

*Aplicaciones de geomática para el
Corredor Biológico Mesoamericano México*

APLICACIONES DE GEOMÁTICA PARA EL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO MÉXICO



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

Raúl Herrera Massieu
Corredor Biológico Mesoamericano México
Coordinador de Comunicación

COORDINACIÓN DEL PROYECTO
Rainer Andreas Ressler

TEXTOS Y CARTOGRAFÍA
María Isabel Cruz López
Daniel Ocaña Nava
Abigail Uribe Martínez

COORDINACIÓN EDITORIAL Y DISEÑO
Rosalba Becerra

REVISIÓN DE TEXTOS
Graciela Anaya Dávila Garibi

CUIDADO EDITORIAL
Trazos, consultoría editorial

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.conabio.gob.mx> <www.cbmm.gob.mx>

México, 2009

PRESENTACIÓN

El Corredor Biológico Mesoamericano México es una política del gobierno federal que impulsa una nueva herramienta de conservación en territorio mexicano: los corredores biológicos. Implementada en una de las regiones de mayor diversidad del planeta, esta política parte de la convicción de que la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad es posible sólo si se mejoran las oportunidades y la calidad de vida de las poblaciones rurales.

En la delimitación original de los corredores biológicos que conforman el Corredor Biológico Mesoamericano, en 2000, predominaron criterios asociados a una visión biológica. Conceptos como conectividad, integridad y diversidad orientaron la nueva definición de las superficies que permitirían el funcionamiento biológico entre las áreas naturales protegidas de la región en la que el Corredor iniciaría su operación. No obstante que estos límites fueron un buen punto de partida, resultaron poco operativos. El Corredor Biológico Mesoamericano México tiene como ejes promover acciones en las comunidades hacia actividades productivas sustentables y orientar las políticas públicas hacia la conservación y uso sustentable del capital natural de la región. En este sentido, los límites originales excluían a comunidades y actores políticos que en la práctica estaban involucrados en el proyecto. Para integrarlos se adoptó una sencilla decisión: los corredores ahora están contenidos dentro de los límites municipales de los corredores originales; es decir, ahora son parte del Corredor los municipios completos en los que se extendían las poligonales antes establecidas.

Con esta nueva delimitación y ante la necesidad de establecer una línea base para el monitoreo y evaluación de algunos de los componentes ambientales de los corredores, se realizó una caracterización biológica basada en la cobertura vegetal y los usos de la tierra. Asimismo, se aplicó el conocimiento en materia de biodiversidad, a partir de la información existente en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, en su Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Además de estos temas, la presente publicación revela un análisis de los datos que arroja el programa de detección de incendios en los corredores, la concentración de los mismos y la amenaza que representan para la región.

La publicación *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México* constituye una primera aportación para alimentar la definición de una línea base que permita dar seguimiento a los esfuerzos del Corredor en los estados de la República en los que por ahora opera. Los resultados que aquí se presentan deben orientar la integración de mayor cantidad de información, que incluya la ya existente y la que provenga de la definición y desarrollo de nuevos estudios en la región.

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	3
INTRODUCCIÓN	7
LÍMITES GEOGRÁFICOS DEL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO MÉXICO	11
ACTUALIZACIÓN DE LOS LÍMITES DE LOS CORREDORES	11
DELIMITACIÓN ACTUAL DEL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO MÉXICO	12
DISTRIBUCIÓN DE LA VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO	15
HOMOLOGACIÓN DE LAS SERIES DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO DEL INEGI	15
ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN DE LA VEGETACIÓN	16
Tipos de vegetación	20
Identificación de la vegetación con imágenes de satélite	23
LAS IMÁGENES DE SATÉLITE Y LOS MAPAS DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO	26
Imágenes de satélite	26
Trabajo de campo	26
Clasificación de imágenes de satélite	29
Mapa de vegetación y uso del suelo de los corredores	29
Evaluación de los mapas de vegetación y uso del suelo	40
FRACCIÓN DE LA COBERTURA DEL SUELO	40
Procesamiento de imágenes MODIS	41
Clasificación de imágenes SPOT 5	41
Fracción de la Cobertura del Suelo	43
Evaluación de la FCS con cartografía existente	43

ANÁLISIS Y DISTRIBUCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD	47
MAPAS VECTORIALES DE RIQUEZA POR GRUPO BIOLÓGICO	48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
Distribución de la riqueza de algas y hongos	50
Distribución de la riqueza de invertebrados	52
Distribución de la riqueza de vertebrados	54
Distribución de la riqueza de plantas	56
Distribución de la riqueza total	58
EL FUEGO COMO AMENAZA A LA BIODIVERSIDAD	61
PRESENCIA DEL FUEGO EN EL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO MÉXICO	61
IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS	71
Procesamiento de imágenes	71
Identificación de áreas quemadas	72
Áreas quemadas	72
CONCLUSIONES	75
FUENTES CONSULTADAS	77

INTRODUCCIÓN

La pérdida de hábitat y la fragmentación son de las amenazas más comunes a la conservación de la diversidad biológica (Wilcove *et al.*, 1986; Wilcox y Murphy, 1985). La fragmentación del hábitat conduce, frecuentemente, al aislamiento de pequeñas poblaciones que tienen tasas de extinción muy elevadas (Pimm *et al.*, 1988). Los procesos de aislamiento y extinción poblacional causan la reducción de la diversidad biológica (Rosenberg *et al.*, 1997). Esta problemática ha motivado a los biólogos conservacionistas a discutir las acciones que deberían implementarse para aumentar el tamaño de las poblaciones locales de flora y fauna y, con ello, evitar la extinción local. Entre las posibles estrategias predominantes para acrecentar el tamaño poblacional, surgió la recomendación de que los corredores se incluyeran en los planes de conservación con el fin de incrementar la conectividad de los parches aislados (Meffe y Carroll, 1994). La conectividad entre parches de ecosistemas es crítica para la viabilidad de las poblaciones en paisajes fragmentados (Crooks y Sanjayan, 2006). Idealmente, esta conectividad sería conservada protegiendo las “ligaduras” a escala de paisaje, que provean una cohesión complementaria a las comunidades naturales y procesos ecológicos (Morrison y Boyce, 2009). Así, la inclusión de los corredores en el diseño de las reservas se ha convertido en una importante estrategia para proteger la diversidad biológica (Rosenberg *et al.*, 1997). Esta estrategia fue motivada por las observaciones teóricas y empíricas que han demostrado que el incremento en el intercambio de los individuos entre las poblaciones puede aumentar la permanencia local y regional de éstas, particularmente para las pequeñas poblaciones aisladas (Fahrig y Merriam, 1994 y Sjögren, 1991).

El logro de este resultado está intrínsecamente ligado a cuatro áreas clave de conectividad: ecológica, económica, institucional y cultural. Para comprender la conectividad se requiere de una buena base científica unida a una buena comprensión acerca de la naturaleza biocultural de los sistemas de la Tierra. Al hablar de enlaces en el paisaje terrestre y marino, se abarca

un mayor número de gente con relación a la que habita en áreas naturales protegidas, condición bajo la cual la protección por sí sola no es suficiente (Bennett, 2004). Por otro lado, en el contexto de la conectividad se involucra necesariamente el ámbito geográfico de los objetos, tales como el paisaje, las poblaciones humanas, los límites políticos, la distribución de la biodiversidad, las áreas naturales protegidas y los corredores biológicos, entre otros. Esto nos lleva a la utilización de herramientas de manejo de datos y análisis espacial en un sentido ordenado y de interrelación de métodos, procesos y disciplinas. La geomática, como una ciencia holística de métodos modernos de adquisición, almacenamiento, manejo, análisis y difusión de datos geográficos y con capacidad de interactuar con otras disciplinas, resulta ser el camino más adecuado para abordar la dimensión espacial de la conectividad.

El término geomática fue acuñado en 1968 por el topógrafo y fotogrametrista francés Bernard Dubuisson (Santerre y Bourgon, 2009), como la palabra que integraba un mecanismo sistémico que permitía conjuntar las ciencias para medir y localizar espacios en la Tierra. Surgió a consecuencia de un incremento en las necesidades mundiales de ubicación, delimitación, georreferenciación y localización, entre otras, en la década de los sesenta, cuando el papel de las ciencias que estudiaban estos asuntos resultaba insuficiente. A partir de entonces existen diferentes definiciones para esta nueva disciplina que pueden sintetizarse de la siguiente manera: “La geomática es la ciencia de la medición del ámbito físico que utiliza tecnología digital para la obtención de información geo-espacial útil para la administración y manejo de los recursos territoriales” (Construcción & Vivienda Comunicadores, 2008). La geomática es un conjunto multidisciplinario de ciencias y tecnologías que interacciona con otras disciplinas como la cartografía, la fotogrametría, la geografía, la geodesia, las matemáticas, la cibernética y la estadística, e incluye las tecnologías de percepción remota, sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) y sistemas de información

geográfica (SIG), como las herramientas de adquisición, almacenamiento, análisis y difusión de datos, información y conocimiento. En este sentido, la geomática se basa en el aspecto espacio-temporal de los objetos y fenómenos naturales y de origen humano, que debe contextualizar en un espacio y tiempo determinado.

En el ámbito del inventario y planificación del uso de los recursos naturales, la geomática puede desempeñar un papel preponderante al contextualizar en el espacio la información no espacial, como el reporte de la presencia de una especie en un municipio o estado, las características estructurales de una comunidad vegetal o la preferencia de ecosistemas de una especie animal. También, al contar con datos actuales de la condición física y biológica del territorio a través de los sensores remotos y de la ubicación en campo de fenómenos o situaciones ambientales con los sistemas GPS, organizados todos estos datos en un SIG, se obtiene un inventario espacial de los recursos, los fenómenos y las situaciones que se presentan en un lugar específico, para llevar a cabo análisis retrospectivos y prospectivos de los cambios en un lugar. Con todo este cúmulo de datos e información, espacial y no espacial, la geomática contribuye al desarrollo de planes de mitigación, conservación, restauración, desarrollo y manejo de una región o lugar determinado. En el proyecto del Corredor Biológico Mesoamericano México, la geomática contribuye al cumplimiento de los objetivos trazados en éste, a través del inventario de los recursos naturales localizados dentro de sus límites y la caracterización de su estado en el tiempo y el espacio, en particular de la situación de la cobertura vegetal y de uso del suelo, y de la biodiversidad a nivel específico.

En la presente publicación se abordan diversos temas que van desde aspectos básicos hasta aplicados. En el capítulo 1 se describe la re-delimitación de los corredores biológicos, tomando como base cartográfica los límites administrativos de los municipios de 2005, elaborados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), en el contexto del

Marco Geostadístico Municipal del II Censo de Población y Vivienda 2005. El objetivo del cambio de los límites obedeció al interés de incluir a las poblaciones pertenecientes a los municipios involucrados en el proyecto del Corredor Biológico Mesoamericano México. En este sentido, el uso de sistemas de información geográfica fue primordial en la edición y actualización de los límites y la descripción de sus características como superficie ocupada, áreas naturales protegidas conectadas y municipios utilizados para la conformación de los límites.

El capítulo 2 trata el tema de la distribución de la vegetación y uso del suelo, en el cual se sientan las bases para un monitoreo de los cambios de la cobertura del suelo a través del uso de sensores remotos. Primero se realizó una homologación entre las clases de vegetación y uso del suelo de las tres series del INEGI con un sistema de clasificación apto para clasificar imágenes de satélite. Después, se efectuó una clasificación de imágenes de satélite Landsat ETM+ del año 2000, para derivar un mapa de vegetación y uso de suelo que sirviese como línea base para el monitoreo de los cambios de la cobertura del suelo. En este proceso se utilizó el sistema de clasificación para imágenes satelitales, con el objeto de poder comparar en algún momento los datos del INEGI y los obtenidos en este trabajo. Finalmente, se realizó la evaluación de un algoritmo para obtener la fracción de la cobertura del suelo a través de imágenes del satélite MODIS, para observar cambios en la estructura forestal y evaluar, a lo largo del tiempo, los cambios derivados de actividades antropológicas y, con ello, monitorear los ecosistemas.

El capítulo 3 presenta un análisis espacial del conocimiento que se tiene de la presencia de la flora y la fauna de los corredores, contenido en los datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). La información fue analizada bajo un tamaño de celda de 3 minutos por lado para mostrar los lugares donde aparentemente se tiene un buen conocimiento de la flora y la fauna, y aquellos donde aún falta mucho por

explorar. Se analizaron once grupos de organismos como algas, artrópodos, mamíferos, plantas con flores, para indicar los grupos mejor representados en cada corredor, en diferente nivel de especies.

El cuarto y último capítulo aborda el tema del fuego, su presencia y frecuencia de aparición en las comunidades vegetales del Corredor Biológico Mesoamericano México, a partir de un análisis de los datos obtenidos por el programa de detección de puntos de calor implementado en la CONABIO desde 1999, utilizando imágenes de los sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) y MODIS (Moderate Resolution Imaging

Spectroradiometer). En primera instancia, se analizó la correlación entre los puntos de calor detectados por el programa de la CONABIO y el número de incendios reportados por la Comisión Nacional Forestal (Conafor), encontrándose que hay una fuerte correlación positiva entre ambas estadísticas.

Cabe observar, para finalizar, que la cartografía elaborada durante este trabajo comprende una mayor cantidad de mapas que los presentados en esta publicación, los cuales estarán a disposición del público para su consulta y descarga en la página web de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (www.conabio.gob.mx/informacion/gis/).

LÍMITES GEOGRÁFICOS DEL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO MÉXICO

El Corredor Biológico Mesoamericano es un proyecto conjunto de México, Guatemala, Belice, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá para conservar la vasta diversidad natural y cultural ubicada en esta franja continental. Sus objetivos son mantener la diversidad biológica, disminuir la fragmentación y mejorar la conectividad del paisaje y los ecosistemas, así como impulsar procesos productivos sustentables que mejoren la calidad de vida de las poblaciones humanas locales que usan, manejan y conservan la diversidad biológica.

El Corredor Biológico Mesoamericano México (CBMM) se desarrolla en los estados de Chiapas, Quintana Roo, Yucatán y Campeche, aunque tiende a extenderse hacia otros estados pertenecientes a la región mesoamericana. En las áreas en las que opera se promueve el desarrollo mediante el uso sustentable de los recursos a través de tres ejes: 1) fortalecimiento de redes locales para la conservación de corredores; 2) ejecución de proyectos piloto que demuestren que es posible producir conservando los recursos biológicos y la biodiversidad, y 3) armonización de políticas públicas para el desarrollo sustentable.

En sus inicios, el CBMM concibió un arreglo espacial de sus corredores basado en información física, biológica y social delimitándose dos tipos de áreas denominadas “corredores” y “áreas focales”, con la salvedad de que varios municipios quedaron divididos por los límites de estas áreas. Durante la implementación del proyecto se determinó que la configuración espacial no era la más conveniente, por lo que se replantearon los límites de los corredo-

res con el propósito de incluir todas las comunidades de los municipios involucrados y, con ello, fortalecer las capacidades locales, el apoyo a las comunidades, el desarrollo sustentable y la conservación de la biodiversidad.

ACTUALIZACIÓN DE LOS LÍMITES DE LOS CORREDORES

Para definir la nueva delimitación de los corredores se consideraron los límites de los corredores propuestos por el CentroGeo (2005), los límites municipales derivados del Marco Geoestadístico Municipal de 2005 (INEGI, 2006) y los límites de las áreas naturales protegidas federales (Conanp, 2007). Esta información se incorporó y manejó en el sistema de información geográfica ArcGIS ArcInfo ver. 9.1, bajo un sistema de coordenadas planas con proyección Cónica Conforme de Lambert y usando como datum de referencia el norteamericano de 1927 (NAD27) y el esferoide de Clarke de 1886.

Una vez introducida la información geográfica en el SIG, se seleccionaron los municipios y las áreas naturales protegidas que se superponían espacialmente con los límites de los corredores elaborados por el CentroGeo, con el propósito de tener los elementos espaciales que conformarían los nuevos límites. Enseguida, se unieron en una sola capa de información para su edición en el programa ArcInfo Workstation ver. 9.1 para eliminar los trazos innecesarios, darle nombre a los corredores y calcular su superficie en kilómetros cuadrados. Finalmente, se convirtió a un archivo en formato shapefile, por ser un formato estándar para el intercambio y transferencia de datos entre sistemas de información geográfica.

DELIMITACIÓN ACTUAL DEL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO MÉXICO

Después de actualizar el área de los corredores a partir del uso de información geográfica y de las bases cartográficas de los municipios y de las áreas naturales protegidas, los nuevos límites geográficos del CBMM quedaron conformados por cinco corredores distribuidos de la siguiente manera: 2 en Chiapas, uno en el sur y otro en el norte del estado (Sierra Madre del Sur y Selva Maya Zoque); 1 en Campeche (Calakmul-Sian Ka'an), 1 en Quintana Roo (Sian Ka'an-Calakmul) y 1 en el norte de Yucatán (Costa Norte de Yucatán) (véase mapa 1).

La superficie total del Corredor Biológico Mesoamericano México, a partir de la edición cartográfica realizada, es de 60 405 km² en su parte terrestre y de 11 790 km² en la parte marina. Su superficie terrestre representa 3.08% de la extensión territorial del país (1 959 248 km²), mientras que la marina, comparada con la zona económica exclusiva del Golfo de México (827 024 km²) (INEGI, 2007), representa 1.4%. Como un dato adicional, la superficie terrestre de los corredores, en su conjunto, es ligeramente mayor que la superficie de cualquiera de los siguientes estados, cuya proporción respecto al país se indica entre paréntesis: Campeche (2.9%), Quintana Roo (2.2%) o Yucatán (2.0%), según cifras del INEGI (1999).

El corredor con mayor superficie es el denominado Selva Maya Zoque con 20 006 km², que se localiza en el norte y oriente de Chiapas; abarca 26.96% de la superficie del estado y representa 33.12% de la superficie terrestre de los corredores. Por el contrario, el de menor superficie es el Corredor Costa Norte de Yucatán en su porción terrestre, con tan sólo 4 488 km² (véase cuadro 1).

Para la delimitación de los corredores se incluyeron 58 municipios de cuatro entidades federativas: 2 de Campeche, 37 de Chiapas, 3 de Quintana Roo y 16 de Yucatán (véase cuadro 2). Es importante mencionar que del municipio de Isla Mujeres, Quintana Roo, sólo se usó el límite costero para conformar el límite del Corredor Costa Norte de Yucatán en su porción marina, por lo tanto no es parte integral de los corredores.

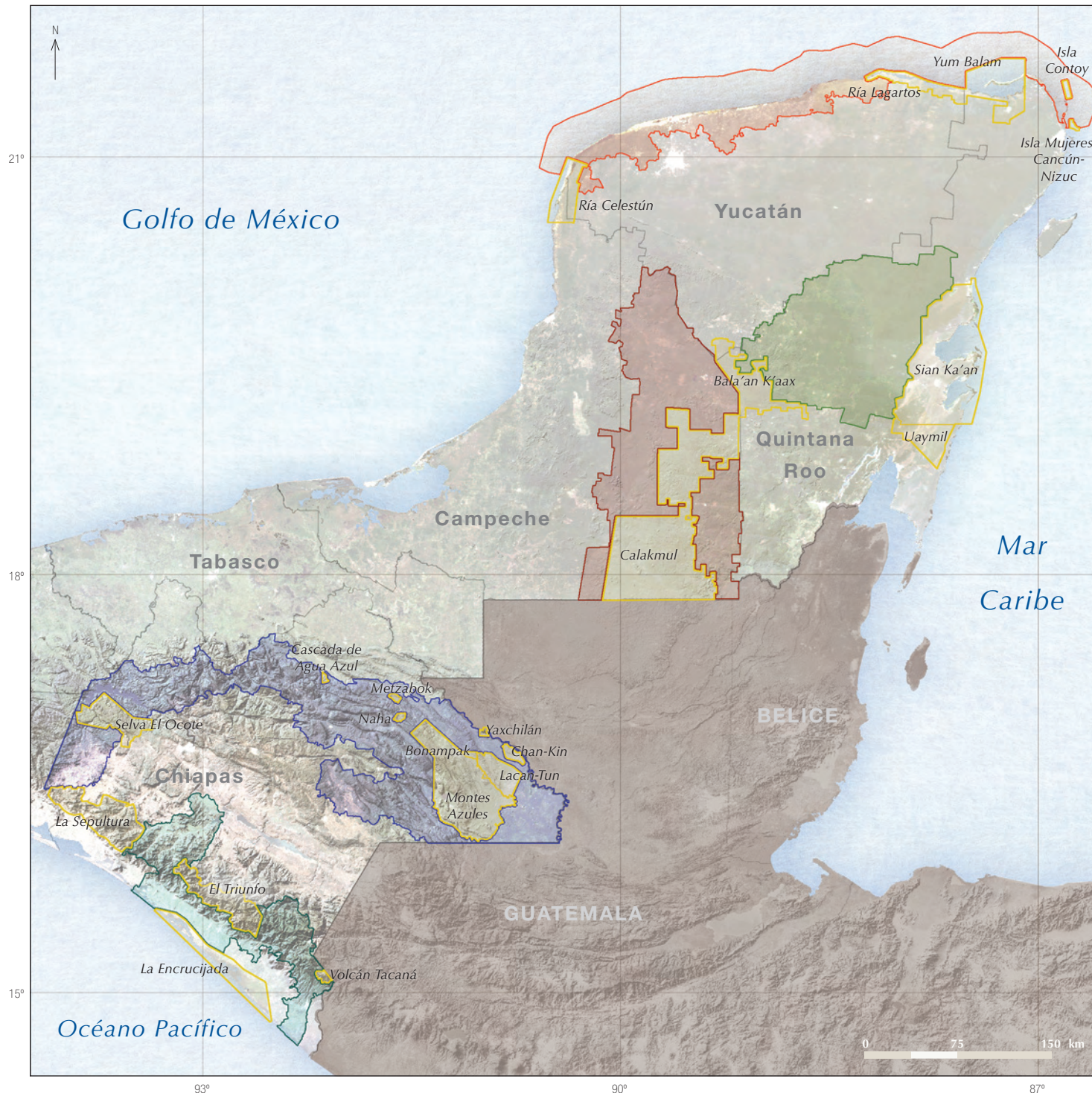
Asimismo, se consideraron 23 áreas naturales protegidas federales (ANP) con las siguientes categorías: Reserva de la Biosfera (11), Parque Nacional (2), Monumento Natural (2), Área de Protección de Flora y Fauna (7) y Santuario (1) (véase cuadro 3). Algunas ANP quedaron dentro de los límites de los corredores, lo que provoca vacíos hacia su interior. Es preciso señalar que los límites de las ANP tuvieron prioridad sobre los límites municipales, lo que significa que estos últimos fueron cortados al momento de llegar, tocar o coincidir con un área natural protegida.

En resumen, el mapa actual del territorio del CBMM abarca 5 corredores, 23 áreas naturales protegidas federales conectadas y 58 municipios distribuidos en cuatro entidades federativas del país.

Cuadro 1. Límites del CBMM

Corredor	Superficie (km ²)	Estado	Proporción estatal (%)	Proporción CBMM (%)
Sierra Madre del Sur	7 739	Chiapas	10.43	12.81
Selva Maya Zoque	20 006	Chiapas	26.96	33.12
Calakmul-Sian Ka'an	14 629	Campeche	28.79	24.22
Sian Ka'an-Calakmul	13 544	Quintana Roo	26.97	22.42
Costa Norte de Yucatán (terrestre)	4 488	Yucatán	6.13	7.43

Mapa 1. Límites del Corredor Biológico Mesoamericano México



- Corredor Sierra Madre del Sur
- Corredor Selva Maya Zoque
- Corredor Calakmul-Sian Ka'an
- Corredor Sian Ka'an-Calakmul
- Corredor Costa Norte de Yucatán
- Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuentes
 INEGI. 2006. *División municipal de México, 2005*. Obtenido del Marco Geostatístico Municipal, II Censo de Población y Vivienda 2005, Versión 1.0. Escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
 Conanp. 2007. *Áreas naturales protegidas federales de México*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Morelia, México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. *Límites del Corredor Biológico Mesoamericano México*. En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. CONABIO, México.



Cuadro 2. **Municipios incluidos en los corredores**

Corredor	Municipio	Corredor	Municipio	
Sierra Madre del Sur (Sur de Chiapas)	Acacoyagua	Selva Maya Zoque (Norte de Chiapas)	Sabanilla	
	Cacahoatán		Solosuchiapa	
	El Porvenir		Tapalapa	
	Escuintla		Tapilula	
	Mapastepec		Tecpatán	
	Motozintla		Tila	
	Pijijiapan		Tumbalá	
	Siltepec		Yajalón	
	Tapachula		Calakmul-Sian Ka'an (Campeche)	Calakmul
	Unión Juárez			Hopelchén
	Villa Corzo			
	Selva Maya Zoque (Norte de Chiapas)	Benemérito de la Américas	Sian Ka'an-Calakmul (Quintana Roo)	Felipe Carrillo Puerto
		Chapultenango		José María Morelos
Chilón		Isla Mujeres		
Cintalapa		Costa Norte de Yucatán (Yucatán)	Celestún	
Coapilla			Dzemul	
Copainala			Dzidzantún	
Francisco León			Dzilam de Bravo	
Huituipán			Dzilam González	
Ixhuitán			Hunucmá	
Las Margaritas			Ixil	
Maravilla Tenejapa			Motul	
Marqués de Comillas			Progreso	
Ocosingo			Río Lagartos	
Ocotepec			San Felipe	
Ocozocoautla de Espinosa			Sinanché	
Pantepec			Telchac Pueblo	
Pueblo Nuevo Solistahuacán			Telchac Puerto	
Rayón			Ucú	
			Yobaín	

Cuadro 3. **Áreas naturales protegidas que delimitan los corredores**

Corredor	Área natural protegida	Categoría
Sierra Madre del Sur (Sur de Chiapas)	El Triunfo	Reserva de la Biosfera
	La Encrucijada	Reserva de la Biosfera
	La Sepultura	Reserva de la Biosfera
	Volcán Tacaná	Reserva de la Biosfera
Selva Maya Zoque (Norte de Chiapas)	Bonampak	Monumento Natural
	Cascada de Agua Azul	Área de Protección de Flora y Fauna
	Chan-Kin	Área de Protección de Flora y Fauna
	La Sepultura	Reserva de la Biosfera
	Lacan-Tun	Reserva de la Biosfera
	Metzabok	Área de Protección de Flora y Fauna
	Montes Azules	Reserva de la Biosfera
	Naha	Área de Protección de Flora y Fauna
	Selva El Ocote	Reserva de la Biosfera
	Yaxchilán	Monumento Natural
Calakmul-Sian Ka'an (Campeche)	Bala'an K'aax	Área de Protección de Flora y Fauna
	Calakmul	Reserva de la Biosfera
Sian Ka'an-Calakmul (Quintana Roo)	Bala'an K'aax	Área de Protección de Flora y Fauna
	Sian Ka'an	Reserva de la Biosfera
	Uaymil	Área de Protección de Flora y Fauna
Costa Norte de Yucatán (Yucatán)	Costa occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc	Parque Nacional Marino
	Isla Contoy	Parque Nacional
	Playa adyacente a Ría Lagartos	Santuario
	Ría Celestún	Reserva de la Biosfera
	Ría Lagartos	Reserva de la Biosfera
	Yum Balam	Área de Protección de Flora y Fauna

DISTRIBUCIÓN DE LA VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO

Con el fin de colaborar en el estudio de los indicadores biológicos y ecológicos para el CBMM se realizó un análisis de la vegetación y usos de suelo como parte esencial para el conocimiento y manejo de los recursos naturales de la región. Para esto fue necesario contar con información del estatus inicial de los recursos forestales, su distribución, así como de los usos de suelo en cada corredor. Dentro de este contexto se propuso generar la cartografía para los primeros años del CBMM, el cual comenzó sus actividades en abril de 2000 (CBMM, 2009), de tal forma que se estableciera una línea base (primer punto de comparación) para posteriormente realizar monitoreos de la condición de la vegetación y los cambios en el uso del suelo. Para generar esta cartografía se emplearon técnicas de percepción remota que consisten, básicamente, en procesar imágenes de satélite para determinar qué tipo de cobertura existe en un área específica, reforzando los resultados con trabajo de campo y fuentes bibliográficas y cartográficas. Primero se generó un esquema de clasificación donde se agruparon los tipos de vegetación para cada corredor, con el fin de buscar que estas coberturas fueran reconocibles en las imágenes de satélite. Después, se realizó la clasificación de las imágenes satelitales, con lo que se generó la cartografía de vegetación y uso del suelo, que fue validada con trabajo en campo. Finalmente, se analizaron métodos para evaluar y monitorear la vegetación y el uso del suelo de forma automatizada, a partir de imágenes de amplia cobertura y de alta disponibilidad temporal. En esta última etapa se analizaron productos que permiten el monitoreo constante del estado de los recursos utilizando imágenes de alta resolución espacial.

