría de las especies de aves extienden su distribución hacia el norte de México y hacia Centroamérica, de manera que el endemismo es relativamente bajo (Figura 2.6). Aún así, la zona costera del norte de la Península de Yucatán y el este de Sian Ka'an destacan por la presencia de numerosas especies endémicas como la codorniz yucateca (*Colinus nigrogularis*), el carpintero yuca-

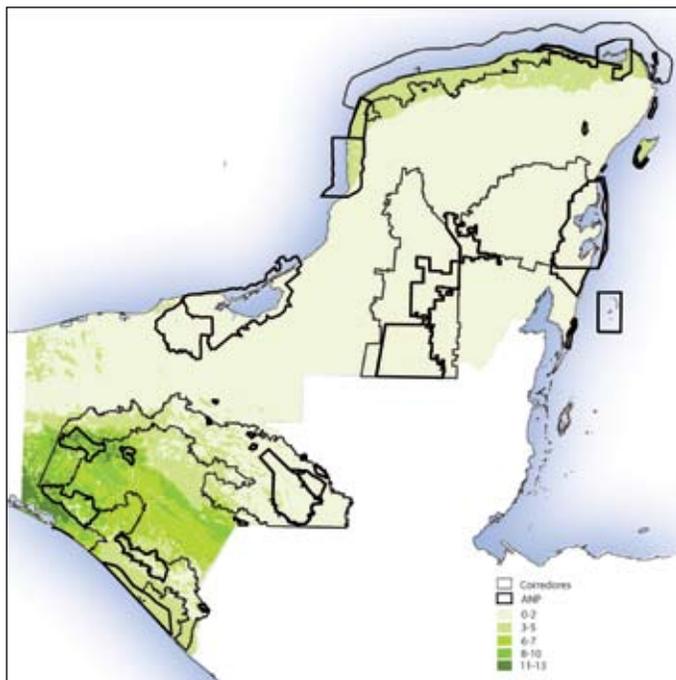


teco (*Melanerpes pygmaeus*) y el colibrí cola hendida (*Doricha eliza*), por mencionar algunos. La zona del CBMx donde habita un mayor número de especies endémicas es la parte este de Chiapas, donde hay sitios que pueden concentrar más de 10 especies endémicas.

En un contexto geográfico mayor, la región del CBMx no sobresale por su nivel de endemismo en aves, ya que para todo el país se ha reportado que las especies de aves endémicas se concentran en la región oeste, central y sur de las tierras altas de México a más de 2,000 msnm en los bosques de encino, de pino-encino y mesófilo de montaña, en la Sierra Madre Occidental, el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur en Guerrero, así como en las islas Revillagigedo, las Islas Tres Marías y la Cuenca del Balsas (Escalante *et al.*, 1993; González-García y Gómez de Silva, 2003, Conabio, 2006).

En los mamíferos el endemismo se concentra en algunas regiones de Chiapas, particularmente en las Selvas húmedas del Petén-Tehuantepec, con alrededor de 10 especies y, en menor grado, en los bosques de coníferas y encinos de los Altos de Chiapas y en la Sierra Madre de Chiapas. Destaca en este grupo la existencia de especies endémicas para algunas localidades de Chiapas, como es la rata arborícola *Tylomys bullaris*, que habita el bosque tropical caducifolio, el ratón *Reithrodontomys spectabilis*, que se encuentra en el bosque tropical caducifolio. Otras especies como la musaraña *Sorex stizodom*, es exclusiva del bosque de pino-enci-

Figura 2.6
Distribución espacial en la región del CBMx de las aves endémicas de México (datos de Navarro *et al.*, 2003)





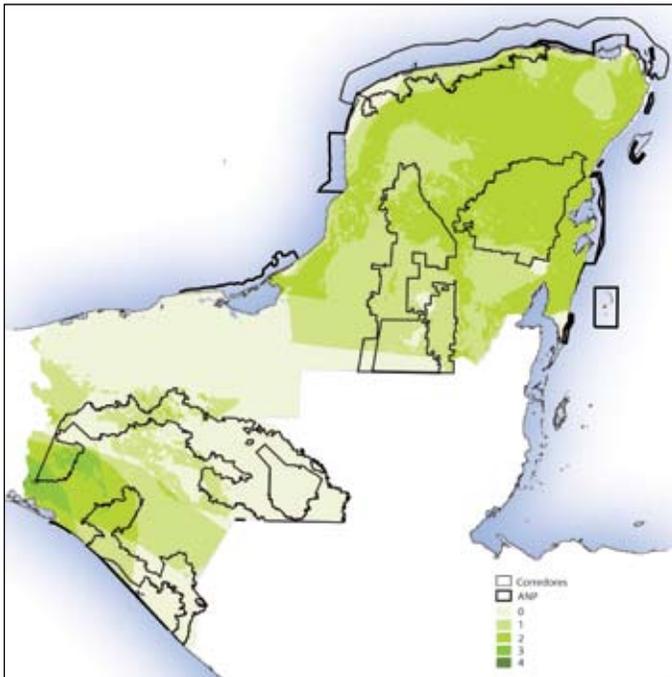
no, de igual forma que el murciélago *Rhogessa genowaysi*, de reducida distribución (Ceballos y Oliva, 2005).

En un contexto geográfico mayor, las especies endémicas de mamíferos se concentran en el centro del país (Eje Neovolcánico Transversal), en las selvas bajas de la costa del Pacífico mexicano y en las islas de Baja California (Ceballos y Rodríguez, 1993; Caballos y Oliva, 2005), de manera que la región del CBMx no es una región que sobresalga en términos de su endemidad de mamíferos.

Las especies endémicas de anfibios se localizan principalmente en Chiapas, en particular en los bosques de coníferas y encinos de los Altos de Chiapas y en la región fronteriza con Oaxaca, aunque en el norte de la Península de Yucatán también existen especies endémicas. En la región del CBMx existen seis especies endémicas que se concentran en una extensión reducida de bosque mesófilo conocido como El Pozo, Chiapas y se trata de la salamandra *Ixalotriton niger*, la rana *Eleutherodactylus*, las lagartijas *Anolis parvicirculatus* y *Sceloporus internasalis* (Figura 2.8).

Figura 2.7

Distribución espacial en la región del CBMx de los mamíferos endémicos de México



En un contexto geográfico mayor, la región del CBMx no destaca en términos del endemismo de estos grupos, ya que las mayores concentraciones de especies endémicas, tanto de anfibios como de reptiles, se concentra en el Eje Neovolcánico y en la Depresión del Balsas (Flores-Villela, 1993; Ochoa-Ochoa y 2006).



El patrón de endemismo de reptiles es similar al de anfibios, aunque el número de especies endémicas es mayor en los reptiles (Figura 2.9).

En relación con la vegetación, algunos grupos de plantas sobresalen en la región tanto por su diversidad de especies como por su endemismo (Sosa y Dávila, 1994; Conabio, 2006). El Proyecto de Flora Mesoamericana, que abarca los siete países centroamericanos, así como los estados sureños mexicanos de Campeche, Chiapas, Tabasco, Quintana Roo y Yucatán, señala la existencia de 17 mil especies, con 2941 endémicas en toda la región (Mittermeier et al., 2004).

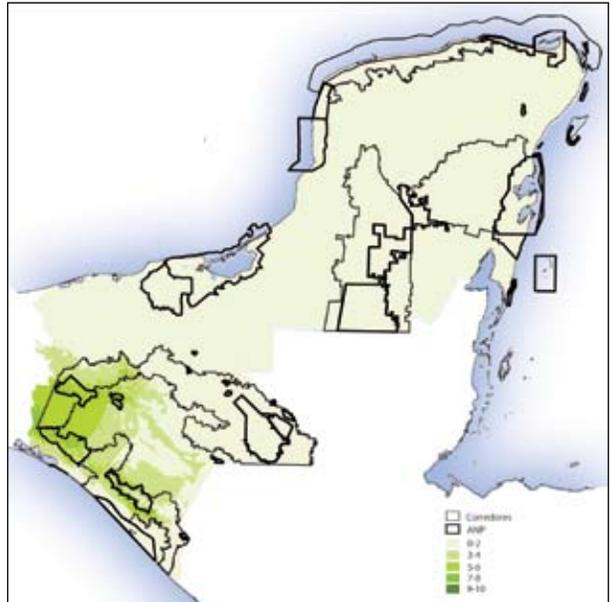
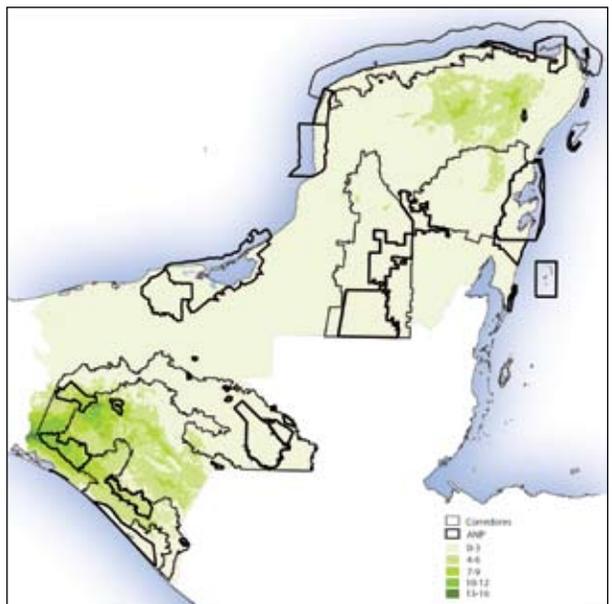


Figura 2.8 Distribución espacial en la región del CBMx de los anfibios endémicos de México (Ochoa-Ochoa y Flores-Villela, 2006)

Figura 2.9
Distribución espacial en la región del CBMx de los reptiles endémicos de México (Ochoa-Ochoa y Flores-Villela, 2006)



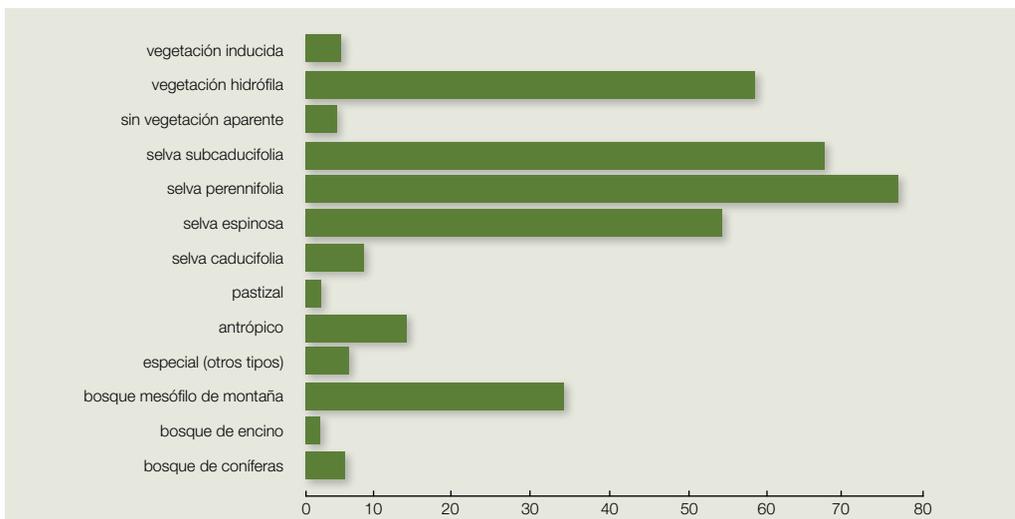


2.5. Diversidad de ecosistemas en el CBMx

Una de las características sobresalientes de la región del CBMx es la gran diversidad de ecosistemas que ahí se encuentran, tanto terrestres como marinos. En esta sección nos centraremos en una descripción general de los ecosistemas terrestres, utilizando como base la información de INEGI Serie III (INEGI, 2002), referente al uso de suelo y vegetación. Esta clasificación define distintas coberturas de uso de suelo y vegetación que pueden ser utilizadas como base para un análisis de la diversidad de ecosistemas.

Los tipos de vegetación forman un mosaico de ecosistemas que siguen un patrón espacial que a grandes rasgos se pueden describir de la siguiente manera. En primer término, en la región del CBMx se encuentran representados los grandes tipos de vegetación natural definidos por INEGI (INEGI, 2002): vegetación hidrófila, selva subcaducifolia, selva perennifolia, selva espinosa, selva caducifolia, pastizal, bosque mesófilo de montaña, bosque de encino y bosque de coníferas. Sobresale el hecho de que una proporción alta de la selva perennifolia del país, cerca de 75%, se localiza en la región del CBMx. También una proporción alta de la selva subcaducifolia (65%) y de la vegetación hidrófila (60%) se encuentran en esta región (Figura 2.10).

Figura 2.10.
Proporción de los tipos de vegetación en la región del CBMx en relación con la superficie total que ocupan en el país

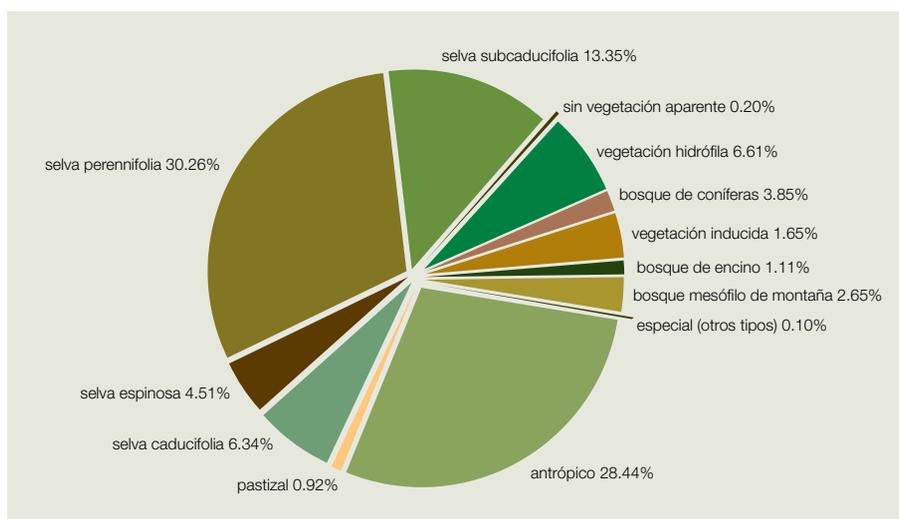




En la región del CBMx la distribución de estos tipos de vegetación sigue un patrón espacial complejo. Sobresale, en primer lugar, la dominancia de ciertos tipos de vegetación, como son la selva perennifolia (30%) y la selva subcaducifolia (13%), aunque también llama la atención que las zonas agrícolas y pecuarias ocupan más de 10% de la superficie de la región. Otros tipos de vegetación ocupan una superficie mucho menor, como es el bosque mesófilo de montaña, que aunque abarca únicamente 3% de la región, corresponde a casi la mitad de la extensión que ocupa en el país y es el hábitat de numerosas especies endémicas (Flores-Villela y Gerez, 1994) (Figura 2.11).

En la Península de Yucatán dominan la selva perennifolia, selva subcaducifolia y selva caducifolia (Figura 2.12). La Península de Yucatán es un mosaico único de ecosistemas tropicales, resultado de más de mil años de manejo de los mayas antiguos y modernos. Un ejemplo claro de esto es el descubrimiento de que la zona conocida como “bajos”, es el resultado del intenso manejo de las zonas inundables por los antiguos mayas (Dunning *et al.*, 2002).

Figura 2.11
Proporción de la superficie del CBMx que ocupa cada tipo de vegetación

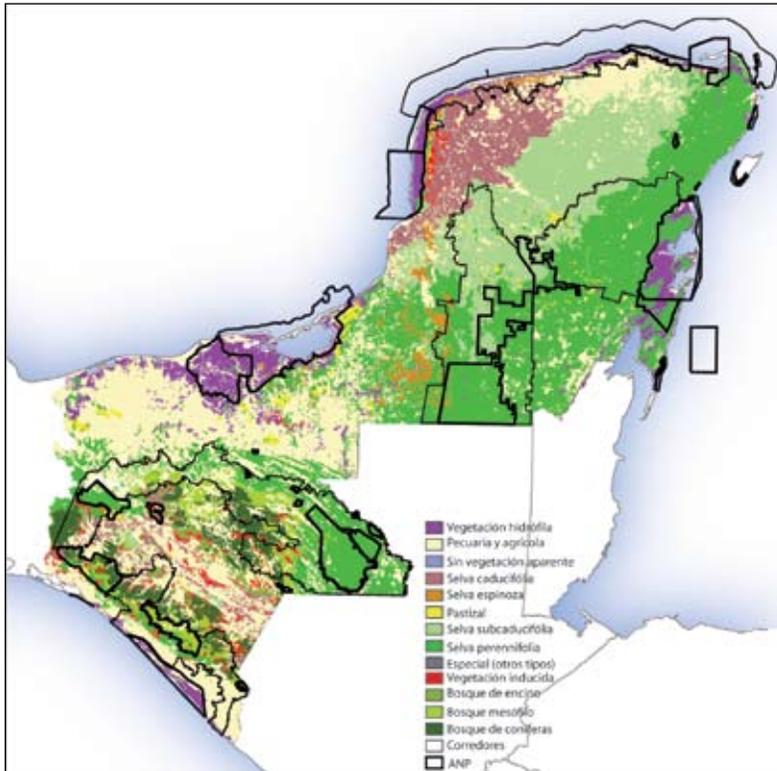




En la parte correspondiente a Chiapas, se encuentra un mayor número de tipos de vegetación, entre los que se encuentran el bosque de coníferas, los bosques de encino y el bosque mesófilo de montaña. Estas zonas abarcan una superficie reducida en la región, pero son de gran importancia ecológica, ya que albergan numerosas especies endémicas (Flores-Villela y Gerez, 1994), además de que proporcionan servicios ambientales de gran importancia como la captación de agua pluvial y reservorios de carbono.

Las zonas inundables y los humedales, son ecosistemas que ocupan grandes extensiones del estado de Tabasco y de la costa de Quintana Roo principalmente, y que en conjunto ocupan cerca de 6% de la región del CBMx (Figura 2.12). Los Pantanos de Centla, ubicados en Tabasco, son uno de los humedales más grandes del continente.

Figura 2.12 Uso de suelo y vegetación en el CBMx (datos de INEGI, 2002)





2.6. Bienes y servicios de los ecosistemas

Aunque la pérdida de especies animales y vegetales es en sí un aspecto de gran importancia, la pérdida de los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas es en donde se han comenzado a centrar los esfuerzos de conservación en los últimos años. De acuerdo con el Milenium Ecosystem Assessment (2005), los ecosistemas proporcionan servicios de soporte (reciclado de nutrientes, formación del suelo), regulación (del clima, de inundaciones), de provisión (alimentos, agua dulce) y cultural. Los ecosistemas presentes en el CBMx proporcionan una serie de bienes y servicios que, de continuar las actuales tasas de deforestación y de pérdida de la cobertura forestal, pondrían en grave riesgo el capital natural, sustento de las actividades productivas de los habitantes de aquella región y del país.

Algunos elementos que podemos considerar inicialmente en cuanto a la diversidad de ecosistemas en la región y los bienes y servicios derivados de la descripción realizada en los incisos anteriores son las siguientes:

- Las grandes extensiones de selvas y bosques del CBMx juegan un papel fundamental en el ciclo hidrológico y en la dinámica de los suelos, protegiéndolos de la erosión. Alteraciones en la composición y calidad del suelo y un aumento en la erosión podrían tener repercusiones en la productividad de las tierras y ello afectaría la actividad agrícola de la región.
- El papel de los bosques y selvas como reservorio de dióxido de carbono es de gran importancia. De desaparecer como consecuencia de la pérdida de bosques, es probable que se estén liberando a la atmósfera cantidades de CO₂ que contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global
- Ecosistemas como los manglares tienen un papel fundamental en la productividad de los mares de la región. Se sabe que la alteración de estos ecosistemas puede tener un efecto en la productividad de las pesquerías y en otros recursos marinos vitales para la economía de los habitantes.