HOMOLOGACIÓN DE LAS SERIES DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO DEL INEGI

Uno de los primeros objetivos planteados para establecer la línea base y posteriormente un programa de monitoreo de los cambios en la cobertura vegetal dentro de los límites del CBMM, fue la homologación del sistema de clasificación usado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), en sus mapas digitales de vegetación y uso del suelo series I (INE-INEGI, 1997), II y III (INEGI, 2001 y 2005, respectivamente), con un sistema desarrollado por el proyecto TREES Vegetation Classification Scheme for High Resolution Satellite Data (Achard *et al.*, 2002) para la clasificación de la cobertura del suelo a través de imágenes satelitales de alta resolución y modificado para el estudio del CBMM.

Debido a que las clasificaciones de la vegetación utilizadas en nuestro país son de índole fisonómica y a que las necesidades planteadas para un esquema de clasificación basado en sensores remotos de estas mismas entidades son distintas, se requirió de un análisis a fin de reconocer las similitudes y analogías entre los sistemas y así construir un sistema homologado. Durante el análisis se observó la inexistencia de concordancia directa entre las clases de los esquemas, puesto que aun cuando ambos pretenden ser jerárquicos, los puntos de división entre clases no tienen el mismo criterio ni nivel jerárquico. Por ejemplo, el tercer nivel —clase— del sistema propuesto en el proyecto TREES tiene grupos definidos por la dominancia de árboles y se subdivide según el porcentaje de cobertura horizontal de sus copas, en

abierto y cerrado; por otro lado la clase dominada por plantas arbustivas hace la separación considerando la talla promedio de las mismas; finalmente en la clase dominada por plantas herbáceas, el criterio de división es si los grupos son o no de origen antrópico. Por lo anterior se decidió que la homologación se basará en la manifestación más típica o común de las categorías manejadas en el INEGI respecto a aquellas propuestas en un sistema basado en sensores remotos en el proyecto TREES. Como resultado del análisis se obtuvieron las categorías finales de vegetación y uso del suelo que permitieron la comparación entre las tres series del INEGI (véase cuadro 4).

Con las categorías homologadas se elaboraron los mapas respectivos de cada una de las tres series del INEGI. En esta publicación sólo se muestran, a manera de ejemplo, los mapas para los corredores del estado de Chiapas (véase mapas 2, 3 y 4).

ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN DE LA VEGETACIÓN

Previo a la clasificación de imágenes satelitales para generar la cartografía de la vegetación y uso del suelo para el Corredor Biológico Mesoamericano México, se definió un esquema de clasificación jerárquico que incluye todos los grupos de vegetación para cada corredor y que es factible de reconocer mediante las imágenes usadas para este análisis. Como se mencionó antes, se llevó a cabo un trabajo de homologación entre la leyenda utilizada por el

Cuadro 4. **Categorías homologadas para las tres series del INEGI**

Bosque perennifolio	Herbazal perenne
Bosque subperennifolio o subcaducifolio	Vegetación hidromórfica enraizada
Bosque caducifolio	Pastizales inducidos-cultivados
Matorral perennifolio	Agricultura
Matorral subperennifolio o subcaducifolio	Cuerpo de agua
Matorral caducifolio	

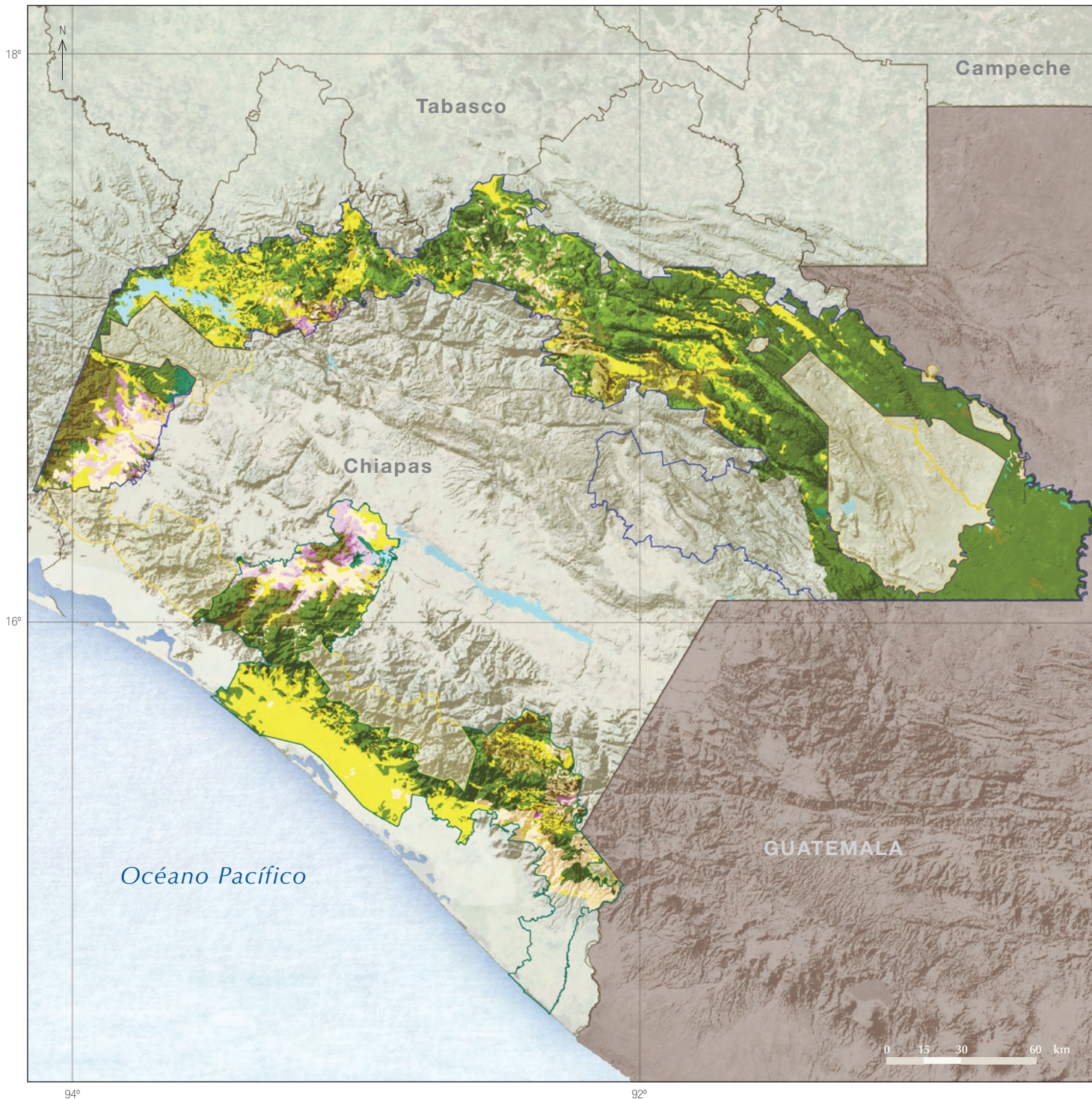
INEGI y el esquema de clasificación del proyecto TREES, el cual se desarrolló con el principio de generar cartografía de vegetación con imágenes satelitales de alta resolución, basándose en criterios fisonómicos y estructurales: desde clases de formaciones, subclases de formaciones, grupos de formaciones, formaciones y subformaciones. Finalmente, lo que resulta es un esquema de clasificación que conjunta ambos trabajos para obtener un producto acorde al CBMM y a los métodos utilizados para generar la cartografía.

De esta manera la división incluye áreas con bosque natural, que se subdivide en: perennifolio, caducifolio, manglar y otros; sin vegetación que se subdivide en: uso urbano, infraestructura, suelo desnudo y otros; vegetación no forestal, agua y agricultura. El último nivel propuesto por TREES se refiere a la separación entre bosques abiertos, cerrados y fragmentados.

El documento TREES especifica que si bien variables como la altura de los árboles no pueden observarse directamente con una imagen satelital, las siguientes definiciones pueden servir como una guía para la clasificación:

- *Bosque*: cobertura arbolada de más de 10%, asumiendo árboles de más de 5 metros de alto.
- *Matorral*: que contiene cobertura arbolada hasta 10% o árboles con altura de no más de 5 metros.
- *Densidad del dosel*: se refiere a la cercanía que hay entre árboles o la densidad arbórea dentro de una unidad de trabajo; puede ser un pixel o un polígono. Con las imágenes se pueden detectar aproximadamente tres clases:
 - *Bosque abierto*: bosque donde las copas no se tocan y ocupan un porcentaje de entre 10 y 40%.
 - *Bosque con densidad media*: cobertura de las copas de entre 40 y 70%.
 - *Bosque cerrado*: alta densidad donde la cobertura de las copas ocupa más de 70%.

Mapa 2. Vegetación y uso del suelo para los corredores en Chiapas, INEGI serie I (1968-1986)



- Bosque perennifolio
- Bosque subperennifolio y subcaducifolio
- Bosque caducifolio
- Matorral perennifolio
- Matorral subperennifolio y subcaducifolio
- Matorral caducifolio
- Herbazal perenne
- Vegetación hidromórfica enraizada
- Pastizales inducidos-cultivados
- Agricultura
- Cuerpos de agua
- Corredor Sierra Madre del Sur
- Corredor Selva Maya Zoque
- Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuente
 INE-INEGI. 1997. Datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación, Serie I. Escala 1:250 000. Instituto Nacional de Ecología, México.

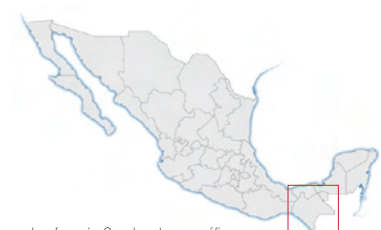
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Vegetación y uso del suelo para los corredores en Chiapas, INEGI serie I, homologado (1968-1986). En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. CONABIO, México.



Mapa 3. **Vegetación y uso del suelo para los corredores en Chiapas, INEGI serie II (1993-1997)**



- Bosque perennifolio
- Bosque subperennifolio y subcaducifolio
- Bosque caducifolio
- Matorral perennifolio
- Matorral subperennifolio y subcaducifolio
- Matorral caducifolio
- Herbazal perenne
- Vegetación hidromórfica enraizada
- Pastizales inducidos-cultivados
- Agricultura
- Cuerpos de agua
- Corredor Sierra Madre del Sur
- Corredor Selva Maya Zoque
- Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuente
 INEGI. 2001. *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación, serie II Continuo nacional*. Escala 1:250 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Dirección General de Geografía, Aguascalientes, México.

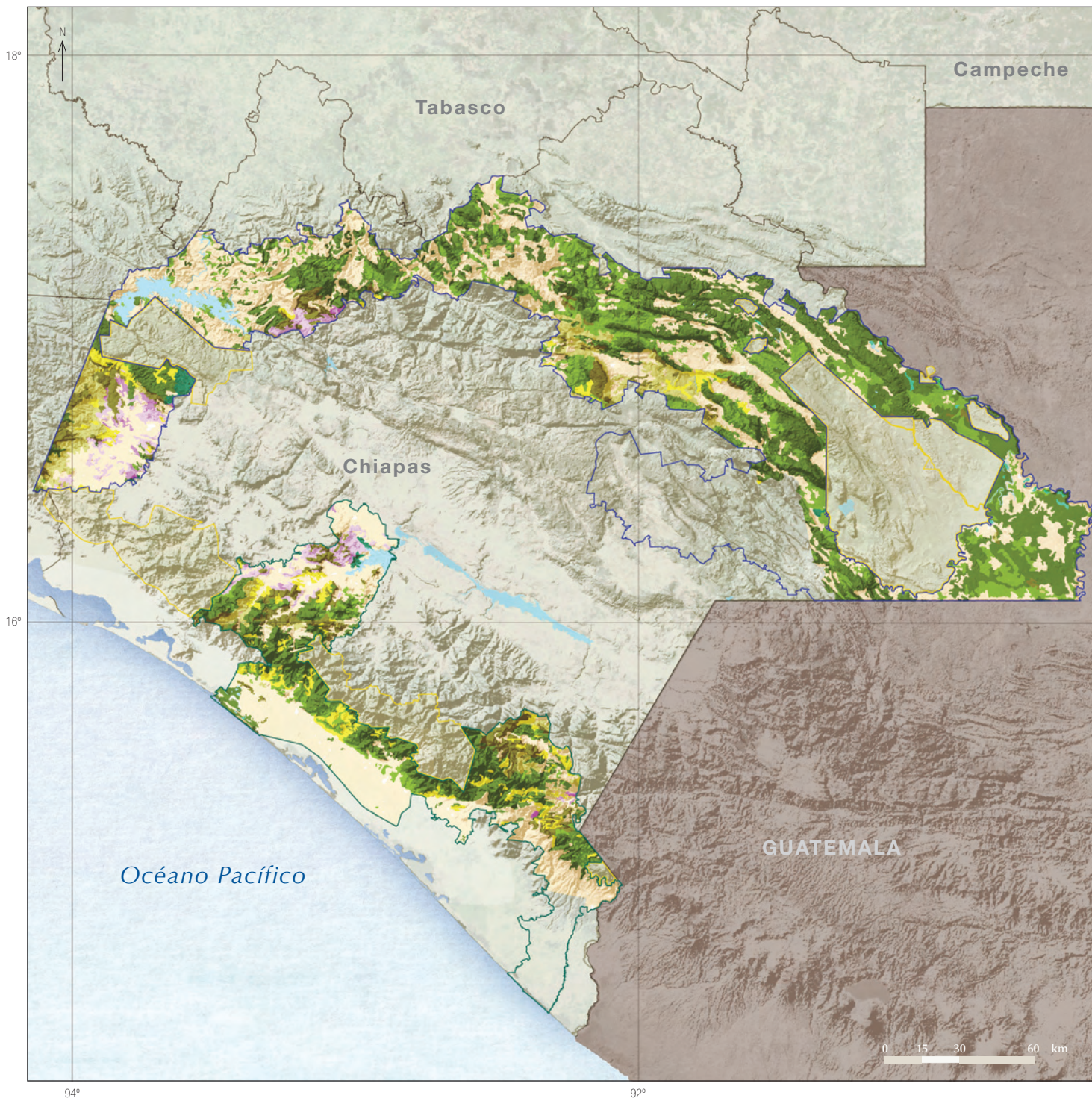
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. *Vegetación y uso del suelo para los corredores en Chiapas, INEGI serie II, homologado (1993-1997)*. En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. CONABIO, México.



94°

92°

Mapa 4. **Vegetación y uso del suelo para los corredores en Chiapas, INEGI serie III (2002-2005)**



- Bosque perennifolio
- Bosque subperennifolio y subcaducifolio
- Bosque caducifolio
- Matorral perennifolio
- Matorral subperennifolio y subcaducifolio
- Matorral caducifolio
- Herbazal perenne
- Vegetación hidromórfica enraizada
- Pastizales inducidos-cultivados
- Agricultura
- Cuerpos de agua
- Corredor Sierra Madre del Sur
- Corredor Selva Maya Zoque
- Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuente
 INEGI. 2005. *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación, serie III Continuo nacional*. Escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Dirección General de Geografía, Aguascalientes, México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. *Vegetación y uso del suelo para los corredores en Chiapas, INEGI serie III, homologado (2002-2005)*. En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. CONABIO, México.



A partir de la estructura del proyecto TREES se analizó la cartografía existente para la zona, específicamente el Inventario Forestal Nacional 2000-2001 (Semarnap, 2000), el *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación*, serie III del INEGI (2005) —en particular las áreas comprendidas en los corredores— y los resultados de la homologación de clases antes mencionada. También se consultaron *Vegetación de México* de Rzedowski (2006), “Los tipos de vegetación en México y su clasificación” de Miranda y Hernández (1963) y los tipos de vegetación registrados en el *Mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana* publicado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos (1972), con el fin de compilar y definir los tipos de vegetación existentes en la región del CBMM, de tal manera que el esquema de TREES se adaptó a las áreas del Corredor. Asimismo se revisaron trabajos específicos con información regional y estatal referentes a ciertos corredores, como los mapas de vegetación y usos de suelo generados por el Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Chiapas (Ecosur, 2005), la cartografía del proyecto “Uso actual del suelo y estado de conservación de la Reserva de la Biosfera Calakmul” (García, 2000), los mapas del proyecto “Evaluación y diseño del Corredor Sian Ka’an-Calakmul” (Colchero *et al.*, 2006) y *Los manglares de México* (CONABIO, 2008).

Tipos de vegetación

A continuación se presenta un resumen de los tipos de vegetación a nivel clase incluidos en el esquema de clasificación y que se usaron para generar la cartografía de la vegetación y uso del suelo del CBMM, así como una breve descripción de las subclases que lo componen.

Vegetación dominada por árboles con dosel cerrado

Se define como una cobertura vegetal donde las copas de los árboles se sobrelapan cubriendo entre 60 y 100% de la superficie. A ésta pertenecen las siguientes subclases:

- *Bosque perennifolio*. En el documento TREES se le nombra *evergreen forest* y se define como un bosque donde el dosel se mantiene verde durante todo el año; en éste, las especies perennifolias contribuyen con más de 75% de la cubierta arbórea total. Rzedowski (2006) menciona varios tipos de vegetación que pueden pertenecer a esta clase, dentro de las zonas del corredor: bosque tropical perennifolio, bosque mesófilo de montaña y bosque de coníferas; también podrían incluirse los bosques de *Quercus* en su tipo perennifolio. Miranda y Hernández (1963) hacen una diferencia mayor entre éstos, pues mencionan comunidades perennifolias, desde selvas perennifolias (alta, mediana o baja y baja espinosa), hasta asociaciones boscosas como pinares, bosque de abetos u oyameles, bosque de enebros y manglar. Por la diversidad de comunidades incluidas en esta subclase, el bosque perennifolio se desarrolla en una amplia gama de condiciones ambientales.
- *Bosque subperennifolio o subcaducifolio*. El documento TREES lo refiere como *semi-evergreen forest* y es usado para las formaciones que quedan parcialmente sin hojas durante la temporada de secas. Este tipo considera la selva alta o mediana subperennifolia y la selva alta o mediana subcaducifolia de Miranda y Hernández (1963) y es referido por Rzedowski (2006) como bosque tropical subcaducifolio. Prospera en México en altitudes de entre 0 y 1300 metros sobre el nivel del mar, presentándose incluso hasta en la orilla del mar, en sitios donde la temperatura media anual es mayor de 20 °C y con diferencias de aproximadamente 5 °C entre los meses más cálidos y los más fríos.
- *Bosque caducifolio*. Pierde sus hojas casi por completo durante la temporada de secas (Miranda y Hernández, 1963). TREES clasifica al bosque caducifolio como *deciduos forest* el cual concuerda con el bosque tropical caducifolio de Rzedowski (2006) y la selva baja caducifolia de

Miranda y Hernández (1963). Se desarrolla en México entre los 0 y los 1 900 metros de altitud, definido principalmente por una temperatura mínima extrema no menor de 0 °C, con temperatura media anual superior a 20 °C, con estaciones bien marcadas entre lluvias y secas (Rzedowski, 2006). El INEGI serie III (2005) lo maneja dentro del tipo de ecosistema vegetal selva caducifolia, mientras que el IFN (Semarnap, 2000) lo ubica dentro de la comunidad vegetal selva baja caducifolia y subcaducifolia.

Vegetación dominada por árboles con dosel abierto

Cobertura forestal donde las copas de los árboles usualmente no se tocan, cubriendo entre 25 y 60% de la superficie. A esta clase pertenecen las siguientes subclases.

- *Bosque perennifolio*. Aquí se pueden incluir bosques de ciprés y táscate conocidos como bosque de escumifolios por Miranda y Hernández (1963), que se desarrollan en el pie de serranías con suelos profundos formados por individuos espaciados. En esta categoría se incluyen los bosques perennifolios con características similares a los de dosel cerrado pero modificados por actividades antropogénicas, principalmente por tala selectiva. Se incluyen los acahuals de bosque tropical perennifolio, así como el acahual de bosque mesófilo.
- *Bosque caducifolio*. Tiene las mismas características del bosque caducifolio de dosel cerrado, pero en este caso presenta modificaciones antropogénicas lo que lo convierte en acahual de bosque caducifolio.
- *Bosque subperennifolio o subcaducifolio*. De la misma forma, la variante de acahual del bosque subperennifolio y subcaducifolio se incluye como vegetación dominada por árboles con dosel abierto.

Los acahuals se definen como la vegetación secundaria que se forma una vez destruida la original. Se establecen como consecuencia de la destrucción total o parcial de la vegetación, efecto ocasionado por actividades del hombre (Rzedowski, 2006). Es difícil poner límites entre la vegetación primaria y secundaria, ya que el grado de afectación antropogénica puede darse en gradientes desde ligeros o de algunas especies, hasta el desmonte total. Rzedowski incluye al pastizal, matorral e incluso algunos tipos de bosques en la vegetación secundaria, ya que, cuando comienza la recuperación de un sistema, es posible que ciertas especies tengan una alta capacidad de regeneración y por lo tanto pasar de una fisonomía a otra en relativamente corto tiempo.

Vegetación dominada por arbustos

La cobertura del dosel arbóreo es generalmente menor a 25% y está compuesta de varios tipos de matorrales. Esta vegetación, en su estructura natural, es característica de paisajes áridos, estando la mayoría de ellos incluidos en el tipo matorral xerófilo en Rzedowski (2006). En el esquema de vegetación de TREES existen dos clases principales de matorrales diferenciadas por la altura de los individuos más representativos: matorral y matorral bajo o enano. Las divisiones hacia el interior de estas clases están determinadas por su comportamiento estacional o fenología, por lo que se agrupan en matorrales perennifolios, caducifolios, subperennifolios y subcaducifolios. Dentro de estas subclases se consideran diferentes comunidades vegetales primarias como matorral submontano, matorral espinoso, matorral rosetófilo, entre otros, aunque con poca o nula presencia dentro de los límites del corredor.

- *Matorral perennifolio*. Arbustos donde las especies perennifolias contribuyen con una buena parte de la cubierta total. Según el IFN (Semarnap, 2000), el chaparral es la única representación de este tipo de vegetación contenida dentro del área del CBMM con poca extensión en

Chiapas. Son agrupaciones densas de encinos arbustivos acompañados de otros arbustos ubicados en zonas de transición entre climas áridos y templados (Cervantes, 2002).

En la homologación de la cartografía de vegetación y uso del suelo del INEGI, se toma como vegetación dominada por arbustos a todas las asociaciones secundarias arbustivas de selvas y bosques, por lo que se incluyen en la clase matorral en distintas subclases. Dentro de la cartografía del INEGI existe una subdivisión que hace la diferencia entre asociaciones de vegetación secundaria y vegetación primaria como un calificativo más de cada una de las comunidades que se manejan. Éstas, a su vez, tienen asignado un componente de Fase de la vegetación, donde se especifica si estas asociaciones son arbóreas, arbustivas o herbáceas.

Según González Medrano (2003), una porción considerable de la vegetación del país está constituida por comunidades originadas a partir de la destrucción de la vegetación primaria, las cuales pueden encontrarse en fases de recuperación con tendencia a restaurarse a su forma original, ya sea en una etapa sucesional secundaria con componentes florísticos con comportamiento similar, o bien con componentes muy distintos al original y comportamiento diferente, lo cual estará determinado por la edad, factores ambientales, intervención del hombre, etc. En México, el número de asociaciones vegetales de carácter secundario es grande y en su composición interviene una diversidad florística tanto o mayor que las asociaciones primarias o clímax (Rzedowski, 2006). Desde el punto de vista fisonómico se distinguen tres categorías sucesionales principales: bosque (arbóreo), matorral y pastizal (herbáceo). Muchas clases de matorrales se presentan como comunidades secundarias en distintos hábitats, e incluso son inducidos a permanecer de esta forma, por medio de incendios o pastoreo excesivo. Sin embargo, en algunas zonas calientes y húmedas, la duración de un matorral secundario es corta y se transforma rápidamente a la siguiente fase, por lo que según Rzedowski, es difícil

caracterizar este tipo de vegetación. La clasificación de la UNESCO (1973) también especifica las dificultades que existen al diferenciar las distintas etapas de sucesión hacia una vegetación clímax, especialmente con insumos de escalas pequeñas, por lo que se inclina a clasificar la vegetación en términos de las condiciones actuales, clima y fisonomía con información ecológica suplementaria.

Por esto, para fines de homologación y de comparación, las asociaciones secundarias de forma arbustiva se incluyeron dentro de la clase Acahual, aunque sería aventurado especificar si son asociaciones vegetales secundarias de carácter caducifolio o perennifolio o bien si son derivadas de alguna comunidad en específico, pues para determinarlo sería necesario un análisis florístico a detalle, así como un muestreo multitemporal.

Vegetación dominada por hierbas

Dominancia de hierbas como gramíneas, forraje y helechos, donde se incluyen pastos naturales y actividades agropecuarias. La presencia de algunas de estas está determinada por condiciones climáticas. Muchas son favorecidas por disturbios antropogénicos, como pastoreo y agricultura, los cuales tienden a extender la cobertura de este grupo de vegetación (Rzedowski, 2006). Se presentan de forma general en zonas planas o de topografía ligeramente ondulada. Dentro de esta clase se incluyen las siguientes subclases.

- *Pastizal perenne*. Cobertura herbácea de más de 50% de la cobertura total está compuesta por gramíneas perennes sin árboles o con árboles esparcidos. Las sabanas, por ejemplo, se desarrollan sobre suelos con drenaje deficiente, mientras que los zacatales (pastos que crecen en manojos) se desarrollan en mesetas y valles de altitudes medias. Por otro lado los pastizales halófilos crecen sobre suelos salinos como fondos de antiguos lagos y planicies costeras (Rzedowski, 2006). Las sabanas y pastizales inducidos son agrupados en el IFN (Semarnap, 2000)

dentro de pastizales, mientras que el INEGI serie III (2005) considera también dentro de pastizales al pastizal halófilo. Por su parte la vegetación halófila y gipsófila se contemplan como “Otros tipos de vegetación” en el IFN.

- *Herbazal perenne.* Dominada por hierbas en más de 50% de la cobertura con altura menor de 1 metro hasta 3 metros de altura, incluye las comunidades de popal-tular y vegetación halófila y gipsófila del Inventario Forestal Nacional (Semarnap, 2000). El popal y tular, y el carrizal, son divisiones incluidas por Rzedowski (2006) dentro del tipo vegetación acuática y subacuática, mientras que Miranda y Hernández (1963) las plantean como dos tipos distintos: popal y tular, carrizal, etc. Éstas son agrupaciones densas de plantas herbáceas enraizadas en superficies pantanosas, cuerpos de agua poco profundos, de corriente lenta o estacionarios que cuando crecen sobresalen de la superficie.
- *Vegetación de gramíneas o hierbas anuales.* Miranda y Hernández (1963) distinguen entre la vegetación de dunas costeras y los páramos de altura como tipos de vegetación independientes, mientras que ambos están dentro de la clasificación de pastizales en Rzedowski (2006). Éstos podrían distinguirse en las imágenes de satélite de los pastizales por las diferentes condiciones orográficas en las que se presentan, ya que la vegetación de dunas costeras se encuentra cerca de la costa en altitudes no mayores de 1 metro sobre el nivel del mar, mientras que los páramos de altura son propios de zonas donde la vegetación arbórea ya no es posible en altitudes mayores a 4000 metros sobre el nivel del mar.
- *Vegetación agrícola-ganadera.* Uso agropecuario del suelo. Son las coberturas dedicadas a la producción agrícola y ganadera. En esta categoría se agrupan los distintos tipos de cultivos tanto de temporal como de

riego, perennes y anuales, monocultivos y cultivos mixtos incluyendo el cultivo de pastos y forrajes.

Cobertura no dominada por la vegetación

- *Vegetación dispersa.* Vegetación muy esparcida o casi ausente, la cobertura vegetal total se encuentra entre 1 y 10%.
- *Sin vegetación.* Son los suelos que tienen menos de 1% de cubierta vegetal. En esta categoría se incluyen los suelos desnudos, roca expuesta, playas y dunas, así como los usos urbanos, vías de comunicación y usos industriales.
- *Cuerpos de agua.* El esquema de clasificación de TREES divide los cuerpos de agua en: cuerpos de agua dulce (ríos y lagos) y cuerpos de agua salada (mares y lagunas costeras).
- *No visible.* Se refiere a la falta de información en las imágenes de satélite debido a las características de la toma, principalmente por la presencia de nubes o de sombras producidas por el relieve y la nubosidad.

Identificación de la vegetación con imágenes de satélite

El esquema de clasificación de la vegetación para monitoreo mediante imágenes de satélite, manejado por TREES, abarca cuatro niveles jerárquicos que consideran el tipo de cobertura, fenología, sistema ecológico y distribución horizontal. Sin embargo, la aplicación de todos los niveles en el esquema de este documento resultó difícil y, a veces, imprecisa debido a la extensa y compleja área de estudio; por consiguiente, se hicieron las adecuaciones necesarias al momento de trabajar con las imágenes de satélite. Primeramente, por la resolución espectral de las imágenes, las etapas arbórea y arbustiva de la vegetación secundaria se agruparon en las clases acahual para cada tipo de

bosque: acahual de bosque perennifolio, acahual de bosque subperennifolio y subcaducifolio, acahual de bosque caducifolio. Esto aunado a que algunas comunidades vegetales sólo se distinguen entre sí por un análisis de su composición florística (González Medrano, 2003), resultado que únicamente puede alcanzarse después de un amplio y prolongado trabajo de campo, el cual requiere de recursos económicos y tiempo para su realización. Por otro lado, se observó que la vegetación dominada por hierbas no inducidas se reduce a la presencia de sabanas, principalmente en Campeche y Quintana Roo, y a la vegetación hidrófila como popal-tular y carrizal asociada con cuerpos de agua dulce. Los pastizales inducidos con fines ganaderos y la vegetación secundaria herbácea se agruparon en una sola categoría por la dificultad de separarlos con la información de una imagen de satélite; aquí se incluyen los pastos que cubren el suelo de forma irregular. Las actividades agropecuarias se separan sólo si la forma es simétrica, lo que permite determinar si son parcelas. En la clase sin vegetación aparente se agruparon las coberturas no dominadas por la vegetación y suelos desnudos porque no es posible hacer la diferencia con los 30 metros de resolución espacial de las

imágenes que se usaron. Se separó la clase área quemada, que por la respuesta espectral es fácilmente identificable en las imágenes. Todos los cuerpos de agua —tanto de agua dulce como marina— se incluyen en la clase cuerpos de agua. Por último, aunque forma parte de la subclase bosque perennifolio, se consideró relevante mantener la cobertura del manglar como una clase separada por tratarse de un ecosistema de suma importancia para las costas de Yucatán.

El diseño del esquema de clasificación de los grupos de vegetación que fueron reconocibles en las imágenes de satélite, así como la determinación de la leyenda final usada en los mapas de cada corredor (véase cuadro 5), son el resultado de un largo y minucioso proceso de investigación que consistió en el análisis de información biológica y ecológica, la revisión de bibliografía, la comparación de cartografía diversa, la consulta a especialistas en la materia y la evaluación de los insumos para determinar sus alcances. De esta forma se logró tener un producto adecuado para la generación de la cartografía de vegetación y uso del suelo para los corredores que conforman el Corredor Biológico Mesoamericano México.

Cuadro 5. **Leyenda final de los mapas de vegetación y uso del suelo**

Clase	Referencia en el esquema
1 Bosque perennifolio	Con vegetación / Dominada por árboles / Dosel arbóreo cerrado
2 Bosque subperennifolio y subcaducifolio	Con vegetación / Dominada por árboles / Dosel arbóreo cerrado
3 Bosque caducifolio	Con vegetación / Dominada por árboles / Dosel arbóreo cerrado
4 Acahual de bosque perennifolio	Con vegetación / Dominada por árboles / Dosel arbóreo abierto
5 Acahual de bosque subperennifolio y subcaducifolio	Con vegetación / Dominada por árboles / Dosel arbóreo abierto
6 Acahual de bosque caducifolio	Con vegetación / Dominada por árboles / Dosel arbóreo abierto
7 Manglar	Con vegetación / Dominada por árboles / Dosel arbóreo cerrado
8 Sabana	Con vegetación / Dominada por hierbas / Vegetación herbácea / Pastizal perenne
9 Vegetación hidrófila	Con vegetación / Dominada por hierbas / Vegetación herbácea / Herbazal perenne
10 Pastizal inducido	Con vegetación / Dominada por hierbas / Vegetación herbácea / Pastizal perenne
11 Uso agrícola	Con vegetación / Dominada por hierbas / Vegetación herbácea / Vegetación agrícola ganadera
12 Área quemada	
13 Cuerpos de agua	
14 Sin vegetación aparente	
15 Uso urbano	
16 Vías de comunicación	
17 No visible	

LAS IMÁGENES DE SATÉLITE Y LOS MAPAS DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO

Imágenes de satélite

Para establecer la línea base de la vegetación se usaron imágenes de satélite Landsat ETM+ del año 2000. Éstas tienen una resolución espacial de 30 metros, es decir que la unidad mínima (pixel) de una imagen tiene 900 m² de superficie. Al momento de seleccionarlas se verificó que tuvieran fechas aproximadas, preferentemente de la época de secas (entre noviembre y abril) para evitar la presencia de nubes. Los índices (Path/Row) y las fechas de las imágenes se organizaron en un cuadro, en el cual se observa que cada corredor abarca más de una imagen y que, en algunos casos, una misma imagen se utilizó en más de un corredor (véase cuadro 6). En un ejemplo de las imágenes satelitales Landsat ETM+ presentadas como mosaico en relieve (véase figura 1), se aprecian en tonos verde limón áreas de pastizales y agricultura en los alrededores de la presa Nezahualcóyotl; en tonos rosa, café claro y blanco se observan zonas desprovistas de vegetación, que en las planicies muestran áreas agrícolas en descanso, o bien manchones de zonas urbanas como los poblados de Ocozocoautla y el Carrizal, Chiapas.

Trabajo de campo

Parte fundamental del trabajo con imágenes de satélite y de la generación de mapas es el reconocimiento de la zona de estudio. El propósito de estos recorridos es visitar diferentes sitios para relacionar la cobertura real con la respuesta espectral que se tiene en las imágenes de satélite, ya que es posible

Cuadro 6. **Imágenes Landsat ETM+ utilizadas en la elaboración de los mapas de vegetación y uso del suelo**

Corredor	Path/Row	Fecha
Sierra Madre del Sur (Chiapas)	22/48	4 de diciembre de 1999
	21/49	19 de abril de 2000
	22/49	4 de diciembre de 2000
	21/50	15 de febrero de 2000
Selva Maya Zoque (Chiapas)	20/49	23 de enero de 2000
	20/48	27 de marzo de 2000
	21/48	03 de abril de 2000
	22/48	04 de abril de 2000
	21/49	19 de abril de 2000
Calakmul-Sian Ka'an (Campeche)	20/46	28 de abril de 2000
	20/47	27 de marzo de 2000
	19/47	21 de abril de 2000
Sian Ka'an-Calakmul (Quintana Roo)	20/46	28 de abril de 2000
	20/47	27 de marzo de 2000
	19/47	21 de abril de 2000
	19/46	24 de abril de 2000
Costa Norte de Yucatán	21/45	19 de abril de 2000
	20/45	28 de abril de 2000
	19/45	21 de abril de 2000
	18/45	26 de abril de 2000

tener lugares con respuestas espectrales desconocidas, o bien que se confundan con distintos usos del suelo o vegetación. Por otro lado, es preciso que se lleven a cabo evaluaciones de exactitud una vez que los mapas han sido generados, para cotejar la información obtenida directamente con lo señalado en la cartografía.

Para colectar la información de apoyo para las clasificaciones, primero se evaluaron las imágenes de satélite para determinar los lugares donde el comportamiento espectral presentó mayor confusión y aquellas zonas en las que la diversa cartografía difiere entre sí, ya sea por el estado de la vegetación o por discrepancias en el sistema clasificatorio; además, se generó una serie de puntos de forma aleatoria automatizada para el proceso de validación. Para diseñar esta red de puntos se consideraron el diseño estadístico, la viabilidad y acceso a ellos, y el tiempo disponible para recorrer todo el corredor.

En los lugares visitados de cada corredor se tomaron las coordenadas con un GPS (Global Positioning System), la cobertura, algunas notas acerca del sitio y fotografías de los diferentes estratos. En todos los recorridos se contó con el apoyo y colaboración de expertos en la vegetación local, de conocedores de la zona y de algunas instancias gubernamentales; por ejemplo, para los corredores Sierra Madre del Sur y Selva Maya Zoque, en Chiapas, y Sian Ka'an-Calakmul, en Quintana Roo, el gobierno del estado proporcionó los aviones para los recorridos aéreos, y el Instituto de Historia Natural de Chiapas fue el contacto entre la CONABIO y el gobierno estatal.



Figura 1. Mosaico en relieve de imágenes Landsat ETM+ de la presa Nezahualcóyotl, Chiapas.

En la visita al Corredor Calakmul-Sian Ka'an, en Campeche, se registraron 127 puntos de campo en total, de los cuales 28 se consideraron como puntos de apoyo para las clasificaciones y el resto sirvieron para la validación del mapa final (véase figura 2).

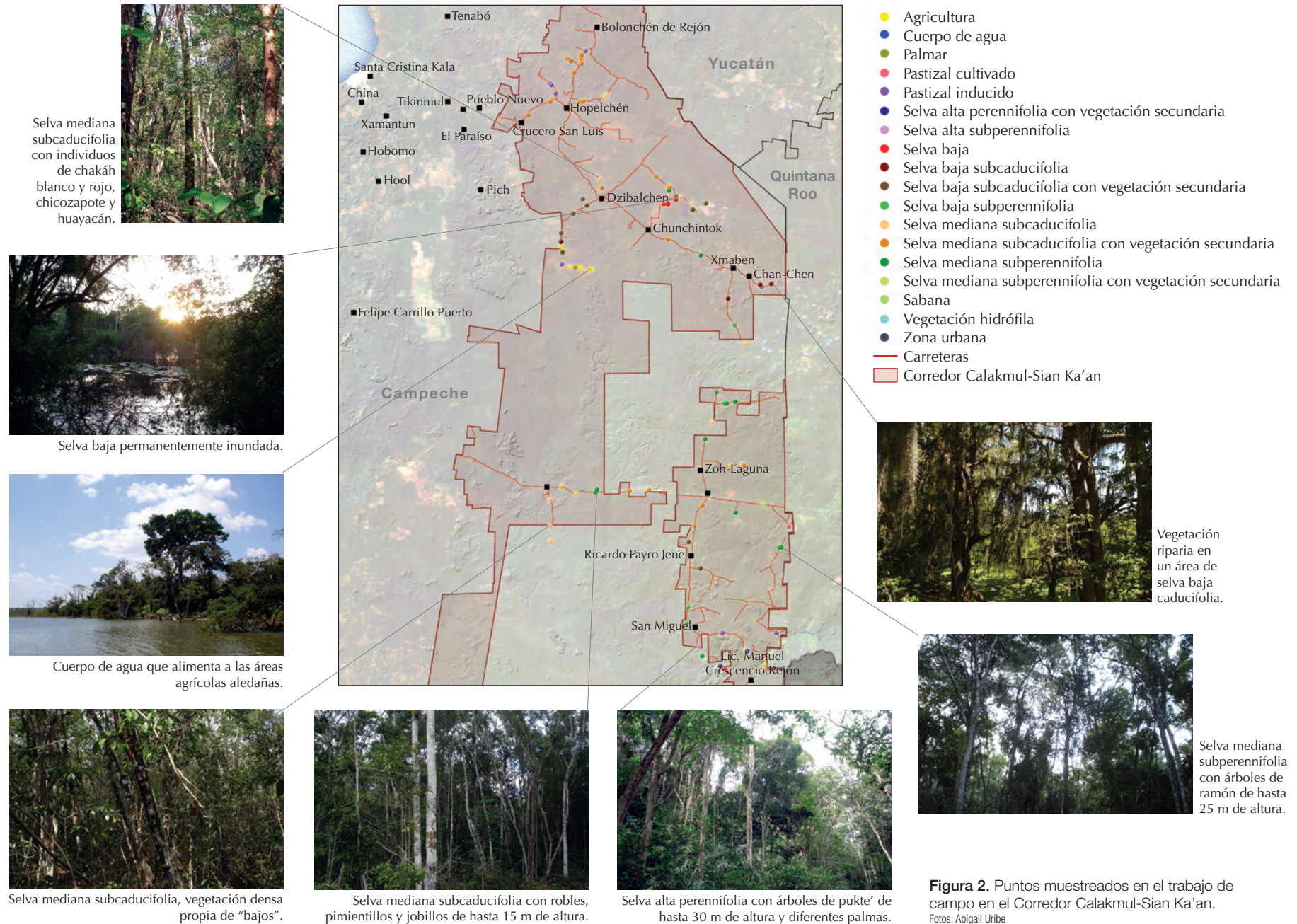


Figura 2. Puntos muestreados en el trabajo de campo en el Corredor Calakmul-Sian Ka'an.
Fotos: Abigail Uribe

Clasificación de imágenes de satélite

Existen varios tipos de imágenes de satélite y diferentes métodos para clasificarlas, desde los completamente automatizados hasta la sola interpretación visual. Tanto los procesos automatizados como los manuales consisten en asignar cada sección de una imagen a una de las clases (categoría o grupo) previamente definidas según el objeto de estudio. En este caso en particular, se realizaron clasificaciones supervisadas de 14 imágenes Landsat ETM+ para generar la cartografía de la vegetación y uso del suelo en 17 clases (véase cuadro 5) para los cinco corredores biológicos en México en escala 1:250 000. Las clasificaciones se retroalimentaron con la información obtenida en las visitas a cada corredor, en las que se reconocieron los grupos de vegetación y los distintos usos del suelo según el esquema de clasificación elaborado previamente. Asimismo, se tomaron en cuenta los datos auxiliares de la cartografía existente a nivel nacional, escala 1:250 000, como el *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación*, serie III del INEGI (2005), el Inventario Forestal Nacional (Semarnap, 2000), el *Conjunto de datos vectoriales y toponimia de la carta topográfica* del INEGI (1999) y *Ecorregiones de México* (CONABIO, 1999).

Además de estas fuentes cartográficas, para los corredores Costa Norte de Yucatán y Sierra Madre del Sur se consultaron las coberturas de *Los manglares de México* (CONABIO, 2008) y para el Corredor Calakmul-Sian Ka'an y los dos de Chiapas se utilizaron como referencia los mapas elaborados para otros proyectos regionales (Colchero *et al.*, 2006 y Ecosur, 2005). Debido a las diferencias entre los esquemas de clasificación y la escala empleada en cada proyecto, sólo fue posible comparar esta información de forma visual. Un elemento importante para el apoyo de las clasificaciones supervisadas fueron las ortofotos proporcionadas por el INEGI (1999b), principalmente del año 1999, con las cuales fue posible diferenciar la textura de los estratos y la densidad arbórea y distinguir varios usos del suelo.

Por otro lado, una clasificación automatizada se somete a varios procesos para eliminar los efectos derivados de las técnicas de clasificación. Puede suceder que algunos píxeles sueltos, por su respuesta espectral y no por su contexto, son asignados a clases erróneas; estos píxeles se reasignan a otras clases por interpretación visual o por el uso de filtros de suavizado. Los filtros de suavizado o de homogeneización evalúan los valores de cada píxel y los de sus vecinos, al mismo tiempo que determinan si el píxel observado se considera como ruido, o bien forma parte de un cúmulo mayor de píxeles similares. Después de aplicar todos los procesos descritos a cada una de las clasificaciones, éstas se unieron en un solo mapa por corredor y se eliminaron los polígonos que no cubrían el área mínima cartografiable; esto es, el tamaño mínimo de los polígonos que pueden ser representados en la cartografía. Se eliminaron polígonos menores de 25 hectáreas, que es lo adecuado para la cartografía con escala 1:250 000 (Chuvienco, 2002). Por último, se realizó una sobreposición de las carreteras y los asentamientos humanos del *Conjunto de datos vectoriales y toponimia de la carta topográfica*, escala 1:250 000, del INEGI (1999) modificados de acuerdo con las imágenes. De esta manera se evitó el problema de delimitar zonas urbanas y vías de comunicación con las imágenes Landsat ETM+, ya que su resolución espacial (30 metros) dificultaba la separación de estas clases al mezclar en un mismo píxel información de la vegetación circundante.

Mapas de vegetación y uso del suelo de los corredores

Para la generación de los mapas de los cinco corredores que conforman el CBMM se trabajaron 18 imágenes Landsat ETM+ en total. Cada una de las imágenes de satélite recibió un tratamiento aproximadamente similar y se determinaron entre 9 y 15 clases de vegetación y uso del suelo por corredor, según sus variaciones biogeográficas particulares.

Corredor Sierra Madre del Sur

Para el mapa de vegetación y uso del suelo de este corredor en el sur de Chiapas, se utilizaron 4 imágenes Landsat ETM+ y se identificaron 10 clases de vegetación y uso de suelo (véase cuadro 7). En el Corredor Sierra Madre del Sur existen grandes extensiones de terreno destinadas a los cultivos y pastizales con más de 360 000 hectáreas (47% de la superficie del corredor), donde la mayor zona continua de agricultura se localiza en la planicie costera. El parche más consistente de zonas boscosas está entre las reservas de la biosfera La Sepultura y El Triunfo, en el que se observa bosque mesófilo de montaña (bosque perennifolio) (véase mapa 5). Dominan los bosques perennifolios con vegetación secundaria que abarcan poco más de 28% del área.

Cuadro 7. **Tipos de vegetación y uso del suelo del Corredor Sierra Madre del Sur**

Clases de vegetación y uso del suelo	Hectáreas	%
Bosque perennifolio	150730	19.48
Achual de bosque perennifolio	220592	28.50
Manglar	6302	0.81
Pastizal inducido	213987	27.65
Uso agrícola	148428	19.18
Área quemada	1425	0.18
Cuerpos de agua	10979	1.42
Sin vegetación aparente	5516	0.71
Uso urbano	5058	0.65
Vías de comunicación	5829	0.75
No visible	5028	0.65
Total	773874	100.00



Mapa 5. **Vegetación y uso del suelo del Corredor Sierra Madre del Sur (2000)**



- Bosque perennifolio
- Acahual de bosque perennifolio
- Manglar
- Pastizal inducido
- Uso agrícola
- Área quemada
- Cuerpos de agua
- Sin vegetación aparente
- Uso urbano
- Vías de comunicación
- No visible
- Corredor Sierra Madre del Sur
- Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuente
 Sernamat, INEGI, Instituto de Geografía-UNAM. 2000. Imágenes Landsat ETM+ del año 2000. Path/Row: 22/48, 21/49, 22/49 y 21/50.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Vegetación y uso del suelo del Corredor Sierra Madre del Sur (2000). En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Coveno, México.



Corredor Selva Maya Zoque

Para el mapa de vegetación y uso del suelo de este corredor en el norte de Chiapas, se utilizaron 5 imágenes Landsat ETM+ de enero, marzo y abril de 2000 y se identificaron 13 clases de vegetación y uso de suelo (véase cuadro 8). Como puede observarse, el Corredor Selva Maya Zoque presenta la mayor diversidad de ecosistemas: desde los bosques perennifolios hasta los bosques subcaducifolios. Los bosques bien conservados ocupan únicamente 29% de la superficie y se encuentran principalmente en las zonas cercanas a la Reserva de la Biosfera Montes Azules (véase mapa 6). Las asociaciones secundarias o matorrales de estos bosques, que abarcan más de 34%, se localizan mayoritariamente en el centro y oeste del corredor. En la región aledaña a la presa Nezahualcóyotl, hay grandes extensiones de pastizales y zonas agrícolas con apenas unos manchones poco consistentes de bosques. Las zonas agropecuarias representan 32% de la superficie del corredor.














Cuadro 8. **Tipos de vegetación y uso del suelo del Corredor Selva Maya Zoque**

Clases de vegetación y uso del suelo	Hectáreas	%
Bosque perennifolio	585 217	29.25
Bosque subperennifolio y subcaducifolio	24 724	1.24
Achual de bosque perennifolio	673 297	33.65
Achual de bosque subperennifolio y subcaducifolio	13 027	0.65
Sabana	4 105	0.21
Vegetación hidrófila	1 263	0.06
Pastizal inducido	464 735	23.23
Uso agrícola	161 283	8.06
Área quemada	589	0.03
Cuerpos de agua	42 780	2.14
Sin vegetación aparente	9 617	0.48
Uso urbano	4 468	0.22
Vías de comunicación	13 836	0.69
No visible	1 654	0.08
Total	2 000 595	100.00





Mapa 6. **Vegetación y uso del suelo del Corredor Selva Maya Zoque (2000)**

- | | | | |
|---|--|---|----------------------------|
|  | Bosque perennifolio |  | Uso urbano |
|  | Bosque subperennifolio y subcaducifolio |  | Vías de comunicación |
|  | Acahual de bosque perennifolio |  | No visible |
|  | Acahual de bosque subperennifolio y subcaducifolio |  | Corredor Selva Maya Zoque |
|  | Pastizal inducido |  | Áreas naturales protegidas |
|  | Uso agrícola | | |
|  | Cuerpos de agua | | |
|  | Sin vegetación aparente | | |

Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuentes
 Semarnat, INEGI, Instituto de Geografía-UNAM. 2000. Imágenes Landsat ETM+ del año 2000. Path/Row: 20/49, 20/48, 21/48, 22/48 y 21/49.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Vegetación y uso del suelo del Corredor Selva Maya Zoque (2000). En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Conabio, México.



Corredor Calakmul-Sian Ka'an

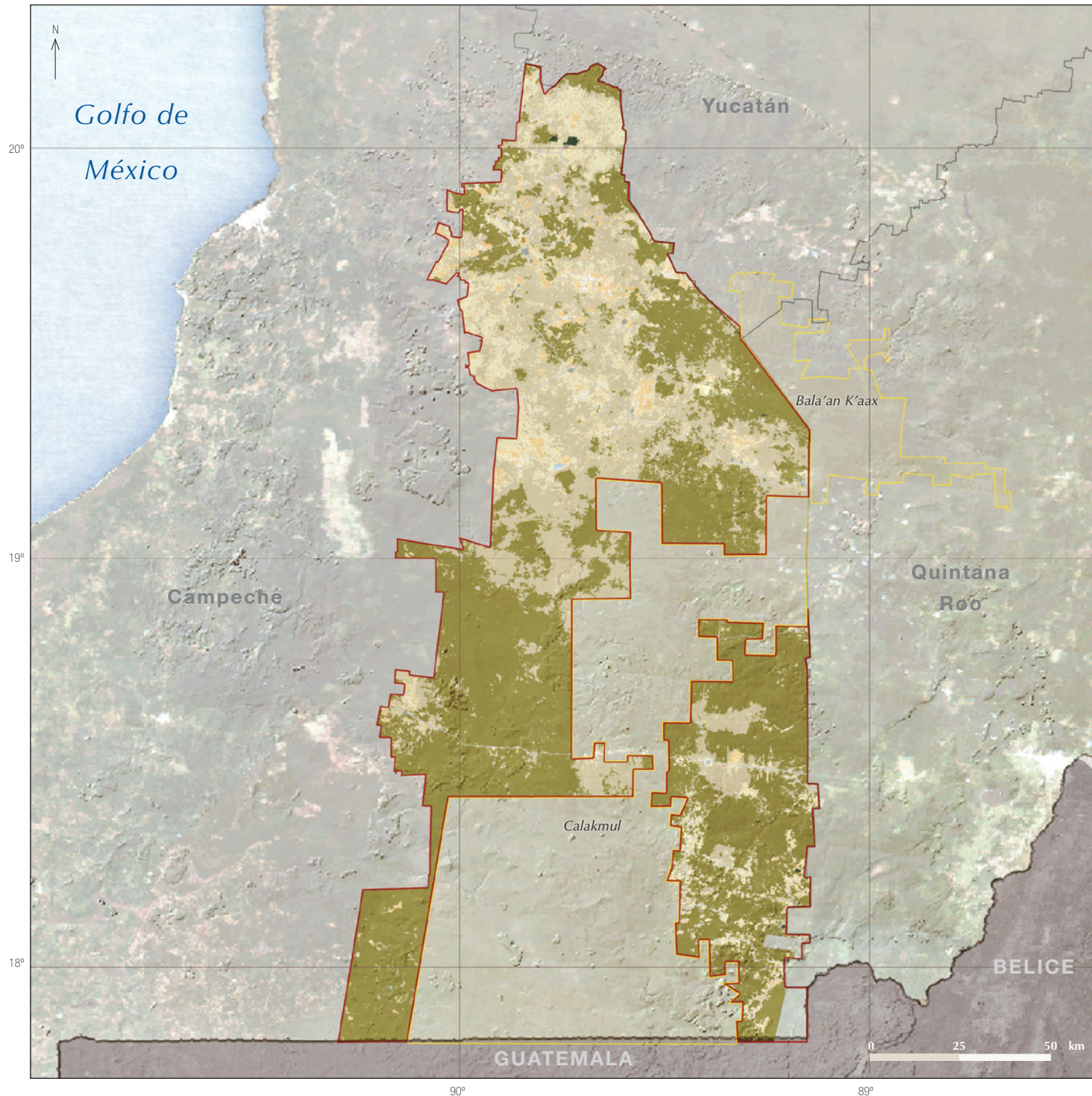
Para el mapa de vegetación y uso del suelo de este corredor ubicado en el estado de Campeche, se utilizaron 3 imágenes Landsat ETM+ de marzo y abril de 2000 y se identificaron 9 clases de vegetación y uso de suelo (véase cuadro 8). En el Corredor Calakmul-Sian Ka'an se reconocieron 784 000 hectáreas de bosque subperennifolio y subcaducifolio en buen estado de conservación (53.6% de la superficie del corredor), distribuidas en la zona sur a lo largo de la frontera con la Reserva de la Biosfera Calakmul (véase mapa 7). Cerca de 30% del área está cubierta por bosques perturbados por actividades humanas y 16% está destinada a actividades agropecuarias, las que se practican principalmente en la zona norte. En esta área se observa un alto índice de fragmentación, lo que ocasionó gran dificultad para generar la clasificación.

Cuadro 9. **Tipos de vegetación y uso del suelo del Corredor Calakmul-Sian Ka'an**

Clases de vegetación y uso del suelo	Hectáreas	%
Bosque subperennifolio y subcaducifolio	783977	53.59
Achual de bosque subperennifolio y subcaducifolio	415950	28.43
Pastizal inducido	174 337	11.92
Uso agrícola	58651	4.1
Cuerpos de agua	737	0.05
Sin vegetación aparente	9830	0.67
Uso urbano	2263	0.15
Vías de comunicación	4475	0.31
No visible	12643	0.86
Total	1 462 863	100.00



Mapa 7. Vegetación y uso del suelo del Corredor Calakmul-Sian Ka'an (2000)



-  Bosque subperennifolio y subcaducifolio
-  Achual de bosque subperennifolio y subcaducifolio
-  Pastizal inducido
-  Uso agrícola
-  Cuerpos de agua
-  Sin vegetación aparente
-  Uso urbano
-  Vías de comunicación
-  No visible
-  Corredor Calakmul-Sian Ka'an
-  Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuentes
 Semarnat, INEGI, Instituto de Geografía-UNAM. 2000. Imágenes Landsat ETM+ del año 2000. Path/Row: 20/46, 20/47 y 19/47.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Vegetación y uso del suelo del Corredor Calakmul-Sian Ka'an (2000). En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Coahuila, México.