- También es conocida la función de los manglares como barrera o amortiguador natural de los fenómenos meteorológicos, como los huracanes. Es probable que las graves afectaciones de los últimos huracanes en la región sean causa, en parte, de la pérdida de grandes extensiones de manglares.
- Procesos ecológicos, como la polinización, podrían verse afectados de continuar perdiéndose grandes extensiones de ecosistemas. Si bien no hay una evaluación de los efectos de la pérdida de hábitat en polinizadores como las abejas, en Estados Unidos se han reportado mermas significativas en la producción de miel por la desaparición de millones de panales. Esta consideración es pertinente dado que la producción de miel y el cultivo de café son dos de las actividades relativamente exitosas en la región y que dependen de este servicio de polinización.
- Procesos ecológicos como la dispersión de semillas, y con esto la regeneración natural de los bosques y selvas, podrían estarse perdiendo de continuar la desaparición de hábitat de los dispersores y polinizadores como aves, murciélagos y otros mamíferos. Este proceso conocido a gran escala como defaunación, podría ocurrir en la región, como ha sucedido en otras zonas de selvas de México, como Los Tuxtlas, en Veracruz, por mencionar un caso documentado.
- Una de las actividades ancestrales de práctica extensiva en la región es la roza-tumba y quema de la selva como una actividad preparatoria a la siembra. Es una forma de regresar a la tierra los nutrientes necesarios para que pueda desarrollarse la agricultura de subsistencia (siembra de maíz, frijol, calabaza, chile y variedades asociadas). Este servicio que proporcionan los ecosistemas a los habitantes de la región para su subsistencia podría verse interrumpido de continuar la tala masiva de bosques y selvas del CBMx.
- Un servicio de gran importancia que brindan los ecosistemas de la región es la belleza escénica, base de la actividad turística. Este servicio es, precisamente, resultado de la variedad de ecosistemas, que es una combinación de



bosques, selvas, lagunas, ríos, sitios arquitectónicos y las actividades humanas que se realizan ahí. De perderse el valor escénico en la región, se vería afectada la actividad turística.

- Los ecosistemas de la región representan un gran reservorio de información genética escasamente conocida. Desde el punto de vista de la prospección de nuevos productos con fines farmacéuticos, sus selvas y bosques representan un potencial económico de gran valor. Si esta información se perdiera como efecto de la destrucción, desaparecería con ello un importante capital natural.

La gran diversidad de especies y de ecosistemas de la región del CBMx y algunos bienes y servicios que estos proporcionan están siendo amenazados por las actividades que se desarrollan en la región. La conversión de bosques y selvas a tierras de cultivo y tierras ganaderas, la extracción de madera así como la presión de la caza y el saqueo de especies animales y vegetales están afectando a las poblaciones de especies de un modo que aún no ha sido evaluado.

Los análisis presentados aquí muestran una complejidad en los patrones de diversidad y proporcionan información a nivel regional que pone contexto y sienta las bases para nuevos análisis. Dicho contexto es relevante tanto en la evaluación de la representatividad de la biodiversidad en las Áreas Naturales Protegidas y de los conectores biológicos, así como en términos de monitoreo.

Referencias

- CCAD-PNUD/GEF. 2002. *Proyecto para la consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano*. Serie Técnica No. 5. México.
- Ceballos, G. y P. Rodríguez. 1993. Diversidad y conservación de los mamíferos de México: II. Patrones de endemidad. En: R.A. Medellín y G. Ceballos (eds.), *Avances en el estudio de los mamíferos de México*. Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C., México. pp. 87-108
- Ceballos, G. y G. Oliva. 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. FCE/Conabio. México, 986 pp.



- CI. 2004. *Perfil de ecosistema. Región norte del hotspot de biodiversidad de Mesoamérica. Belice, Guatemala, México*. Critical Ecosystem Partnership Fund. 64 pp.
- CI, ECOSUR, FDN, PFB, PPY, TNC, WCS. 2005. *Plan Eco regional de las Selvas Maya, Zoque y Olmeca. Un esfuerzo conjunto*. Versión en CD.
- Conabio. 2006. *Capital natural y bienestar social*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Dunning, N.O., S. Luzzadder-Beach, T. Beach, J. C. Jones, V. Scarborough y T. P. Culbert. 2002. Arising from the Bajos: the evolution of a neotropical landscape and the rice of Maya civilization. *Annals of the Association of American Geographers* 92:267-283.
- Escalante, P., A.G. Navarro y A.T. Peterson. 1993. A Geographic, Historical and Ecological analysis of land bird diversity in México. En: T.P., Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (comp.). *Biological Diversity in México, origins and distribution*. Oxford Univ. Press. New York, USA. pp. 281-307.
- Escalante Espinosa, T. 2003. Patrones biogeográficos de la mastofauna mexicana. Tesis que para obtener el grado académico de Doctora en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Espadas-Manrique, C., R. Durán y J. Argáez. 2003. Phylogeographic analysis of taxa endemic to the Yucatán Peninsula using geographic information systems, the domain heuristic method and parsimony analysis of endemism. *Diversity and Distributions* 9: 313-330.
- Flores Villela, O. 1993. Herpetofauna of México: Distribution and endemism. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). *Biological Diversity of Mexico: origins and distributions*. Oxford Univ. Press. New York. pp. 253-280.
- Flores Villela, O. y P. Gerez. 1994. *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*. Conabio-UNAM. México, pp. 439.
- González-Espinosa, M., N. Ramírez-Marcial, N. y J.J. Rey-Benayas, (en prensa). Variación espacial de la diversidad arbórea de Chiapas: patrones regionales y jerarquía de factores determinantes. En: Sánchez-Velázquez, L.R, J. Galindo *et al.* (eds.) Universidad Veracruzana.
- González-García, F. y H. Gómez de Silva. 2003. Especies endémicas: riqueza, patrones de distribución y retos para su conservación. En: H. Gómez de Silva y A. Oliveras de Ita (eds.). *Con-*



- servación de aves: experiencias en México. Conabio, Cipamex. México. pp. 24-85.
- INE. 2000. Programa de manejo Reserva de la Biosfera Calakmul, México. Instituto Nacional de Ecología, México.
- INEGI. 2002. Cartografía de uso de suelo y vegetación. Serie III. México.
- Martínez, E. y C.H. Ramos. 1989. Lacandoniaceae (Triuridales): una nueva familia de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden* no. 76, pp. 128-135.
- Maya-Martínez A., C. Pozo y E. May Uc. 2005. Las mariposas (Rhopalocera: Papilionidae, Pieridae y Nymphalidae) de la selva alta subperennifolia de la región de Calakmul, México, con nuevos registros. *Folia Entomológica Mexicana* 44(2): 123-143.
- Medellín, R.A. 1994. Mammal Diversity and Conservation in the Selva Lacandona, Chiapas. *Conservation Biology*. 8:780-799
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystem and human wellbeing: Biodiversity Syntesis*. World Resources Institute, Washington, D.C.
- Mittermeier, R.A., P. Robles Gil, M. Hoffman, J. Pilgrim, T. Brooks, C. Mittermeier, J. Lamoreux y G.A.B. da Fonseca (eds.). 2004. *Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. Cemex books on nature. Cemex. México.
- Navarro, A. y L.A. Sánchez-González. 2003. La diversidad de las aves. En: H. Gómez de Silva y A. Oliveras de Ita (eds.). *Conservación de aves: experiencias en México*. Conabio, Cipamex. México. pp. 24-85.
- Navarro-Sigüenza, A., A.T. Peterson y A. Gordillo-Martínez. 2003. Museums working together: The atlas of the birds of Mexico. *Bulletin of the British Ornithologist's Club* 123: 207-225.
- Ochoa-Ochoa, L.M. y O. Flores-Villela. 2006. *Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana*. Conabio/UNAM. México, 211 pp.
- Pennington, T.D. y J. Sarukhán. 2005. *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*. UNAM-Fondo de Cultura Económica. México, 523 pp.
- PNUMA-CCAD. 2003. *Perspectivas de la Biodiversidad en Centroamérica*. Informe.
- Sosa, V. y P. Dávila. 1994. Una evaluación del conocimiento florístico de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 81: 749-757.

SECCIÓN 3. **GEOINFORMACIÓN DE RELEVANCIA HIDROLÓGICA PARA EL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO-MÉXICO**

OMAR TAPIA Y JUAN MANUEL NÚÑEZ

3.1 Introducción

La región sur-sureste de la República Mexicana que conforma el CBMx cuenta con una gran riqueza de recursos naturales y escénicos, alberga una gran biodiversidad de flora y fauna (lo que se traduce en recursos genéticos invaluables), cuenta con los yacimientos más importantes de hidrocarburos y minerales, tiene una extensa y productiva línea de costa y cuenta con los ríos más importantes y caudalosos del país. El río Usumacinta es el más largo, su cauce principal tiene una longitud de 927 km, seguido por el Grijalva, con 624 km (CNA, 2003). Estas características obligan a considerar el factor hidrológico de manera preponderante, tanto en la planeación de las políticas públicas, como en el monitoreo de salud de los ecosistemas de la región.

El estado actual y los cambios en los elementos del ciclo hidrológico están asociados con efectos de las modificaciones regionales de origen antropogénico, relacionadas normalmente con la disminución de la cantidad de superficie cubierta con vegetación arbórea. Esta variable es el principal componente y el más dinámico del hábitat de las especies de la región del CBMx (ver Sección 4). La precipitación y escorrentía (definida como la cantidad de agua fluyendo sobre las superficies y sobre los cauces de las áreas geográficas de análisis) son posiblemente los elementos del ciclo hidrológico que más fuertemente se interrelacionan con los patrones de cobertura vegetal.

En esta sección incluimos una serie de aspectos de carácter hidrológico que son de especial relevancia tomando en cuenta los elementos integrados en el diseño del sistema de monitoreo del CBMx. En un primer apartado se presenta una regionalización general del CBMx en términos hidrológicos. Ésta tiene que ver fundamentalmente con aspectos físicos que diferencian conceptualmente el funcionamiento hidrológico de las áreas del CBMx. El siguiente apartado presenta la definición geográfica de los límites del paisaje del CBMx con base en criterios hidrológicos. Esta delimitación geográfica es la que se propone para ser utilizada en el esquema del monitoreo del CBMx. El tercer apartado es sobre la delimitación geográfica de las cuencas principales del CBMx. La definición de patrones espaciales y temporales de precipitación para el paisaje del CBMx es un aspecto de relevancia para nuestro esquema de monitoreo.



El cuarto apartado incluye determinaciones de patrones de precipitación a nivel del paisaje del CBMx y de sus cuencas principales. Considerando el enorme poder destructivo (afectando personas, bienes materiales, biodiversidad) de los fenómenos extremos de precipitación, también se presentan elementos sobre su incidencia en la zona. El quinto apartado integra determinaciones distribuidas geográficamente de escorrentías para las cuencas principales del CBMx, considerando el año 2000 como un indicador de la situación actual de esta variable espacial. Finalmente, el apartado final destaca los aspectos fundamentales de la información presentada, que pueden significar alteraciones en (o pueden ser alterados por) los patrones de biodiversidad del CBMx.

3.1.1 Regionalización del CBMx en términos hidrológicos

En este aspecto el CBMx está definido por dos principales regiones. La primera, situada al sureste, se caracteriza por una zona montañosa muy abrupta (Figura 3.1) recorrida por los ríos Grijalva y Usumacinta, que nacen en Guatemala pero que son alimentados principalmente por las abundantes lluvias registradas en las partes altas del estado de Chiapas.

A lo largo del río Grijalva se ubican La Angostura, Malpaso y Chicoasén (Figura 3.2), tres de las presas de mayor capacidad en México. La zona montañosa termina con la unión de estos dos grandes ríos en una llanura de inundación localizada principalmente en el estado de Tabasco, la cual se caracteriza por la presencia de grandes humedales.

La segunda región hidrológica del CBMx corresponde a la Península

Figura 3.1 Bosque mesófilo de montaña, Chiapas
Foto: Sarah C. Crews





de Yucatán y a la parte que emerge de la plataforma continental de Yucatán. Abarca una extensión de 300 mil km² y separa al Mar Caribe del Golfo de México. La Península carece de drenaje superficial debido a su origen cárstico y el río Hondo en la frontera con Belice es su único sistema fluvial. Esta característica litológica le da una configuración de agua subterránea única en el mundo (Beddows *et al.*, 2003).

El estado de Yucatán cuenta con cerca de 8 mil cenotes (ejemplo en Figura 3.3). La mayor concentración conocida hasta ahora se localiza en la costa norte de la Península, cerca de la ciudad de Mérida, en lo que se ha denominado el Anillo de cenotes. Este Anillo coincide con el diámetro externo del Cráter de Chicxulub. En los estados de Campeche y Quintana Roo la cobertura de bosque ha hecho más difícil el cálculo del número de cenotes. Sin embargo, se estima que a lo largo de la zona costera de Quintana Roo hay aproximadamente 600 cenotes, la mayoría de ellos alineados en dirección noreste, desde la Laguna de Bacalar (Figura 3.4) en Chetumal, hasta la zona turística de Cancún (Beddows *et al.*, 2003).

A lo largo de la costa norte del Caribe se localizan las cinco cuevas sumergidas más grandes

Figura 3.2 Río Grijalva, Chiapas
Foto: José Manuel Madrigal

Figura 3.3 Cenote Sagrado de Chichén Itzá, Yucatán
Foto: Edward Kurjack





Figura 3.4 Laguna de Bacalar, Quintana Roo
Foto: Juan M. Núñez

del mundo, resultado de la disolución de volúmenes grandes de roca asociada a las variaciones del nivel del mar a lo largo de miles de años. En investigaciones recientes, cerca de la zona arqueológica de Tulum se descubrió el río subterráneo más grande del mundo, con alrededor de 153 km de longitud y una profundidad máxima de 75 m. Este río denominado Sac Actún desemboca en la zona costera de la Riviera Maya (Roach, 2007).

Éste y otros ríos subterráneos de enormes dimensiones drenan la lluvia que cae al interior de la Península transportando el agua hasta la costa a través de caletas como Xel Ha y Xcaret.

3.2 Definición de los límites de la región del CBMx con base en criterios hidrológicos

La región del CBMx se definió utilizando un criterio hidrológico mixto. Ello significa que se consideró como la parte mexicana del CBMx el área comprendida dentro de las cuencas hidrográficas propuestas recientemente por el Instituto Nacional de Ecología (INE), la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (INEGI, INE, Conagua, 2007). Los límites obtenidos se “refinaron” a una resolución espacial mayor utilizando los límites de las áreas de captación pluvial que intersecan aquellos de las cuencas hidrológicas. Las áreas de captación y el sistema de conectividad hidrológica superficial fueron generadas a partir del procesamiento de un modelo digital de elevación del *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), a 30 m, disponible para la región de acuerdo a lo expuesto en el Recuadro 1.



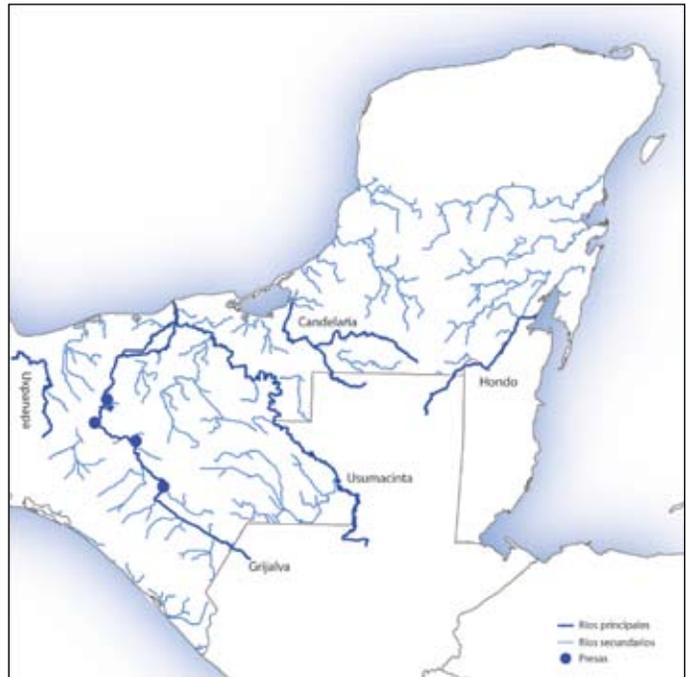
RECUADRO 1

La información proveniente de los sensores remotos puede convertirse en uno de los principales recursos de información geoespacial acerca de la precipitación tropical. El satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) provee de una colección de imágenes satelitales de alta resolución temporal que permiten la obtención de productos digitales de acumulados horarios de precipitación, que a su vez posibilitan el monitoreo continuo de fenómenos meteorológicos tropicales y subtropicales (De Angelis *et al.*, 2004).

El recurso de información específico para el monitoreo de la precipitación generada por los huracanes Stan y Wilma durante 2005 en el CBMx corresponde al producto denominado 3B42 (TRMM and Other Satellites Rainfall Product) el cual asigna, mediante la combinación de mediciones de los instrumentos del TRMM e imágenes satelitales geoestacionarias, tasas efectivas de precipitación para un tiempo nominal de observación de 3 horas (GSFC, 2006).

El CBMx definido de esta forma comprende los estados de Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Chiapas, parte del estado de Tabasco y una pequeña fracción del estado de Veracruz (Figura 3.5). Su extensión con estas delimitaciones es de cerca de 229 900 km², que corresponden aproximadamente a 12% del territorio nacional.

Figura 3.5 Ríos y cuerpos de agua y segmentación en áreas de captación de la región del CBMx. Las líneas en color blanco corresponden a la delimitación de las áreas de captación pluvial que definen el paisaje geográfico del CBMx





RECUADRO 2

Los datos SRTM proveen de una cobertura mundial de elevación a escala cercano global, con lo que es posible la construcción de un Modelo de Elevación Digital (MED) homogéneo. El MED permitió la delimitación de áreas de captación pluvial con un promedio de 200 km², de acuerdo a la metodología descrita a continuación para definir patrones de conectividad hidrológica superficial de áreas geográficas de captación de agua de lluvia (AC). Este proceso es realizado de acuerdo con el *modelo raster* de extracción de información de la estructura topográfica, propuesto por Jenson y Domingue (1998). Una ventaja importante del procedimiento radica en la posibilidad de hacer una delimitación jerárquica de las AC, de forma tal que las de menor tamaño se insertan perfectamente en las de mayor tamaño, en cuanto a límites geográficos y a la conectividad hidrológica superficial, mediante la definición de redes de drenaje, mismas que son funcionales a todos los niveles de delimitación de AC. Considerando lo anterior, el tamaño de las AC puede ser definido tan grande o tan pequeño como se requiera para los fines específicos del monitoreo propuesto para el proyecto CBMx.

La premisa fundamental del modelo de conectividad hidrológica superficial implementado en ArcHydro para la definición de los sistemas de escorrentía es que el agua fluye en la dirección de mayor pendiente (Jenson y Domingue, 1998). Para este modelo se fijó como convención el sistema de ocho direcciones, considerando que en un MED existen al menos 8 celdas colindantes a cada celda y, por tal motivo, el flujo es posible en alguna de esas ocho direcciones, mismas que están determinadas como 2^x con $x=\{0,1,\dots,7\}$.