Corredor Sian Ka'an-Calakmul

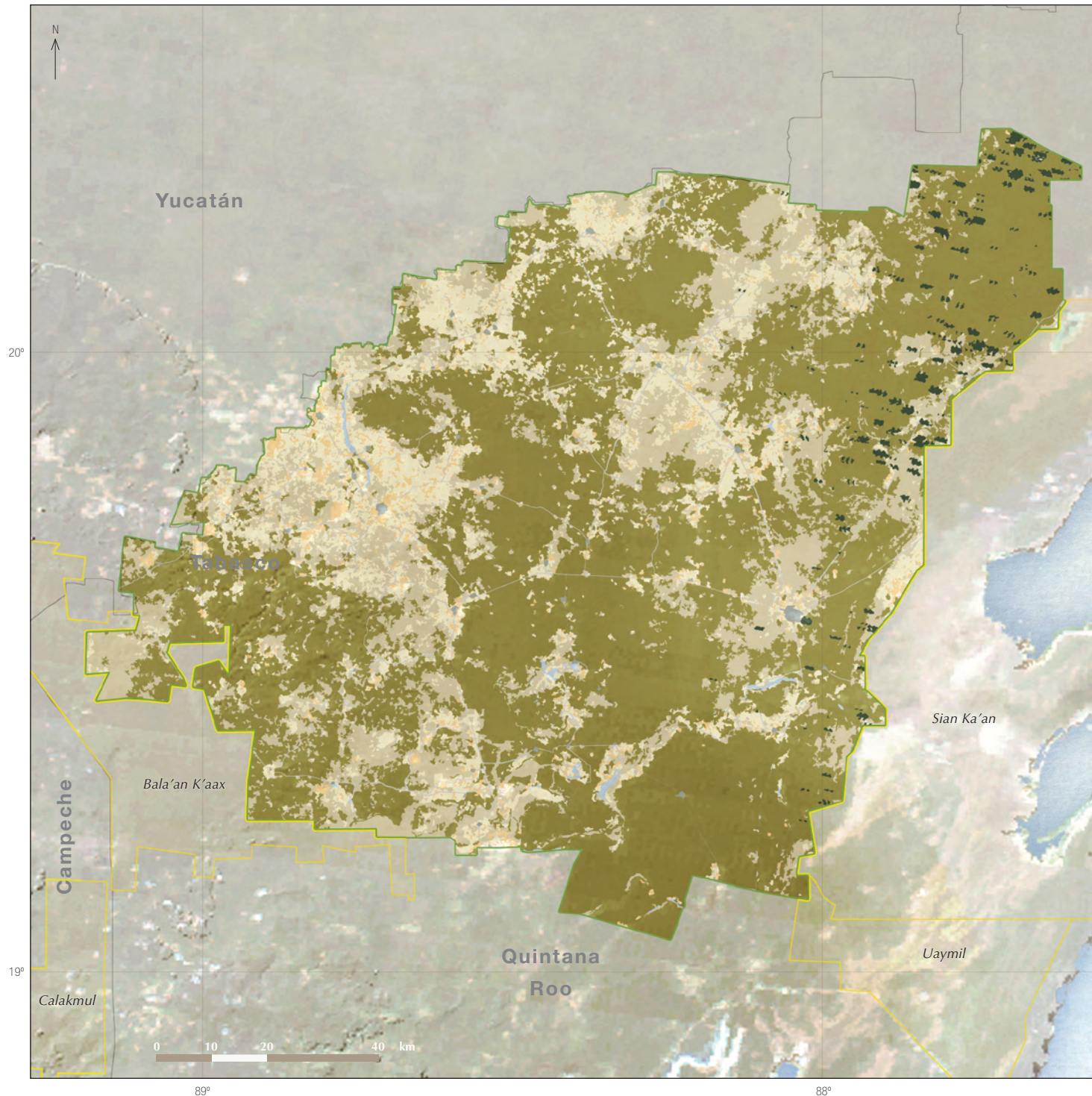
Para el mapa de vegetación y uso del suelo de este corredor localizado en el estado de Quintana Roo, se utilizaron 4 imágenes Landsat ETM+ de abril y marzo de 2000 y se identificaron 8 clases de vegetación y uso de suelo (véase cuadro 10). En el Corredor Sian Ka'an-Calakmul, el bosque subperennifolio y subcaducifolio en buen estado de conservación ocupa más de la mitad del área; esta cobertura vegetal con asociaciones de origen secundario representa poco más de 22%. Las actividades agropastoriles se realizan en aproximadamente 17% de la superficie del corredor (véase mapa 8). Los usos antropogénicos están fuertemente mezclados con las coberturas vegetales, por lo que el nivel de fragmentación del paisaje es similar al que se observa en Campeche.

Cuadro 10. **Tipos de vegetación y uso del suelo del Corredor Sian Ka'an-Calakmul**

Clases de vegetación y uso del suelo	Hectáreas	%
Bosque subperennifolio y subcaducifolio	792 873	58.54
Achual de bosque subperennifolio y subcaducifolio	302 140	22.31
Pastizal inducido	186 948	13.80
Uso agrícola	42 253	3.12
Cuerpos de agua	3 680	0.27
Sin vegetación aparente	1 550	0.11
Uso urbano	3 972	0.29
Vías de comunicación	5 498	0.41
No visible	15 500	1.14
Total	1 354 414	100.00



Mapa 8. Vegetación y uso del suelo del Corredor Sian Ka'an-Calakmul (2000)



-  Bosque subperennifolio y subcaducifolio
-  Acahual de bosque subperennifolio y subcaducifolio
-  Pastizal inducido
-  Uso agrícola
-  Cuerpos de agua
-  Sin vegetación aparente
-  Uso urbano
-  Vías de comunicación
-  No visible
-  Corredor Sian Ka'an-Calakmul
-  Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuentes

Sernamat, INEGI, Instituto de Geografía-UNAM. 2000. Imágenes Landsat ETM+ del año 2000. Path/Row: 20/46, 20/47, 19/47 y 19/46.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Vegetación y uso del suelo del Corredor Sian Ka'an-Calakmul (2000). En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Coahuila, México.



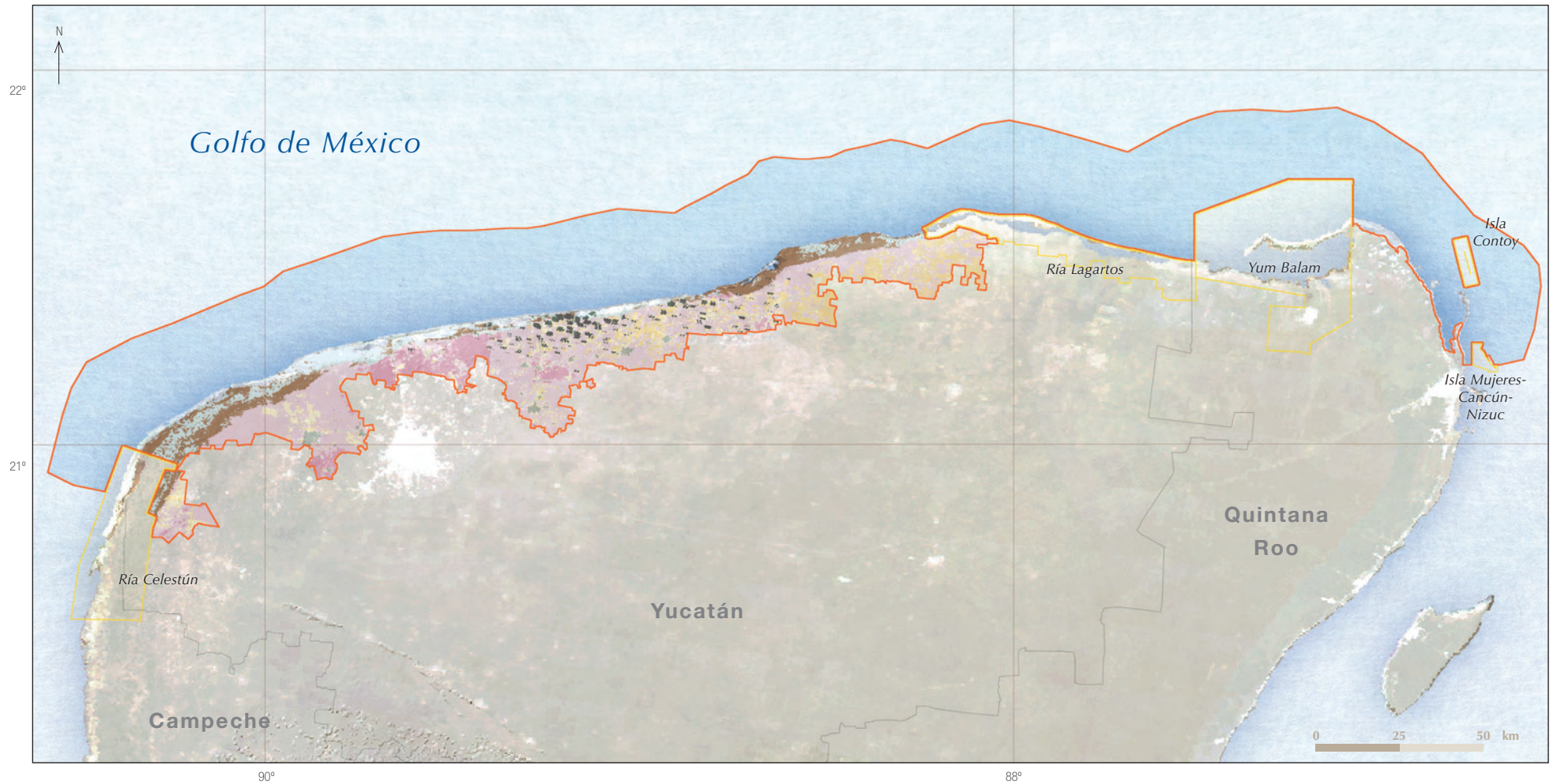
Corredor Costa Norte de Yucatán

Para el mapa de vegetación y uso del suelo de este corredor, se utilizaron 4 imágenes Landsat ETM+ de abril de 2000 y se identificaron 10 clases de vegetación y uso de suelo (véase cuadro 11), donde el bosque caducifolio con vegetación secundaria ocupa 40% y las coberturas antropogénicas 25% de la superficie terrestre. Cabe destacar que en este corredor es muy importante la presencia de manglares (véase mapa 9), un ecosistema fundamental para las costas de Yucatán.














Cuadro 11. **Tipos de vegetación y uso del suelo del Corredor Costa Norte de Yucatán**

Clases de vegetación y uso del suelo	Hectáreas	%
Bosque caducifolio	36 199	8.07
Achual de bosque caducifolio	182 337	40.63
Manglar	51 549	11.49
Vegetación hidrófila	35 027	7.80
Pastizal inducido	38 117	8.49
Uso agrícola	59 430	13.24
Cuerpos de agua	17 669	3.94
Sin vegetación aparente	6 370	1.42
Uso urbano	6 880	1.53
Vías de comunicación	2 552	0.57
No visible	12 669	2.82
Total	448 799	100.00





Mapa 9. Vegetación y uso del suelo del Corredor Costa Norte de Yucatán (2000)

- | | | | |
|---|-------------------------------|---|---------------------------------|
|  | Bosque caducifolio |  | Vías de comunicación |
|  | Acahual de bosque caducifolio |  | No visible |
|  | Manglar |  | Corredor Costa Norte de Yucatán |
|  | Vegetación hidrófila |  | Áreas naturales protegidas |
|  | Pastizal inducido | | |
|  | Uso agrícola | | |
|  | Cuerpos de agua | | |
|  | Sin vegetación aparente | | |
|  | Uso urbano | | |

Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuente
 Semarnat, INEGI, Instituto de Geografía-UNAM. 2000. Imágenes Landsat ETM+ del año 2000. Path/Row: 21/45, 20/45, 19/45 y 18/45.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Vegetación y uso del suelo del Corredor Costa Norte de Yucatán (2000). En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. CONABIO, México.



El análisis de cada uno de los mapas de vegetación y uso del suelo, antes descritos, muestra que los corredores de Calakmul-Sian Ka'an, en Campeche, y Selva Maya Zoque, en Chiapas, cuentan con las áreas más grandes y mejor conservadas de bosques del CBMM: 700 000 hectáreas de selvas bajas subcaducifolias y subperennifolias, el primero, y más de 500 000 hectáreas de bosques perennifolios (selvas altas y bosques mesófilos), el segundo; estas áreas están localizadas en los alrededores de dos de las principales reservas de la biosfera en el país: Calakmul y Montes Azules, respectivamente. También existen enormes macizos forestales en buen estado de conservación en el Corredor Sian Ka'an-Calakmul ubicados a lo largo de la frontera con la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, en Quintana Roo; sin embargo, estos bloques de selvas están amenazados por un manchón de perturbación proveniente de la ciudad de Carrillo Puerto y de las vías de comunicación circundantes.

Desafortunadamente los corredores Sierra Madre del Sur y Costa Norte de Yucatán tienen menos de 20% de su cobertura ocupada por vegetación en condición primaria y más de 30% por algún tipo de actividad antropogénica como la agricultura o la ganadería. En el Corredor Costa Norte de Yucatán se observa un grado de perturbación importante, amenazando zonas de manglares en las inmediaciones de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún.

Evaluación de los mapas de vegetación y uso del suelo

La evaluación se lleva a cabo mediante matrices de exactitud que generan valores indicativos del nivel de precisión alcanzado (Verbyla, 1995). En estas matrices es posible evaluar los porcentajes de cada clase correctamente clasificados: cuánto porcentaje del área que sí es del tipo de vegetación ha sido omitido en esa clase (errores de omisión) y cuánto porcentaje de esa clase pertenece en realidad a otro tipo de vegetación o uso del suelo (errores de

comisión). Las matrices de exactitud se realizaron entre los muestreos en campo y la clasificación de la imagen para obtener el número de puntos para cada clase donde existe coincidencia entre las dos fuentes. El número de puntos de coincidencia dividido entre el total de puntos muestra la fiabilidad y la exactitud global de la clasificación.

Para el Corredor Calakmul-Sian Ka'an se evaluaron los puntos obtenidos en campo contrastándolos con la clasificación final. Agrupando las clases agricultura y pastizales en agropecuario, la precisión global es de casi 69% con la mejor precisión en el bosque bien conservado (81.5%) y menor en el matorral de bosque (64%), el cual se mezcla con bosque bien conservado principalmente. En la evaluación del Corredor Selva Maya Zoque se obtuvo una precisión de 79% y en la del Corredor Costa Norte de Yucatán de 73%, donde existe confusión entre bosques caducifolios y sus asociaciones con vegetación secundaria.

FRACCIÓN DE LA COBERTURA DEL SUELO

Uno de los objetivos de trabajar con imágenes satelitales es optimizar la obtención de información, lograr que ésta sea eficiente y útil al momento de tomar decisiones para el manejo y monitoreo de ecosistemas. En este sentido, se propuso utilizar el acervo de imágenes MODIS que tiene la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, aprovechando la continua disposición (resolución temporal de 1 a 2 días), la resolución espacial y la cobertura por escena. La CONABIO está implementando el algoritmo denominado Fracción de la Cobertura del Suelo (FCS) con estas imágenes. Este algoritmo se ha derivado del algoritmo VCF (Vegetation Continuous Field) propuesto por Hansen y otros investigadores (2003), en el que se usaron series de tiempo de imágenes MODIS con las bandas de 500 metros de resolución espacial; posteriormente, se ha adaptado a las condiciones de los bosques y selvas de México. La Fracción de la Cobertura del Suelo es un tipo

de clasificación que permite caracterizar la cobertura del suelo en una estimación proporcional a nivel subpixel en las formas básicas de vegetación: arbóreo, arbustivo/herbáceo y sin vegetación aparente. El objetivo de este algoritmo es observar la estructura forestal y evaluar, a lo largo del tiempo, los cambios derivados de actividades antropogénicas como deforestación y cambio de coberturas forestales a usos agropecuarios.

Se realizó una evaluación del algoritmo para obtener la FCS, con la finalidad de monitorear los cambios en el estado de la vegetación y uso del suelo dentro de los corredores. El propósito de esta evaluación fue probar la potencialidad del producto en el monitoreo de ecosistemas dentro de los límites de CBMM y la factibilidad de su implementación. El algoritmo de clasificación puede tomar muestras de la cobertura del suelo de otras fuentes de mayor resolución, que en este caso fue información proveniente de la clasificación de imágenes SPOT 5. En una primera aproximación a este método, se generó un producto FCS con una sola imagen SPOT como insumo; sin embargo, fue necesario ingresar mayor cantidad de información como insumo debido a la complejidad de ecosistemas presentes en el área de estudio, por lo que se generaron otras cuatro clasificaciones de imágenes SPOT distribuidas a lo largo de los cinco corredores. Estos insumos fueron suficientes para representar las diferencias entre los ecosistemas existentes en el Corredor Biológico Mesoamericano México.

Preprocesamiento de imágenes MODIS

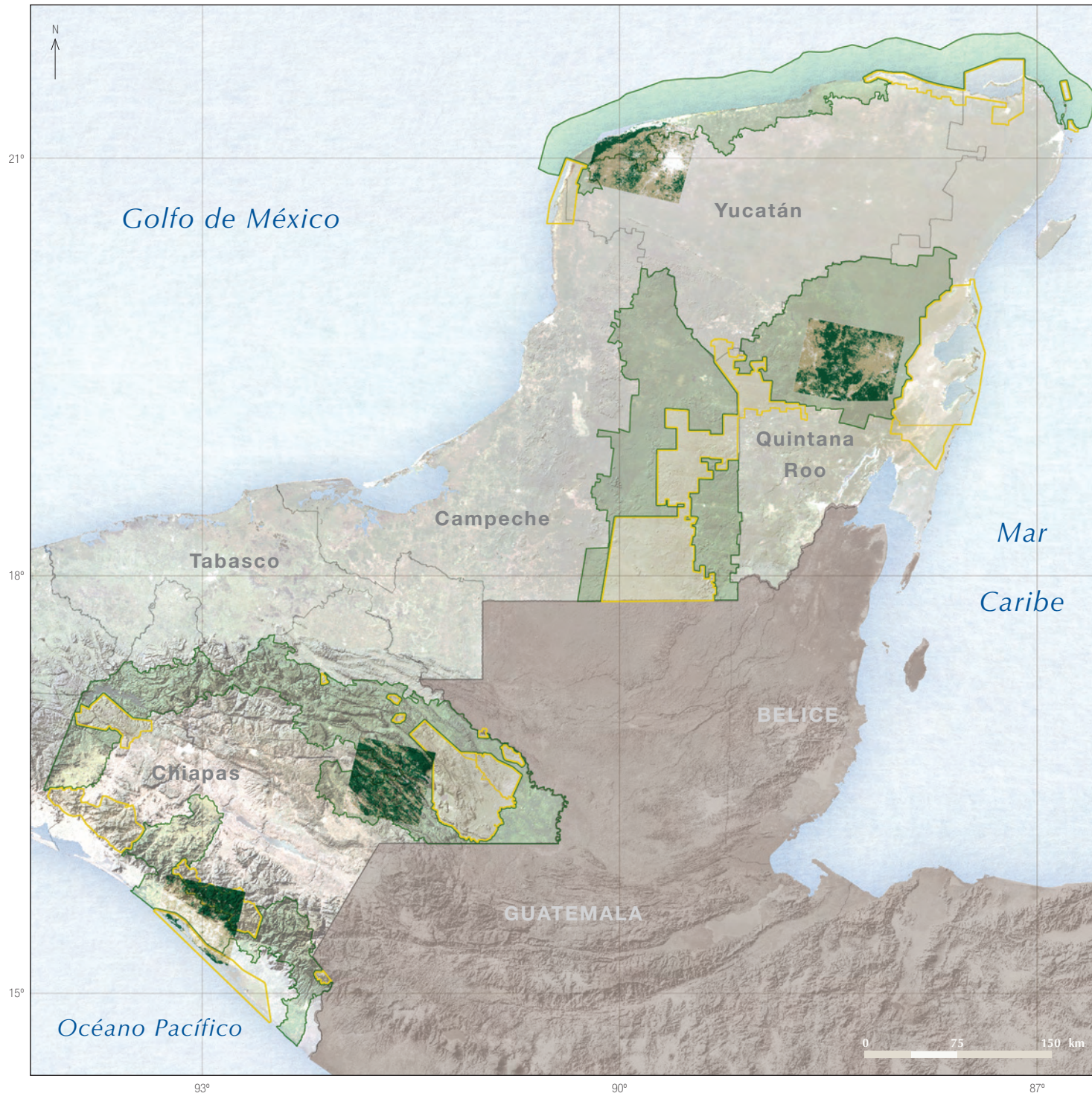
En esta etapa se eliminó la mayor cantidad posible de nubes y de datos que se encontraban más allá de un área delimitada por un ángulo de toma de 45° (campo de visión angular menor o igual a 45°). Se suprimieron los datos presentes fuera de ese rango porque estos datos (pixeles) muestran una deformación espacial que resulta en una menor resolución espacial y promedio de información de varios kilómetros. Después se generó la reflectancia de la

superficie, que son los valores de la imagen sobre los cuales ya se pueden crear productos. Junto con estos procesos se estableció una capa de datos conocida como QA (Quality Assessment), que sirve para evaluar la calidad científica de los productos generados a partir de cada imagen MODIS. Con la capa QA se eliminaron las nubes y las sombras de nubes de las imágenes; para quitar los cuerpos de agua, se usó una máscara predefinida, puesto que éstos no forman parte de ninguna clase con vegetación. Posterior a la eliminación de los datos inválidos, se implementó un proceso de interpolación para calcular datos artificiales que sustituyeron la información suprimida previamente. Este proceso se realizó tomando las imágenes preprocesadas para un mes, donde los datos eliminados fueron sustituidos por los valores válidos del día anterior y posterior al dato faltante.

Clasificación de imágenes SPOT 5

Para derivar las muestras se requería de imágenes de mayor resolución espacial que las MODIS, en este caso se usaron imágenes SPOT 5 obtenidas en la Estación de Recepción México de la Constelación Spot (ERMEXS), operada por la Secretaría de Marina (Semar), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa-Aserca) y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Este tipo de imágenes permite que para un pixel de MODIS se deriven porcentajes de cada tipo de cobertura. Puesto que la imagen SPOT tiene 10 metros de resolución espacial (100 m²), el clasificador de MODIS toma los pixeles SPOT necesarios que entran en un pixel de la imagen MODIS por clasificar, es decir, un área de 6.25 hectáreas (250 m por lado). Las clases que se diferenciaron en estas clasificaciones son: 1) Vegetación arbórea, 2) Vegetación arbustiva/herbácea, 3) Sin vegetación aparente y 4) Otros (incluye agua, nubes y sombras); el mapa 10 muestra la distribución de las clasificaciones realizadas para alimentar el algoritmo que generó el producto FCS (véase mapa 10).

Mapa 10. Clasificaciones de imágenes SPOT 5 para el muestreo Fracción de la Cobertura del Suelo (FCS)



- Vegetación arbórea
- Vegetación arbustiva/herbácea
- Otros (incluye agua, nubes y sombras)
- Corredor Biológico Mesoamericano México
- Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuente
 CNES (Centre National d'Études Spatiales), 2005. Imágenes SPOT 603/319, 605/317, 606/308, 610/311, producidas por Aserca-CONABIO bajo licencia de SPOT Image, S.A.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Clasificaciones de imágenes SPOT 5 para el muestreo Fracción de la Cobertura del Suelo (FCS). En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. CONABIO, México.



Fracción de la Cobertura del Suelo

Con la información de la clasificación de las imágenes SPOT se obtuvo la clasificación FCS para el CBMM de abril de 2005 (véase mapa 11). Los tonos rojos señalan la mayor densidad arbórea, ubicada principalmente en las zonas de la Sierra Madre del Sur, en los alrededores de la Reserva de la Biosfera Montes Azules y en los corredores de Campeche y Quintana Roo. El Corredor Costa Norte de Yucatán se encuentra dominado por tonos azul verdosos que indican la presencia de vegetación arbustiva/herbácea, con alta influencia de áreas sin vegetación como se aprecia entre la ciudad de Mérida y Puerto Progreso, al norte. Otra región dominada por suelos desprovistos de vegetación (tonos azules intensos) es la costa de Chiapas —perteneciente al Corredor Sierra Madre del Sur—, donde la gran extensión de áreas agrícolas abarca desde la costa hasta las inmediaciones de la sierra, con una pequeña zona de vegetación arbustiva/herbácea, que indican selvas bajas y vegetación secundaria de los bosques colindantes.

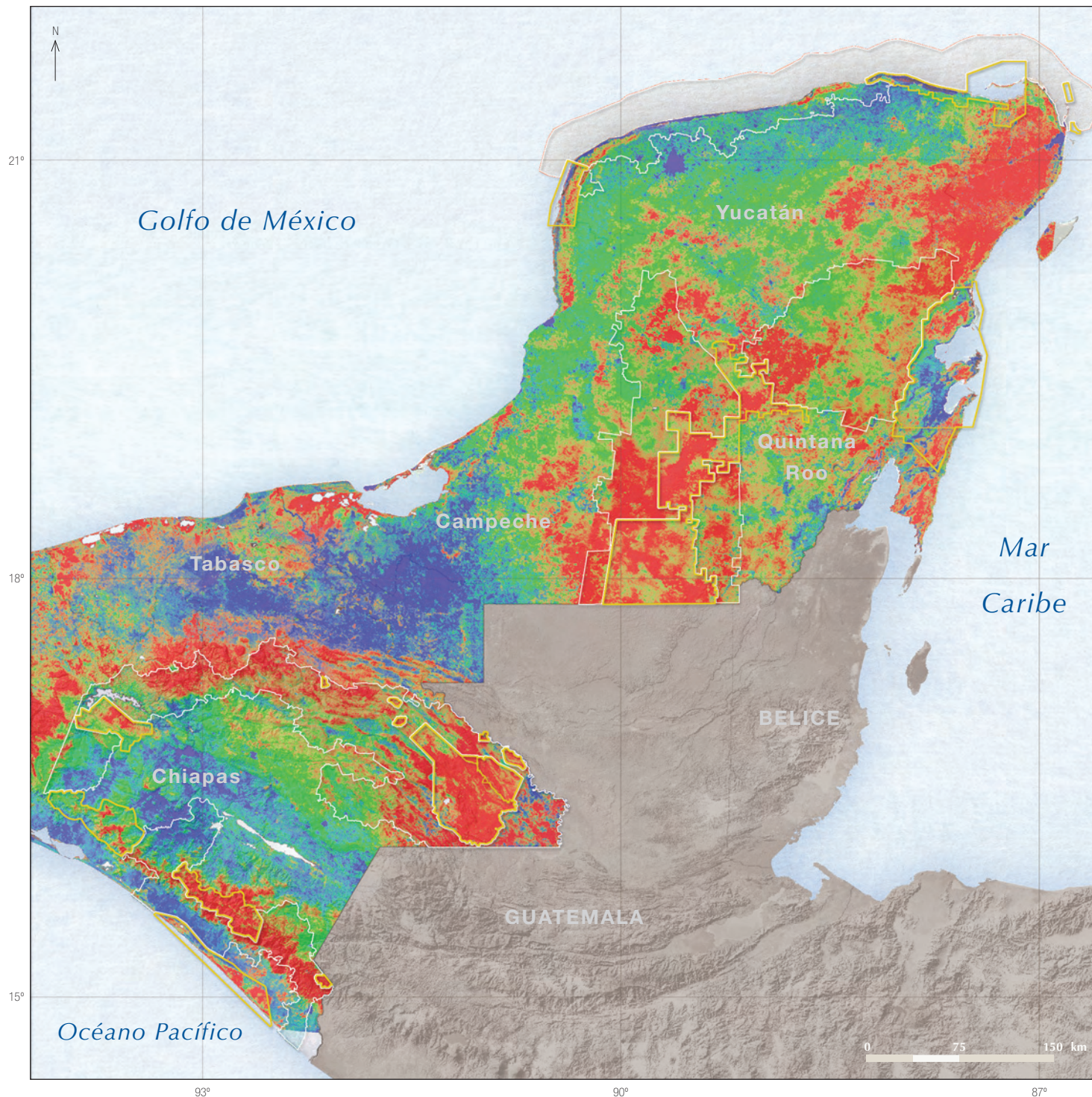
Evaluación de la FCS con cartografía existente




Primero se llevó a cabo una evaluación de los porcentajes (mediana de los valores en cada grupo de vegetación) resultado de esta clasificación, contrastándolos entre los diferentes tipos de vegetación según la cartografía de uso del suelo y vegetación, serie III del INEGI (2005) unidos en subgrupos de vegetación. En la gráfica 1 aparece un grupo de categorías boscosas (bosques mesófilos, perennifolios y subperennifolios/subcaducifolios) donde se tienen valores entre 47 y 69% de vegetación arbórea, que son menores en los casos de asociaciones con vegetación secundaria, que en las mismas asociaciones vegetales en estado primario. En todos estos casos la proporción de suelos desnudos es menor a 10% y la proporción de vegetación arbustivo/herbácea aumenta en las asociaciones de vegetación secundaria de los bosques. El bosque caducifolio sólo se presenta en su asociación secundaria y, aunado a que tiene poca respuesta de clorofila en el mes de abril, está dominado por

vegetación arbustivo/herbácea y respuesta de suelos desnudos. En el grupo de pastizales y agricultura domina la presencia de vegetación arbustivo/herbácea en más de 50% y tiene baja proporción de vegetación arbolada. Resalta el caso del manglar que refleja valores porcentuales distintos a los esperados, con un promedio de vegetación arbórea de tan sólo 15%, con dominancia de vegetación arbustivo/herbácea en un 65%. Esto se debe principalmente a que la zona de manglares del Corredor Costa Norte de Yucatán tiene gran variedad de especies y estructuras de manglar, que pueden ser achaparrados o altos (López-Portillo y Ezcurra, 2002); asimismo, en el corredor existe alta influencia de zonas perturbadas y de zonas desprovistas de vegetación (playas). Por último, la clase sin vegetación aparente refleja casi nulidad en la presencia de árboles (3%), presencia de vegetación arbustivo/herbácea de 35% en promedio, debido a la escala en la que se observa, ya que en el área del CBMM es difícil tener grandes extensiones sin algún tipo de vegetación.

Se contrastaron los resultados obtenidos en este trabajo con los de la Fracción de la Cobertura del Suelo en la primera aproximación realizada durante una fase previa del proyecto. Se elaboró una gráfica que muestra el análisis comparativo entre los valores medios de la FCS de cada una de sus clases (arbóreo, arbustivo/herbáceo y sin vegetación aparente) obtenidos en los tipos de vegetación y uso del suelo de la cartografía del INEGI, tanto para la primera versión de FCS como para el mejorado (véase gráfica 1). Para los bosques perennifolios en la primera versión se observan fracciones de tan sólo 29% de vegetación arbórea con un promedio de 44% de suelo desnudo, aproximadamente la misma proporción para los bosques perennifolios con vegetación secundaria, a diferencia de los resultados obtenidos con el mejorado, donde la proporción arbórea es de 64% y apenas 5% corresponde a suelos desnudos. En los bosques subperennifolios y subcaducifolios sucede algo similar, la fracción de vegetación arbolada es de apenas 17% en su asociación primaria, mientras que en el mejorado se obtiene 68% de arbóreo en

Mapa 11. Fracción de la Cobertura del Suelo en la región del CBMM en abril de 2005



-  Corredor Biológico Mesoamericano México
-  Áreas naturales protegidas
-  Principales cuerpos de agua



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

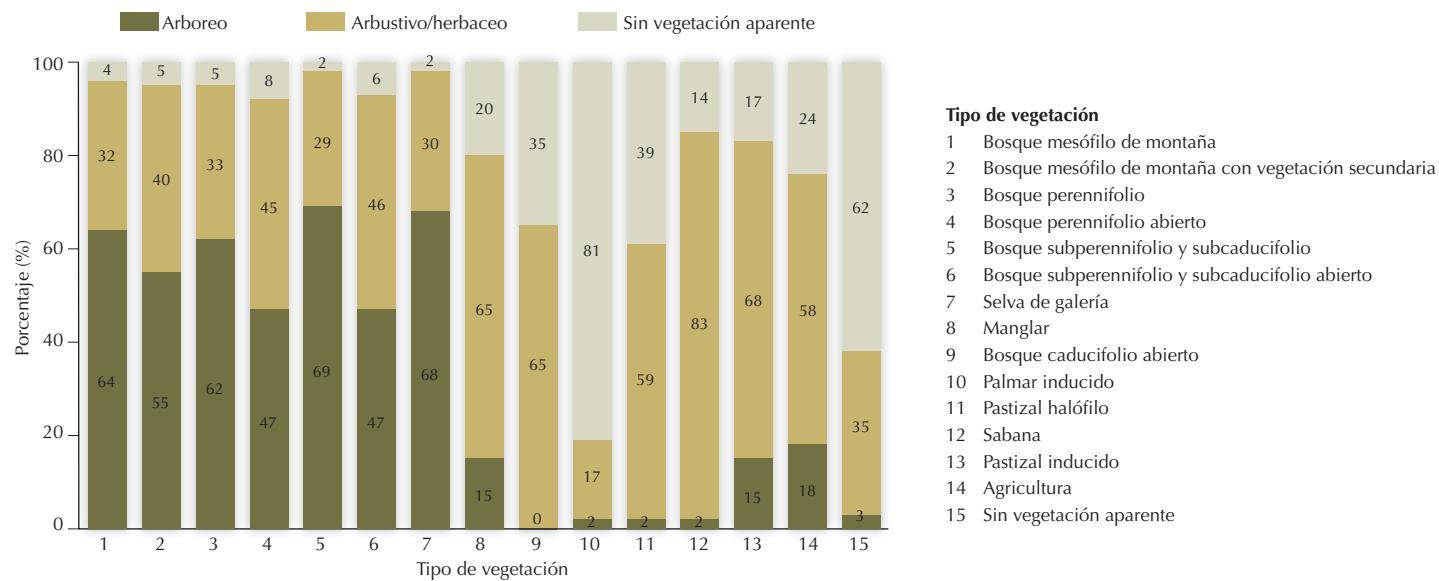
Fuentes
 Imágenes del Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS).
 Compuesto mensual de abril de 2005. Conabio, México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009.
 Fracción de la Cobertura del Suelo en la región del CBMM en abril de 2005.
 En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Conabio, México.



esta misma asociación. En casi todas las clases evaluadas con la primera versión del FCS resulta una alta presencia de suelos desnudos de más de 50%. Aunque los usos antropogénicos tienen la mayor fracción de suelo desnudo, los bosques también la presentan en altas proporciones, a diferencia de lo encontrado con el producto mejorado, donde la proporción de suelo desnudo sólo alcanza un valor considerable en la clase sin vegetación aparente. Finalmente, se observa que la fracción de vegetación arbustivo/herbácea que tiende a mantener valores bajos en la mayoría de los grupos, tiene un comportamiento más acorde a lo esperado en los valores obtenidos de la proporción de vegetación desarrollados para la versión mejorada.

Con un producto como el presentado en este trabajo, con los insumos suficientes como para representar los distintos grupos de vegetación y las diferencias entre los ecosistemas existentes en el Corredor Biológico Mesoamericano México, se podrá realizar el monitoreo de vegetación con una alta frecuencia de evaluación, con un menor costo y cubriendo todo el territorio del CBMM sin tiempos muertos por la poca disponibilidad de otras fuentes de información. Asimismo, será posible que con este producto, mejorado también en su resolución espacial, se evalúen los cambios en el uso del suelo y se detecten áreas que presenten cambios, para posteriormente realizar evaluaciones espacialmente más detalladas.



Gráfica 1. Distribución de los valores de la FCS en los subgrupos de vegetación.

ANÁLISIS Y DISTRIBUCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

México se caracteriza por una inmensa riqueza biótica. Su historia geológica, el amplio espectro de latitudes que abarca, su orografía que posibilita una considerable variedad de altitudes, las cambiantes influencias oceánicas que recibe y los regímenes pluviales que van de lo más seco a lo más húmedo han construido una gran complejidad ambiental donde la diversidad biológica alcanza grados verdaderamente notables (Cespedes, 1998).

Se estima que más de 10 millones de especies de plantas, hongos y animales habitan la Tierra, de las cuales se conoce sólo alrededor de 1.8 millones (CONABIO, 2006). México se ubica entre los cinco primeros países llamados “megadiversos”, que albergan entre 60 y 70% de la diversidad biológica conocida del planeta (Mittermeier y Mittermeier, 1992). La diversidad conjunta de especies de México representa aproximadamente 12% del total mundial, no obstante que aún no se ha concluido el estudio de los diferentes grupos biológicos que conforman su diversidad y se piensa que ésta podría ser mucho mayor (CONABIO, 2006). Por ejemplo, nuestro país posee 530 especies de mamíferos (Ceballos y Oliva, 2005), lo que lo coloca en el tercer lugar mundial; 804 especies de reptiles (Flores y Canseco, 2004), que lo ubica en el segundo lugar; alrededor de 3 500 especies de peces marinos, sólo superado por la región del Pacífico asiático (CONABIO, 2006); entre 300 000 y 425 000 especies de insectos (Llorente-Bousquets *et al.*, 1996, 2000, 2004; Llorente-Bousquets y Morrone, 2002), que lo sitúa entre los primeros nueve; y más de 23 000 especies de plantas vasculares (Villaseñor, 2003), que lo coloca en el quinto lugar.

La vegetación natural como expresión sintética de todos los factores ambientales se ha desarrollado en México en todas sus posibilidades. De acuerdo con regímenes pluviales y suelos no siempre generosos, la vegetación tropical en México se ha adaptado con gran sutileza para dar origen a los bosques tropicales perennifolios y subperennifolios, a las sabanas, a las selvas caducifolias y a las selvas bajas espinosas. Conforme se llega a niveles

de precipitación pluvial más bajos, la vegetación xerófita predomina y encuentra puntos clímax de diversidad, como es el caso del Valle de Tehuacán-Cuicatlán localizado entre los estados de Puebla y Oaxaca. Condiciones muy peculiares de topografía y latitud permiten la existencia de bosques mesófilos en las sierras expuestas a la influencia del Golfo de México y del Océano Pacífico, o bien, de grandes macizos de bosques de coníferas o encinos que cobijan las partes altas de las montañas (Cespedes, 1998).

El hecho de que México sea uno de los cinco países en el mundo con mayor diversidad biológica significa que nuestro territorio es privilegiado en cuanto a los tipos de ecosistemas y el número y variedad genética de las especies. Esto ha implicado una atención especial por parte de instituciones gubernamentales, no gubernamentales y académicas en torno a la conservación de la diversidad. Por este motivo, en febrero de 1992 el presidente de la República convocó a la Reunión Internacional sobre la Problemática del Conocimiento y Conservación de la Biodiversidad; como resultado de ésta se elaboró el Acuerdo Presidencial de Creación de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), que surge como una comisión intersecretarial dedicada principalmente a conformar y mantener actualizado el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB); apoyar proyectos y estudios sobre el conocimiento y uso de la biodiversidad; brindar asesoría a dependencias gubernamentales y a otros sectores; realizar proyectos especiales; difundir el conocimiento sobre la riqueza biológica; dar seguimiento a convenios internacionales, y prestar servicios al público.

Así, la CONABIO enfrenta un gran reto para reunir la información relativa a la enorme riqueza biológica que poseemos y hacer que esté disponible para todos. Uno de sus principales objetivos desde su creación ha sido la obtención, manejo, análisis y divulgación de los datos sobre la biodiversidad y los recursos biológicos de México. Tal información es indispensable para la

toma de decisiones sustentadas respecto al uso y conservación de la biodiversidad. De ahí la importancia de las funciones del SNIB: compilar, organizar y distribuir dicha información conformada por datos taxonómicos, geográficos, ecológicos y coberturas geográficas sobre topografía, hidrografía, vegetación y clima y por imágenes de satélite, entre otros. Por otro lado, si bien existen muchas formas de construir un sistema nacional de información sobre biodiversidad, la CONABIO adoptó como modelo inicial una estructura basada en datos primarios (datos lo menos interpretados posible), en la cual el espécimen (ejemplar resguardado en una colección científica biológica) constituye el eje rector del sistema; de esta manera, el concepto integrador es la unidad “ejemplar-nombre científico-georreferencia-fecha”. Al contarse con cientos de miles de estos datos se posibilita el movimiento de la información en diferentes escalas a través de la georreferencia (latitud, longitud) y mediante la referencia taxonómica, la cual actúa como índice para tener acceso a la información sobre diferentes “puntos de vista” respecto de una especie (CONABIO, 2008).

Con los datos referenciados geográfica y taxonómicamente es posible efectuar un análisis descriptivo del conocimiento espacial que alberga la base de datos del SNIB, con el cual se pueda mostrar gráficamente qué áreas están mejor representadas o conocidas que otras y en qué lugares hacen falta mayores esfuerzos para conocer la diversidad biológica a nivel específico. Sobre esta base se efectuó un análisis espacial de la información contenida en el SNIB para el proyecto CBMM con base en la cuantificación de la riqueza específica por cuadrantes y por corredor.

La región del CBMM se ubica entre seis provincias biogeográficas de acuerdo con el sistema propuesto por Arriaga y otros investigadores (1997), lo que le confiere características ambientales (físicas y climáticas), biológicas y evolutivas propias y al mismo tiempo diversas, que derivan en la posibili-

dad de tener una alta riqueza biológica, tanto a nivel local (diversidad alfa) como entre sitios (diversidad beta). Estas provincias son: Altos de Chiapas, Soconusco (pertenecientes a la región y reino Zona de Transición Mexicana), Costa del Pacífico, Costa del Golfo de México, del Petén y Yucateca (pertenecientes a la región Caribe del reino Neotropical).

MAPAS VECTORIALES DE RIQUEZA POR GRUPO BIOLÓGICO

Para analizar la riqueza por grupo biológico se elaboraron varios mapas digitales puntuales con datos del SNIB y una malla regular de 3 minutos por lado. Los grupos biológicos estudiados fueron: algas, hongos, crustáceos, ácaros, acantocéfalos, anélidos, caracoles, erizos de mar, esponjas, estrellas de mar, nematodos, ostras, artrópodos, peces, anfibios, reptiles, aves, mamíferos, antoceros, cícadas, equisetos, helechos, hepáticas, licopodios, musgos, gimnospermas y angiospermas. Las especies de ácaros, acantocéfalos, anélidos, caracoles, erizos de mar, esponjas, estrellas de mar, nematodos y ostras se agruparon bajo el término “otros invertebrados”, en tanto que las especies de anfibios y reptiles como “herpetofauna” y las especies de antoceros, cícadas, equisetos, helechos, hepáticas, licopodios, musgos y gimnospermas como “gimnospermas y briofitas”. Así, los grupos biológicos analizados quedaron de la siguiente manera: algas, hongos, otros invertebrados, crustáceos, artrópodos, peces, anfibios y reptiles, aves, mamíferos, gimnospermas y otras, y angiospermas.

Los mapas de distribución de los distintos grupos y la malla se ajustaron a los límites del CBMM y se efectuaron diversas superposiciones espaciales entre la malla, los límites del Corredor y la distribución de los grupos biológicos para obtener una relación espacial entre ellos, la que sirvió como base del análisis de la riqueza por cuadro y por corredor. La información obtenida se exportó a la base de datos de cada grupo biológico para cuantificar el número exacto de especies por cuadro y por corredor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del análisis de riqueza se generaron dieciséis mapas que muestran la distribución del número de especies por grupo biológico. En términos generales se observa una baja representación de todos los grupos en las bases de datos del SNIB, reflejo, seguramente, de la falta de conocimiento que se tiene para la región del CBMM, al menos en una de las bases de datos más grandes y completas que existen para México. En la presente publicación se muestran sólo cinco mapas que resumen el grado de representación espacial de los grupos trabajados, los que se agruparon de la

siguiente manera: algas y hongos en un solo mapa (véase mapa 12); ácaros, acantocéfalos, anélidos, caracoles, erizos de mar, esponjas, estrellas de mar, nematodos, ostras (otros invertebrados), crustáceos y artrópodos en el mapa de invertebrados (véase mapa 13); peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos en el mapa de vertebrados (véase mapa 14); antoceros, cícadras, equisetos, helechos, hepáticas, licopodios, musgos, gimnospermas y angiospermas en el mapa de plantas (véase mapa 15); y un mapa de la riqueza total de especies (véase mapa 16).

Distribución de la riqueza de algas y hongos

La riqueza de especies de algas y hongos para el CBMM conforme a los datos del SNIB es de 401 especies, 357 especies de algas, en su mayoría marinas y registradas sólo para el Corredor Costa Norte de Yucatán, lo que señala la falta de datos en el SNIB para el resto de los corredores. Es difícil evaluar si este número de especies es alto o bajo. La obra más reciente (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008) reporta para México un total de 2530 especies de algas, 1600 de ambientes marinos y 1102 dulceacuícolas, excluidas las cianobacterias, según el trabajo de Pedroche y otros (1993). A partir de estos datos podemos evaluar la riqueza de especies de las divisiones Chlorophyta (algas verdes), Ochrophyta (algas pardas) y Rhodophyta (algas rojas). En Campeche, Quintana Roo y Yucatán, el número de especies por división es de 186, 67 y 332, respectivamente; en el SNIB (2007), para el CBMM, se registran 85 (45.7%), 37 (55.2%) y 112 (33.7%) especies. Ni Pedroche y otros (1993) ni Llorente-Bousquets y Ocegueda (2008) reportan datos para Chiapas. Podemos concluir que aún falta mucho por registrarse en el SNIB, al menos para estos tres grupos, y que espacialmente hay mucho que trabajar.

Con relación a los hongos, se tiene un total de 44 especies que se distribuyen en casi todos los corredores, excepto en el de Calakmul-Sian Ka'an. Si tomamos la cifra reportada por Guzmán (1996) de 7000 especies para todo el país, estas 44 especies registradas en el CBMM tan sólo representan 0.6%. Sin duda alguna, los datos registrados en el SNIB son escasos, lo que debe ser objeto de mayor atención.

Sólo 3 cuadros tienen entre 51 y 115 especies, todos ellos ubicados en el Corredor Costa Norte de Yucatán, corredor con el mayor número de cuadros (32); por el contrario, el Corredor Calakmul-Sian Ka'an no tuvo un solo cuadro con datos de algas u hongos (véase mapa 12). Para el CBMM, este hecho puede entenderse como una llamada de atención debido al escaso conocimiento que podría tenerse de estos grupos para dicho corredor. El resto de los corredores tienen poca representación espacial por el bajo número de cuadros con datos y biológica por el bajo número de especies. Sólo 63 cuadros tienen información proveniente del SNIB, 23 de ellos tienen entre 2 y 10 especies, le siguen 15 con una sola especie y 10 con 11 a 25 especies.



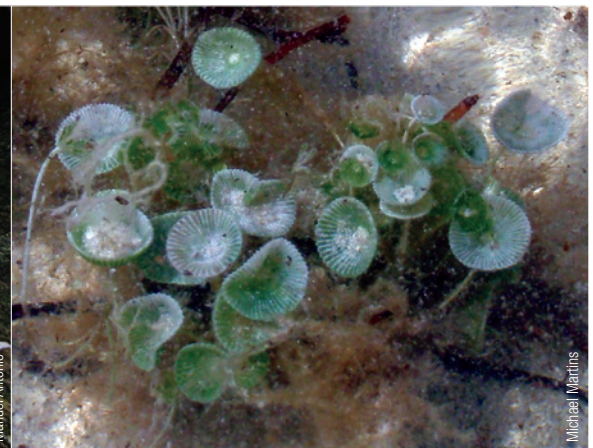
Phaeolus schweinitzii



Padina pavonica



Polyporus tenuiculus



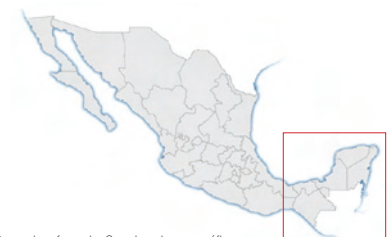
Acetabularia crenulata

Mapa 12. **Distribución de la riqueza de especies de algas y hongos**



Número de especies

- 1
- 2 - 10
- 11 - 25
- 26 - 50
- 51 - 115
- Malla regular de 3'
- Corredor Biológico Mesoamericano México
- Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuentes

Conabio. Bases de datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. [Consultadas en 2007.]
 Conabio. 2007. Límites del Corredor Biológico Mesoamericano México. Escala 1:250 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
 Conanp. 2007. *Áreas naturales protegidas de México*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Distribución de la riqueza de especies de algas y hongos. En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Conabio, México.



Distribución de la riqueza de invertebrados

La riqueza de especies de invertebrados en el CBMM conforme a los datos del SNIB es de 2 457 especies. Al comparar el número de especies por grupo contra las especies registradas en México, según Llorente-Bousquets y Ocegueda (2008), encontramos lo siguiente: esponjas (Porifera), 18 especies de 268 (6.7%); pólipos, medusas y corales (Cnidaria), 15 de 318 (4.7%); platelmintos o gusanos planos (Platyhelminthes), 77 de 550 (14%); rotíferos (Rotifera), 7 de 303 (2.3%); almejas, ostras, calamares, pulpos, babosas y caracoles (Mollusca), 181 de 4 100 (4.4%); estrellas de mar, erizos y pepinos de mar (Echinodermata), 16 de 503 (3.2%); quetognatos (Chaetognatha), 1 de 15 (6.7%); escarabajos (Coleoptera), 264 de 13 195 (2%); moscas, mosquitos y tábanos (Diptera), 210 de 2 091 (10.0%); chinches, chicharras y pulgones (Hemiptera), 8 de 5 609 (0.1%); abejas, abejorros, avispas, hormigas (Hymenoptera), 243 de 6 313 (3.9%); mariposas o polillas (Lepidoptera), 804 de 14 362 (5.6%); megalópteros (Megaloptera), 3 de 13 (23.1%); libélulas y caballitos del diablo (Odonata), 66 de 330 (20%); piojos de los libros (Psocoptera), 80 de 646 (12.4%); colémbolos (Collembola), 82 especies de 550 (14.9%); y crustáceos (camarones, cangrejos, langostas, langostinos y percebes), 219 de 5 387 (4.1%).

De los siguientes grupos se desconoce el número de especies para México o el CBMM: nemátodos o gusanos redondos (Nemata), acantocéfalos (Acanthocephala), poliquetos, lombrices de tierra y sanguijuelas (Annelida), cordados (Chordata), equiuroides (Echiura), nemertinos (Nemertea), sipuncúlidos (Sipuncula), ácaros (Acarina), cangrejo cacerola o merostomados (Merostomata) y arañas de mar (Pycnogonida).

Sólo 22 cuadros tienen entre 101 y 302 especies y la mayoría se localiza en el Corredor Costa Norte de Yucatán. En proporción, el que tuvo mayor número de cuadros fue el Corredor Sierra Madre del Sur con 87 (23.8% del total de cuadros para el corredor), y el de menor representación fue Calakmul-Sian Ka'an con 39 cuadros (6% del total) (véase mapa 13). En términos generales hay una escasa representación espacial y biológica, por el bajo número de cuadros con datos (350 de 3 176, es decir, 11%), y por el bajo número de especies reportadas, si se considera que se conocen 102 307 especies de invertebrados para México. Aunque estos resultados no son definitivos, en cuanto al grado de conocimiento que existe para este grupo en la región, sí pueden ser utilizados para orientar ciertos proyectos que contemplen el inventario de especies de invertebrados para esta área en particular.



Trigona sp.



Micrathena sp.

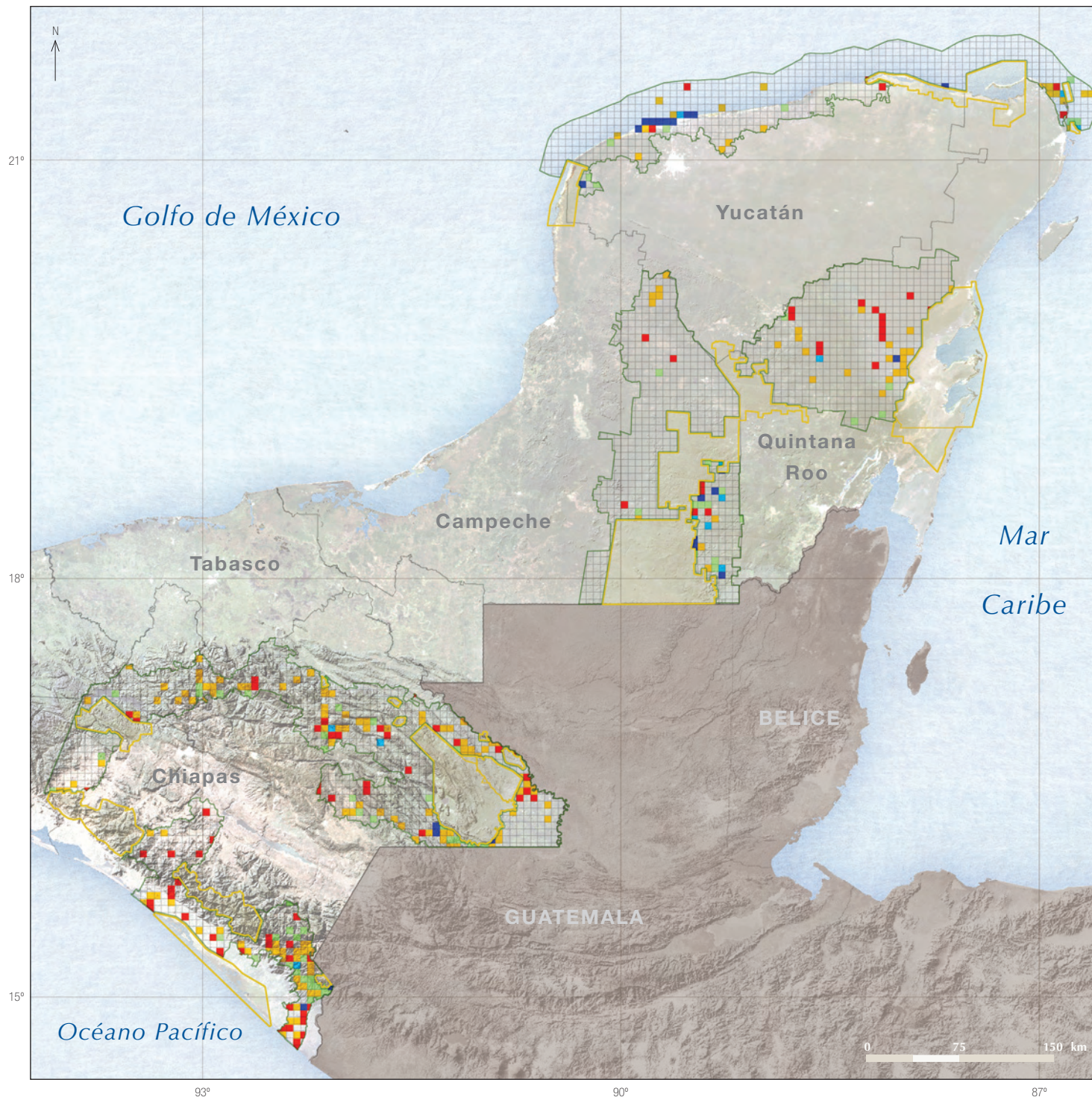


Megasoma sp.



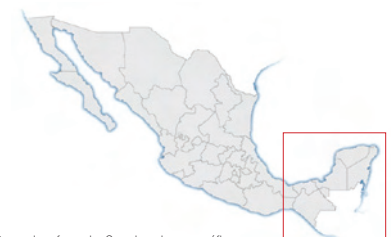
Odonato

Mapa 13. **Distribución de la riqueza de especies de invertebrados**



Número de especies

- 1
- 2 - 10
- 11 - 50
- 51 - 100
- 101 - 302
- Malla regular de 3'
- Corredor Biológico Mesoamericano México
- Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuentes

Conabio. Bases de datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. [Consultadas en 2007.]

Conabio. 2007. Límites del Corredor Biológico Mesoamericano México. Escala 1:250 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Conanp. 2007. *Áreas naturales protegidas de México*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Distribución de la riqueza de especies de invertebrados. En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Conabio, México.



Distribución de la riqueza de vertebrados

La riqueza de especies de vertebrados en el CBMM conforme a los datos del SNIB es de 1 429 especies, de las cuales 250 son peces, 645 aves, 102 anfibios, 229 reptiles y 203 mamíferos. De acuerdo con los datos de Llorente-Bousquets y Ocegueda (2008), las proporciones respecto al número de especies reportadas para México de cada grupo serían: 9.3%, 58.9%, 28.3%, 28.5% y 37.9%, respectivamente.