El cálculo de direcciones de flujo está basado en la definición de la gradiente de mayor pendiente desde el centro de cada cel-



RECUADRO 2 (CONTINÚA)

da hacia el centro de las células circunvecinas. De esta forma es posible obtener un mapa *raster* de direcciones de flujo. Determinar las acumulaciones de flujo constituye el siguiente paso para la definición del sistema de drenaje. El mapa correspondiente es creado a partir del de direcciones de flujo y registra la cantidad de celdas que fluyen hacia otra en particular. Existe la posibilidad de que el flujo de una celda no alcance el punto de salida (*outlet*) del área de captación, esto puede ser provocado por fallas al generar el DEM o por escalas “insuficientes”. En tal caso, Maidment (2000) recomienda la aplicación de procedimientos para corregir esas imprecisiones del modelo o mediante el procedimiento denominado “quemado” del MED, lo cual implica una elevación artificial de las zonas de parteaguas, de forma tal que se asegura el flujo hacia zonas más bajas. La definición de las corrientes (*streams*) se realiza utilizando un valor límite de acumulaciones de flujo, es decir, un valor límite de celdas que indica si en la celda en cuestión la cantidad de celdas que fluyen a ella es mayor a ese valor. En tal caso, la celda debe ser considerada como parte de la red de drenaje. El encadenado de corrientes es una función para segmentar la red de corrientes (definir sus componentes e identificarlas), establecer ligas (*links*) para crear la denominada red de drenaje y asignar el identificador de las áreas de captación (*GridCode*). Para determinar rutas de drenaje (*drainage paths*) a cada celda en un *link* se le asigna el mismo número. Como salida se produce el *outlet grid* a partir del *streamlink grid*: con celdas *outlet* conteniendo *GridCodes*; a las demás celdas se les asigna un valor nulo (*No data*). Los *GridCodes* se usan como *DrainIDs* cuando los datos resultantes se cargan en el modelo. Realizados los pasos anteriores es posible obtener las capas geográficas de áreas de captación y sistema de drenaje con geometría y topología específicas.



Figura 3.6 Principales cuencas ubicadas en la región del CBMx

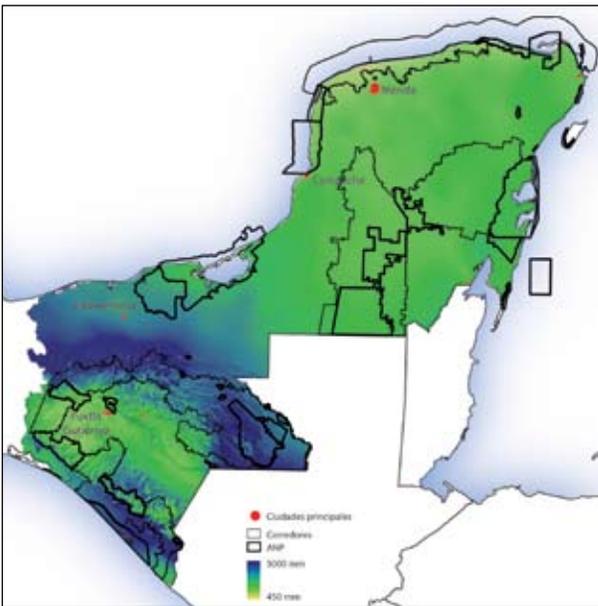


Figura 3.7 Precipitación pluvial para el paisaje de CBMx (TRMM)

3.3 Cuencas de los ríos principales del CBMx

Las cuencas principales de la región del CBMx son las de los ríos Grijalva, Usumacinta, Candalaria, Hondo y Uxpanapa (Figura 3.6). A excepción de la cuenca de este último río, que se localiza exclusivamente en territorio mexicano, el resto comparte extensión territorial con Guatemala y Belice. El 80% de la cuenca del Usumacinta y el 88% de la del Grijalva se encuentran en territorio mexicano. La cuenca del río Hondo es la única que tiene menos de la mitad de su área geográfica en México. Las implicaciones en términos de manejo y monitoreo del CBMx son importantes, pues el mantenimiento de los procesos que protegen tanto su biodiversidad como los servicios ambientales que provee, dependen de las decisiones tomadas por cada país y otras de tipo multinacional.

3.4 Precipitación en el CBMx

Las tasas de precipitación que se registran en la región del Corredor son de las más elevadas del país. Los estados que comprende sobrepasan la media nacional de precipitación anual (770 mm), con 320 mm para Yucatán; 370 mm para Campeche

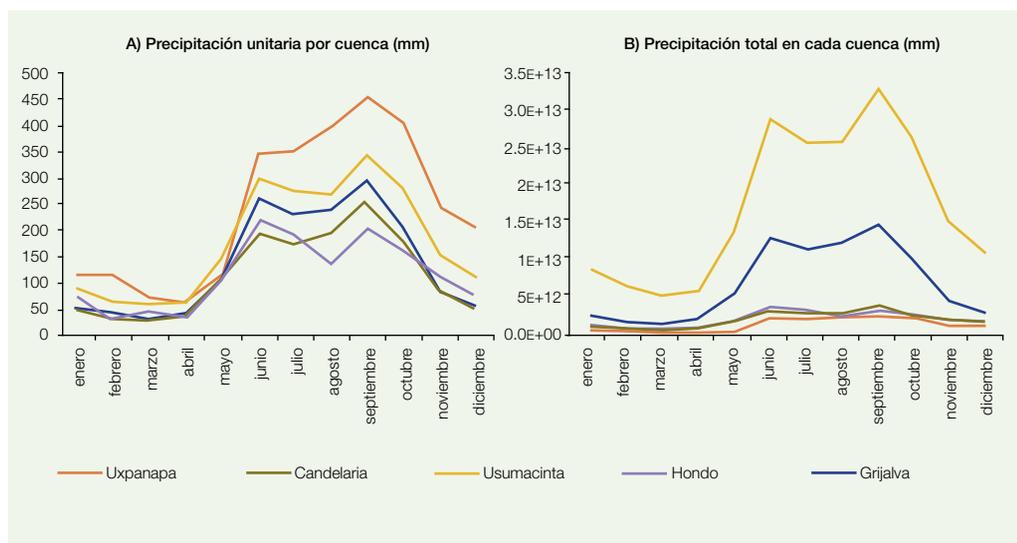


che; 500 mm para Quintana Roo; 1 200 mm para Chiapas, y hasta 1 700 mm para Tabasco (CNA, 2003). En la figura 3.7 se muestra un mapa de precipitación anual tomado de TRMM (Recuadro 1) para la región del CBMx. Como puede observarse, los mayores niveles de precipitación corresponden a las zonas montañosas de Chiapas y su costa, así como a las partes inundables de Tabasco. La Península de Yucatán presenta los niveles más bajos de precipitación en la zona del CBMx. Este hecho contribuye a sustentar la regionalización presentada en el Apartado 3.1.

3.4.1 Precipitación por cuencas hidrográficas del CBMx

La gráfica de precipitación unitaria (Figura 3.8 A) por cuenca muestra una cierta homogeneidad en cuanto a la cantidad de milímetros que precipitan por metro cuadrado para cada una de las cuencas consideradas, excepto la cuenca del río Uxpanapa, en la que se observan niveles de precipitación mucho más altos que los de las demás cuencas. La que cuenta con mayor precipitación total es la cuenca del Usumacinta debido a que tiene una mayor extensión (Figura 3.8 B).

Figura 3.8
Precipitación pluvial en las principales cuencas del CBMx





3.4.2 Fenómenos extremos de precipitación

Trabajos recientes han reportado que desde mediados de los años setenta los huracanes son de mayor intensidad y de vida más larga. Los resultados de estas investigaciones sugieren que el calentamiento de la atmósfera que se espera para los siguientes años puede conducir a una tendencia ascendente en el potencial destructivo de los huracanes (Kerry, 2005).

La región del CBMx es susceptible al embate de huracanes, principalmente los que se originan en el Océano Atlántico. En el siglo pasado, se registró un aumento en el número de huracanes de gran intensidad que tocaron tierra dentro de la región del CBMx. Mientras que durante las primeras cuatro décadas no se registraron huracanes de categorías 4 y 5, en los últimos diez años el total de huracanes en cada una de esas categorías fue de más de cinco (Tabla 3.1) (UNISYS, 2006).

Tabla 3.1 Registro de tormentas tropicales y huracanes durante los últimos 100 años en la región del CBMx.

Elaboración propia con datos de UNISYS Weather

La temporada de huracanes de 2005 en el Atlántico fue extraordinaria, con 27 tormentas tropicales, fenómeno que no se había observado antes. En el CBMx cuatro huracanes causaron gran cantidad de daños a su infraestructura y sus recursos naturales (Figura 3.8). En particular, los huracanes





Stan y Wilma generaron, en un corto periodo, grandes daños a los recursos humanos y bióticos de la región. En los Recuadros 3 y 4 se presenta información ampliada de los efectos de estos huracanes en la región del CBMx.

RECUADRO 3. HURACÁN STAN

El huracán Stan fue la decimoctava tormenta tropical y el décimo huracán de la temporada en el Océano Atlántico en 2005. Stan fue una tormenta relativamente fuerte que, mientras se estableció como huracán de categoría 1 en un corto período de tiempo y aunado a otros factores meteorológicos, causó inundaciones y deslizamientos en el sur de México las cuales provocaron la muerte de 16 personas en el estado de Chiapas, durante los días 3, 4 y 5 de octubre de 2005. Stan tocó tierra en la Península de Yucatán como tormenta tropical el 2 de octubre reduciéndose a depresión tropical durante su paso por aquel lugar. Tomó fuerza de nueva cuenta y resurgió en la Bahía de Campeche. El 4 de octubre tenía suficiente potencia para ser denominado huracán. Stan volvió a tocar tierra en el centro de la costa este de México produciendo desprendimientos de tierra, inundaciones y fuertes vientos a lo largo de su recorrido por el sureste del país.

Grandes extensiones de sembradíos de café y otros cultivos de la región se perdieron a consecuencia de las inundaciones generadas por las bandas de lluvia exteriores del huracán Stan. Debido a que la cosecha de café estaba por comenzar, las pérdidas fueron cuantiosas. En promedio, los agricultores damnificados perdieron entre 30% y 50 % de su cosecha de café. Además, pilas de fermentación, despulpadoras y patios de secado para el beneficiado del café también fueron destruidos por los deslizamientos de lodo. Cultivos de autoconsumo, como frijol y maíz, sobre terrenos inclinados también fueron destruidos (Natu-reland, 2005). Reportes publicados en Internet documentan el cambio de rutas de migración por parte de algunas aves (Gutiérrez Hernández, 2006) causados por este huracán en la costa de Chiapas y el Soconusco.

Áreas de Chiapas cercanas a la frontera con Guatemala fueron golpeadas duramente, en particular la ciudad de Tapachula, donde el desbordamiento del río Coatán causó grandes daños, incluyendo la destrucción de todos los puentes de acceso a la ciudad.



RECUADRO 4. HURACÁN WILMA

El huracán Wilma fue la vigésimo primera tormenta tropical y el decimosegundo huracán de la temporada en el Océano Atlántico en 2005. Clasificado como el huracán más intenso de la historia de la meteorología al registrar la presión barométrica más baja hasta hoy (882 hPa), en la Península de Yucatán se registraron vientos que superaron los 200 km/hora.

En la región del CBMx Wilma tocó tierra el 21 de octubre, en la Península de Yucatán, como un poderoso huracán categoría 4. Durante más de 24 horas Wilma tuvo un lento recorrido de 6 km/hora, lo cual prolongó el tiempo que permaneció en la ciudad de Cancún.

Wilma comenzó a acelerar en las primeras horas del 23 de octubre, abandonando la Península por el extremo noreste e internándose en el Golfo de México como un huracán de categoría 2, tras dejar graves daños económicos, humanos y ecológicos.



Figura 3.9 Daños ocasionados por el huracán Wilma en la costa de Quintana Roo.

Foto: Juan M. Núñez



3.5 Escorrentía superficial

En conjunto, las cuencas del río Usumacinta y del Grijalva constituyen el mayor caudal en todo el país. El gasto medio anual en la desembocadura es de 2154 m³/s (CNA, 2003). La del río Papaloapan, ubicada fuera de la región del CBMx, ocupa el segundo lugar a nivel nacional en cuanto a escurrimientos, no obstante, el valor es un poco más de una cuarta parte del escurrimiento registrado para las cuencas del Grijalva y del Usumacinta (CNA, 2003).

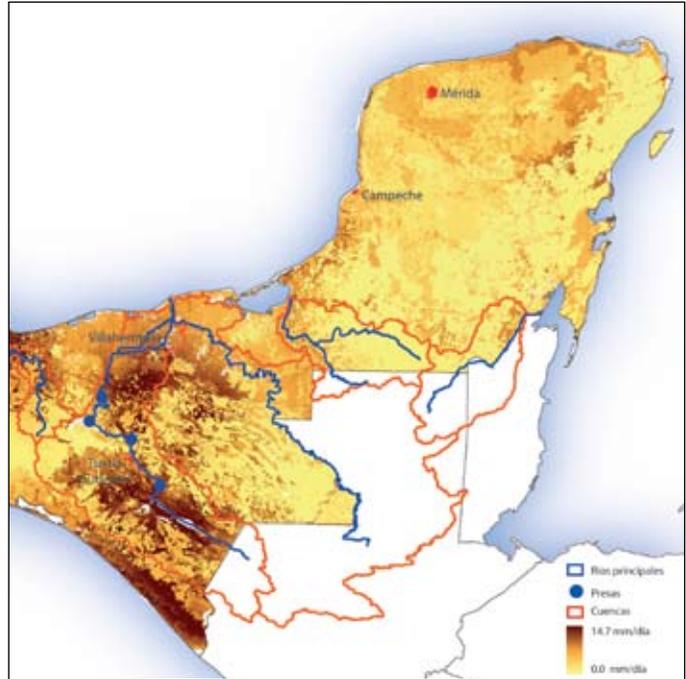


Figura 3.10
Estimación distribuida de escorrentías para la temporada de lluvias del año 2000 (consultar metodología en SCS, 1985; Tapia, 2005; Recuadro 5)

Como se ha mencionado, el valor de escorrentía superficial puede constituirse en un indicador del nivel de conservación de una cuenca en particular en cuanto a cobertura vegetal y superficies selladas (impermeables). Como un ejercicio acerca de la importancia de esta característica hidrológica, se estimó la escorrentía en 2000 de las cuencas de los ríos principales del CBMx dentro del territorio mexicano (Figura 3.10) con base en un modelo distribuido geográficamente (SCS, 1985; Tapia, 2005; Recuadro 5). En términos generales, es posible observar que la región con menor escorrentía es la Península de Yucatán, y que la región comprendida en la cuenca del Usumacinta, así como la costa de Chiapas, son las zonas en las que se producen las cantidades más altas de la misma.



RECUADRO 5. DETERMINACIÓN DISTRIBUIDA DE LA ESCORRENTÍA MEDIANTE MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA

Una vez definido el sistema de conectividad hidrológica superficial del área geográfica, expresado en áreas de captación interconectadas mediante un sistema de drenaje específico, se procedió a la determinación distribuida de escorrentías aplicando el método del número de curva (CN) del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS por sus siglas en inglés) de Estados Unidos. El método es descrito a detalle en NEH-4 (SCS, 1985) y en TR-55 (USDA, 1986). Durante los últimos años, el método CN ha sido utilizado por varios investigadores debido a que aporta resultados útiles que pueden ser obtenidos en poco tiempo (Sharma *et al.*, 2001; Chandramohan y Durbude, 2001; Sharma y Kumar, 2002). Está basado en la definición de pérdidas de precipitación en función de la intensidad misma de los eventos de precipitación y de la cantidad de agua que puede ser almacenada en el suelo. Permite el cálculo de escorrentía de tormenta individual o precipitaciones semanales, mensuales o anuales mediante la expresión:

$$Q = (P - 0.2 S)2/(P + 0.8 S) \text{ y } S = 1000/CN - 10$$

Con Q: escorrentía (mm), P: precipitación (mm), S: cantidad de P (mm) absorbida por el suelo.

Cuando el CN es igual a 100 quiere decir que la precipitación escurre 100%; cuando es igual a 1 la precipitación se infiltra en su totalidad. CN considera condiciones antecedentes de humedad del suelo: normales. Los números de curva se definen para cada una de las coberturas de suelo y para los grupos hidrológicos de suelos de acuerdo a tablas disponibles (en TR-55, USDA 1986).

3.5.1 Análisis coeficiente escorrentía-precipitación por cuencas para el año 2000

El cociente escorrentía-precipitación fue calculado para cada cuenca utilizando la geoinformación mostrada en las Figuras 3.8 y 3.10, tomando en cuenta sólo el territorio mexicano. Sin embargo, la proporción de lluvia que se vuelve escorrentía estimada para la parte mexicana puede ser un buen indicador de la cantidad de agua que escurre en el total de la



Nombre	% total de extensión de la cuenca (México)	Precipitación (México)	Escurrentía anual a la salida de la cuenca (México)	Coefficiente escurrentía-precipitación (%)
Candelaria	80.9	1.645E+13	4.475E+12	27.1
Grijalva	87.9	6.672E+13	4.401E+13	66.0
Hondo	34.0	6.550E+12	1.1826E+12	27.9
Usumacinta	50.0	9.756+E13	5.702E+13	58.4
Uxpanapa	100.0	1.534E+13	6.979E+12	45.5

cuenca. Por ello, es posible considerar fundamentales las observaciones que se presentan a continuación, si se piensa en que la única cuenca que tiene menos de la mitad de su área geográfica en México es la del río Hondo. Como se observó anteriormente, el resto tienen por lo menos 50% de su extensión (como el Usumacinta), y hasta 81% (cuenca del Candelaria) y 88% (el Grijalva) en México. La cuenca que presenta el mayor coeficiente escurrentía-precipitación (y por lo tanto menor nivel de conservación) es la cuenca del río Grijalva (66%). La del río Usumacinta es la que presenta el segundo lugar en la relación escurrentía-precipitación (58%). Estos datos contrastan con las cuencas de los ríos Hondo y Candelaria, las cuales retienen una cantidad muy importante del agua que se precipita. Lo anterior indica que estas dos últimas cuencas, con un coeficiente cercano al 28%, se encuentran relativamente bien conservadas (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Coeficiente precipitación-escurrentía (mm) para las principales cuencas del CBMx

Repercusiones para el esquema de monitoreo del CBMx

En la actualidad es reconocido el papel que juega el recurso hídrico para el correcto funcionamiento y conservación de los ecosistemas. Por ello, resulta de suma importancia entender su dinámica en tiempo y espacio. La región del CBMx se caracteriza por contar con importantes afluentes de agua y concentrar buena parte de la precipitación pluvial de la República Mexicana. Es también ahí donde se concentran los mantos acuíferos más grandes y menos explo-



tados del país. Sin embargo, esta cantidad tan grande de recursos hídricos puede alterar significativamente la biodiversidad y el adecuado uso del territorio por parte de los habitantes de la región. Así, los eventos de precipitación extrema pueden volverse cada vez más peligrosos en función de su constante incremento en intensidad y frecuencia. Las experiencias con los huracanes Wilma y Stan nos permiten verificar su enorme capacidad destructiva. Es necesario realizar determinaciones de corte hidrológico que nos indiquen qué efectos pueden estarse generando como consecuencia de los fenómenos extremos y cómo éstos se agravan con los cambios de cobertura terrestre, específicamente con la pérdida de cobertura forestal que, como se describe en la Sección 4, es un grave problema observable en el paisaje del CBMx. La realización de estas determinaciones, basándose en un modelo geográfico específico, es determinante, pues la geoinformación disponible para todo el CBMx no resulta lo suficientemente útil para efectos de análisis que resulten en la generación de mejores políticas públicas para lograr una gestión del territorio con mayor sustentabilidad. Este modelo geográfico deberá permitir la división del territorio en unidades de análisis con las que se puedan definir tendencias y características específicas de biodiversidad y funcionamiento hidrológico para efectos del monitoreo del Corredor. Una organización jerárquica de las unidades geográficas, es decir, que sea posible agruparlas en unidades de mayor tamaño o desagruparlas en unidades menores (subcomponentes), es deseable.

Referencias

- CNA. 2003. *Estadísticas del Agua en México*. México.
- CNA. 2005. *Síntesis de las Estadísticas del Agua en México*. Edición de 2005. México.
- GSFC. 2006. Tropical Rainfall Measuring Mission Science Data and Information System.
- NATURLAND. 2005. *Novedad y Actualidad*. Alemania.



- SCS. 1985. National engineering handbook. Section 4-Hydrology. Washington, DC.
- Beddows P.A., P.L. Smart, F.F. Whitaker y S.L. Smith. 2003. *Decoupled density stratified groundwater circulation on the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula, Mexico*. British Cave Research Association-Symposium Abstracts 29(2):93-94.
- Gutiérrez Hernández, Ó. 2005. "Huracán Stan cambia ruta migratoria de aves". El Universal. México, diciembre 2005, en Biodiversity Reporting (2006): MEX-30. <www.biodiversityreporting.org/index.php?pageId=sub&lang=en_us¤tItem=article&docId=20176&c=Mexico&cRef=Mexico&year=2006&date=December%202005> (página consultada en junio de 2007).
- De Angelis C.F., G.R. McGregor y C. Kidd. 2004. A tree year climatology of rainfall characteristics over tropical and subtropical South America based on tropical rainfall measuring mission precipitation radar data. *International Journal of Climatology*, vol. 24, pp. 385-399.
- INEGI, INE, Conagua. 2007. Mapa de las Cuencas Hidrográficas de México, escala 1:250 000. Cartografía en formato digital. México.
- Kerry, E. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature* 436(4): 686-688.
- Roach, J. 2007. World's Longest Underground River Discovered in Mexico. *National Geographic News*.
- Tapia Silva, F.O. 2005. Desarrollo de una metodología basada en elementos de geomática para cálculo distribuido de escorren-tías para eventos específicos de precipitación aplicable a zonas urbanas. Memorias del Taller Nacional Preparatorio al IV Foro Mundial del Agua. Jiutepec, Morelos, México.
- Jenson S.K. y O. Domingue. 1988. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 54(11): 1593-1600.
- Maidment D.V. (ed.). 2000. ArcGIS Hydro Data Model. Draft Data Model and Manuscript. 20th Annual ESRI User Conference. San Diego, California.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*. TR-55. 2a edición, USDA. Washington DC.
- UNISYS. 2006. Hurricane/Tropical Data.



-
- Sharma, D. y V. Kumar. 2002. Application of SCS model with GIS data base for estimation of runoff in an arid watershed. *Journal of Soil and Water Conservation* 30(2): 141-145.
- Sharma, T., P.V. Satya Kiran, T.P. Singh, A.V. Trivedi y R.R. Navalgund. 2001. Hydrologic response of a watershed to land use changes: A remote sensing and GIS approach. *International Journal of Remote Sensing* 22(11): 2095-2108.
- Chandrmohan, T. y D.G. Durbude. 2001. Estimation of runoff using small watershed models. *Hydrology Journal* 24(2): 45-53.

SECCIÓN 4. **CARACTERIZACIÓN DE LA COBERTURA FORESTAL EN EL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO-MÉXICO: PATRONES ESPACIALES EN LA PÉRDIDA Y FRAGMENTACIÓN DE BOSQUES**

FRANZ MORA

4.1 Introducción

Un paso necesario para establecer una nueva visión en las políticas de manejo de recursos naturales que haga explícito el valor de la biodiversidad y de los servicios ambientales de la región del CBMx, es conocer el estatus del capital ecológico e identificar las tendencias de deterioro, además de las amenazas a la biodiversidad. Al ser la cobertura forestal el primer factor asociado a la condición y cantidad de hábitat, el análisis de los cambios en la cubierta terrestre representa uno de los principales indicadores para evaluar el estatus y las tendencias del capital ecológico en la región.

En las últimas décadas bosques y selvas de la región del CBMx continúan desapareciendo a tasas aceleradas, con los consecuentes efectos en la pérdida de hábitat y de biodiversidad, además de afectar la calidad de los recursos hídricos, incrementar la erosión de suelos, aumentar los riesgos de inundaciones y en general actuar en detrimento de los servicios ambientales. Desde el punto de vista de necesidades de información es imperativo conocer dónde se presentan los mayores cambios en la cubierta forestal, qué tipos de cambios son y cuál es la tasa o velocidad de cambio en la que se transforman o modifican. De la misma manera, es importante identificar los lugares donde aún se mantienen zonas con suficiente capital ecológico y puedan cumplirse los objetivos de conservación de la diversidad biológica dentro de una de las áreas más ricas en biodiversidad a nivel mundial.

Aun cuando existen estimaciones previas de la dinámica de la cobertura forestal para el área geográfica del Corredor, son parciales y para áreas geográficas específicas, y muestran diferencias en las estadísticas que describen la extensión de los bosques, selvas, y los diferentes tipos de vegetación a escala regional. Estas variaciones se deben en gran medida a la aplicación de diferentes metodologías, a las distintas perspectivas en las estimaciones y a las diversas definiciones de los tipos de vegetación que conforman la cobertura forestal. Por esta razón, sigue siendo un reto evaluar el estatus y las tendencias de la cobertura forestal en la región.

En esta sección se presenta un análisis de tales estatus y tendencias. El estudio de la cobertura forestal se basa en la aplicación del proceso de



percepción remota, que permite obtener resultados de su extensión con una visión regional, efectiva y de bajo costo. Se dan a conocer nuevas estadísticas sobre la extensión y distribución de los bosques en el CBMx, así como su dinámica de cambio en el periodo comprendido entre 1990 y 2000. Con esta información y a través de la aplicación de técnicas de análisis espacial, también se evaluó el estatus de fragmentación de los bosques, estableciendo así una línea de análisis para conocer los posibles efectos de estos cambios en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas.

4.2 Evaluaciones previas de la cobertura forestal en el CBMx

La cubierta forestal en el CBMx es un mosaico espacialmente heterogéneo de selvas y bosques (Figura 4.1). Aun cuando no existen estadísticas que reporten las tasas de deforestación en toda el área del CBMx, varios estudios han evaluado la extensión de la cobertura forestal y su pérdida en distintas áreas específicas del Corredor (Semarnat, 2003; FAO, 2005).

A nivel regional y de acuerdo con las tasas de deforestación reportadas en las últimas décadas, la Península de Yucatán es considerada uno de los “hot spots” en deforestación a nivel mundial (Myers, 1993; Achard *et al.*, 1998). Como en otras regiones del CBMx, la actual deforestación en

la Península es resultado de la expansión de la frontera agrícola, a pesar del establecimiento de la reserva de la biosfera de Calakmul, el área natural protegida más grande de la selva Maya (Primack *et al.*, 1998). En la región de la Lacandona se han reportado tasas de deforestación de cerca de 2.1% por año, de 1974 a 1981, y de 1.6% de 1981 a 1991, pero con una considerable variación espacial en las áreas circundantes a la

Figura 4.1 Pérdida y fragmentación de bosques en el área natural protegida Montes Azules y la zona de Marqués de Comillas, Chiapas, México (Google Earth, 2006)





reserva de Montes Azules. La deforestación fuera de la reserva se considera a últimas fechas (década de los 90) 6 veces mayor que al interior, y es casi imposible no considerarla un frente que pone en riesgo el 22% de la flora total en la región para el año 2035, y el 55% para el año 2135 (Mendoza y Dirzo, 1999).

A nivel local y a una mayor escala de análisis, y de acuerdo con las estadísticas oficiales de deforestación más recientes (Semarnat, 2003), en la región del CBMx se localizan seis áreas con tendencias localmente críticas en el proceso de cambio de cobertura terrestre: Calakmul, Cañadas, Selva Lacandona, Costa de Chiapas, Marqués de Comillas y el norte de Quintana Roo. A partir de las tasas de deforestación reportadas oficialmente, podrían considerarse cuatro grandes frentes de deforestación en la zona, con valores del crecimiento anual de áreas abiertas superiores al 3% anual, aunque, siempre oficialmente, la tasa anual de deforestación no sobrepasa el 2%. Estas regiones son: Cañadas, Calakmul, la Selva Lacandona y Marqués de Comillas (Figura 4.2).

4.3 Nuevas evaluaciones de la cobertura forestal en el CBMx

En este reporte y para los propósitos de evaluación vía percepción remota, “cobertura forestal” se define como el área densamente cubierta por vegetación arbórea que está fotosintéticamente activa en la temporada de evaluación y cuyo dosel cubre más del 30% del área de observación. Así, se pretende que la evaluación de la cobertura forestal integre la mayoría de los diversos tipos de bosque, sin diferenciar el tipo de uso de la cobertura y sin hacer referencia a características estructurales debido al estadio sucesional (diferenciación de acahual de selva primaria) o condición estacional (selvas sub y perennifolias) o potencial de la vegetación. Sin embargo, por las fechas de colecta de las imágenes, algunos tipos de vegetación arbórea pueden ser excluidos, como la selva caducifolia y zonas de humedales estacionales (bajos) que han sufrido modificaciones en la cobertura vegetal. Aun así, esta definición es útil para el desarrollo de indicadores

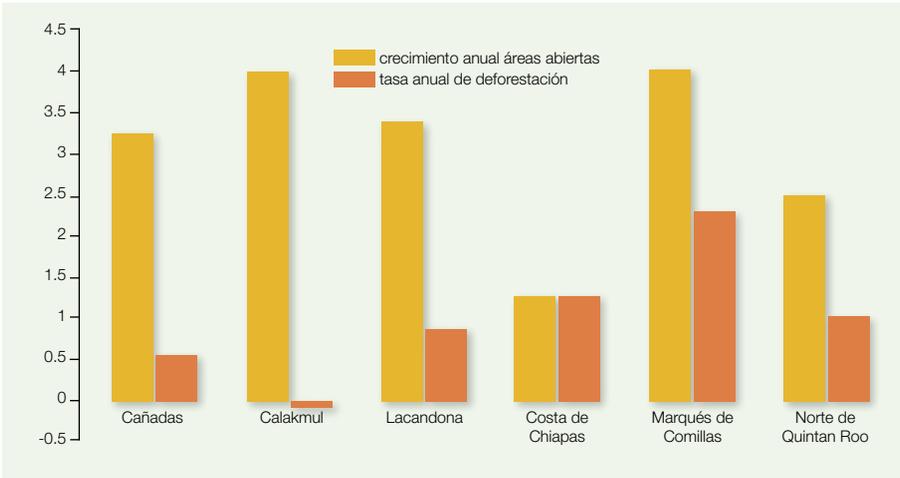


Figura 4.2 Tasa de deforestación en áreas críticas del CBMx (datos tomados de Proders, 2003)

que puedan asociarse al capital ecológico de la región, pues integra la mayoría de las áreas con vegetación arbórea.

El análisis de la cobertura forestal del CBMx se realizó a través de dos componentes. Se comenzó con una evaluación de las áreas de cambio en la cobertura forestal y se determinaron las tasas de deforestación en la región. Posteriormente se hizo un análisis de la fragmentación de los bosques, es decir, de las características espaciales de las áreas que aún cuentan con cobertura forestal.

4.3.1 Recursos de información para el análisis de cobertura forestal

Una manera efectiva, rápida y consistente de obtener información espacial que permita la adecuada descripción y caracterización de la cobertura terrestre en el CBMx es la información satelital. Este recurso es el más importante en la actualidad para propósitos de caracterización y mapeo. La geoinformación satelital de *Landsat Geocover* fue la fuente disponible para la estimación de estatus y tendencias de la cobertura forestal en el CBMx. *Landsat Geocover* es una colección de imágenes de alta resolución espectral y de resolución espacial media del sensor Landsat TM y Landsat ETM+, que provee información de la cubierta terrestre en formato digital y ortorectificado (es decir, con correcciones por desplazamien-



tos de relieve). Las imágenes Landsat Geocover están disponibles para describir las condiciones de la cobertura terrestre en dos épocas (condiciones cercanas a la década 1990-2000), y las imágenes individuales pueden integrarse en la creación de mosaicos regionales. La conformación de mosaicos para toda la región del CBMx se basa en la normalización de 18 escenas individuales que cubren toda el área del Corredor (Figura 4.3), y que a partir del análisis de patrones espectrales y mapeo con procedimientos de procesamiento digital permiten hacer estimaciones precisas de áreas para los diferentes tipos de cobertura o rasgos de la imagen a una escala regional (ver Recuadro 1 para detalles técnicos de la geoinformación satelital de *Landsat Geocover*).

El análisis e interpretación de la información digital en cada mosaico (1990-2000) de imágenes dio como resultado la cobertura forestal completa de la región del CBMx. La comparación directa de los mosaicos de imágenes para dos épocas diferentes permitió evaluar el estatus de la cobertura forestal para la década y realizar un análisis de las tendencias de cambio entre los dos periodos (ver Recuadros 2 y 3 para detalles metodológicos).

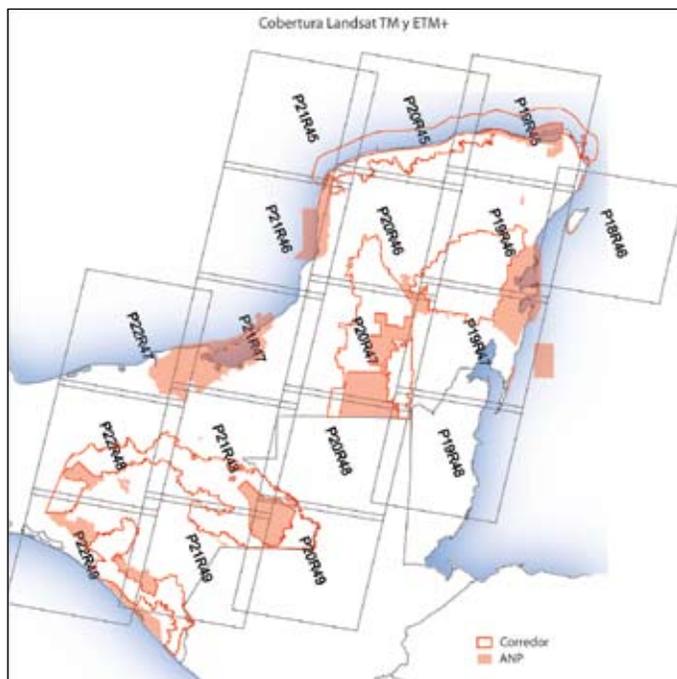
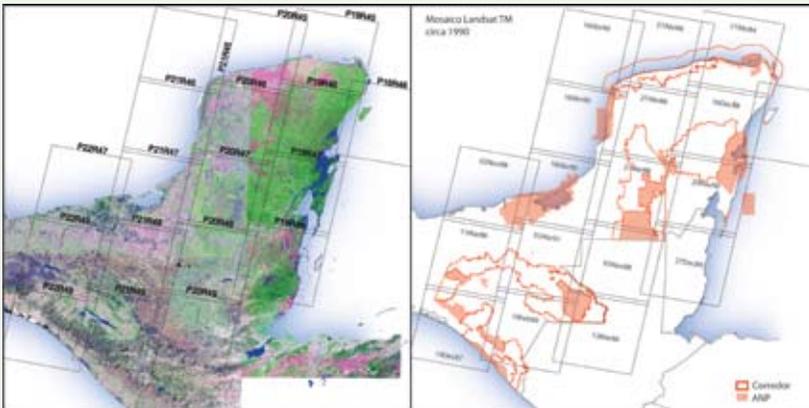


Figura 4.3 Mosaico de escenas Landsat WGRS-2

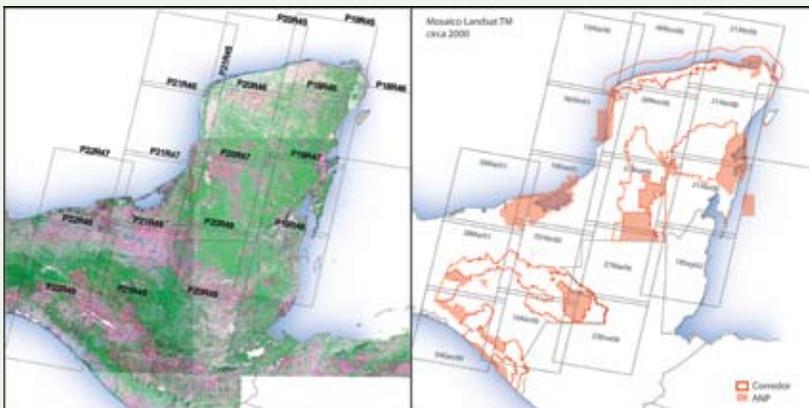


RECUADRO 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS IMÁGENES *GEOCOVER*

El análisis de la cobertura forestal se realizó usando un mosaico regional a partir de la base de datos *Landsat Geocover* para la Península de Yucatán, Chiapas y Tabasco. Las imágenes en Geocover proveen de una descripción de la cobertura terrestre representativa de las décadas 1990 y 2000 a través de escenas ortorectificadas del Landsat TM y el Landsat ETM+, especialmente durante la época seca, ya que las escenas fueron obtenidas, por lo general, durante los meses de noviembre a abril. La ubicación espacial de los rasgos en la imagen tiene una precisión de aproximadamente 57 m (Tucker *et al.*, 2004), con una resolución nominal de 30 m para ambos sensores (TM y ETM+), lo que permite tener una cobertura forestal en productos cartográficos digitales con una exactitud adecuada para el análisis de detección de cambios a una resolución espacial de 120 m.



Landsat Geocover TM (circa 1990)



Landsat Geocover ETM+ (circa 2000)



RECUADRO 2. RECONOCIMIENTO DE PATRONES DE LA COBERTURA FORESTAL

La disponibilidad de información sobre los rasgos espectrales de la cubierta terrestre en formato digital permite la implementación de metodologías de mapeo y caracterización basadas en la aplicación de técnicas de procesamiento digital que incluyen las correcciones radiométricas, la extracción de rasgos espectrales (transformación lineal y no-lineal de bandas) y la aplicación de técnicas de reconocimiento de patrones.

En el mapeo y caracterización de la cobertura forestal de la región del CBMx se aplicaron correcciones radiométricas para la adecuada estimación de radianzas ($\mu\text{Wm}^2\text{str}$) registradas a la apertura del sensor, y reflectancia (porcentaje de radiación solar incidente reflejada por la superficie). Esto da como resultado valores corregidos de reflectancias por época del año, fecha de toma y ángulos de inclinación solar, por lo que se reducen las diferencias ópticas y de iluminación de las diferentes escenas.

A partir de los valores corregidos de reflectancias se realizaron las transformaciones necesarias para la extracción de rasgos espectrales, las cuales consistieron en la estimación de índices de brillo (TCTbrillo), vegetación (NDVI, TCTgreenes) e índices de humedad (TCTwetness, diferencia normalizada del infrarrojo medio y cercano); además del cálculo de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de la superficie. Toda esta información se utilizó para caracterizar los patrones de reflectancia/absorción de los diversos rasgos en la superficie terrestre, y permitió la identificación de varios tipos de superficies, así como la diferenciación de la cubierta forestal. La técnica de reconocimiento de patrones se basó en la aplicación de modelos de regresión logística, que proveen la estimación de las probabilidades de que cada píxel sea clasificado en las categorías de “bosque” o “no-bosque”. Los resultados fueron comparados con un método tradicional de clasificación de imágenes (clasificación no supervisada), para probar su precisión y consistencia. En todas las escenas tal precisión fue mayor a 85%.



RECUADRO 3. PRECISIÓN DEL ANÁLISIS BOSQUE-NO BOSQUE

La precisión de la clasificación en categorías de bosque- no bosque para el mosaico de escenas Landsat TM de 1990 fue de ~93% (Kappa = 0.7698, n = 3 690). Y para el mosaico de escenas Landsat ETM+ fue de 90% (Kappa = 0.7645, n = 2 322).