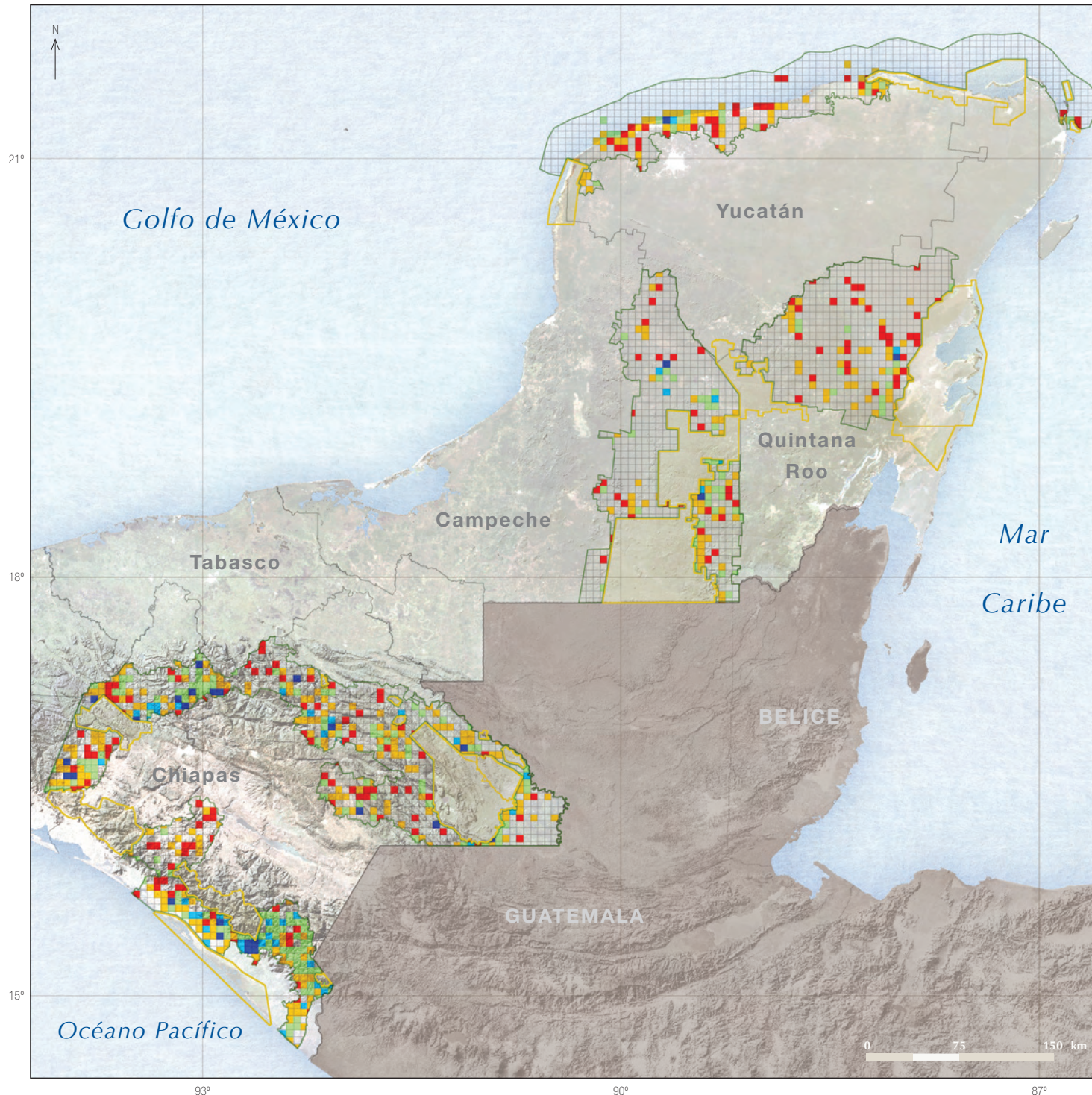
Sólo 28 cuadros tienen entre 101 y 354 especies y la mayoría se localiza en el Corredor Selva Maya Zoque. En proporción, el corredor con más cuadros fue el Sierra Madre del Sur con 193 (52.8% del total de cuadros para el corredor), en tanto que el de menor representación fue Costa Norte

de Yucatán con 105 cuadros (14.6% del total), aunque esto puede deberse a la presencia de superficie marina (véase mapa 14). En términos generales hay una escasa representación espacial pero no biológica, ya que fue bajo el número de cuadros con datos (828 de 3 176, es decir, 26.1%), pero alto el número de especies reportadas (28.6%) si se considera que se conocen 5 002 especies de vertebrados para México. Aunque estos resultados no son definitivos, en cuanto al grado de conocimiento que existe para este grupo en la región del CBMM, sí pueden ser utilizados para orientar ciertos proyectos que contemplen el inventario de especies de vertebrados para esta área en particular.



De izquierda a derecha, arriba, *Accipeter bicolor*, *Nyctinomops laticaudatus*, *Ameiva undulata*, *Hyla loquax*; abajo, *Crocodylus moreletii*, *Panthera onca*.

Mapa 14. **Distribución de la riqueza de especies de vertebrados**



Número de especies

- 1
- 2 - 10
- 11 - 50
- 51 - 100
- 101 - 354
- Malla regular de 3'
- Corredor Biológico Mesoamericano México
- Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuentes

Conabio. Bases de datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. [Consultadas en 2007.]
 Conabio. 2007. Límites del Corredor Biológico Mesoamericano México. Escala 1:250 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
 Conanp. 2007. *Áreas naturales protegidas de México*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.
 Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Distribución de la riqueza de especies de vertebrados. En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Conabio, México.



Distribución de la riqueza de plantas

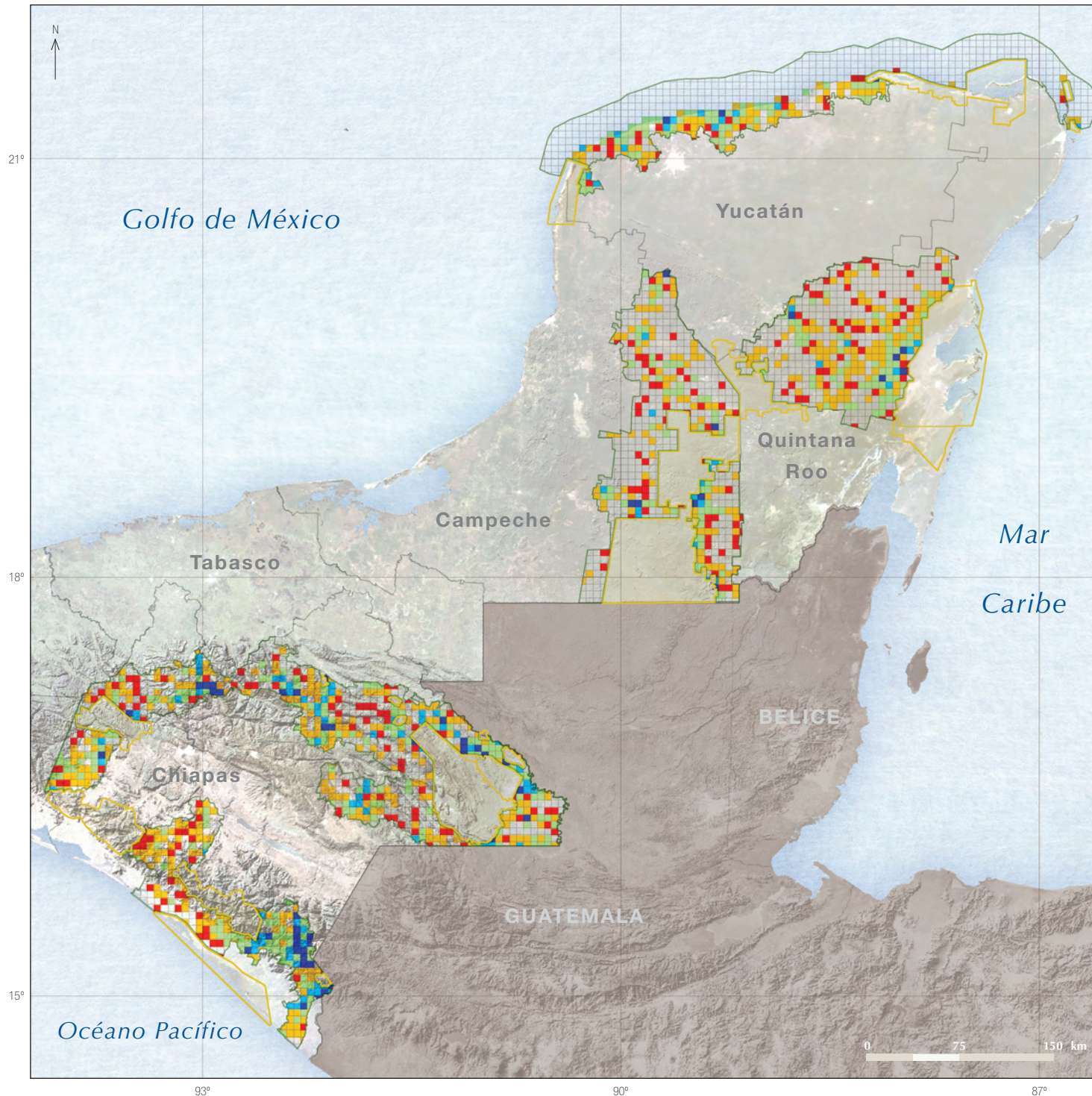
La riqueza de especies de plantas en el CBMM conforme a los datos del SNIB es de 6 703 especies; de éstas 435 pertenecen a las briofitas (musgos y hepáticas), 402 son helechos y afines, 6 son cícadas, 24 pertenecen a los pinos y afines, 1 371 son monocotiledóneas y 4 465 pertenecen a las dicotiledóneas. En proporción con las especies descritas para México (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008), los valores son: 29.4%, 37.7%, 26.1%, 20%, 29% y 23.4%, respectivamente.

Sólo 56 cuadros tienen entre 101 y 519 especies y la mayoría se localiza en el Corredor Selva Maya Zoque. En proporción, el que tuvo mayor número de cuadros fue el Corredor Sierra Madre del Sur con 216 (59.2% del total de cuadros para el corredor), y el de menor representación fue Costa Norte de Yucatán con 165 (22.9% del total), probablemente a consecuencia de la mayor superficie marina que terrestre (véase mapa 15). En términos generales hay una buena representación espacial y biológica, ya que fue alto el número de cuadros con datos (1324 de 3176, es decir, 41.7%), y el número de especies reportadas (26.8%) si consideramos que se conocen 25 002 especies de plantas para México. Aunque estos resultados no son definitivos, en cuanto al grado de conocimiento que existe para este grupo en la región del CBMM, sí pueden ser utilizados para orientar ciertos proyectos que contemplen el inventario de especies de plantas para esta área en particular.



De arriba hacia abajo: *Cystopteris fragilis*; *Aechmea magdalenae*;
Cassia racemosa; *Rizophora mangle*.

Mapa 15. **Distribución de la riqueza de especies de plantas**



Número de especies

- 1
- 2 - 10
- 11 - 50
- 51 - 100
- 101 - 519
- Malla regular de 3'
- Corredor Biológico Mesoamericano México
- Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuentes

Conabio. Bases de datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. [Consultadas en 2007.]

Conabio. 2007. Límites del Corredor Biológico Mesoamericano México. Escala 1:250 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Conanp. 2007. *Áreas naturales protegidas de México*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Distribución de la riqueza de especies de plantas. En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Conabio, México.



Distribución de la riqueza total

En cuanto a la riqueza biológica total se refiere, se tiene información para 1567 cuadros de los 3176, lo que representa 49.3%. Sin embargo, este conocimiento no está homogéneamente repartido, ya que 36.7% de estos cuadros se localizan en el Corredor Selva Maya Zoque, en tanto que en el resto de los corredores la distribución parece más homogénea con porcentajes alrede-

dor de 16% (véase mapa 16). Por otra parte, al analizar la proporcionalidad de cuadros con datos de riqueza por corredor, encontramos que el Sierra Madre del Sur tiene la mayor proporción con 71.8%, le sigue Selva Maya Zoque con 63.7%, Sian Ka'an-Calakmul con 48.6%, Calakmul-Sian Ka'an con 40.7% y finalmente Costa Norte de Yucatán con 28.2%.



Manuel Lemus

Manglares de Acapetahua, Chiapas



Andrea Ramirez

Monos araña en Calakmul, Campeche



Christian Dreckmann

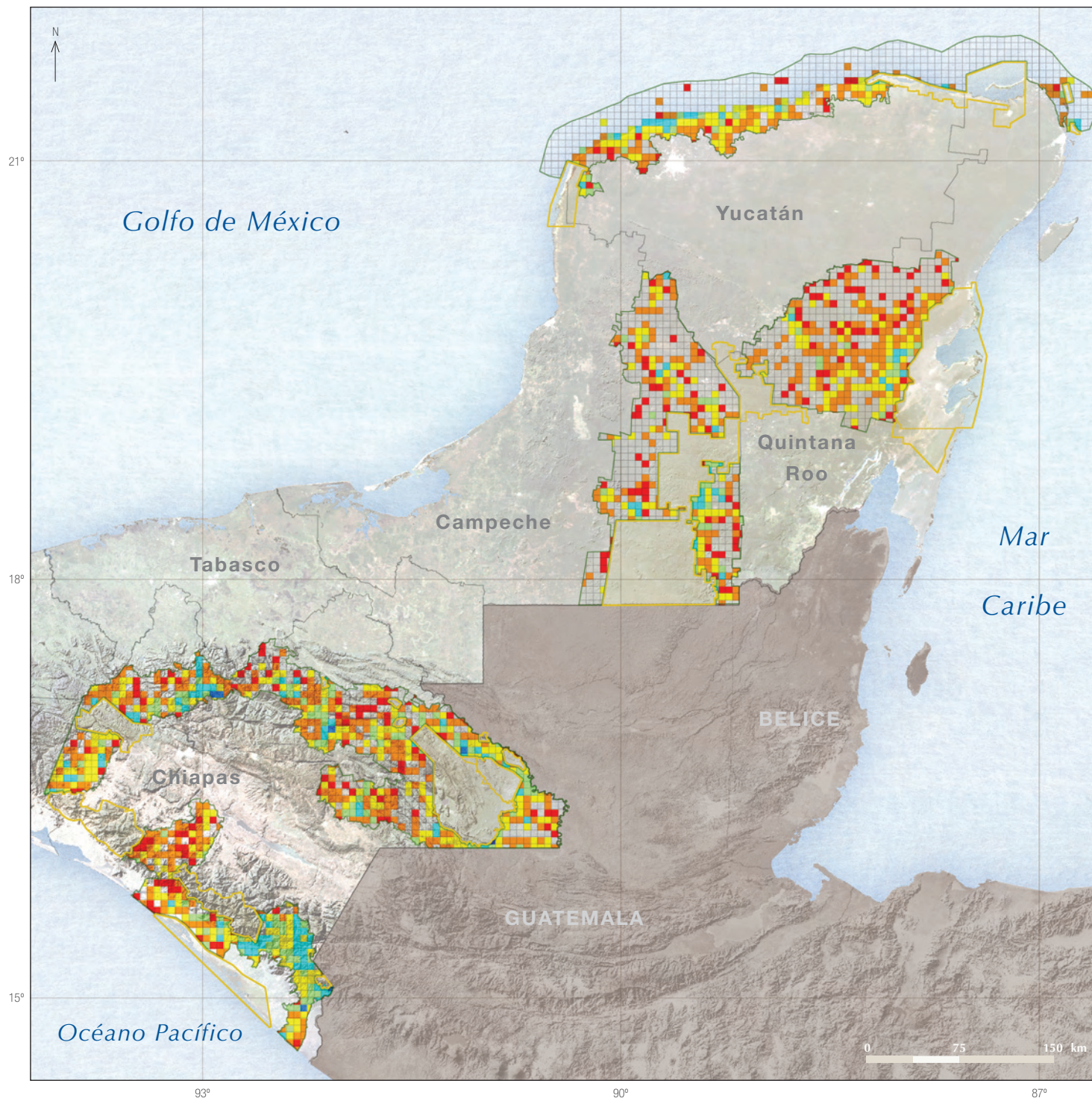
Las Nubes, Chiapas



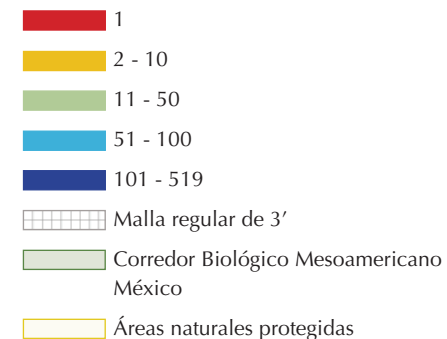
Rosalba Bejerria

Interior de la selva, Calakmul, Campeche

Mapa 16. **Distribución de la riqueza total de especies**



Número de especies



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuentes

Conabio. Bases de datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. [Consultadas en 2007.]

Conabio. 2007. Límites del Corredor Biológico Mesoamericano México. Escala 1:250 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Conanp. 2007. *Áreas naturales protegidas de México*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Distribución de la riqueza total de especies. En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Conabio, México.



EL FUEGO COMO AMENAZA A LA BIODIVERSIDAD

La riqueza biológica (flora, fauna y ecosistemas) se ve fuertemente amenazada por la industria, la ganadería y la agricultura, entre otras actividades humanas, así como por el fuego, fenómeno ligado a estas actividades que ocasiona severos daños a ecosistemas y especies. El fuego puede ser natural y recurrente, en cuyo caso la vegetación y la vida silvestre se encuentran preparadas y adaptadas a éste y forma parte de sus ciclos vitales; sin embargo, el fuego artificial o de origen humano provoca serios daños a la biodiversidad por presentarse en condiciones anormales a los ciclos de vida de animales y plantas, y a los procesos funcionales de los ecosistemas.

Desde tiempos prehispánicos, y como una de las herencias más persistentes e imbatibles, el fuego es quizá la herramienta de trabajo rural de mayor importancia en grupos campesinos tradicionales. El fuego economiza el esfuerzo personal y demanda poco capital y tecnología. Se aplica para desmontar y remover vegetación natural y dar espacio a cultivos o a áreas de pastoreo, con el beneficio adicional de incorporar algunos nutrientes al suelo que provienen del material orgánico calcinado (Cespedes, 1999).

La versión benigna (cada vez menos usada) de esta práctica conlleva la utilización de líneas guardafuego que tienen como objetivo impedir que los incendios se propaguen más allá del predio donde se practica el desmonte. Así, se desarrolla la agricultura de roza-tumba-quema que implica abandonar los terrenos después de una o dos cosechas, una vez que se ha perdido la fertilidad y el suelo ha sido presa de la erosión; se procede entonces a la quema y desmonte de nuevas áreas.

Esta agricultura itinerante se ha practicado durante milenios, en un escenario de baja densidad poblacional permitía la recuperación natural de los terrenos abandonados después de varias décadas, lo que aseguraba cierta estabilidad al sistema. Sin embargo, en contextos de escasez de tierras, altas pendientes, suelos erosionables y fuertes presiones demográficas, ha configurado una espiral funesta de productividad en declive, mayor pobreza y destrucción de ecosistemas.

Por otra parte, el fenómeno del fuego en nuestro país tiene como consecuencia la desaparición de miles de hectáreas de cobertura forestal cada año. Según datos oficiales, los incendios afectan anualmente una superficie promedio de entre 100 000 y 500 000 hectáreas (Cespedes, 1999).

PRESENCIA DEL FUEGO EN EL CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO MÉXICO

En México, desde hace décadas se ha venido desarrollando una estrategia general de prevención y control de incendios forestales, sistematizada a través del Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales y en cuya aplicación participan instituciones de los tres órdenes de gobierno, organismos civiles y voluntarios. Desde 2002 la instancia responsable de la operación y coordinación general del Programa de Incendios es la Comisión Nacional Forestal (Conafor, 2008).

Un análisis de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) sobre la ocurrencia de incendios desde 1970 hasta 2005 en México, refleja que el número de éstos tiende a incrementarse con el tiempo. Se presume que esto es consecuencia del incremento de la población en áreas forestales, junto con un cambio en las condiciones climáticas. Al mismo tiempo, la tendencia en área quemada está decreciendo (véase cuadro 12), principalmente como resultado de esfuerzos más efectivos de supresión (FAO, 2007).

En el cuadro 12 se observa que 1998 fue un año excepcional en la cantidad de incendios ocurridos en México, lo que motivó la creación de sistemas más eficientes en la detección de éstos para su combate oportuno. Ese mismo año la CONABIO realizó el estudio “Los incendios de México: un análisis de su amenaza a la biodiversidad” (CONABIO, 1998) y con base en éste se implementó el “Programa de detección de puntos de calor a través de técnicas de percepción remota” a partir de 1999.

Para el presente análisis se usaron los datos del sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) de 1999 a 2003, mientras que para el intervalo que va de 2004 a 2007 se emplearon los datos obtenidos a partir del sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*).

Aquellos incendios de fuerte intensidad o de áreas relativamente grandes son detectados relativamente bien a través de la metodología instrumentada por la CONABIO, de forma que se podría hablar por lo menos de tendencias regionales y temporales de estos eventos y, también de manera indirecta, de la posible afectación sobre las comunidades vegetales en los que éstos se

presentan (véase gráficas 2 y 3). Sin embargo, existen incendios que no son detectados debido a diferentes factores, entre ellos: la reducida intensidad del fuego, el pequeño tamaño del área afectada, la cobertura de la imagen o la presencia de nubes. Esto explica que no haya coincidencia en el registro del número de incendios y el número de puntos de calor.

Para la zona del CBMM encontramos que existe una marcada diferencia en número de puntos de calor detectados entre los distintos corredores que lo conforman (véase mapa 17). Sin duda, el estado que presenta el mayor número de puntos de calor es Chiapas, ya que sus dos corredores tienen los

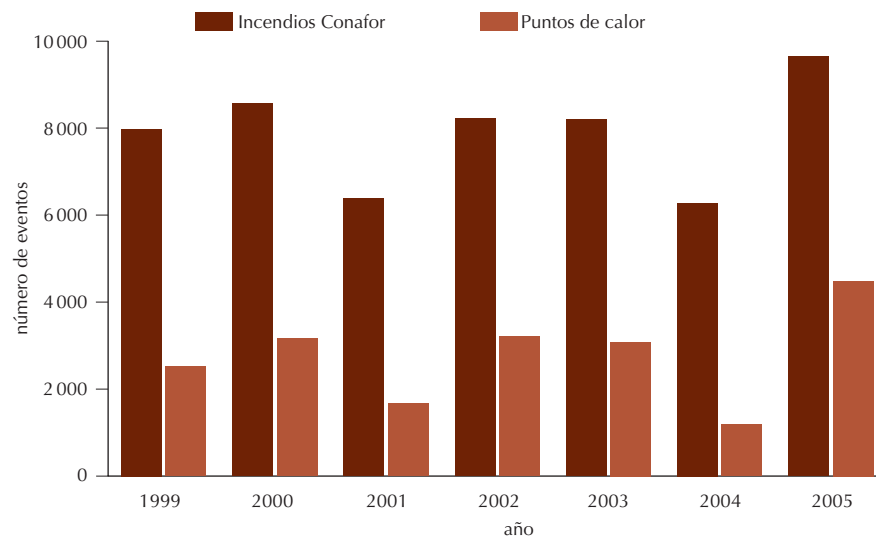
Cuadro 12. **Número anual de incendios y superficie quemada de 1988 a 2004**

Año	Número total de incendios	Superficie total quemada (ha)	Superficie de bosque quemada (ha)	Superficie quemada de sitios arbolados (ha)	Superficie quemada de otras tierras (ha)	Causas (%)		
						Humana	Natural	Desconocida
1988	10942	518265	188622	55164	274479	84	1	13
1989	9946	507471	214418	119364	173689	84	2	14
1990	3443	80400	23143	20772	36485	85	2	13
1991	8621	269266	113790	58427	97049	84	1	13
1992	2829	44401	12440	9100	22861	84	2	14
1993	10251	235020	54773	66923	113324	85	2	13
1994	7830	141502	32703	48740	60059	84	1	13
1995	7860	309087	115117	105014	88956	85	2	13
1996	9256	248765	57139	102202	89424	84	1	13
1997	5163	107845	23444	37924	46447	84	2	14
1998	14445	849632	198487	298903	352242	85	2	13
1999	7979	231062	41365	101857	87840	84	2	14
2000	8557	235915	40475	94285	101155	85	2	13
2001	6340	136879	18805	53441	64633	84	1	13
2002	8256	208297	31988	88507	87802	85	2	13
2003	8211	322448	88261	130287	103900	84	1	13
2004	6300	81322	10514	32861	37947	85	2	13
Promedio anual	8013	266328	74440	83751	108137	84	2	13

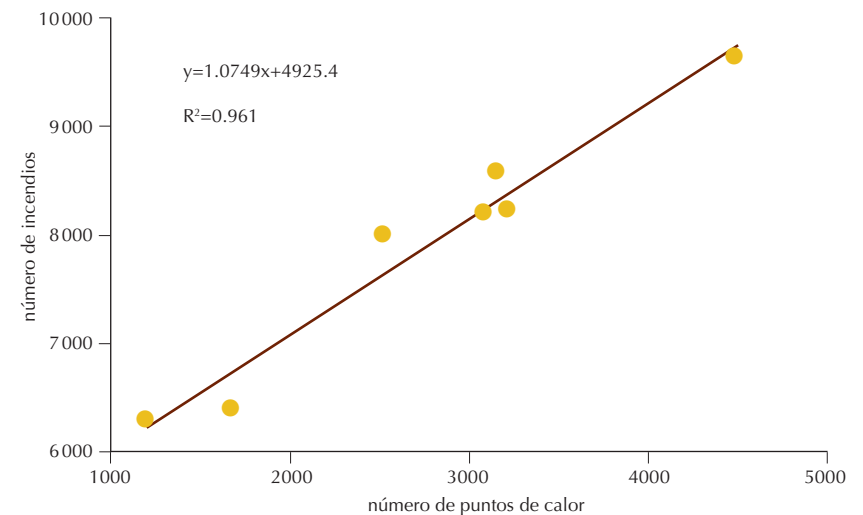
valores más elevados, tanto en términos absolutos (véase cuadro 13 y gráfica 4a) como en términos de densidad (véase cuadro 14 y gráfica 4b). Cabe notar que aunque en el Corredor Selva Maya Zoque se detecta más del doble de puntos de calor que en el Sierra Madre del Sur, la densidad en este último es mayor que en el primero; esto indicaría mayor presión en el Corredor Sierra Madre del Sur, ya que el Corredor Selva Maya Zoque es 1.5 veces más grande que el Corredor Sierra Madre del Sur.

Ahora bien, puede surgir la pregunta ¿sobre qué tipo de cobertura del suelo o vegetación ocurren principalmente estos puntos de calor? Así se podría tener una idea del grado de afectación que tienen las distintas comuni-

dades vegetales, aceptando a priori las reservas ya mencionadas en cuanto a la correspondencia entre el número de puntos de calor con respecto al número de incendios que en realidad se presentan en el campo. Por tal motivo, para este análisis se utilizó el mapa de los puntos de calor de 2000 a 2007, en formato de punto y no de polígono. Para ello se cruzó el mapa de puntos de calor y la cartografía de uso del suelo y vegetación, serie III del INEGI (2005). Desde luego que aquí existen algunos problemas de escalas y por tanto de detalle; muchos de los tipos de vegetación, principalmente aquellos que se dan en los márgenes de aguas marinas o epicontinentales, como es el caso de manglares, tulares, popales y petenes, son poco susceptibles a que se quemem

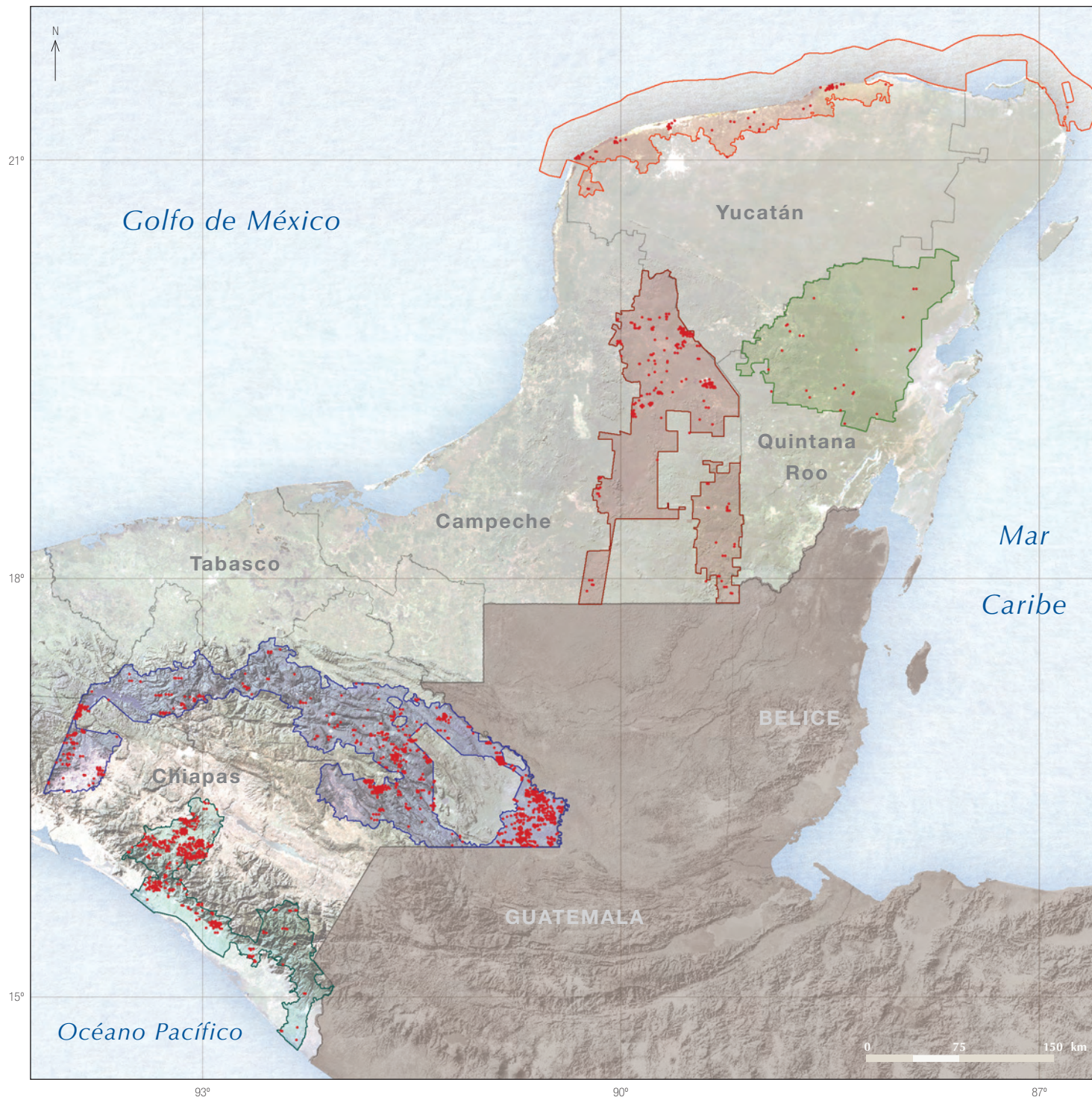


Gráfica 2. Número de píxeles detectados como “puntos” de calor entre 1999 y 2005 y el número de incendios reportados.