Tabla 1. Evaluación de la precisión: Cobertura Forestal 1990 (b90cbp)

	Bosque	Nobosque	Total
Bosque	546	236	782
Nobosque	19	2,889	2,908
Total	565	3,123	3,690
Precisión general			93.09%

Producers		Users	
Bosque	96.64%	Bosque	69.82%
Nobosque	92.45%	Nobosque	99.35%
Precisión general	93.09%		
Khat	0.7698		

Tabla 2. Evaluación de la precisión: Cobertura Forestal 2000 (b00cbp)

	Bosque	Nobosque	Total
Bosque	586	163	749
Nobosque	68	1,505	1,573
Total	654	1,668	2,322
Precisión general			90.05%

Producers		Users	
Bosque	89.60%	Bosque	78.24%
Nobosque	90.23%	Nobosque	95.68%
Precisión general	90.05%		
Khat	0.7645		



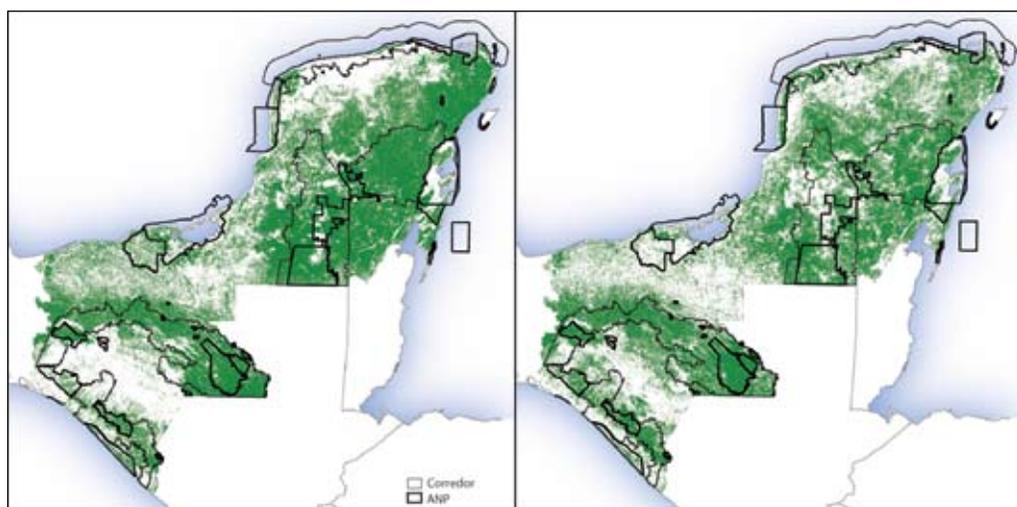
4.4 Cambios en la cobertura forestal, tasas de deforestación y frentes de deforestación en el CBMx

4.4.1 Áreas de cambio en la cobertura forestal

Las estimaciones globales en cuanto al estatus de la cobertura forestal en el CBMx obtenidas con *Landsat Geocover* indican que el 56% del área del CBMx presentaba cobertura forestal en 1990. Para el año 2000 la extensión de ésta disminuyó al 52% (Figura 4.4).

La detección de las áreas con cambios durante 1990-2000 en la región del CBMx se realizó a través de una comparación directa píxel-por-píxel de las coberturas forestales. Los resultados obtenidos al cotejar las superficies con cobertura forestal en ambas fechas muestran que más de 38% permanecieron con cobertura forestal sin cambios entre 1990 y 2000, destacando las partes altas del estado de Chiapas y el sur de la Península de Yucatán (Figura 4.5). En el otro extremo, ~18% de la superficie cambió de bosque a no bosque (presumiblemente fue deforestada), principalmente en el este de la Península de Yucatán. Un poco más de 30% de la superficie permaneció sin cobertura forestal en ambas fechas, localizándose principalmente en el estado de Tabasco y el centro de Chiapas, mientras que ~13% recuperó superficie forestal, es decir, presentó cambios de no bos-

Figura 4.4 Cobertura forestal en 1990 y 2000





que a bosque, principalmente en el norte de la Península de Yucatán y el sur de Chiapas (Figura 4.5). Tomando en cuenta toda el área del CBMx y la proporción de área con cambios de bosque a no bosque, la tasa de cambio promedio para todo el Corredor fue de -0.81% anual.

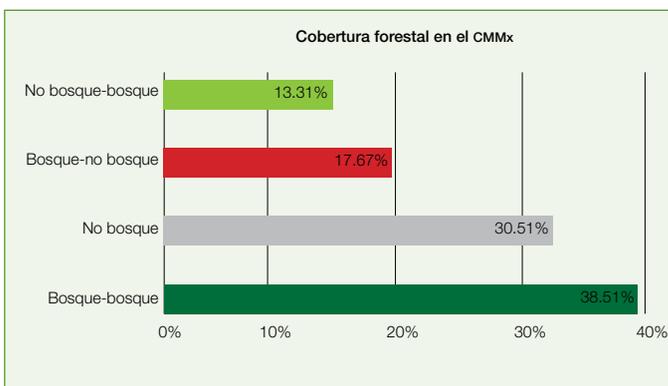
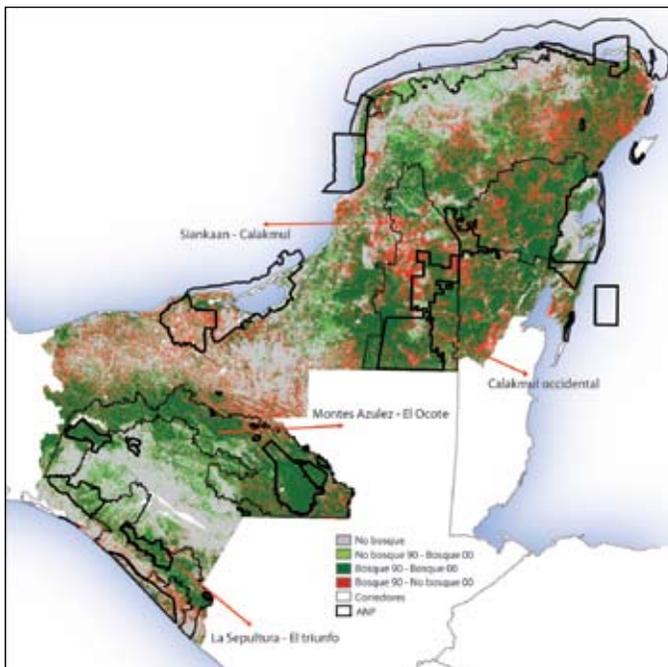
Figura 4.5 Cambios en la cobertura forestal en el CBMx 1990-2000

4.4.2 Tasas de deforestación en el CBMx

Es ampliamente reconocido que las estimaciones de tasas

de deforestación son dependientes de las áreas consideradas para el análisis. Así, para obtener estimaciones de deforestación comparables en diferentes áreas geográficas se estableció una metodología de análisis espacial para cálculos de áreas homogéneas por ventanas de análisis equivalentes a 25 ha (ver Recuadro 4 para detalles metodológicos). De esta manera, las tasas de deforestación local identifican cambios anuales (porcentuales) sobre la base de 25 ha.

La tasa de deforestación en el CBMx obtenida de esta forma para el periodo 1990-2000 varió de 0 a -32% anual. De acuerdo con el patrón espacial de deforestación más de 51% de las áreas con pérdida de bosques presentó tasas de deforestación mayores a 4%





RECUADRO 4. ESTIMACIONES DE LA TASA DE DEFORESTACIÓN POR VENTANAS DE ANÁLISIS

La tasa de deforestación es una estimación dependiente del área y, por lo tanto, presenta el problema de estimación por unidades de área modificable. Para obtener estimaciones consistentes (y en consecuencia comparables en áreas similares) de tasas de cambio en la cobertura forestal, así como una identificación de “frentes de deforestación”, se estableció una metodología de análisis espacial para cálculos de área por ventanas de análisis. Así, las tasas de deforestación se estimaron para ventanas de análisis equivalentes a 25 ha, a partir de la siguiente expresión (Puyravaud, 2003):

$$D_a = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{AF_2}{AF_1} \dots\dots\dots \{1\}$$

Donde:

D_a = Tasa anual de deforestación

AF_1 = Área de bosque tiempo (t_1)

AF_2 = Área de bosque tiempo (t_2)

(anual/25 ha), especialmente la Península de Yucatán (Figura 4.6). La tasa global de deforestación (es decir, para toda la región), y las variaciones locales entre las tasas de deforestación muestran valores superiores a la media nacional reportada tanto para las selvas (-0.04%) como para zonas boscosas (-0.12%) (Informe del Medio Ambiente, Semarnat, 2005).

Por otra parte, aproximadamente 28% de la superficie que recuperó la cubierta forestal lo hizo a una tasa mayor de 1% anual. Ocurrió en áreas de selva en la Península de Yucatán y en áreas adyacentes al Corredor, en La Sepultura-El Triunfo. Sólo cerca de 38% de la cubierta forestal no sufrió cambios, es decir, permaneció con cobertura de bosques y selvas en 1990 y 2000.

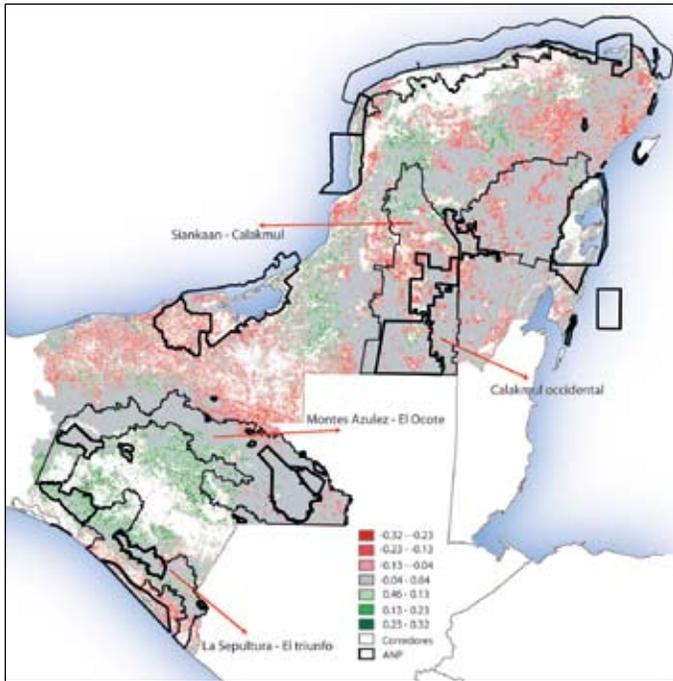


Figura 4.6 Tasas de deforestación en el CBMx

4.4.3 Frentes de deforestación en el CBMx

La mayor conversión de bosque en las áreas tropicales ocurre en los denominados “frentes de deforestación”. Se trata de regiones donde la tasa de pérdida de bosques rebasa el 4% anual en comparación con la tasa de pérdida de todo el bioma, que es de 2% anual. Sin embargo, la definición de frentes de deforestación también incluye criterios como las probabilidades de mantener estas tasas de cambio, sus efectos en la biodiversidad y en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Myers, 1993; Lambin y Elrich, 1997). Por lo general estos “frentes” están fuertemente asociados con actividades antropogénicas, que son responsables de la pérdida constante de la cobertura forestal, o bien, dejan rastros evidentes en la modificación de la estructura y composición de los bosques.

Para el caso del CBMx, la identificación de los frentes de deforestación se estableció de acuerdo con los siguientes criterios. Se consideraron frentes todas las áreas deforesta-



das con tasas de cambio mayores a dos veces el promedio regional (1%), en áreas adyacentes a zonas sin cobertura forestal, y mayor al 2.5% en áreas de bosque interior (nuevos frentes). La metodología para la identificación de frentes de deforestación se estableció por ventanas de análisis de 25 ha. De esta forma se encontró que los frentes de deforestación de 1990 a 2000 representaron el 31% de la cobertura forestal existente en 1990, lo que equivale al 17% del área total del CBMx (Figura 4.7).

De acuerdo con tales resultados, si bien los frentes de deforestación tienden a concentrarse en el centro y el este de la Península de Yucatán, están distribuidos espacialmente en prácticamente toda la Península y en algunas partes de Chiapas.

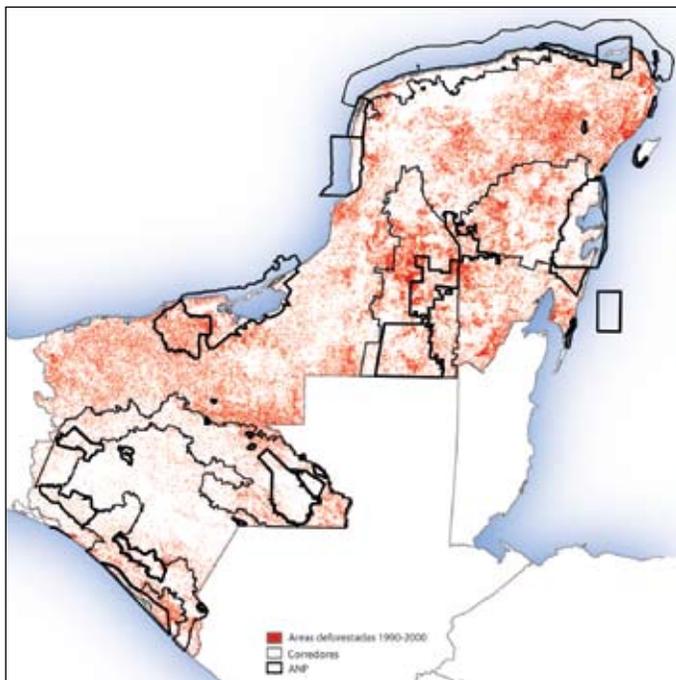


Figura 4.7 Frentes de deforestación en el CBMx

4.4.4 Tasas de deforestación por tipos de vegetación

De acuerdo con el esquema de clasificación de vegetación y uso de suelo de INEGI, Serie III (INEGI, 2002), en el CBMx existen 13 tipos de cobertura terrestre (Figura 4.8). De estos, sólo se identificaron, en promedio, tasas negativas de cambio en la cobertura forestal: a) selva espinosa, b) selva perennifolia, c) selva subperennifolia, y d) vegetación hidrófila. Las tasas de deforestación estimadas para los tipos de vegetación indican que, también en promedio, la vegetación con pérdidas netas de bosque varía entre -1.12% para la selva espinosa, hasta -1.99% anual para la vegetación hidrófila (Figura 4.9).

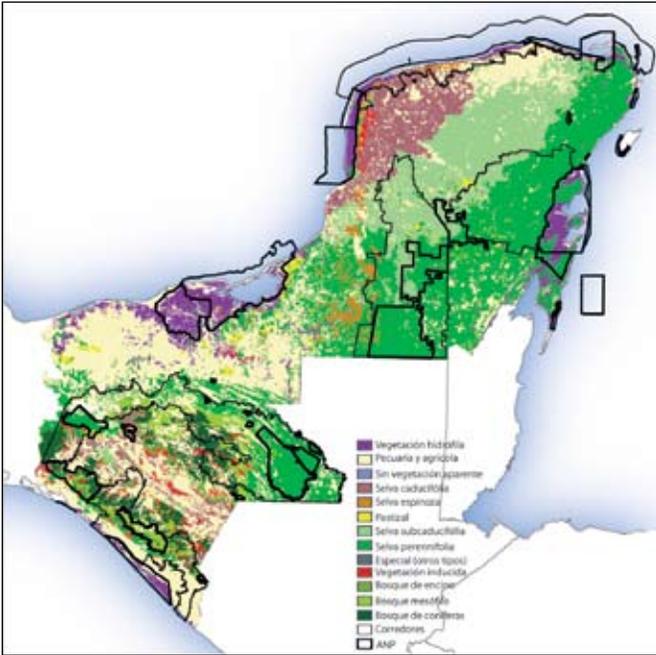


Figura 4.8 Tipos de vegetación (INEGI, Serie III) en el CBMx

vegetación inducida (~3.5%) y el bosque mesófilo de montaña presentaron cambios de no bosque a bosque (Figura 4.10).

En estos tipos de vegetación las tasas de deforestación locales pueden alcanzar valores superiores al 4% anual. Para las selvas perennifolias el 3.21% mostró tasas de cambio mayores al 4%; y el 0.96% de la superficie de las selvas subcaducifolias; en el 0.63% del área de la selva espinosa, y en el 6.7% para la vegetación hidrófila.

Los valores promedio de las tasas netas de cambio en bosques indican que los bosques de encino (~8%), los bosques de coníferas (~7%), la

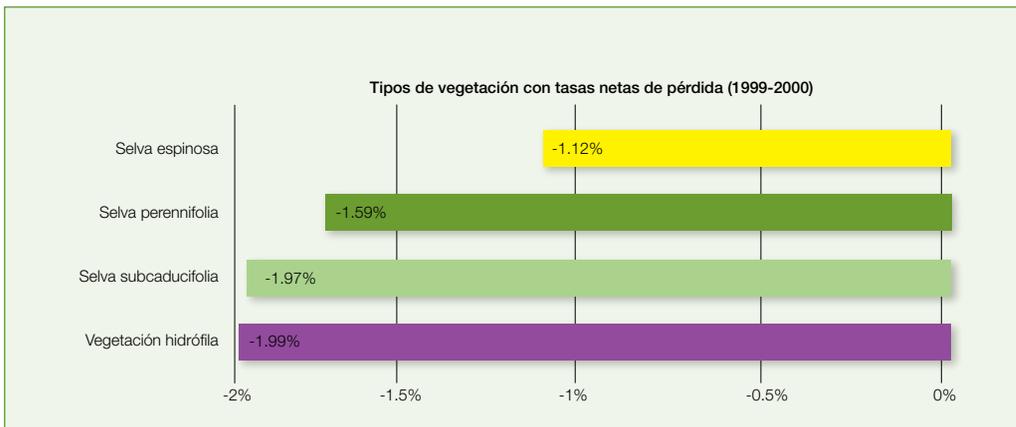
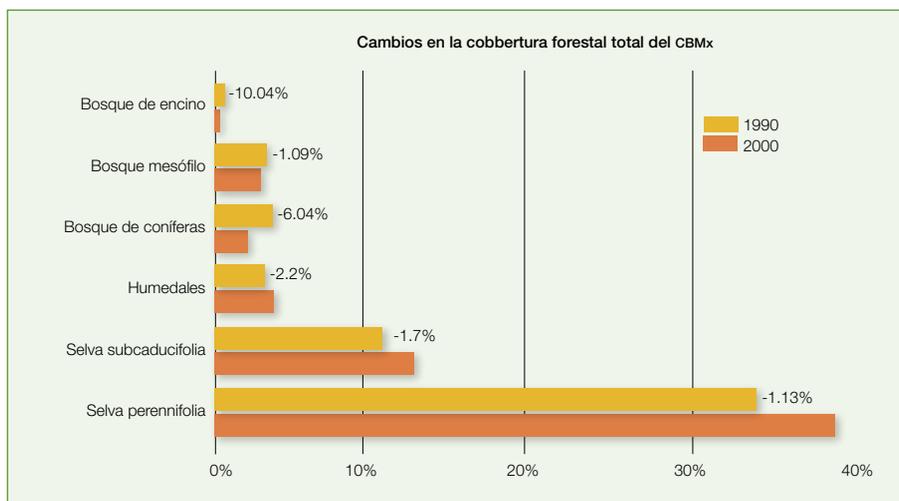


Figura 4.9 Tipos de vegetación con tasas netas de pérdida (1990-2000)



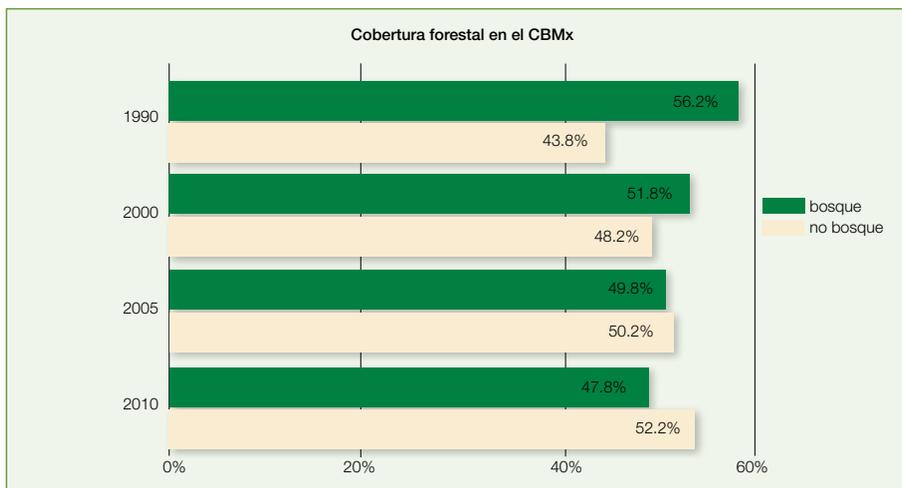
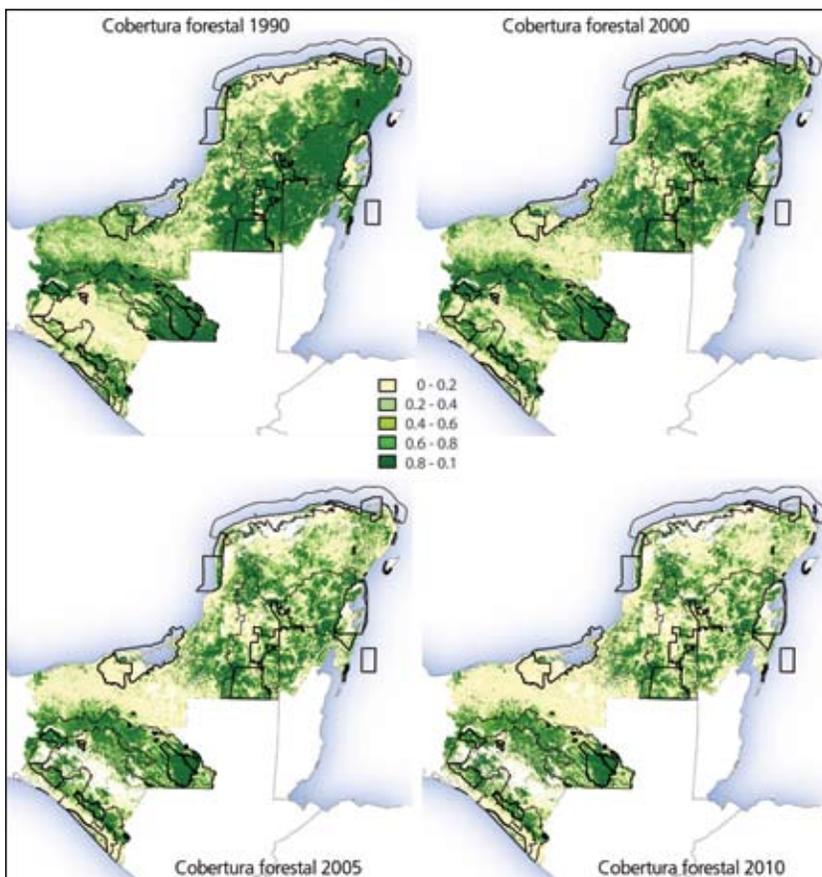
4.5 Tendencias en los cambios de cobertura forestal del CBMx

A partir de los valores estimados para la tasa de deforestación en la región del CBMx y los patrones de cobertura forestal del 2000, se realizaron proyecciones de la cobertura forestal para los años 2005 y 2010 (ver Recuadro 5 para detalles metodológicos). Los resultados muestran que para 2005 más del 50% del área del Corredor estaría sin cobertura forestal, y que para el año 2010 el valor ascendería al 53% (Figura 4.11).

Figura 4.10 Tipos de bosque con recuperación de cobertura forestal (1990-2000)

4.6 Fragmentación de bosques en el CBMx

Las modificaciones en la cobertura forestal dan como resultado, además de los efectos directos en la pérdida de bosques, que se modifiquen los patrones de adyacencia y continuidad de la cobertura forestal. Esto se conoce como fragmentación de bosques y tiene un efecto directo en la distribución de las especies, así como en algunos de los servicios de los ecosistemas, de manera que el análisis espacial de la fragmentación juega un papel fundamental en la evaluación del capital ecológico del CBMx.





RECUADRO 5. MODELO DE AGOTAMIENTO EXPONENCIAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CUBIERTA FORESTAL

Para la proyección de la cobertura forestal a los años 2005 y 2010 se utilizó un modelo de agotamiento exponencial, donde la tasa de deforestación (r), es la “tasa continua de cambio” (Puyravaud, 2003):

$$CF_p = CF_o e^{rt} \dots\dots\dots\{2\}$$

Donde:

CF_p = cobertura forestal proyectada al tiempo $t+1$

CF_o = cobertura forestal inicial al tiempo de la proyección

r = tasa anual de deforestación (ecuación {1})

t = periodo de proyección

La fragmentación de bosques se define en este reporte como la desintegración de patrones existentes en la cantidad y continuidad de bosques, lo que da como resultado diferentes categorías del arreglo espacial de los bosques, desde *bosque interior*, es decir, con adyacencia a bosque del 100%; *bosque perforado*, donde la vegetación tiene un grado de pérdida de continuidad y adyacencia, y a partir de esta categoría, tres más donde hay progresivamente mayor pérdida de continuidad y adyacencia: *fragmentación de borde*, *fragmentación en transición* y *fragmentación de parches*, y un tipo de *fragmentación indeterminada* (ver Recuadro 6 para detalles metodológicos).

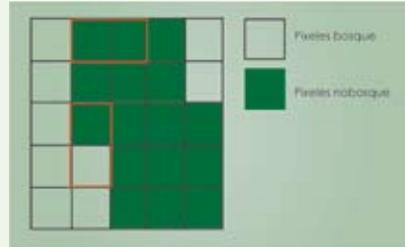
4.6.1 Patrones de fragmentación de bosques

De acuerdo con los resultados del análisis de fragmentación, en 1990 un porcentaje importante de los bosques se clasificaban como bosque interior (31%), distribuyéndose principalmente al este y al sur de la Península de Yucatán, aunque una parte significativa presentaba un patrón de fragmentación de parches (17%), bosque perforado (13%) y fragmentación en transición en menor grado (~10%). Para el año 2000 los principales cambios se manifestaron en el bosque interior



RECUADRO 6. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN DE BOSQUES

Implementación del análisis espacial para el cálculo de la cantidad de bosque [P_f] y su continuidad [P_{ff}]



El análisis espacial de la fragmentación de bosques se realizó a través de un análisis de vecindarios sobre la información categórica de la cobertura forestal, en donde se estiman la cantidad de bosque y su continuidad (Figura arriba). La cantidad de bosque [P_f] se estima a través del cálculo de la proporción del área cubierta con celdas que pertenecen a la categoría de bosque, en relación a una ventana de análisis:

$$P_f = \frac{\# \text{ píxeles de la categoría bosque}}{\# \text{ total de píxeles en la ventana}} = \frac{46}{25} = 0.64$$

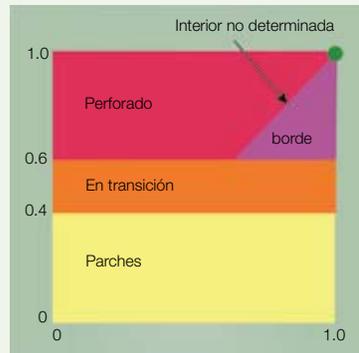
La continuidad de bosque [P_{ff}] se calcula como la probabilidad de adyacencia, dada una celda de bosque, sus vecinos sean también bosque:

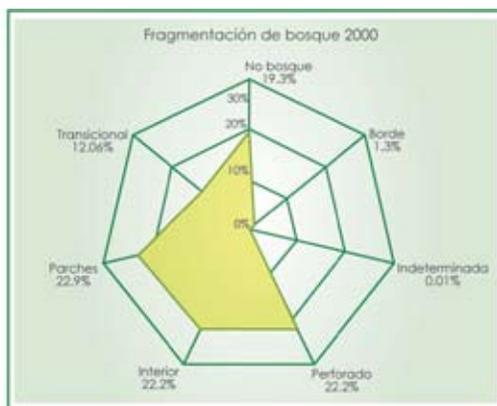
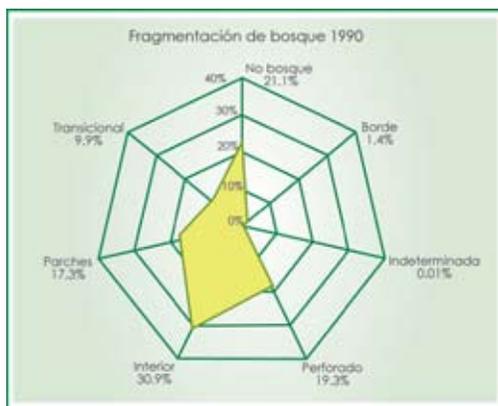
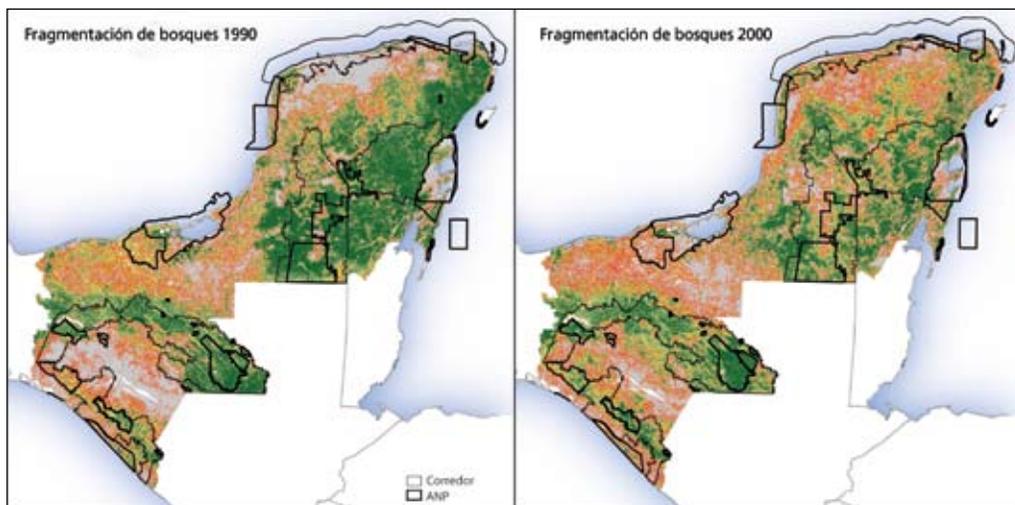
$$P_{ff} = \frac{\# \text{ pares bosque}}{\# \text{ pares al menos 1 bosque}} = \frac{23}{32} = 0.72$$

La combinación de las medidas de la cantidad de bosque [P_f] y adyacencia [P_{ff}] da como resultado la identificación de diferentes categorías de fragmentación al establecer los siguientes valores umbrales (Figura derecha):

- Bosque interior: $P_f = 1.0$
- Parches: $P_f < 0.4$
- En transición: $0.4 < P_f < 0.6$
- Borde: $P_f > 0.6$ y $P_f - P_{ff} > 0$
- Perforado: $P_f > 0.6$ y $P_f - P_{ff} < 0$
- No determinada: $P_f > 0.6$ y $P_f = P_{ff}$

Categorías de fragmentación de bosques a partir de las medidas de cantidad de bosque y su adyacencia





que disminuyó del 31% al 22%, y en el bosque perforado, que aumentó de 13% al 22%. La fragmentación de parches también incrementó, aunque en una menor proporción (de 17% a ~23%). La fragmentación en transición, es decir, la cobertura forestal que no es interior pero que tampoco puede considerarse en parches, se mantuvo en cerca del 12% (Figuras 4.12 y 4.13).

Figura 4.12 Patrón espacial de la fragmentación de bosques en el CBMx en 1990 y 2000

Figura 4.13 Fragmentación de bosques en CBMx en 1990 y 2000

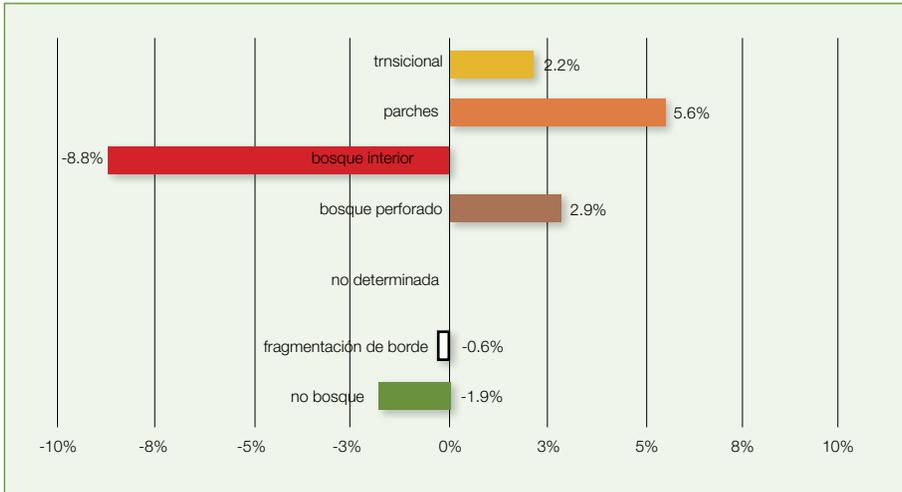


Figura 4.14 Cambios en las categorías de fragmentación en el CBMx de 1990 a 2000

4.6.2 Pérdida de bosque interno

El análisis de cambios de 1990-2000 por categorías de fragmentación muestra que la mayor tendencia en la pérdida de la cantidad de bosque y continuidad es la disminución del bosque interno (8.7%); así como una disminución general de las áreas abiertas (1.8%). Sin embargo, se observó un aumento considerable en la cantidad de fragmentación en parches (5.5%); bosque perforado (~3.0%), y fragmentación en transición (2.2%) (Figura 4.14).

Del análisis de cambios en las categorías de fragmentación se desprende que el proceso más importante de cambio en la fragmentación de bosques es la pérdida de bosque interno, del cual sólo el 45.5% en 1990 permaneció sin cambios para 2000. El 28% cambió a bosque perforado; el 10% pasó a fragmentación de parches, y el 9.5% a fragmentación en transición. La pérdida directa (bosque interno a no bosque) fue del 4.6% (Figura 4.15). La distribución del bosque que se mantuvo interno durante las dos fechas se concentra primordialmente dentro de la reserva de Montes Azules en Chiapas, pero no dentro de la reserva de Calakmul en la Península de Yucatán (Figura 4.16)

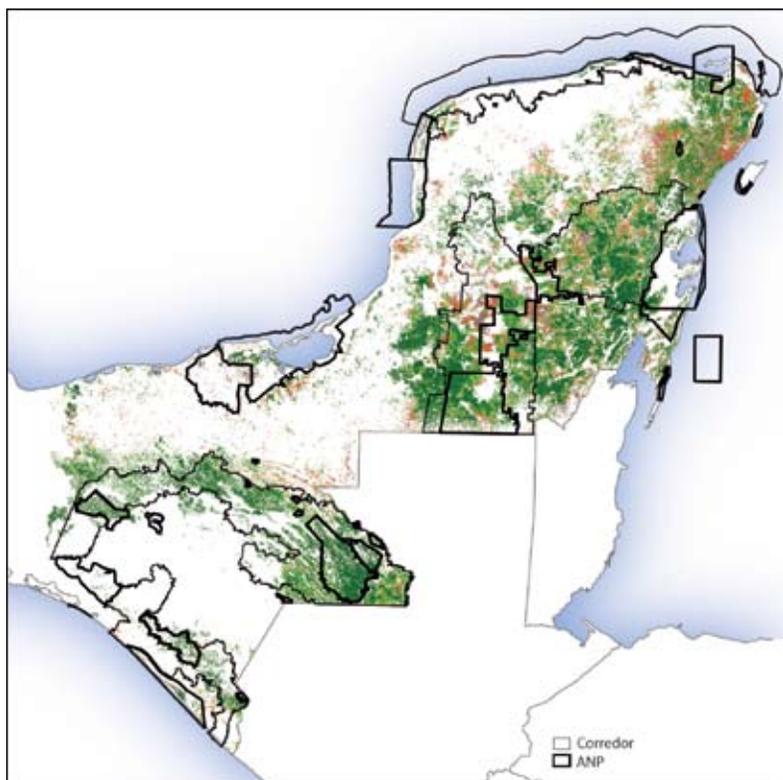
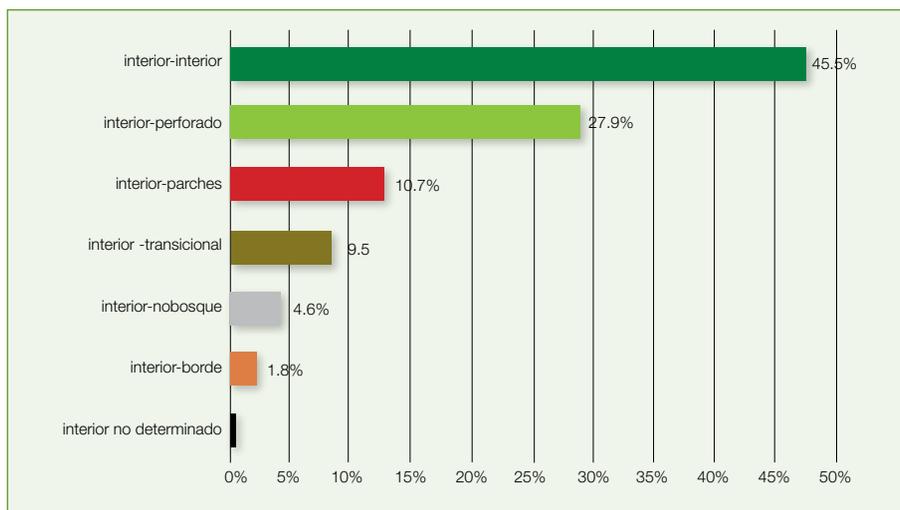


Figura 4.15
Cambios en las categorías de fragmentación del bosque interno en el CBMx de 1990 a 2000



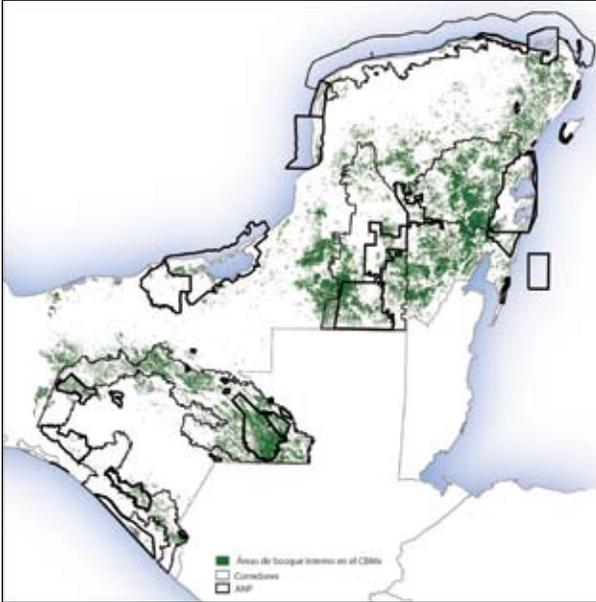
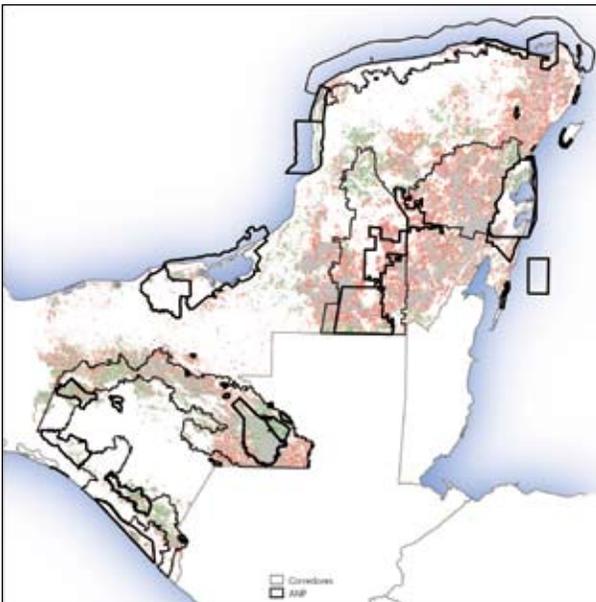


Figura 4.16 Áreas de bosque interno en el CBMx



La extensión de bosque interno era de ~31% de la cobertura de bosques en 1990. En 2000 pasó a ser de sólo el ~22%, con una tasa de cambio global anual del -3.3%. El patrón espacial de la distribución de las tasas locales de deforestación indica que las mayores tasas de pérdida de bosque interno se localizan en la Península de Yucatán, en la región de Marqués de Comillas y los alrededores de Montes Azules (Figura 4.17). Al comparar la extensión de bosque interno entre 1990 y 2000, se puede observar que la extensión de bosque interno sin cambios es del 14% de la superficie total de la región del CBMx (Figura 4.16). La mayor cantidad de bosque interno remanente corresponde a la selva perennifolia (78%); selva subcaducifolia (9.3%), y bosque mesófilo (4.7%).