Gráfica 3. Coeficiente de determinación (R^2) entre el número de píxeles detectados como “puntos” de calor y el número de incendios reportados entre 1999 y 2005.

Mapa 17. **Puntos de calor detectados entre 2000 y 2007**



- Puntos de calor
- Corredor Sierra Madre del Sur
- Corredor Selva Maya Zoque
- Corredor Calakmul-Sian Ka'an
- Corredor Sian Ka'an-Calakmul
- Corredor Costa Norte de Yucatán
- Áreas naturales protegidas

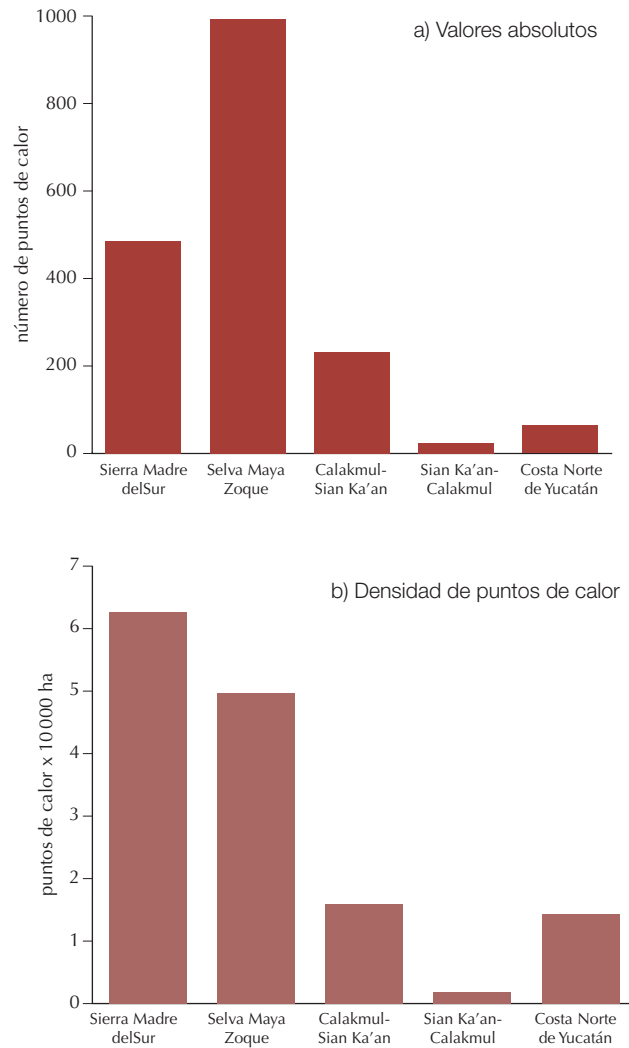


Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuente
 CONABIO. Programa para la detección de puntos de calor mediante técnicas de percepción remota. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. En: www.conabio.gob.mx/conocimiento/puntos_calor/doctos/puntos_calor.html [Consultada en 2007.]

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Puntos de calor detectados entre 2000 y 2007. En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. CONABIO, México.





Gráfica 4. Número de puntos de calor por corredor.

Cuadro 13. Puntos de calor entre 2000 y 2007

Corredor	Puntos de calor
Sierra Madre del Sur	485
Selva Maya Zoque	993
Calakmul-Sian Ka'an	233
Sian Ka'an-Calakmul	24
Costa Norte de Yucatán	64

Cuadro 14. Densidad de puntos de calor por corredor

Corredor	Puntos de calor por 10 000 ha
Sierra Madre del Sur	6
Selva Maya Zoque	5
Calakmul-Sian Ka'an	2
Sian Ka'an-Calakmul	0.2
Costa Norte de Yucatán	1

debido al contacto tan directo con superficies acuáticas, pero las celdas detectadas como punto de calor promedian las características presentes dentro de la superficie abarcada y la influencia de las celdas vecinas y al detectarse como punto de calor toda la celda es calificada como tal. Si la fuente de calor se presenta en una comunidad muy seca y susceptible al fuego, que éste sea de gran intensidad o que abarque una gran superficie dentro del pixel del sensor remoto y el proceso lo asigne como punto de calor, entonces aquella superficie de vegetación hidrófila sería reportada como posible candidato a haber sido incendiada.

Así, al ver los resultados del análisis (véase cuadro 15) se observa que en el Corredor Costa Norte de Yucatán las comunidades más afectadas, incluso más que el pastizal cultivado y la agricultura de temporal, son tanto el manglar como el tular, pero esto tal vez se deba al fenómeno de no congruencia entre límites de pixel y el mayor detalle de la cartografía del INEGI, aunque no se descarta la posibilidad de que estas comunidades asociadas a cuerpos de agua lleguen a incendiarse debido, en ocasiones, a la cacería furtiva y por tanto llegar a ser fuertemente afectadas.

En el cuadro 15 y la gráfica 4a podemos percatarnos que, en términos de valores absolutos, el Corredor Selva Maya Zoque es sin duda el más afectado y el tipo de vegetación que más puntos de calor registra es la selva alta

Cuadro 15. Puntos de calor detectados por tipo de vegetación y uso del suelo y por corredor

Tipo de vegetación	Sierra Madre del Sur	Selva Maya Zoque	Calakmul-Sian Ka'an	Sian Ka'an-Calakmul	Costa Norte de Yucatán
Agricultura de riego	19	9	1	2	0
Agricultura de temporal	62	119	31	4	4
Pastizal cultivado	41	134	6	1	3
Pastizal inducido	59	81	8	1	3
Asentamientos humanos	1	1	0	0	0
Zona urbana	3	45	0	0	0
Sin vegetación aparente	16	0	0	0	0
Bosque de encino con vegetación secundaria arbórea	4	3	0	0	0
Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva	2	28	0	3	0
Bosque de encino	4	3	0	0	1
Bosque de encino-pino con vegetación secundaria arbórea	4	40	0	0	0
Bosque de encino-pino con vegetación secundaria arbustiva	4	4	0	0	0
Bosque de encino-pino	8	39	0	0	0
Bosque de oyamel	1	0	0	0	0
Bosque de pino con vegetación secundaria arbórea	4	2	0	0	0
Bosque de pino con vegetación secundaria arbustiva	67	1	0	0	0
Bosque de pino-encino con vegetación secundaria arbórea	3	21	0	0	0

Cuadro 15.

Tipo de vegetación	Sierra Madre del Sur	Selva Maya Zoque	Calakmul-Sian Ka'an	Sian Ka'an-Calakmul	Costa Norte de Yucatán
Bosque de pino-encino con vegetación secundaria arbustiva	25	23	2	0	0
Bosque de pino-encino	20	23	0	0	0
Bosque de pino	20	2	0	0	0
Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbórea	5	6	0	0	0
Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbustiva	14	12	0	0	0
Bosque mesófilo de montaña	3	10	1	0	0
Cuerpo de agua	11	3	1	3	2
Manglar con vegetación secundaria arbórea	5	0	0	0	0
Manglar con vegetación secundaria arbustiva	0	1	0	0	0
Manglar	16	20	5	0	13
Pastizal halófilo	4	5	0	0	2
Sabana	0	10	6	0	0
Sabanoide	0	1	0	0	0
Selva alta perennifolia con vegetación secundaria arbórea	5	10	0	0	1
Selva alta perennifolia con vegetación secundaria arbustiva	5	96	0	0	0
Selva alta perennifolia	5	111	0	0	0

Cuadro 15.

Tipo de vegetación	Sierra Madre del Sur	Selva Maya Zoque	Calakmul-Sian Ka'an	Sian Ka'an-Calakmul	Costa Norte de Yucatán
Selva alta subperennifolia con vegetación secundaria arbórea	0	0	2	0	5
Selva alta subperennifolia	0	0	1	0	0
Selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbórea	3	2	0	0	4
Selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbustiva	7	8	0	0	1
Selva baja caducifolia	1	68	0	0	0
Selva baja espinosa caducifolia con vegetación secundaria arbórea	7	0	0	0	1
Selva baja espinosa caducifolia con vegetación secundaria arbustiva	0	0	0	0	1
Selva baja espinosa subperennifolia con vegetación secundaria arbórea	0	0	10	0	0
Selva baja espinosa subperennifolia con vegetación secundaria arbustiva	0	0	41	1	4
Selva baja espinosa subperennifolia	0	0	1	0	0
Selva baja subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva	0	0	0	0	2



Cuadro 15.

Tipo de vegetación	Sierra Madre del Sur	Selva Maya Zoque	Calakmul-Sian Ka'an	Sian Ka'an-Calakmul	Costa Norte de Yucatán
Selva mediana caducifolia con vegetación secundaria arbórea	4	0	0	0	0
Selva mediana caducifolia con vegetación secundaria arbustiva	7	0	0	0	2
Selva mediana caducifolia	0	1	0	0	0
Selva mediana subcaducifolia con vegetación secundaria arbórea	0	3	82	0	0
Selva mediana subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva	0	1	17	0	1
Selva mediana subcaducifolia	0	1	0	0	0
Selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria arbórea	3	8	11	5	0
Selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria arbustiva	1	32	6	3	1
Selva mediana subperennifolia	0	1	1	1	0
Tular	0	5	0	0	12
Vegetación de dunas costeras	4	0	0	0	0
Vegetación de galería	8	0	0	0	0
Vegetación de petén	0	0	0	0	1

perennifolia y la vegetación secundaria arbustiva derivada de la selva alta perennifolia, además de las zonas agrícolas. Sin embargo, las zonas agrícolas y de pastizal cultivado registran más puntos de calor. El siguiente corredor con mayor afectación es el Corredor Sierra Madre del Sur, los tipos de vegetación más afectados son los bosques de pino y pino-encino, y en segundo lugar las comunidades vegetales de origen antrópico, es decir, las superficies de agricultura de temporal y pastizal inducido. El tercer lugar es ocupado por el Corredor Calakmul-Sian Ka'an y el tipo de comunidad que más registra puntos de calor es la vegetación secundaria arbórea derivada de la selva mediana subcaducifolia. Los corredores menos afectados en términos de puntos de calor son Costa Norte de Yucatán y Sian Ka'an-Calakmul.

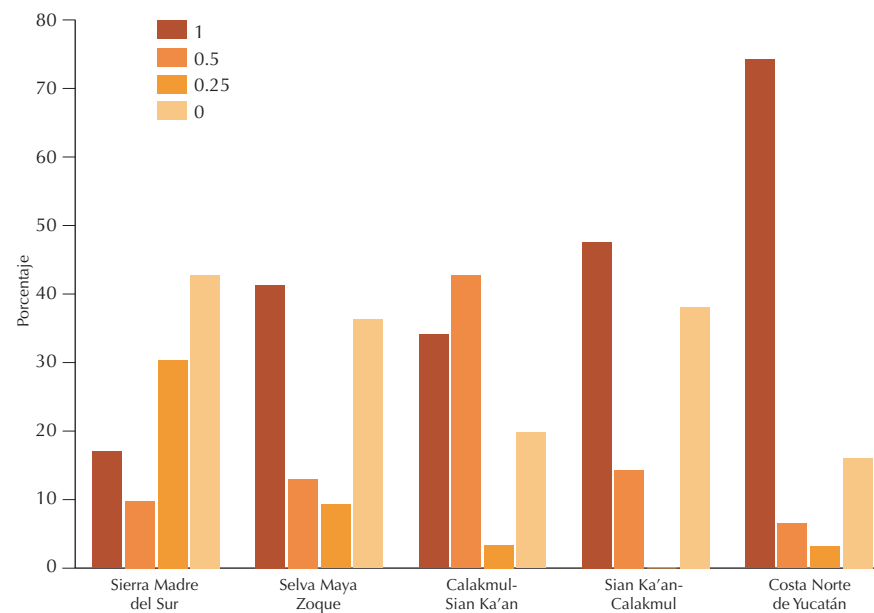
Con los resultados anteriores podríamos preguntar en dónde es más severa la afectación, si y sólo si los puntos de calor fuesen equivalentes a incendios. Para ello se tomó una tabla de categorías de susceptibilidad a los incendios y resiliencia de la vegetación, resultado del taller “Los incendios en México: un diagnóstico de su efecto en la diversidad biológica” organizado por la CONABIO en 1998, y mediante ella se asignaron cuatro categorías de afectación a los tipos de vegetación de la serie III del INEGI, basándonos en esas dos características (véase cuadro 16). Los valores de cero son aplicados de manera uniforme a los usos de suelo de origen antrópico, ya que lo que trata de medirse es el grado de afectación a los tipos de vegetación natural, por lo que no se evaluaron ni la susceptibilidad ni resiliencia de los diferentes tipos de cultivos ni de los pastizales cultivados o inducidos en dicho taller.

Con los valores de ponderación por resiliencia se reasignaron y reagruparon los valores en el cuadro 16, obteniendo dos nuevas figuras que muestran por corredor y por categoría la afectación en las áreas que coinciden con los puntos de calor (véase gráfica 5 y mapa 18).

Partiendo de la gráfica 5, se puede decir que los corredores que muy probablemente sufren el impacto más fuerte sobre sus comunidades vegetales primarias o naturales son Costa Norte de Yucatán, Sian Ka'an-Calakmul

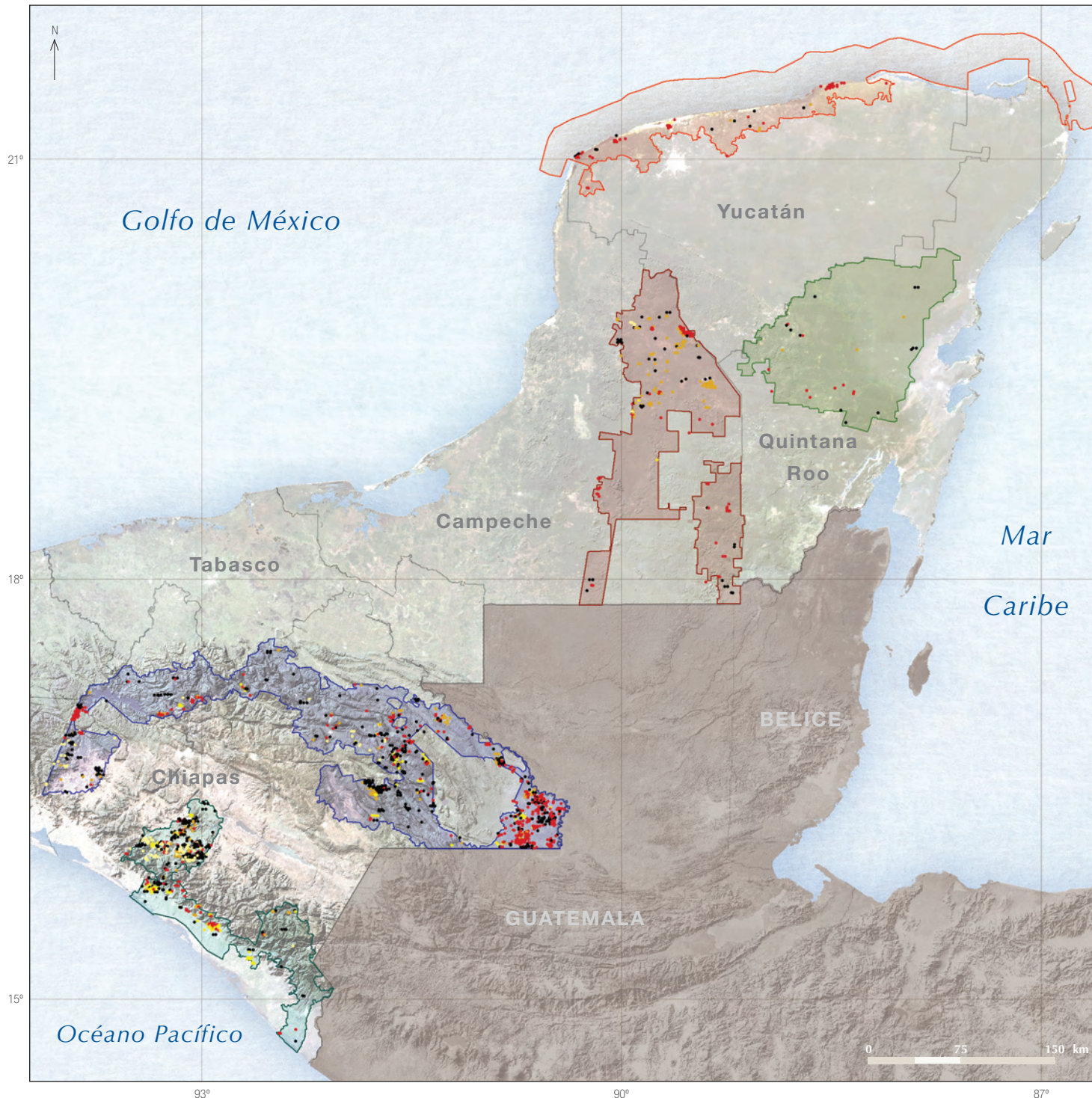
Cuadro 16. **Categorías de susceptibilidad-resiliencia al fuego y de ponderación por resiliencia**

Susceptibilidad-resiliencia al fuego	Ponderación por resiliencia
Alta probabilidad de incendios con baja recuperabilidad	1
Alta probabilidad de incendios con alta recuperabilidad	0.5
Baja probabilidad de incendios con baja recuperabilidad	
Baja probabilidad de incendios con alta recuperabilidad	0.25
No relevante	0



Gráfica 5. Porcentaje de puntos de calor por categoría de resiliencia y por corredor.

Mapa 18. Puntos de calor ponderados por resiliencia



Ponderación por resiliencia

- 1
- 0.5
- 0.25
- 0

- Corredor Sierra Madre del Sur
- Corredor Selva Maya Zoque
- Corredor Calakmul-Sian Ka'an
- Corredor Sian Ka'an-Calakmul
- Corredor Costa Norte de Yucatán
- Áreas naturales protegidas



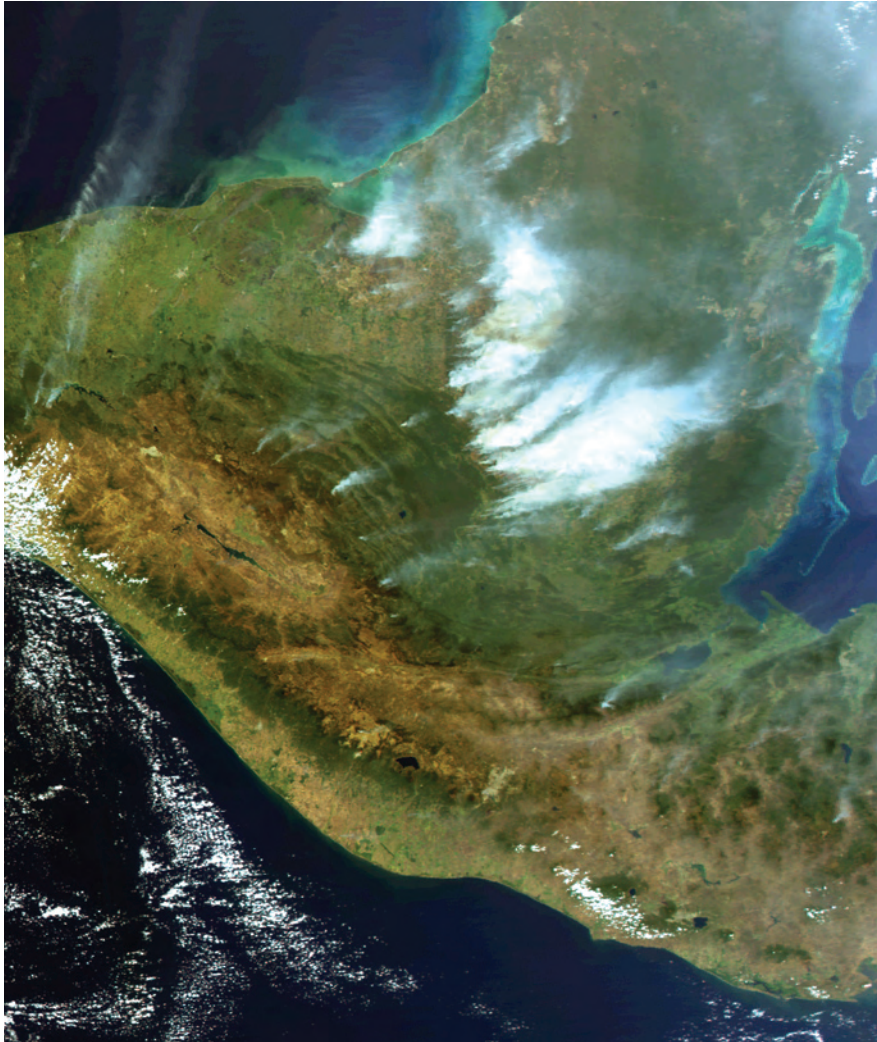
Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuente

CONABIO. Programa para la detección de puntos de calor mediante técnicas de percepción remota. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. En: www.conabio.gob.mx/conocimiento/puntos_calor/doctos/puntos_calor.html [Consultada en 2007.]

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Puntos de calor ponderados por resiliencia. En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. Conabio, México.





En la imagen de satélite MODIS, del 18 de marzo de 2003, se observan las columnas de humo provocadas por fuegos en los estados de Chiapas, Tabasco y sur de Campeche y Quintana Roo.

y Selva Maya Zoque, con 74.2%, 47.6% y 41.3%, respectivamente, del total de los puntos de calor sobre comunidades susceptibles a incendiarse y con baja recuperabilidad (régimen 1), en tanto que el Corredor Sierra Madre del Sur muestra valores menores a 40%. También podemos ver que si bien el Corredor Sierra Madre del Sur es el segundo más afectado en cantidad de puntos de calor y el primero en densidad, la afectación potencial se da principalmente en zonas de influencia antrópica y en tipos de vegetación que se recuperan rápidamente.

En el mapa 18 se muestra la distribución espacial de los puntos de calor clasificados o ponderados por el grado de afectación en caso de incendio. En Chiapas se aprecia lo contrastante que puede ser la presencia de fuegos en uno y otro corredor. Mientras que gran parte de la superficie en el Corredor Selva Maya Zoque se pinta de rojo (mayor afectación), la preponderancia de los colores negro y amarillo (sin importancia y poca afectación, respectivamente) se da en el Corredor Sierra Madre del Sur. En Campeche y Quintana Roo, el corredor más afectado es Sian Ka'an-Calakmul con 47% de puntos de calor identificados sobre comunidades que pueden estar de mediana a muy altamente afectadas con presencia de fuegos, en tanto que en Calakmul-Sian Ka'an se registra 34% en este mismo tipo de comunidades. En el Corredor Costa Norte de Yucatán se presentan extensas zonas de vegetación hidrófila concordante con áreas detectadas como puntos de calor, así como algunas áreas de selvas bajas también posiblemente afectadas.

Existe una alta correlación entre los puntos de calor detectados por la CONABIO y el número de incendios reales reportados por Conafor, al menos para el intervalo 1999-2005. Sin embargo, el programa de detección de puntos de calor tiende a subestimar el número de incendios reportados, debido a que un punto de calor no equivale a un incendio ni al tamaño del pixel de los sensores (AVHRR y MODIS) de 1 kilómetro o más; por consiguiente no son detectados muchos incendios menores que pueden ser de gran impor-

tancia en cuanto a la pérdida de hábitat y especies. Por esta razón, es necesario buscar alternativas que nos permitan monitorear estos incendios de menor superficie.

Podemos decir que los corredores ubicados en el estado de Chiapas son los que presentan los valores, relativos y absolutos, más altos; aunque entre ellos, el Corredor Sierra Madre del Sur tiene una superficie relativa mayor que la del Corredor Selva Maya Zoque, pues como ya se observó, este último es 1.5 veces mayor que el primero.

El tipo de vegetación aparentemente más afectado es la selva alta perennifolia que se localiza en el Corredor Selva Maya Zoque, seguida por la vegetación secundaria arbustiva derivada de este tipo de selva. En tanto que en el Corredor Sierra Madre del Sur la vegetación más afectada son los bosques de pino y de pino-encino. En tercer lugar está la vegetación secundaria arbórea derivada de la selva mediana subcaducifolia del Corredor Calakmul-Sian Ka'an.

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS

Los incendios forestales en cualquier sistema ecológico tienen un gran impacto negativo tanto a nivel local por la degradación que sufre el suelo y la cobertura vegetal, como a nivel global por las emisiones de gases efecto invernadero. Aunado a lo anterior, los incendios han sido identificados como una herramienta de uso extensivo para la remoción de selvas y bosques principalmente en regiones tropicales, como es el caso de la región que comprende el CBMM. Por esto, desde un punto de vista ecológico y de manejo, es crítico tener información eficiente de los patrones espaciales y temporales de las áreas afectadas por incendios.

La delimitación de áreas quemadas por medio de imágenes satelitales es una opción más económica para determinar patrones de ocurrencia de áreas afectadas que los métodos tradicionales. Esta técnica se ha estado desarrollando desde la década de 1990 basándose principalmente en el recono-

cimiento de diferencias abruptas en la respuesta espectral de las bandas infrarrojas de distintos tipos de imágenes satelitales.

Los principales objetivos de este esfuerzo fueron implementar el método para detectar áreas quemadas originadas por incendios forestales utilizando imágenes MODIS y presentar una estimación de áreas quemadas dentro de los límites del CBMM para el año 2007.

Procesamiento de imágenes

Se usaron compuestos de 30 días de imágenes MODIS de abril a junio de 2007. Se tomó este periodo porque los datos posteriores al inicio de la temporada de lluvias indican que ya no es posible detectar áreas quemadas, debido tanto a la presencia de nubes como a la progresiva extinción de incendios. Las imágenes MODIS tienen tres resoluciones espaciales, dos canales de 250 metros, cinco canales de 500 metros y el resto de 1 000 metros (NASA, 2009). Estas imágenes son recibidas diariamente y tienen un ancho de barrido de 2 330 kilómetros.