Figura 4.17 Tasas de deforestación para bosque interno (1990-2000)



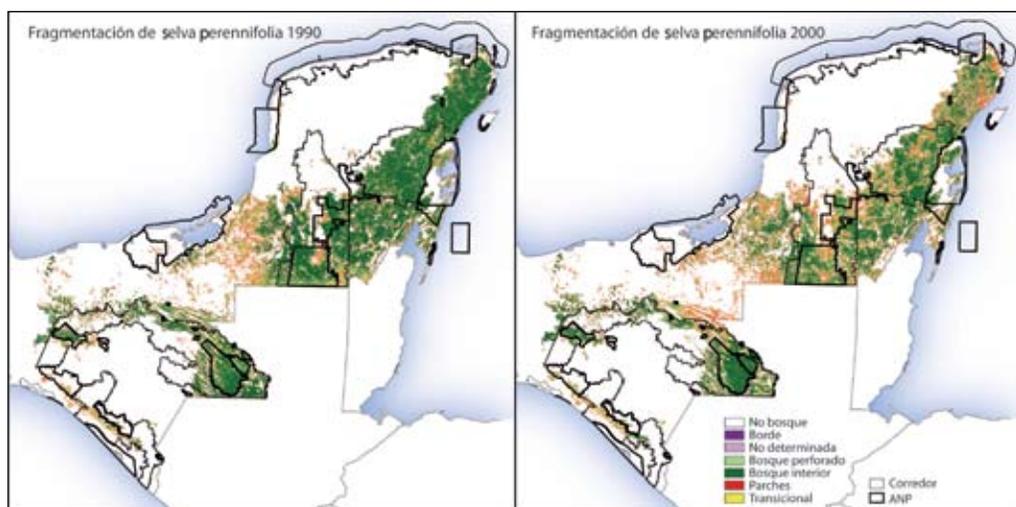
4.7 Fragmentación de la cobertura forestal por tipos de vegetación

Para evaluar los posibles efectos de la fragmentación de bosques en los diferentes tipos de vegetación se realizó un análisis de cambios en los patrones de fragmentación de la cobertura forestal para los siguientes tipos de vegetación: selva perennifolia, selva subcaducifolia, vegetación hidrófila, bosque de coníferas y bosque mesófilo, y se encontró una gran heterogeneidad en cuanto al tipo e intensidad de la fragmentación.

Selva perennifolia

La selva perennifolia es el tipo de vegetación dominante en el CBMx, representa más del 33% de su superficie. En el período de evaluación la principal tendencia en su fragmentación fue la reducción del bosque interior que pasó de 55% a 39% de 1990 a 2000. La fragmentación de bosque perforado aumentó de 21% a 27%; la fragmentación en parches de 13% a 19%; la fragmentación en transición de 8% a 12%, y la fragmentación de borde se mantuvo alrededor de 2% (Figura 4.18).

Figura 4.18
Patrón espacial de fragmentación en los distintos tipos de vegetación del CBMx



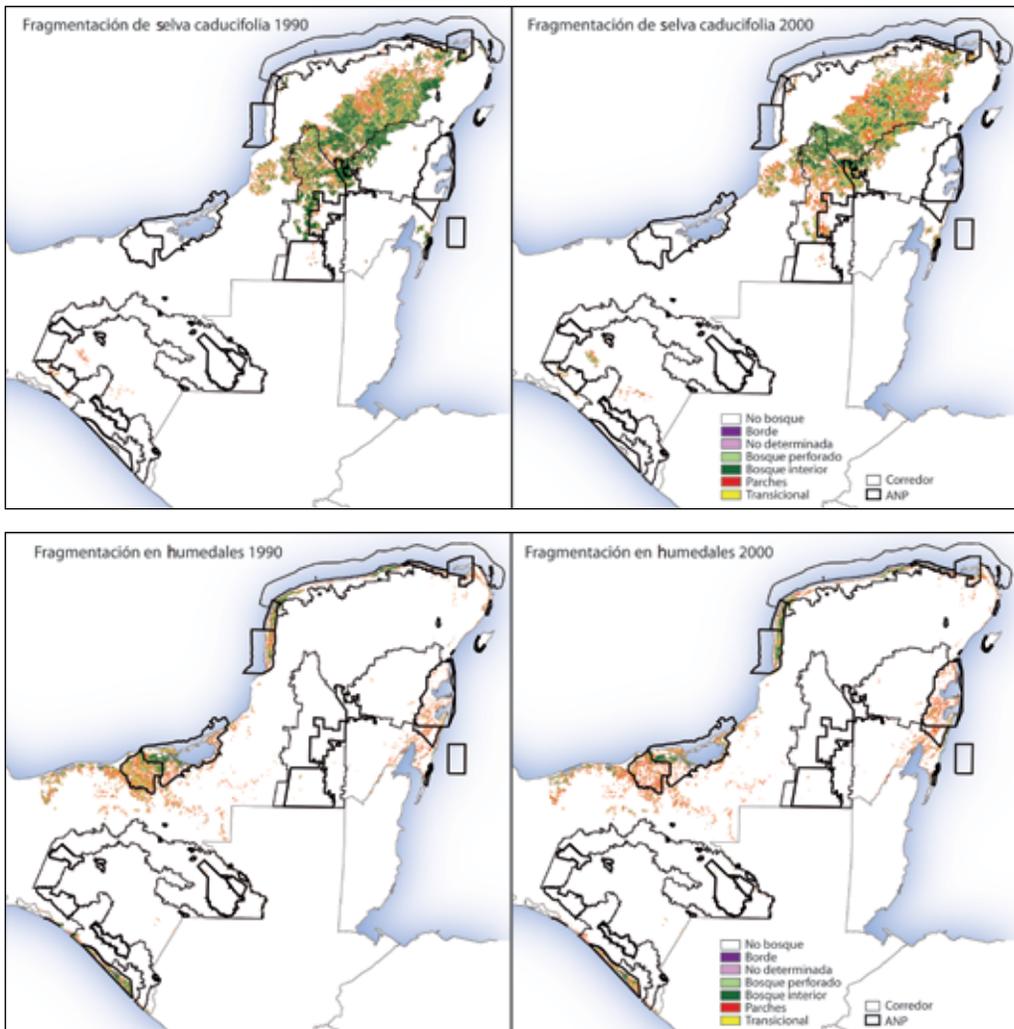


Selva subcaducifolia

La selva subcaducifolia representa 13% de la región del CBMx. Al igual que en la selva perennifolia, la principal tendencia fue la pérdida del bosque interior, que disminuyó de 35% a 20%. La fragmentación de bosque perforado aumentó de 29% a 31%, al igual que la fragmentación de parches (de 20% a 29%) y la fragmentación en transición (de 13% a 18%). La fragmentación de borde disminuyó de 3% a 2% (Figura 4.18).

Figura 4.18

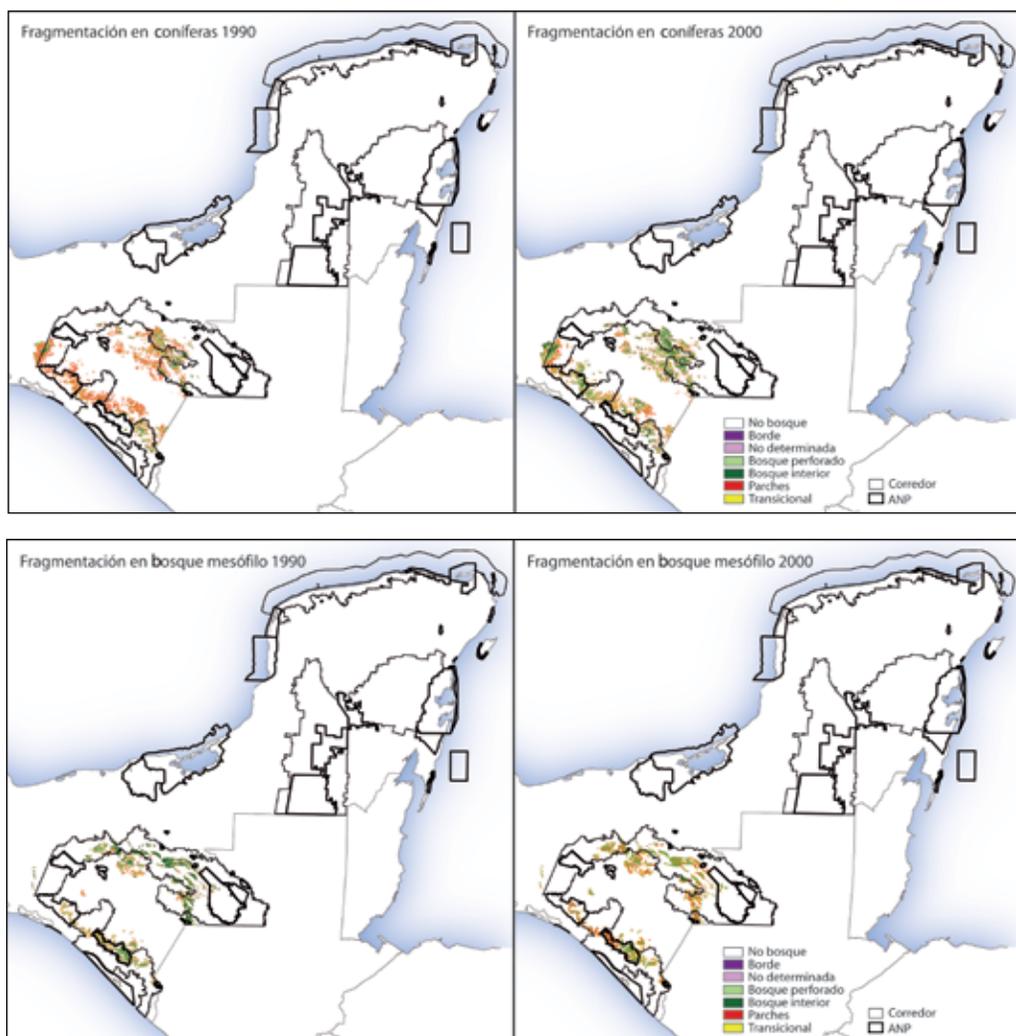
Patrón espacial de fragmentación en los distintos tipos de vegetación del CBMx





Vegetación hidrófila

La vegetación de humedales representa más del 6% de la región del CBMx. Para este tipo de vegetación la principal tendencia fue la fragmentación de parches, que incrementó de 45% a 53%. La cobertura forestal de bosque interior se mantuvo relativamente estable, al igual que la fragmentación de borde que permaneció alrededor del 2%. La fragmentación





de bosque perforado disminuyó de 20% a 17%, al igual que la fragmentación en transición (de 19% a 17%) (Figura 4.18).

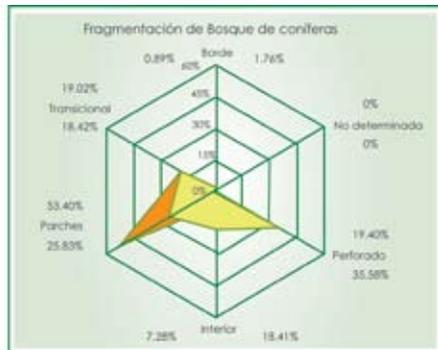
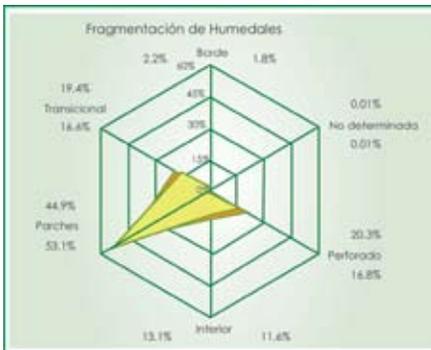
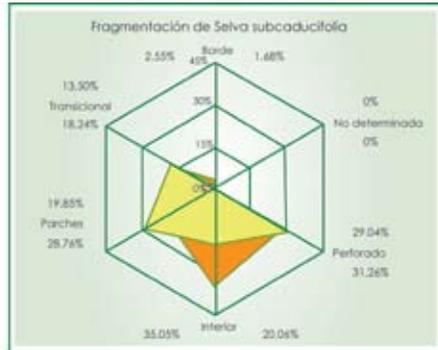
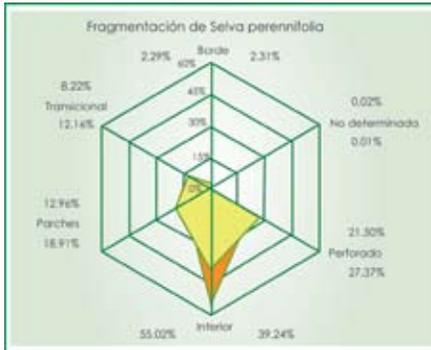
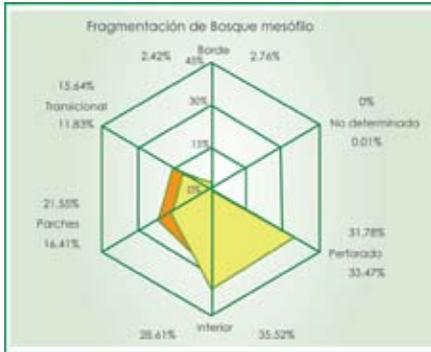
Figura 4.19

Tendencias en la fragmentación por tipo de vegetación en el CBMx

Bosque de coníferas

La cobertura forestal del CBMx que corresponde a bosque de coníferas es de 4%. La principal tendencia de fragmentación para el periodo 1990-2000 fue la recuperación del bosque

interior, que pasó de ocupar sólo el 7% a 18%. Otra tendencia importante fue el retroceso de la fragmentación en parches, que cambió de 53% a 26%. En contraste, el bosque perforado aumentó de 19% a 35%. Tanto la fragmentación en transición (~18%), como la fragmentación de borde el (1-2%) se mantuvieron en proporciones similares en ambas fechas (Figura 4.18).





Bosque mesófilo

El porcentaje de la región del CBMx con cobertura de bosque mesófilo es de ~ 3%. De igual forma que en el bosque de coníferas, el porcentaje de bosque interior incrementó de 29% a 35%, mientras que la fragmentación de parches disminuyó de 22% a 16%. La fragmentación en transición también se redujo de 16% a 12%, y la fragmentación de bosque perforado permaneció entre el 32% y 33% (Figura 4.18).

4.8 Principales hallazgos

La extensión de la cobertura forestal en el CBMx en 1990 era del 56% de la región. En el año 2000 había disminuido hasta ocupar sólo un poco más de la mitad de la superficie. De continuar las tendencias de deforestación, se estima que para el año 2005 la cobertura forestal ocuparía menos del ~50% de la región.

Para el periodo 1990-2000 se obtuvo una tasa anual de pérdida de bosques para todo el CBMx de -0.81%. Sin embargo, se identificaron zonas donde la tasa de deforestación fue superior al promedio regional y mayor a la media nacional reportada oficialmente para bosques y selvas. Estas zonas identificadas como frentes de deforestación tienden a concentrarse en el centro y el este de la Península de Yucatán, aunque están distribuidos en prácticamente toda la Península y en algunas partes de Chiapas.

Se encontró que en más de 41% de las áreas deforestadas entre 1990 y 2000 la tasa de pérdida fue mayor al 1% anual, es decir, superior a la media nacional reportada tanto para las selvas (-0.04%) como para zonas boscosas (-0.12%).

El 13% de la superficie del CBMx presentó áreas que recuperaron cubierta forestal entre 1990 y 2000, y corresponden fundamentalmente al bosque de coníferas y al bosque mesófilo.

La tendencia más importante de deforestación en el periodo 1990-2000 fue la pérdida de bosque interno (~9% de su extensión de 1990 a 2000), a una tasa superior a -3% anual, es decir, pasó de ser el 31% al 22%. Esta tendencia



fue más importante en la selva perennifolia y en la selva subcaducifolia, las de mayor extensión en la región.

En el mismo periodo, la fragmentación en parches en la cubierta forestal se incrementó en un 6%. Este proceso fue más evidente en las áreas cubiertas por vegetación hidrófila.

Del bosque interno que se perdió entre 1990 y 2000, la mayor proporción (28%), pasó a formar parte de la categoría bosque perforado. Un porcentaje menor (11%) cambió a fragmentación de parches, mientras que el 9% a fragmentación en transición. El 5% de los bosque interiores que había en 1990 pasaron directamente a no bosque.

El 14% de la extensión común de bosque interno entre 1990 y 2000 no sufrió cambios. De este porcentaje, cerca de la mitad (48.5%) no está bajo ningún sistema de protección; el 18% está dentro de áreas naturales protegidas, y el 34% está en áreas de corredores biológicos.

Referencias

- Achard, F., H. Eva, A. Glinni, P. Mayaux, T. Richards, H.J. Stibig, (eds.). 1998. *Identification of Deforestation Hot Spot Areas in the Humid Tropics*. Trees Publication. Series B. Research Report no. 4. Space Application Institute, Global Vegetation Monitoring Unit. Joint Research Centre, European Commission. Brussels.
- INEGI. 2002. Cartografía de uso de suelo y vegetación. Serie III. México.
- FAO. 2005. *Global forest resources assessment 2005. Progress towards sustainable forest management*. FAO Forestry Paper 147. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- Keys, E. 2004. Jalapeno pepper cultivation: Emergent commercial land use, pp. 207- 219. En: Turner II, B.L., J. Geoghegan y Foster, D.R. (eds.). *Integrated Land-change science and tropical deforestation in the Southern Yucatan*. Oxford University Press, 319 pp.
- Lambin, E.F. y D. Elrich. 1997. The identification of tropical deforestation fronts at broad spatial scales. *International Journal of remote sensing* 18: 3551-3568.



-
- Mendoza, E. y R. Dirzo. 1999. Deforestation in Lacandonia (southeast Mexico): evidence for the declaration of the northermost tropical hot-spot. *Biodiversity and Conservation* 8:1621-1641.
- Myers, N. 1993. Tropical forest: the main deforestation fronts. *Environmental Conservation* 20:9-16.
- Primack, R.B., D. Bray, H.A. Galletti, I. Paciano (eds.). 1998. *Timber, tourist and temples: Conservation and development in the Maya forest of Belize, Guatemala and Mexico*. Island Press, Washington, DC.
- Puyravaud, J.P. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology & Management* 177:593-596.
- Semarnat. 2003. La deforestación en 24 regiones Proders. Dirección general de conservación para el desarrollo, Proyecto "Fortalecimiento de las capacidades institucionales, monitoreo y evaluación de los programas de desarrollo regional sustentable", Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Tucker, C.T., D.M. Grant y J.D. Dykstra. 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 70(3): 313-322.
- Trexler, M.C. y C.A. Haugen. 1993. *Keeping it green: using tropical forest to mitigate global warming*. World Resources Institute. Washington, DC.
- Vance, C., P. Klepeis, B. Schmook y E. Keys. 2004. The ejido household: The current agent of change, pp. 171-188. En: Turner II, B.L., J. Geoghegan y D.R. Foster (eds.). *Integrated Land-change science and tropical deforestation in the Southern Yucatan*. Oxford University Press, 319 pp.

SECCIÓN 5. **ELEMENTOS DE DISEÑO PARA UN SISTEMA DE MONITOREO REGIONAL DEL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO-MÉXICO**

FRANZ MORA, PILAR RODRÍGUEZ Y OMAR TAPIA

Del análisis presentado en las secciones anteriores se desprenden varias consideraciones para el monitoreo del CBMx que incluyen la definición de un modelo geográfico de evaluación, la identificación del componente dinámico de monitoreo y la definición de indicadores del capital ecológico que incluyan mediciones cuantitativas del estatus (condición) del capital, así como de sus tendencias de cambio. Las medidas de capital natural necesariamente integran mediciones de biodiversidad y del funcionamiento hidrológico. La relación entre la cantidad de hábitat natural remanente (cobertura forestal) y la riqueza de especies define el capital ecológico de soporte. De igual forma que la relación entre la cobertura forestal y el funcionamiento hidrológico determinan el capital natural para servicios ambientales de regulación.