Las imágenes recibidas deben tener un procesamiento que incluye la calibración de la señal recibida y la asignación de una referencia espacial o geolocalización, para después generar lo que se conoce como valores de reflectancia de la superficie, que son usados para obtener diversos índices y productos, entre ellos la estimación de áreas quemadas. Entre estos productos también existe una capa de datos cuyo objetivo es evaluar la calidad de los productos generados, la cual fue usada para eliminar las nubes de las imágenes. Después de filtrar los datos, se implementó un sistema de interpolación para rellenar los huecos que resultaron de la eliminación de datos por nubes. En este proceso se tomaron todas las imágenes ya filtradas de datos inválidos en un mes, para realizar un proceso de interpolación simple, donde sólo se promediaron los valores del día anterior y posterior con información válida al dato faltante y éste se sustituye por dicho promedio.

Con las imágenes interpoladas de la serie para cada uno de los meses, se generaron tres compuestos mensuales correspondientes a abril, mayo y junio.

Identificación de áreas quemadas

Para mapear las áreas quemadas se realizó una búsqueda de selección de píxeles “quemados” por medio del Cociente Normalizado de Área Quemada (NBR, por sus siglas en inglés). El NBR se usa para discriminar áreas quemadas basándose en el contraste entre los valores de reflectancia de la banda del infrarrojo cercano y la del infrarrojo medio (Chuvienco *et al.*, 2008). Los valores resultantes del NBR van del -1 al 1 siendo los valores cercanos a -1 los considerados como área quemada. Los límites del umbral para discriminar los píxeles de las áreas quemadas se basaron en el análisis de ambos índices en compuestos previos y posteriores a la ocurrencia de un incendio. Los píxeles determinados como área quemada fueron transformados a formato



Incendio forestal del 14 de mayo de 2008 en la Reserva de la Biosfera La Sepultura.

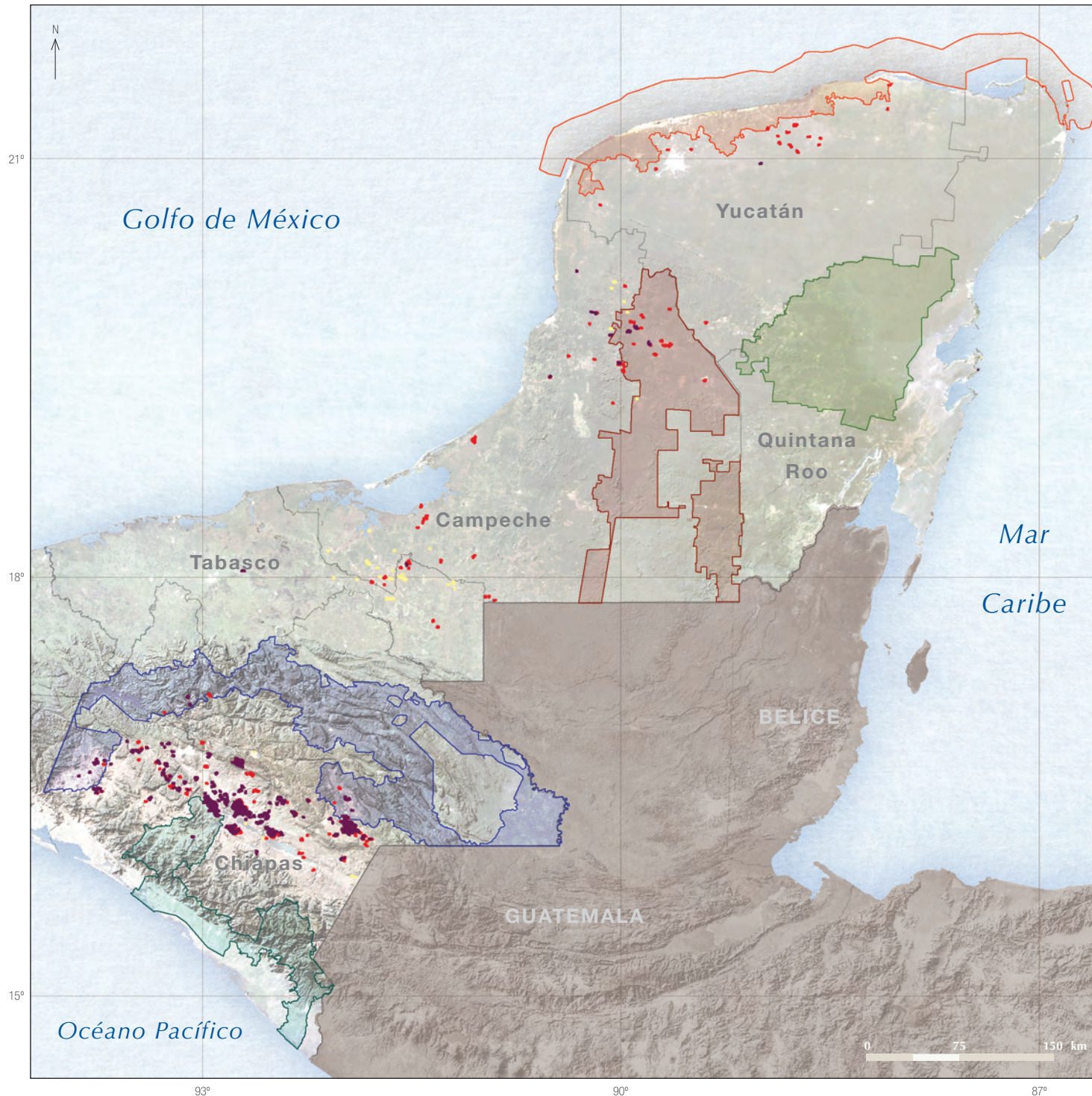
vector donde se eliminó el área mínima cartografiable de 125 hectáreas (mapas escala 1:500 000). Estos vectores fueron sobrepuestos a una capa de datos del Inventario Nacional Forestal 2000-2001 (Semarnap, 2000), reclasificados en tipo de cobertura del suelo, con el fin de evaluar si el área quemada era una zona agropecuaria o bien de vegetación natural.

Áreas quemadas

Se obtuvieron los polígonos de áreas quemadas para abril, mayo y junio de 2007, de los que se observa que durante abril y mayo se presentan zonas con alta incidencia de áreas quemadas en el centro del estado de Chiapas, principalmente en áreas agropecuarias y fuera del área del CBMM y manchones al norte de Campeche (véase mapa 19). Para el mes de mayo aumentó la presencia de área quemada con una distribución similar a la del mes anterior.

En junio, con el inicio de la temporada de lluvias, la presencia de polígonos con áreas quemadas disminuyó considerablemente, presentándose solo en pequeñas proporciones en zonas de cultivos en Campeche y mucho menos en Chiapas, fuera del área del CBMM. A partir de la generación de los vectores de áreas quemadas para los meses de mayor ocurrencia de incendios en el área del Corredor, se obtuvo un panorama general de las zonas en donde se presentan quemadas e incendios de manera continua. Cabe mencionar que se detectaron áreas quemadas que por su pequeña extensión quedaron eliminadas debido al criterio de área mínima cartografiable (125 ha), como en la región de Marqués de Comillas, Chiapas, en donde es común el empleo del fuego en las actividades agropecuarias. La idea de este producto es generar un análisis de forma operacional, especialmente durante los meses de abril a junio, a fin de obtener un estudio completo de las zonas donde la presencia de área quemada es recurrente y así analizar qué tipo de vegetación está siendo afectada. Sin embargo aún es necesario ajustar criterios para identificar las áreas quemadas con mejor precisión y evitar la eliminación de áreas pequeñas.

Mapa 19. Área quemada entre abril y junio de 2007



- Área quemada en abril de 2007
- Área quemada en mayo de 2007
- Área quemada en junio de 2007
- Corredor Sierra Madre del Sur
- Corredor Selva Maya Zoque
- Corredor Calakmul-Sian Ka'an
- Corredor Sian Ka'an-Calakmul
- Corredor Costa Norte de Yucatán
- Áreas naturales protegidas



Sistema de referencia: Coordenadas geográficas
 Datum horizontal: WGS 1984
 Elipsoide: WGS 1984

Fuentes
 Imágenes del Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS).
 Compuestos mensuales de abril a junio de 2007. CONABIO, México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009.
 Fracción de la Cobertura del Suelo en la región del CBMM en abril de 2005.
 En: *Aplicaciones de geomática para el Corredor Biológico Mesoamericano México*. CONABIO, México.



CONCLUSIONES

El Corredor Biológico Mesoamericano México se conforma por cinco corredores individuales, cubre 60 405 km² en la parte terrestre y 11 790 km² en la parte marina; su superficie terrestre representa 3.08% de la extensión territorial del país (1 959 248 km²), mientras que la marina, comparada con la zona económica exclusiva del Golfo de México, representa 1.4%. Conecta territorialmente a 23 áreas naturales protegidas federales que favorece la integración de una superficie aproximada de 99 450 km², que representan 5% del territorio nacional. En el CBMM se incluyen 58 municipios correspondientes a los estados de Campeche, Chiapas, Quintana Roo y Yucatán.

La posición geográfica, extensión y distribución espacial, así como las diferencias de relieve y condiciones climáticas hacen que el CBMM sea una de las regiones de gran diversidad en tipos de vegetación en México. En él se identificaron 9 tipos de vegetación, desde bosques perennifolios hasta caducifolios, humedales y sabanas, según la homologación de los mapas del INEGI y la posibilidad de ser identificados en las imágenes de satélite, además de los ecosistemas antrópicos que se han adaptado a esta región.

El CBMM conserva extensiones importantes de vegetación natural que favorecen la conexión entre las áreas protegidas. La vegetación natural ocupa 70% de la superficie del CBMM. Los corredores con mayor diversidad en tipos de vegetación son Selva Maya Zoque (6 tipos de vegetación) y Costa Norte de Yucatán (4 tipos); el caso del primero se explica por su extensión, en tanto que su superficie representa 33% de todo el CBMM, además de contar con el relieve más diverso. Sin embargo, el Corredor Costa Norte de Yucatán sólo cubre 7% de la superficie terrestre del CBMM, pero al incluir una parte marina se presentan otros tipos de vegetación, que están ausentes en el resto de los corredores, con excepción del Corredor Sierra Madre del Sur.

La diversidad de tipos de vegetación, resultado de la configuración geográfica e historia evolutiva y la extensión aún conservada de la cubierta vegetal, hacen que el Corredor Biológico Mesoamericano México cumpla su

función de conectar las áreas naturales protegidas. Sin embargo, aún hace falta más investigación sobre la distribución espacial de la biodiversidad de especies dentro del CBMM. Conforme al análisis de los datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de la Comisión, se identificaron áreas en las cuales se carece de información, como en el caso del corredor Calakmul-Sian Ka'an, donde no se tienen registros de algas y hongos. Por el contrario, se identificó que los corredores Sierra Madre del Sur y Selva Maya Zoque tienen el mayor número de recolectas, lo que ha dado lugar a mayor cantidad de información de los diferentes grupos.

Por consiguiente, es necesario por parte de la CONABIO orientar la investigación hacia la recopilación de datos existentes y dar lugar a la elaboración de inventarios de flora y fauna en los corredores establecidos, principalmente en aquellas áreas (Calakmul-Sian Ka'an y Sian Ka'an-Calakmul) y en torno a grupos de especies (algas, hongos, invertebrados, peces, entre otros) de los que se tiene menos información en el SNIB.

La diversidad de ecosistemas en el CBMM se ha visto modificada por la actividad humana. En casi una cuarta parte de la superficie del Corredor se desarrollan actividades pecuarias y agrícolas, que ocupan 17% y 7% respectivamente. El más transformado por la expansión de estas actividades es el Corredor Sierra Madre del Sur; 46% de su superficie lo ocupan la agricultura y la ganadería. Los corredores con menos afectación son Calakmul-Sian Ka'an y Sian Ka'an-Calakmul, en los que sólo 16% de su superficie ha dado lugar a estas actividades. El uso urbano ocupa 0.4% del CBMM; este porcentaje es similar en cada corredor, con excepción del Corredor Costa Norte de Yucatán, que presenta 1.5%, tres veces mayor a la media, lo que se explica por el lugar que ocupa la ciudad Puerto Progreso, puerto principal de Yucatán que proporciona servicio a los estados de Quintana Roo y Campeche.

Es evidente la amenaza que representa el fuego en los ecosistemas que integran el CBMM. Esto se debe principalmente a las actividades pecuarias y

agrícolas, donde es utilizado como una herramienta básica en las labores de preparación del suelo o la obtención de más superficie dedicada a dichas actividades. Los corredores más afectados en este rubro son Sierra Madre del Sur, Sian Ka'an-Calakmul y Selva Maya Zoque; pero la presencia del fuego en vegetación natural con baja recuperabilidad después de un incendio, es alta en todos los corredores. Por lo tanto, el fuego se convierte en una amenaza grave en el CBMM y un elemento de presión para la conservación de las áreas naturales protegidas. Es importante reconocer que la presencia del fuego no siempre es negativa en algunos ecosistemas, pero para garantizar que así sea es necesario establecer mecanismos para llevar a cabo su manejo integrado.

Por la extensión geográfica, características físico-biológicas del CBMM y la necesidad de conocerlo y dar seguimiento a los efectos de la intervención humana, fue necesario el uso de herramientas de recolección y análisis de datos espaciales de la geomática para agilizar los procesos de investigación. Las principales técnicas de geomática empleadas en este trabajo fueron los sistemas de información geográfica y percepción remota. Ambas técnicas han sido utilizadas con anterioridad para el estudio de otras regiones y ambientes. En el caso que nos ocupa, facilitó el manejo y análisis de diverso tipo de datos para la caracterización de una gran extensión territorial con ambientes diferentes, que van desde el nivel del mar hasta la zonas montañosas, como en el estado de Chiapas.

Las herramientas fueron adaptadas a cada una de las etapas de la investigación con metas distintas, desde la delimitación y definición de los corredores —se consideraron diversas variables— hasta el análisis de la amenaza del fuego, pasando por la identificación de la vegetación con imágenes de satélite, el análisis de la riqueza biológica a partir de las bases de datos del

SNIB y la detección de incendios forestales. También se establecieron las bases para un monitoreo anual con imágenes de satélite, al aplicar el análisis de Fracción de la Cobertura del Suelo. Por otra parte, se estableció un diseño para la identificación de áreas quemadas con el fin de evaluar las zonas afectadas por incendios forestales con imágenes de satélite MODIS.

La obtención de los resultados planteados y la generación de diversos productos muestran que las herramientas de la geomática son útiles en la definición de la línea base para iniciar un monitoreo de las condiciones del Corredor Biológico Mesoamericano México, en función del objetivo para el cual fue creado: “Fortalecer las capacidades locales en el uso sustentable de los recursos naturales y promover la conservación de los mismos para que las futuras generaciones puedan aprovecharlos, así como servir de instrumento para que los recursos del gobierno apoyen a las comunidades y a la conservación de la biodiversidad”.

Cabe mencionar que existen limitaciones en el uso de estas técnicas, como quedó demostrado en el análisis de puntos de calor e incendios forestales. No obstante lo anterior, los resultados son de gran utilidad para la detección temprana de incendios y para el análisis de tendencias. Aún falta establecer un proceso para el seguimiento anual de la cobertura del suelo como un indicador de las actividades desarrolladas en el CBMM, el cual pronto se implementará.

Actualmente la CONABIO desarrolla diversos proyectos con técnicas de geomática a escala nacional, como el análisis y monitoreo de cobertura del suelo, el proyecto sociedad y medio ambiente, la caracterización del cambio de uso del suelo de la República mexicana y otros productos relacionados con incendios forestales, cuyos resultados se espera puedan ser aplicados al Corredor Biológico Mesoamericano México en muy pocos años.

FUENTES CONSULTADAS

Bibliografía

- Achard, F., H.J. Stibig, H. Eva, P. Mayaux. 2002. Tropical Forest Cover Monitoring in the Humid Tropics-TREES Project. *Tropical Ecology* 43 (1):9-20.
- Arriaga, L., C. Aguilar, D. Espinosa y R. Jiménez (coords.). 1997. *Regionalización ecológica y biogeográfica de México*. Taller de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Bennett, A.F. 2004. *Enlazando el paisaje. El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. Programa de Conservación de Bosques-International Union for Conservation of Nature, San José, Costa Rica.
- CBMM (Corredor Biológico Mesoamericano México). 2001. Proyecto Corredor Biológico Mesoamericano-México. Documento con la descripción detallada del proyecto. Corredor Biológico Mesoamericano México, México. Disponible en línea en: www.cbmm.gob.mx/CBMM/TEM/DOC/33/33_502_PAD-Espanol.pdf [Consultado en 2009.]
- CBMM (Corredor Biológico Mesoamericano México). Corredor Biológico Mesoamericano México. Disponible en línea en: www.cbmm.gob.mx/CBMM/TEM/11.htm [Consultado en 2009.]
- Ceballos, G. y G. Oliva (coords.). 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Fondo de Cultura Económica, México.
- CentroGeo (Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo). 2005. *Primera fase del Sistema de Evaluación y Monitoreo para el Corredor Biológico Mesoamericano-México (Componente de Geomática). Informe final*. Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo. México.
- Cervantes, M.C. 2002. *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cespedes (Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable). 1998. *Humo en los ojos: Incendios forestales y deforestación en México*. Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable, México.
- Cespedes (Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable). 1999. *Incendios forestales y deforestación en México. Una perspectiva analítica*. Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable, México.
- Chih-Wei Hsu, Chih-Chung Chang y Chih-Jen Lin. 2008. A Practical Guide to Support Vector Classification. Disponible en línea en: www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/papers/guide/guide.pdf
- Chuvieco, E. 2002. *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel, Barcelona.
- Chuvieco, E., et al. 2008. Global Burned-Land Estimation in Latin America Using MODIS Composite Data. *Ecological Applications* 18 (1):64-79.
- Colchero, F., D. Amor Conde, C. Manterola y A. Rivera. 2006. Evaluación y diseño del corredor Sian Ka'an-Calakmul con base en el modelaje espacial del estado de conservación del hábitat de jaguar (*Panthera onca*) y su relación con la historia de uso del suelo. Unidos para la Conservación. México. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto N°. BJ006.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2008. El Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México. México. Disponible en línea en: www.conabio.gob.mx/institucion/snib/doctos/acerca.html
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2006. *Capital natural y bienestar social*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1998. Los incendios de México: un análisis de su amenaza a la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. Disponible en línea en: www.conabio.gob.mx/conocimiento/puntos_calor/doctos/incendios.html
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). Programa para detección de puntos de calor mediante técnicas de percepción remota. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. Disponible en línea en: www.conabio.gob.mx/conocimiento/puntos_calor/doctos/puntos_calor.html
- Conafor (Comisión Nacional Forestal). Combate a incendios. Campaña Nacional contra incendios forestales. Comisión Nacional Forestal, México. Disponible en línea en: www.conafor.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=42&Itemid=106 [Consultado en 2008]
- Construcción & Vivienda Comunicadores. 2008. Geomática para los profesionales de la construcción. *Suplementos especiales de Construcción & Vivienda Comunicadores*, año II, serie 2, edición 20, 15 de agosto.
- Crooks, K.R. y M. Sanjayan, 2006. *Connectivity Conservation*. Cambridge University Press, Nueva York.
- Ecosur (El Colegio de la Frontera Sur). 2005. *Programa Estatal de Ordenamiento Territorial 2005 Chiapas. Laboratorio de Análisis de Información Geográfica y Estadística*. El Colegio de la Frontera Sur, Gobierno del Estado de Chiapas, San Cristobal de las Casas, México.
- Fahrig, L. y G. Merriam. 1994. Conservation in Fragmented Populations. *Conservation Biology* 8 (1):50-59.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2007. *Fire management-global assessment 2006. A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005*. FAO Forestry Paper 151. Roma. Disponible en línea en: www.fao.org/docrep/009/a0969e/a0969e00.htm

- Flores, O. y L. Canseco. 2004. Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica Mexicana*, nueva serie, 20(2): 115-144.
- González Medrano, F. 2003. *Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Guzmán, G. 1996. ¿Cuántos hongos crecen en México? *Ciencia y Desarrollo* 27: 86-89.
- Hansen M.C., R.S DeFries, J.R.G. Townshend, M. Carroll, C. Dimiceli y R.A. Sohlberg. 2003. Global Percent Tree Cover at a Spatial Resolution of 500 Meters: First Results of the MODIS Vegetation Continuous Fields Algorithm. *Earth Interactions* 7 (10): 1-15.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1999. Superficie de la República Mexicana por Estados. México. Disponible en línea en: <http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/datosgeogra/basicos/estados/Capitales.cfm?s=geo&c=933>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1999b. Ortofotos digitales escala 1:50,000. Resolución espacial 2.5 m. Dirección General de Geografía, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2007. Extensión territorial. México. Disponible en línea en: <http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/datosgeogra/extterri/frontera.cfm?s=geo&c=920>
- Llorente-Bousquets, J.E. y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota. En: *Capital natural de México, vol. I. Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 283-322.
- Llorente Bousquets, J.E. y J.J. Morrone (eds.). 2002. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento III*. Instituto de Biología-Universidad Nacional Autónoma de México, Museo de Zoología, México.
- Llorente Bousquets, J.E., A.N. García Aldrete y E. González Soriano (eds.). 1996. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento*. Instituto de Biología-Universidad Nacional Autónoma de México, Museo de Zoología, México.
- Llorente Bousquets, J.E., E. González Soriano y N. Papavero (eds.). 2000. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento II*. Instituto de Biología-Universidad Nacional Autónoma de México, Museo de Zoología, México.
- Llorente Bousquets, J.E., J.J. Morrone, O. Yáñez Ordóñez e I. Vargas Fernández (eds.). 2004. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento IV*. Instituto de Biología-Universidad Nacional Autónoma de México, Museo de Zoología, México.
- López-Portillo, J. y E. Ezcurra. 2002. Los manglares de México: Una revisión. *Madera y Bosques* 8 (número especial 1): 27-51.
- Meffe, G.K. y C.R. Carroll. 1994. The Design of Conservation Reserves. En: G.K. Meffe y C.R. Carroll (eds.). *Principles of Conservation Biology*. Sinauer Associates, Sunderland, Mass., pp. 265-306.
- Miranda, F. y E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-178.
- Mittermeier, R.A. y C.G. Mittermeier. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. En: J. Sarukhán y R. Dirzo (comps.). *México ante los retos de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 63-73.
- Morrison, S.A. y W.M. Boyce. 2009. Conserving Connectivity: Some Lessons from Mountain Lions in Southern California. *Conservation Biology* 23 (2): 275-285.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration). 2009. About MODIS. Specifications. Disponible en línea en: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php> [Consulta en 2008.]
- NRCan (Natural Resources Canada). 2007. *North American Land Change Monitoring System, Project Plan. First Draft*. Contribuciones de R. Latifovic, D. Pouliot, I. Olthof, R. Fernandes, A. Trichtchenko, Y. Luo y K. Khlopenkov. Natural Resources Canada, Earth Sciences Sector, Centre for Remote Sensing, Ottawa.
- Pedroche, F.F., K.M. Dreckmann, A. Senties G. y R. Margain-Hernández. 1993. Diversidad algal en México. En: R. Gío y E. López-Ochoterena (eds.). *Diversidad biológica en México*. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, núm. XLIV, México.
- Pimm, S.L., H.L. Jones y J. Diamond. 1988. On the Risk of Extinction. *The American Naturalist* 132 (6): 757-785.
- Rosenberg, K.D., R.N. Barry y C.E. Meslow. 1997. Biological Corridors: Form, Function, and Efficacy. *BioScience* 47 (10): 677-687.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México.
- Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. 1ª ed. digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Santerre, R. y S. Bourgon, 2009. Chronologie de L'Histoire des Sciences Géomatiques. Disponible en línea en: www.scg.ulaval.ca/gps-rs/fr/Histo/GMT/histoGMT_p1.htm [Consultado en 2009.]
- Sjögren, P. 1991. Extinction and isolation gradients in metapopulations: the case of the pool frog (*Rana lessonae*). *Biological Journal of the Linnean Society* 42 (1-2): 135-147.
- UNESCO. 1973. *International classification and mapping of vegetation / Clasificación internacional et cartographie de la vegetation / Clasificación internacional y cartografía de la vegetación*. París.

- Verbyla, D.L. 1995. *Satellite Remote Sensing of Natural Resources*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Villaseñor, J.L. 2003. Diversidad y distribución de la Magnoliophyta de México. *Interciencia* 28(3): 160-167.
- Wilcove, D.S., C.H. McLellan y A.P. Dobson. 1986. **Habitat Fragmentation in the Temperate Zone**. En: M.E. Soulé (ed.), *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer Associates, Sunderland, Mass., pp. 237-256.
- Wilcox, B.A. y D.D. Murphy. 1985. Conservation Strategy: The Effects of Fragmentation on Extinction. *The American Naturalist* 125 (6): 879-887.

Cartografía

- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1999. *Ecorregiones de México*. Escala 1:1 000 000, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2004. *Población total e indígena y sus características a nivel municipal (2002)*. Escala 1:250 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2007. Localidades de la República Mexicana. Obtenido de *Principales resultados por localidad 2005. II Conteo de Población y Vivienda 2005* realizado por el INEGI, México.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2008. *Los manglares de México. Estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 1ra. etapa*. Cartografía de la distribución de los manglares en México. Escala 1:500 000, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2007. *Áreas naturales protegidas federales de México*, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Morelia, México.
- García, G. 2000. "Vegetación y uso del suelo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche". Escala 1:50 000. México. En: Uso actual del suelo y estado de conservación de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche. Proyecto N°. J118. El Colegio de la Frontera Sur, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- INE-INEGI (Instituto Nacional de Ecología e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1997. *Datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación, Serie I*. Escala 1:250 000. Instituto Nacional de Ecología, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1999. "Conjunto de datos vectoriales y toponimia de la carta topográfica, escala 1:250 000". Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2001. *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación, Serie II Continuo nacional*. Escala 1:250 000, Dirección General de Geografía, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2005. *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación, Serie III Continuo nacional*. Escala 1:250 000. Dirección General de Geografía, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2006. *División Municipal de México, 2005*. Obtenido de Marco geostadístico municipal, II Conteo de Población y Vivienda 2005, Versión 1.0. Escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
- Semarnap (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 2000. Inventario Forestal Nacional 2000-2001. Escala 1:250 000. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos). 1971. *Memoria del Mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana*. Escala 1:2 000 000. Elaboró: G. Flores-Mata, J. Jiménez López, X. Madrigal Sánchez, F. Moncayo-Ruiz y F. Takaki Takaki. Secretaría de Recursos Hidráulicos-Dirección de Agrología, México.

Programas

- ArcGIS ArcInfo Desktop 9.1. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.
- ArcInfo Workstation 9.1. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.
- ENVI 4.4 Help. 2007. ITT Visual Information Solutions, Boulder.
- Leica Geosystems Geospatial Imaging. 2005. ERDAS Field Guide. Norcross, GA.

*Aplicaciones de geomática para el
Corredor Biológico Mesoamericano México* se imprimió
en los talleres de Seprim/HEUA730908AM1,
Cerrada de Técnicos y Manuales 19-52,
Col. Lomas Estrella, 09880 México, D.F.
El tiro fue de 1000 ejemplares.

La pérdida de hábitat y la fragmentación están entre las amenazas más comunes para la conservación de la diversidad biológica. La fragmentación del hábitat conduce, frecuentemente, al aislamiento de pequeñas poblaciones que tienen tasas de extinción muy elevadas. La conectividad entre parches de ecosistemas es crítica para la viabilidad de las poblaciones en paisajes fragmentados. Idealmente, esta conectividad sería conservada protegiendo las “ligaduras” a escala de paisaje que provean una cohesión complementaria a las comunidades naturales y procesos ecológicos.

La geomática tiene una oportunidad para contribuir en el cumplimiento de los objetivos que se ha trazado el Corredor Biológico Mesoamericano México a través del inventario de los recursos naturales localizados dentro de sus límites y la caracterización de su estado en el tiempo y el espacio, en particular respecto al uso de suelo, a la cobertura de vegetación y a la biodiversidad a nivel específico.

En esta publicación se muestra la distribución actual de la vegetación y el uso de suelo en el CBMM; un análisis espacial del conocimiento que hasta ahora se tiene de la presencia de flora y fauna en los corredores; un panorama sobre el uso del fuego, las áreas en las que se presentó en fechas recientes y su frecuencia de aparición en las comunidades vegetales. Asimismo, se sientan las bases para efectuar el monitoreo de los cambios en la cobertura del suelo a través del uso de sensores remotos.

SEMARNAT



SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



CONABIO
GOBIERNO
FEDERAL



BANCO MUNDIAL
MÉXICO



Global
Environment
Facility