Desde el punto de vista de la evaluación, se desprende que ésta debe implementarse sobre una base espacial. El modelo geográfico fija el estándar de comparación para evaluar diferentes áreas geográficas, y debe estar basado en un modelo de regionalización. Todo esto permite también que los resultados sean vertidos en herramientas cartográficas o en la implementación de sistemas de información geográfica, lo que a su vez posibilita que los resultados sean contrastados y analizados con otros recursos de información geográfica. El componente monitoreable del sistema debe estar asociado al resultado de los cambios provocados por la actividad humana, que por su dinámica es observable a través de los cambios en la cobertura terrestre. Éstos incluyen el reemplazo de las comunidades naturales por sistemas agrícolas o pecuarios que puedan tener un impacto en los ciclos hidrológicos (y biogeoquímicos) por efectos directos de la conversión y transformación de la cobertura natural, o a través de los efectos indirectos resultado de la configuración espacial de la cubierta natural remanente (fragmentación de bosques) o de las características del medio construido (como la densidad y arreglo espacial de centros urbanos y corredores de infraestructura).



5.1 Propuesta de un modelo geográfico para la evaluación del capital ecológico

Se propone la adopción de un modelo geográfico de regionalización del territorio que cumpla con las siguientes características:

- Debe incluir unidades homogéneas en tamaño que permitan la obtención de indicadores geoespaciales (intrínsecamente referidos a un área o extensión específica) para la generación de políticas públicas y de gestión del territorio, no sólo en el área geográfica de las zonas definidas como corredor, sino en general de todo el paisaje del CBMx. El análisis de unidades sobre éste permite tener una visión regional de la evaluación y, además, que los resultados sean representativos de un contexto más amplio, y que sea posible realizar evaluaciones de tendencias a mayores escalas.
- Debe considerar los aspectos de funcionamiento y conectividad hidrológicos. Esta característica es relevante debido a que los sistemas de drenaje aseguran la conectividad entre áreas y, por lo tanto, posibilitan el tránsito e intercambio de especies, así como que la evaluación se asocie funcionalmente a servicios de regulación, como el riesgo de inundaciones o modificaciones del ciclo hidrológico.
- Debe permitir la división del territorio en unidades de análisis de tamaño homogéneo que hagan posible definir tendencias y características específicas de biodiversidad, cobertura forestal y funcionamiento hidrológico para efectos del monitoreo del Corredor.
- También debe permitir una organización jerárquica de las unidades geográficas, es decir, que puedan agruparse en unidades de mayor tamaño o desagruparse en unidades menores (subcomponentes) para efectos de análisis y presentación de resultados.

La implementación del esquema de monitoreo basado en un modelo geográfico que reúna estas características permitirá la obtención de diversos tipos de indicadores



geoespaciales que pueden aportar valiosos elementos para una mejor planificación y gestión del paisaje del CBMx y lograr el objetivo final del proyecto, que se centra en la conservación de la biodiversidad y los servicios provistos por los ecosistemas de la región.

5.2 La cobertura forestal como elemento dinámico de monitoreo

Tradicionalmente las amenazas más importantes para los bosques tropicales se han enfocado en términos de la reducción del área de la cobertura forestal y de sus tasas de deforestación. Esto se debe a que el efecto de la actividad humana es más tangible en la evaluación de la pérdida de cobertura, con sus efectos en la desaparición de hábitat para la biodiversidad, que a su vez se traduce en la fuerza promotora más importante de la extinción de especies y poblaciones biológicas. Sin embargo, existen presiones adicionales que están asociadas al resultado de la pérdida de bosques. Entre ellas destacan los efectos directos e indirectos de la fragmentación de los bosques en la distribución de las especies, las posibles modificaciones en el funcionamiento hidrológico y la pérdida de su capacidad de regular el clima (Trexler y Haugen, 1993; Orians *et al.*, 1995; Henderson-Sellers *et al.*, 1993).

Para el CBMx, las amenazas relacionadas con el cambio de cobertura forestal se resumen de la siguiente manera. Primero, existe una pérdida general de cobertura forestal a tasas superiores que las reportadas oficialmente, reduciendo el capital ecológico de bosques a una tasa global de cerca del -1%, con una tendencia que, de acuerdo con las proyecciones, no se modificará en menos de una década. Según las tasas de deforestación por tipos de vegetación, estas pérdidas se aprecian mayormente para los tipos tropicales, como la selva perennifolia y subperennifolia. Sin embargo, al tomar en cuenta el porcentaje de áreas afectadas por tasas de deforestación localmente altas, se concluye que la vegetación hidrófila y la selva perennifolia son los ecosistemas más afectados. Segundo, existe una pérdida generalizada



de bosque interno en la mayoría de los tipos forestales tropicales (selvas perennifolias y subcaducifolias) y un aumento de la fragmentación en todas sus categorías. Los cambios más importantes son de bosque interno a bosque perforado, aunque existe una porción importante que pasa directamente a fragmentación en parches.

El efecto de fragmentación que da como resultado una configuración de parches se observó de manera significativa en los ecosistemas de humedales. La conversión y transformación de la cobertura forestal se traduce primordialmente en la pérdida de bosque interno de todos los tipos de vegetación, en donde su conversión a bosque perforado puede indicar un proceso de transformación de apertura a otros tipos de uso de suelo.

Sin embargo, existen también tendencias en el cambio de la cobertura forestal en el CBMx que deben analizarse y en su caso favorecerse. Éstas incluyen la recuperación de las extensiones de la cubierta forestal, sobre todo en áreas donde la tasa de recuperación es mayor a la tasa de deforestación, como en el caso de los bosques de encino y el bosque mesófilo, y la implementación de prácticas que promuevan la conversión de áreas con fragmentación transicional hacia condiciones de bosque interno, lo que representaría aproximadamente el 12% de incremento potencial de la cobertura forestal para el CBMx. A través del uso de imágenes de satélite, es posible realizar evaluaciones para áreas geográficas en donde la fragmentación en bosque perforado es una amenaza seria, y en donde la fragmentación transicional puede identificarse como un potencial para recuperar la cubierta forestal.

Aún cuando este tipo de amenazas puede determinarse espacialmente con precisión a través de la aplicación del proceso de percepción remota, es necesario evaluar los efectos indirectos de estos procesos, como los cambios en la composición de especies (debido a la extracción selectiva y defaunación), las alteraciones del régimen hidrológico, la introducción de especies invasoras o la modificación de condiciones atmosféricas. Esto puede monitorearse a través de sistemas a mayor escala donde el propósito sea estable-



cer líneas de base para evaluar no sólo la pérdida de cobertura forestal, sino su grado de deterioro. De particular importancia es la generación de indicadores sobre la condición de la cobertura forestal que puedan asociarse a procesos de productividad primaria y composición estructural de los ecosistemas.

El estado de degradación de bosques es un efecto indirecto que debe evaluarse implementando sistemas de monitoreo a múltiples escalas. Es necesario conocer si las transformaciones de bosque interno a bosque perforado son el resultado de prácticas de subsistencia y comercialización, o de prácticas de extracción mayores que representen una amenaza más grave. Por ejemplo, se ha reportado que la agricultura de subsistencia en la Península de Yucatán se fomenta recientemente a través de la conversión de la milpa tradicional hacia el cultivo comercial de chiles. Al haber nuevos incentivos para la producción agrícola, las áreas que han agotado su fertilidad de suelos pueden estar abandonándose, lo cual crearía una nueva demanda para la expansión de la frontera agrícola (Keys, 2004). En áreas de la Península de Yucatán, es más común que se abran zonas de bosque maduro para el cultivo de chile que de maíz (Vance *et al.*, 2004). En cualquier caso, la explotación selectiva de recursos o la apertura de nuevas áreas al cultivo que conducen a la perforación de bosques, puede tener efectos importantes en la biodiversidad, al dejar bosques biológicamente agotados, llevar a la extinción selectiva de especies o incrementar la susceptibilidad a la endogamia y eventualmente a la pérdida de diversidad genética.

De forma similar, es necesario conocer la composición de la biodiversidad en las diferentes categorías de fragmentación, particularmente en los ecosistemas forestales tropicales. Es importante la evaluación de la composición y riqueza de especies de bajo dosel, ya que cambios significativos en éstas pueden ser enmascaradas por los patrones de absorción y reflectancia de la parte superior de la capa vegetal, sin que ocurran cambios monitoreables con satélites. Es de esperarse que la composición de especies cambie en áreas altamente fragmentadas pues, de acuerdo con experiencias



previas, grandes fragmentos de bosque sostienen más especies que fragmentos pequeños (MacArthur y Wilson, 1967; Dale *et al.*, 1994). Sin embargo, es poco conocida la composición de especies en áreas fragmentadas del CBMx. Un primer indicador de los efectos de la pérdida de especies por modificaciones en la cubierta vegetal puede generarse a través de los modelos de distribución de especies, pero es necesario realizar estimaciones de la pérdida de las mismas por efectos de fragmentación mediante muestreos y colecciones biológicas.

De esta manera, como indicadores de estatus de la condición de los ecosistemas se recomienda desarrollar algunos que contemplen la estimación por áreas de:

- **La extensión total de la cobertura forestal**, como indicador global del estatus del capital ecológico. La mayoría de los siguientes indicadores deberá estar asociada a una relación entre medidas cuantitativas del capital ecológico (por ejemplo, la riqueza de especies) y la pérdida del hábitat natural.
- **La extensión de bosque interno**, como indicador de la pérdida de hábitat íntegro para la conservación de capital de soporte o base, especialmente para especies o grupos de especies de alta significancia ecológica.
- **La proporción de cambio de bosque interno a bosque perforado**, como indicador de nuevos frentes de deforestación, sobre todo en áreas donde existan evidencias de nueva ocupación (o consolidación) del territorio.
- **La extensión de la fragmentación de humedales** (diferenciando interiores y costeros), como indicador de la pérdida de servicios de ecosistemas clave en la dinámica regional.

5.3 Monitoreo y diversidad a nivel de ecosistemas

Un sistema de monitoreo, idealmente, debería incorporar el seguimiento en el tiempo de algunos de los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas presentes en la región. Sin embargo, para las fases iniciales en una iniciativa



de monitoreo sería un gran logro contar con indicadores que proporcionaran información básica sobre el estado de los ecosistemas, es decir, del capital natural de la región. Algunas ideas al respecto son:

- Identificar un sistema de clasificación de ecosistemas que se base en aspectos funcionales y de su estructura, es decir, que la metodología para identificar distintos ecosistemas sea objetiva y repetible.
- Establecer una línea de base que de cuenta de los tipos de ecosistemas presentes en el CBMx, su estado actual de conservación e identificar las principales amenazas hacia ellos en cuanto a las actividades que se desarrollan en la región.
- Conocer a fondo los bienes y servicios que representan los ecosistemas de la región, utilizando preferentemente análisis financiero y de costo-beneficio que revelen la importancia de preservar su capital natural.
- Identificar los indicadores clave que den cuenta de los cambios en los ecosistemas, y que, directa o indirectamente, den seguimiento a los bienes y servicios que éstos proporcionan.

5.4 Monitoreo y diversidad a nivel de especies

La gran diversidad de especies de la región del CBMx está, sin lugar a dudas, amenazada por la magnitud de los cambios en la región. La conversión de bosques y selvas a tierras de cultivo y tierras ganaderas, la extracción de madera así como la presión de la caza y el saqueo de especies animales y vegetales están afectando a las poblaciones de especies de un modo que aún no ha sido evaluado. La riqueza de especies es el primer indicador de la pérdida de capital ecológico.

Si bien se conocía que la diversidad de especies era extraordinaria en la región del Corredor, en el caso de los vertebrados, particularmente en algunas regiones de Chiapas, los análisis presentados aquí muestran una complejidad en los patrones y proporcionan información a nivel regional



que pone contexto y sienta las bases para nuevos análisis. Dicho contexto es relevante tanto en la evaluación de la representatividad de la biodiversidad en las Áreas Naturales Protegidas y de los conectores biológicos, así como en términos de monitoreo. Los puntos principales, en términos de monitoreo, que se derivan de la información sobre diversidad serían:

- El conocimiento de la diversidad de especies en el CBMx es incompleto y se concentra en ciertos grupos, los vertebrados terrestres principalmente, y parte de la vegetación, como especies arbóreas, epífitas y bromeliáceas. Esto implica importantes limitaciones para un sistema de monitoreo, de manera que identificar especies o grupos de especies monitoreables, en el sentido de contar con información de base, es crucial.
- Para los grupos de vertebrados mejor conocidos de México (aves, anfibios, reptiles y mamíferos) existe una base de conocimiento con la que es posible utilizar técnicas de modelado espacial de la distribución de especies, llenar los vacíos o huecos de información y con ello realizar proyecciones y escenarios de tendencias en la pérdida de especies.
- Los patrones de riqueza de los grupos bien conocidos, como los vertebrados, muestran complicados patrones de riqueza, distintos entre sí, lo que indica que los efectos de la pérdida de hábitat en la diversidad deberían ser distintos para cada grupo y, por lo tanto, el grado de amenaza a la biodiversidad es espacialmente complejo. Esto implica, en términos de monitoreo, que no es posible hacer generalizaciones para todos los grupos y que los resultados para un grupo son aplicables únicamente a éste.
- Hasta el momento no existen evaluaciones de la tasa de extinción de especies a una escala regional. Sería de gran valor realizar estimaciones de la pérdida de especies y una forma de hacerlo es utilizando el enfoque de modelado espacial. Con esta herramienta podrían generarse escenarios hipotéticos de pérdida de especies individuales o



de grupos de especies, que darían elementos de gran valor para la conservación de la biodiversidad de la región.

- Los patrones de endemismo no coinciden con los patrones de riqueza de especies en ninguno de los cuatro grupos analizados. Esto tiene importantes implicaciones en términos de monitoreo, ya que un sistema apropiado para el seguimiento de patrones de diversidad (por ejemplo, el establecimiento de puntos de monitoreo de alta diversidad) no daría información referente al elemento endémico en el Corredor (implicaría colocar puntos de monitoreo en otros lugares). Esta es la primera vez que se cuenta con mapas de endemismo para el CBMx.
- Dada la complejidad del patrón espacial de diversidad y de endemismo, se desprende que un sistema de monitoreo debe necesariamente comprender una escala regional, es decir, que proporcione un panorama amplio de los cambios en los patrones de riqueza por efecto de las actividades humanas. Esta visión, sin embargo, no invalida enfoques de monitoreo más locales, como el seguimiento de especies indicadoras en las ANP y conectores.
- Al mismo tiempo, es central identificar la escala de análisis que exprese correctamente los cambios en los patrones de diversidad de la región. En otras palabras, grandes unidades como las eco-regiones o los estados (entidades federativas) no serían útiles para detectar cambios en la diversidad, mientras que unidades más pequeñas permitirían capturar los cambios en la biodiversidad.



Referencias

- Achard, F., H. Eva, A. Glinni, P. Mayaux, T. Richards, H.J. Stibig (eds.). 1998. *Identification of Deforestation Hot Spot Areas in the Humid Tropics*. Trees Publication. Series B. Research Report no. 4. Space Application Institute, Global Vegetation Monitoring Unit. Joint Research Centre. European Commission. Brussels.
- INEGI. 2002. Cartografía de uso de suelo y vegetación. Serie III. México.
- FAO. 2005. *Global forest resources assessment 2005. Progress towards sustainable forest management*. FAO Forestry Paper 147. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- Henderson-Sellers, A., R.E. Dixon, T.B. Durbidge, P.J. Kennedy, K. MacGuffie y A.J. Pitman. 1993. Tropical deforestation: modeling local to regional scale climate change. *Journal of Geophysical Research* vol., pp. 7289-7315.
- Keys, E. 2004. Jalapeno pepper cultivation: Emergent commercial land use, pp. 207- 219. En: Turner II, B.L., J. Geoghegan y Foster, D.R. (eds.). *Integrated Land-change science and tropical deforestation in the Southern Yucatan*. Oxford University Press, 319 pp.
- Lambin, E.F. y D. Elrich. 1997. The identification of tropical deforestation fronts at broad spatial scales. *International Journal of Remote Sensing* 18: 3551-3568.
- Mendoza, E. y R. Dirzo. 1999. Deforestation in Lacandonia (southeast Mexico): evidence for the declaration of the northernmost tropical hot-spot. *Biodiversity and Conservation* 8:1621-1641.
- Myers, N. 1993. Tropical forest: the main deforestation fronts. *Environmental Conservation* 20:9-16.
- Orians, G.H., R. Dirzo, J.H. Cushman, E. Medina y S.J. Wright. 1995. Tropical forest biodiversity and ecosystem functioning. En: R.T. Watson y V.H. Heywood, (eds.). *Global biodiversity assessment*, pp. 339-345. Cambridge University Press.
- Primack, R.B., D. Bray, H.A. Galletti, I. Paciano (eds.). 1998. *Timber, tourist and temples: Conservation and development in the Maya forest of Belize, Guatemala and Mexico*. Island Press, Washington, DC.
- Puyravaud, J.P. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology & Management* vol. 177, pp. 593-596.



-
- Semarnat. 2003. *La deforestación en 24 regiones Proders*. Dirección General de Conservación para el Desarrollo, Proyecto “Fortalecimiento de las capacidades institucionales, monitoreo y evaluación de los programas de desarrollo regional sustentable”, Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. ISBN: 968-817-493-9.
- Tucker, C.T., D.M. Grant y J.D. Dykstra. 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* vol. 70, no. 3, pp. 313-322.
- Trexler, M.C. y C.A. Haugen. 1993. *Keeping it green: using tropical forest to mitigate global warming*. World Resources Institute. Washington DC.
- Vance, C., P. Klepeis, B. Schmook y E. Keys. 2004. The ejido household: The current agent of change, pp. 171-188. En Turner II, B.L., J. Geoghegan y D.R. Foster (eds.). *Integrated Land-change science and tropical deforestation in the Southern Yucatan*. Oxford University Press, 319 pp.

La generación de conocimiento es un proceso colectivo que requiere de diversos participantes y de la conjunción e intersección de comunidades de interés y de prácticas que logran su interrelación por la vía de las redes humanas. El grupo de trabajo del CBMx inició el proceso, invitando a CentroGeo para diseñar el sistema de monitoreo regional y al mismo tiempo impulsando la realización de monitoreos locales. Los diversos participantes intercambiaron información, experiencias, aspiraciones, emociones. Así se ha conformado una comunidad de práctica sobre monitoreo ecológico en el Corredor muy alentadora. La comunidad de interés sobre el buen destino del CBMx se incrementa y las redes humanas se expanden. Este libro es una expresión de ello.

Las acciones sociales generan requerimientos de la naturaleza para existir y crecer, es decir, demandan servicios ambientales, por ello, este trabajo inicia con un visión de la ocupación del territorio de estudio y de su dinámica.

La biodiversidad, fuerza y expresión de los servicios ambientales, es el centro de atención del Corredor Biológico Mesoamericano, y lo es también del monitoreo ecológico regional, de lo cual se da cuenta en la segunda sección. Para establecer acciones públicas efectivas que integren diversos instrumentos federales y estatales es necesario contar con esta visión regional que muestre los cambios ecológicos y que al mismo tiempo contemple monitoreos de diversas escalas –subregionales, locales y comunitarias–.

El contexto geo-hidrológico es pieza fundamental para lograr tener un entendimiento de la dinámica ecológica y esto se refleja en la cobertura forestal, como el gran indicador de la situación y los cambios en un espacio geográfico definido, estos dos temas conforman las secciones tres y cuatro.

Los temas mencionados son las piezas que dan lugar al diseño del sistema información de monitoreo ecológico del CBMx, en su escala regional, y del que se da cuenta en la quinta y última sección del trabajo.

SEMARNAT



SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES

