

Conservation Strategy Fund | Conservación Estratégica | SERIE TÉCNICA | N° 8 | abril de 2007

Análisis económico y ambiental de carreteras propuestas dentro de la Reserva de la Biosfera Maya

víctor hugo ramos
irene burgués
leonardo c. fleck
byron castellanos
carlos albacete
gerardo paiz
piedad espinosa
john reid

“ La misión de CSF es enseñar a organizaciones de todo el mundo como utilizar análisis económico estratégico para conservar la naturaleza”.

“CSF’s mission is to teach organizations around the globe on how to use strategic economic analysis to conserve nature”.

Fotografía de la portada:
Victor Hugo Ramos, WCS

Apto. 663 - 2300
Curridabat - Costa Rica
irene@conservation-strategy.org

Av. Sánchez Lima No. 2600
Edificio Tango - Piso 11 Dept. 02
Teléfono / Fax: 591-2-2431038
Casilla: 4945 / La Paz - Bolivia
cecilia@conservation-strategy.org

Praça Dr. Lund, 218 – sala 407 – Centro
33400-000 – Lagoa Santa – MG, Brasil
Teléfono: (31) 3681-1221
csfbrasil@conservation-strategy.org

1160 G Street, Suite A-1
Arcata, CA 95521 USA
Teléfono: 707-822-5505
Fax: 707-822-5535
info@conservation-strategy.org

www.conservation-strategy.org

Diagramación: Kerigma Comunicación
Teléfono: 506-240-5191
Fax: 506-240-6644

Análisis económico y ambiental de carreteras propuestas dentro de la Reserva de la Biosfera Maya

víctor hugo ramos [Wildlife Conservation Society - WCS]

irene burgués [Conservación Estratégica - CSF]

leonardo c. fleck [Conservación Estratégica - CSF]

byron castellanos [Wildlife Conservation Society - WCS]

carlos albacete [Trópico Verde - TV]

gerardo paiz [Trópico Verde - TV]

piedad espinosa [Trópico Verde - TV]

john reid [Conservación Estratégica - CSF]

{ Agradecimientos

A

gradecemos a Conservación Internacional, al Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Guatemala), al Centro de Monitoreo y Evaluación de CONAP (Guatemala), a la Dirección Nacional de Caminos (Guatemala), y a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (México) por el acceso a datos y documentos que han hecho posible la elaboración de este documento. También agradecemos a Carlos Rodríguez, Dalia Amor y Alexandra Urza por su apoyo.

Así mismo, agradecemos a Wildlife Conservation Society por haber brindado apoyo financiero para la publicación de este documento.

Finalmente, agradecemos al Fondo de Alianzas para los Ecosistemas Críticos, el cual brindó el financiamiento para la realización de este estudio. El Fondo de Alianzas para los Ecosistemas Críticos es una iniciativa conjunta de la Conservación Internacional, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, el Gobierno de Japón, la Fundación MacArthur y el Banco Mundial. La meta fundamental es asegurar que la sociedad civil se dedique a conservar la diversidad biológica.

Las ideas y conclusiones de este documento son de los autores y no necesariamente reflejan las opiniones de las instituciones que apoyaron el estudio.

{ Índice

Agradecimientos	4
Índice	6
Lista de tablas	8
Lista de figuras	10
Siglas y abreviaciones	12
Resumen ejecutivo	15
Executive summary	19
Introducción	23
Importancia y propósito del análisis	24
Las carreteras analizadas	26
Área de estudio: la Reserva de la Biosfera Maya	28
Geografía y naturaleza	28
Valores culturales y arqueológicos	30
Demografía	30
Economía	31
Infraestructura de carreteras	32
Personal que atiende la RBM	33
Evaluación de impactos ambientales indirectos de las carreteras	35
Deforestación	36
Antecedentes	36
Métodos	38
El modelo	38
Resultados: estimaciones de deforestación 2005-2025	41
Incendios	48
Antecedentes	48
Modelamiento de los incendios y efectos sobre el carbono, madera y xate	52
Fragmentación	61
Análisis económico de los proyectos carreteros	65
Metodología	66
Descripción de los proyectos carreteros	66
Análisis económico de carreteras	68
Estimación del ahorro en el Costo total de los Usuarios (CTU)	71
Beneficios indirectos	73
Costo de carreteras	75
Valoración de potenciales impactos ambientales	76
Distribución de costos y beneficios	79
Resultados	79
Resultados del proyecto carretero Caobas-Tikal y sus tramos	79
Resultados del proyecto carretero San Andrés-Mirador	83
Costos ambientales agregados de todos los tramos proyectados en la RBM	86
Discusión y conclusiones	87
Bibliografía	91
Anexos	99
Anexo 1 Valores de deforestación y distancia a caminos en los tramos principales de la RBM	100
Anexo 2 Métodos para la construcción del modelo	103
Muestreo y autocorrelación espacial	103
Variables	105
Anexo 3 Detalles de resultados del modelo logístico de deforestación	108
Anexo 4 Cálculos para la estimación de deforestación por zona de probabilidad y esquema de procedimiento para la estimación de deforestación	112
Anexo 5 Detalles de cálculos para estimar pérdidas netas de carbono por deforestación	114
Anexo 6 Descripción esquemática del modelo de incendios	116
Anexo 7 Detalles de cálculos para estimar pérdidas netas de carbono por incendios forestales	117
Anexo 8 Cálculo de volúmenes ponderados por clase comercial y listado de especies por grupo comercial	119
Anexo 9 Desglose de costos del tramo Caobas-Tikal	122
Anexo 10 Desglose de beneficios del tramo Caobas-Tikal	124
Anexo 11 Costos totales, beneficios totales y flujos netos del tramo Caobas-Tikal	126

{ Lista de tablas

Tabla 1 - Descripción de tramos analizados	26
Tabla 2 - Deforestación por unidad de manejo y periodo entre 1986-2005, RBM (CONAP, WCS, 2005)	36
Tabla 3 - Escenarios construidos a partir del modelo	42
Tabla 4 - Estimados de deforestación por escenario, fecha y zona de probabilidad	43
Tabla 5 - Cálculo de pérdidas netas de carbono por escenario y fecha	47
Tabla 6 - Superficies quemadas por unidad de manejo y temporada de incendios	50
Tabla 7 - Fricción por tipo de superficie	52
Tabla 8 - Superficies quemadas por escenario, fecha y tipo de vegetación afectada	55
Tabla 9 - Pérdidas de carbono por incendios por escenario, fecha y tipo de vegetación quemada	56
Tabla 10 - Volúmenes de madera por grupo comercial en 18 unidades de manejo forestal en la RBM	57
Tabla 11 - Pérdidas en volumen de recursos maderables a causa de los incendios forestales modelados	58
Tabla 12 - Supuestos asumidos para estimar pérdidas por incendios forestales causadas a Plantas de Xate (<i>Chamaedorea</i> sp.)	59
Tabla 13 - Pérdidas en hojas de Xate comercial (<i>Chamaedorea elegans</i> y <i>Chamaedorea oblongata</i>) a causa de los incendios forestales modelados	60
Tabla 14 - Longitudes totales de borde de hábitat y superficies de "áreas núcleo" definidas a diferentes tamaños de buffer interno en 2025	62
Tabla 15 - Estadísticas de fragmentos por tamaño de buffer interno y escenario	63
Tabla 16 - Distancias de Subteniente López a Flores tramo actual y con proyecto Caobas-Tikal	72
Tabla 17 - TPDA y tasa de crecimiento del TPDA de los tramos en Guatemala	72
Tabla 18 - TPDA y tasas de crecimiento de tráfico durante el periodo de análisis	73
Tabla 19 - Turismo en Uaxactún y Río Azul generado a partir del acceso mejorado desde Tikal	74
Tabla 20 - Costos de construcción y mantenimiento para los tramos en Guatemala	76
Tabla 21 - Precios de madera (US\$)	78
Tabla 22 - Precio del xate (US\$)	78
Tabla 23 - VAN y TIR del Proyecto Caobas-Tikal sin externalidades	80
Tabla 24 - Valor de las emisiones de carbono según el precio utilizado.	82
Tabla 25 - Valor actual neto del Proyecto Caobas-Tikal considerando externalidades ambientales	82
Tabla 26 - Distribución de costos y beneficios del proyecto San Andrés-Mirador y de sus tramos sin externalidades	83
Tabla 27 - Valor monetario de las pérdidas por emisión de dióxido de carbono San Andrés-Mirador	85
Tabla 28 - Valor actual neto del proyecto San Andrés - Mirador considerando externalidades	85
Tabla 29 - Cantidad y valor del carbono emitido a consecuencia de la deforestación y quema producida por todos los tramos	86
Tabla 30 - Cantidad y valor de las pérdidas en madera y xate por incendios producida por todos los tramos	86
Tabla A1 - Porcentaje deforestado por rango de distancia desde vías principales de los tramos evaluados	101
Tabla A2 - Variables candidatas y seleccionadas en el modelo	105
Tabla A3 - Medidas selectas de ajuste y pseudo R del modelo seleccionado	108
Tabla A4 - Resultados del modelo de regresión logística	109
Tabla A5 - Matriz de correlación de variables independientes	110
Tabla A6 - Porcentajes de deforestación entre 2000 y 2005 por zona de probabilidad	112
Tabla A7 - Estimados de pérdidas brutas de carbono por deforestación, por fecha y por tipo de vegetación afectada	114
Tabla A8 - Estimados de carbono remanente por sistema agropecuario de reemplazo (deforestación), por fecha y por tipo de sistema agropecuario de reemplazo	115
Tabla A9 - Superficies quemadas por escenario, fecha y tipo de vegetación afectada	117
Tabla A10 - Pérdidas de carbono por incendios por escenario, fecha y tipo de vegetación quemada	118
Tabla A11 - Volúmenes por grupo comercial y unidad de manejo en la RBM y volumen ponderado con base en la superficie de la unidad de manejo	119
Tabla A12 - Especies por grupo comercial	120
Tabla A13 - Desglose de costos en US\$ del tramo Caobas-Tikal	122
Tabla A14 - Desglose de beneficios en US\$ del tramo Caobas-Tikal	124
Tabla A15 - Costos y beneficios totales y flujos netos en US\$ del tramo Caobas-Tikal	126



Lista de figuras

Figura 1 - Carreteras analizadas con respecto a la RBM	27
Figura 2 - Zonificación de la RBM	29
Figura 3 - Areas deforestadas hasta 1986 en la RBM	34
Figura 4 - Areas deforestadas hasta 2005 en la RBM	34
Figura 5 - Deforestación en la RBM, 1986-2005	37
Figura 6 - Probabilidad de deforestación, RBM, 2000-2005	39
Figura 7 - Probabilidades de deforestación modeladas para los cuatro escenarios hasta 2025	44
Figura 8 - Deforestación simulada para los cuatro escenarios hasta 2025	45
Figura 9 - Superficies quemadas en la RBM, 1998, 2003 y 2005	49
Figura 10 - Anomalías de temperatura (C°) en la Costa Pacífica de Sudamérica, 1995-2005 (Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies, 2006)	51
Figura 11 - Área afectada por incendios modelados para los cuatro escenarios y dos fechas de ocurrencia	54
Figura 12 - Áreas núcleo con buffers de 500 y 3,000 m por escenario en 2025	64
Figura 13 - Ruta actual (azul) y alternativa (rojo) entre Subteniente López - Flores	67
Figura 14 - Tramos propuestos de San Andrés-Mirador	69
Figura 15 - Deforestación sin carretera uaxactún-arroyo negro	81
Figura 16 - Deforestación con carretera uaxactún-arroyo negro	81
Figura 17 - Deforestación sin carretera carmelita-mirador	84
Figura 18 - Deforestación con carretera carmelita-mirador	84
Figura A1 - Tramos analizados en buffer de 15 km desde vía principal: A - Flores-Bethel, B - Flores-Naranja-Xan, C - Flores-Melchor de Mencos, D - Flores-Carmelita y E - Flores-Tikal-Uaxactún	100
Figura A2 - Curvas de % deforestado por rango de distancia desde vía principal en los tramos evaluados	102
Figura A3 - Moran I a diferentes distancias de puntos de muestreo para deforestación	104
Figura A4 - Esquema de procedimiento para modelar la deforestación hasta 2025	113
Figura A5 - Esquema de procedimiento para modelar incendios en 2010 y 2020	116

{ Siglas y abreviaciones

AAACOM	Especies con Mercado Totalmente Desarrollado
ACTCOM	Especies con Mercado Parcialmente Desarrollado
AID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (United States Agency for International Development)
BCIE	Banco Centroamericano de Integración Económica
BID	Banco Internacional de Desarrollo
BTCC	Biotopo Cerro Cahuí
BTLTRE	Biotopo Laguna del Tigre - Río Escondido
BTNDL	Biotopo Naachtun - Dos Lagunas
Caminos	Dirección General de Caminos, Guatemala
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CEMEC	Centro de Monitoreo y Evaluación de CONAP
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CEPF	Fondo de Alianzas para los Ecosistemas Críticos (Critical Ecosystem Partnership Fund)
COAPS	Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies, Florida State University
CONAP	Consejo Nacional de Areas Protegidas
CSF	Conservación Estratégica (Conservation Strategy Fund)
CTU	Costo Total de los Usuarios (carreteras)
FIAS	Foreign Investment Advisory Services
FIPA	Fortalecimiento Institucional de Políticas Ambientales
FUNDESA	Fundación para el Desarrollo de Guatemala
GHF	Global Heritage Fund
HDM	Herramienta de Desarrollo y Gestión de Carreteras
IDAEH	Instituto de Antropología e Historia, Guatemala
INAB	Instituto Nacional de Bosques, Guatemala
INGUAT	Instituto Guatemalteco de Turismo
IRI	Índice de Rugosidad Internacional
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala
MCEP	Monumento Cultural El Pilar
PIB	Producto Interno Bruto
PNLT	Parque Nacional Laguna del Tigre
PNMRA	Parque Nacional Mirador - Río Azul
PNSL	Parque Nacional Sierra del Lacandón
PNT	Parque Nacional Tikal
PNYNN	Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranjo
POTCOM	Especies con Potencial Comercial
RBM	Reserva de la Biosfera Maya
RED	Modelo Económico de Decisión de Carreteras (Roads Economic Decision Model)
ROC	Receiver Operating Characteristic Curve
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (México)
SIG	Sistemas de Información Geográfica
TPDA	Tráfico Promedio Diario Anual
TIR	Tasa Interna de Retorno
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, las Ciencias y la Cultura (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)
VAN	Valor Actual Neto
WCS	Wildlife Conservation Society
ZAM	Zona de Amortiguamiento
ZN	Zona Núcleo
ZUM	Zona de Uso Múltiple



Resumen ejecutivo

E

xisten propuestas de construcción de nuevas carreteras dentro de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM), algunas para conectar a Guatemala y México. La RBM es un área protegida de 2 millones de hectáreas en el norte de Guatemala que es parte de la Selva Maya, el bosque continuo más grande de Mesoamérica el cual se extiende hasta México y Belice. Hay partes de la RBM que se encuentran bajo protección estricta y otras en donde están permitidas la extracción de madera, la agricultura y otras actividades humanas.

En el pasado, la construcción de carreteras dentro y alrededor de la RBM se ha relacionado con la deforestación, y hay escasas razones para suponer que este vínculo cambiaría con la construcción de carreteras en el futuro. Este potencial conflicto entre objetivos ambientales y planes de infraestructura de transporte convierte a las rutas proyectadas que atravesarían la RBM en un asunto crítico de políticas de conservación y desarrollo.

En este estudio exploramos los costos y beneficios derivados de la construcción de nuevas carreteras en la RBM. Se analizan los impactos producidos por la deforestación e incendios que ocasionaría la construcción de las rutas Uaxactún-Arroyo Negro, Carmelita-Mirador, Lagunitas-El Ceibo, Circuito Yaxhá-Nakum-Naranja, Melchor de Mencos-Tres Banderas. Realizamos análisis económicos exhaustivos de las rutas Tikal-Caobas y San Andrés-Mirador porque aparentemente son las que tienen mayor probabilidad de ser construidas a mediano plazo. En los análisis exhaustivos se consideran los costos de construcción y mantenimiento, al igual que la pérdida de productos y servicios forestales. Comparamos estos costos con los beneficios derivados de un transporte más barato y rápido dentro de la RBM y entre Guatemala y México, así como con los beneficios asociados al acceso mejorado a destinos turísticos en Guatemala.

El proyecto Caobas-Tikal (que incluye el tramo nuevo de Uaxactún a Arroyo Negro) generaría una pérdida neta total de US\$ 54 millones, de los cuales US\$ 14 millones representarían pérdidas para México, con US\$ 40 millones de pérdidas para Guatemala. Este resultado no incluye los costos ambientales. La deforestación podría acrecentar hasta US\$ 56 millones o más las pérdidas para Guatemala con la destrucción de productos maderables, no maderables y la pérdida de reservas de carbono.

La construcción del tramo San Andrés-Mirador contemplaría la pavimentación de la carretera que conecta a San Andrés y Carmelita, así como la construcción de una nueva ruta pavimentada desde Carmelita hasta el sitio arqueológico El Mirador. Estas carreteras le generarían pérdidas económicas a Guatemala por US\$ 21 millones, una cifra que se elevaría por lo menos a US\$ 26 millones en pérdidas netas al considerar los costos ambientales.

En general, la construcción de las cinco carreteras mencionadas tendría como resultado la deforestación de por lo menos 37,530 hectáreas para el año 2025. Adicionalmente, se calcula que 41,170 hectáreas adicionales serían quemadas entre 2010 y 2015, mientras que otras 104,600 hectáreas serían quemadas entre 2020 y 2025. Las carreteras también ocasionarían la fragmentación considerable de hábitats, con una reducción de 47% del área de bosque que no sufre el llamado “efecto de borde”.

Estos resultados sugieren que al menos los tramos de Tikal-Caobas y San Andrés-Mirador constituyen opciones deficientes de inversión. Su valor de desarrollo es negativo debido a que su construcción y mantenimiento consumen una mayor cantidad de recursos de lo que se podría compensar mediante ahorros en gastos de transporte y beneficios inducidos, derivados del turismo. En el caso de Tikal-Caobas, estas conclusiones se pueden explicar por el hecho de que la demanda no satisfecha de transporte a nivel local es baja, mientras que la demanda internacional ya está satisfecha por una ruta existente –vía Belice– que es casi de la misma longitud que la ruta propuesta a través de la RBM. La demanda baja a nivel local también influye en los resultados en el caso de la carretera San Andrés-Mirador.

La sostenibilidad ambiental también se descuidaría con la construcción de nuevas carreteras en la RBM. La deforestación, quema y fragmentación de hábitats privarían a la RBM de los productos y servicios ambientales que motivaron al Congreso de Guatemala a crearla en 1990. Aunque con el tiempo carreteras mejores podrían facilitar el acceso de los turistas a un mayor número de sitios dentro de la reserva, habría que invertir considerablemente en la fiscalización constante para evitar la destrucción de los mismos. El Parque Nacional Tikal, en donde no ha habido deforestación causada por una carretera pavimentada, es un indicador útil de la escala del costo de dicho control. Actualmente, en Tikal trabajan 32 veces más técnicos y seis veces más guardarrecursores por unidad de área que en el resto de la RBM.

Es necesario aplicar rigurosos criterios económicos, ambientales y de equidad para asegurar que los fondos públicos conduzcan a un desarrollo real y duradero y a la conservación del patrimonio natural de Guatemala. Con tal enfoque se deben buscar inversiones mejores para elevar los estándares de vida dentro y alrededor de la RBM y para facilitar el transporte internacional y local en la región fronteriza entre Guatemala, México y Belice.

Paralelamente a este estudio, un equipo colaborador (Amor *et al.* 2007) realizó un análisis a escala regional de los impactos que las carreteras ocasionarían a la Selva Maya y al Corredor Biológico Mesoamericano (CBM). En ambos estudios se utilizó el mismo análisis económico de transporte de los proyectos San Andrés-Mirador y Tikal-Caobas, por lo cual los resultados son los mismos. Los resultados de la valoración de

externalidades ambientales son distintos debido a que los modelos de deforestación son diferentes. El modelo local permite el uso de un mayor número de variables, dado que estas son difíciles de obtener de manera sistemática y comparable para países distintos. El análisis local proyecta de manera detallada los cambios que se darían en la Reserva de la Biosfera Maya como consecuencia de la construcción de carreteras, mientras que el análisis regional explica las implicaciones de las carreteras para México, Belice, Guatemala, la Selva Maya y el CBM.



Executive summary

N

ew roads have been proposed within the Maya Biosphere Reserve (MBR), some linking Guatemala to Mexico. The MBR is a 2 million-hectare protected area in Northern Guatemala that encompasses part of the Maya Forest, which extends into Belize and Mexico and is the largest remaining forest in Mesoamerica. Parts of the MBR are strictly protected, while others allow logging, agriculture and other human activities. Past road building in and around the MBR has been strongly associated with deforestation, and there is little reason to suppose that future roads will be different in this regard. That makes the projected future routes through the MBR a critical matter of conservation and development policy.

This study explores the costs and benefits of new roads in the MBR. We analyze the impacts related to the deforestation and fires likely to be caused by the construction of several routes: Uaxatún-Arroyo Negro, Carmelita-Mirador, Lagunitas-El Ceibo, Circuito Yaxhá-Nakum-Naranjo, Melchor de Mencos-Tres Banderas. We perform in-depth economic analyses of Tikal-Caobas and San Andrés-Mirador, because they appear most likely to be constructed over the medium term. These analyses consider the costs of construction and maintenance, and of lost forest goods and services. Weighed against these expenses are the benefits of cheaper and quicker transportation between and within Guatemala and Mexico, as well as easier access to tourist destinations in Guatemala.

Building the Tikal-Caobas route (which includes Uaxatún-Arroyo Negro stretch), from Tikal north across the MBR to the Mexican border, would generate a total net loss on the order of US\$ 54 million. US\$ 14 million of the losses would be suffered by Mexico and US\$ 40 million by Guatemala. That result does not include environmental costs. Deforestation could increase Guatemalan losses to more than US\$ 56 million, due to the destruction of timber, non-timber forest products and carbon stores.

The San Andrés-Carmelita project would consist of paving the road from San Andrés to Carmelita, and building a new paved route from there to the El Mirador archeological site. These roads would incur economic losses of US\$ 21 million. That figure climbs to at least US\$ 26 million in net losses when environmental costs are considered.

Building all five new roads would result in the deforestation of at least 37,530 hectares by the year 2025. In addition, we estimate that roads would cause 41,170 additional hectares to burn between 2010 and 2015, with another 104,600 hectares consumed by fire between 2020 and 2025. The roads would also result in significant habitat fragmentation, with a projected 47% reduction of forest free from ecological “edge effects.”

These results suggest that at least the Tikal-Caobas and San Andres-Mirador roads represent poor investment choices. Their development value is negative, because their

construction and maintenance consume more resources than can possibly be offset by savings in transportation expenditures and induced benefits from tourism. In the former case, this finding can be explained by the fact that unmet local transportation demand is low and international demand is already served by a route – via Belize – that is almost the same length as the proposed route through the MBR. Low local demand is also the driving force in the San Andres-Mirador results.

Environmental sustainability would also be poorly served by building new roads in the MBR. Deforestation, fire and habitat fragmentation would deprive the MBR of the environmental goods and services that led the Guatemalan Congress to establish it in 1990. While better roads could eventually facilitate tourists' access to more sites within the reserve, substantial and continuous control expenditures would be needed to avoid destruction of those very same sites. Tikal National Park, where a paved road has not led to deforestation, is a useful indicator of the scale of that control cost. Currently Tikal has 32 times as many conservation technicians (“técnicos”) and six times as many park guards per unit area as the rest of the MBR.

Other investments should be sought to improve international and local transportation in the border region of Guatemala, Mexico and Belize. Likewise, alternative investments should be studied to increase living standards in and around the MBR. Rigorous economic, environmental and equity criteria should be applied to ensure that public spending leads to real, lasting development and preserves Guatemala's natural heritage.

Parallel to this study, a collaborating team (Amor *et al.* 2007) carried out a regional analysis of road impacts on the Selva Maya and the Mesoamerican Biological Corridor (MBC). In both studies the same internal analysis of transport economics of the San Andrés-Mirador and the Tikal-Caobas projects was used, so the results are the same. The environmental externality valuation results are different because of differences in the deforestation models used in the two studies. The regional model used less variables, because obtaining comparable data for different countries was not practical. The local analysis projects changes that would occur in the Maya Biosphere Reserve in detail, while the regional analysis explains the implications of roads over broad areas on Northern Mesoamerica.



Introducción

Importancia y propósito del análisis

El 30 de enero de 1990, la Reserva de la Biosfera Maya (RBM) fue declarada como área protegida por el Congreso de la República de Guatemala con los objetivos de conservar el patrimonio natural y cultural de la nación y promover el uso sostenible de ese patrimonio (Congreso de la República, 1990).

Con una extensión declarada de más de 2 millones de hectáreas, la RBM es el área protegida más grande de Mesoamérica. En conjunto con áreas vecinas de México y Belice es la extensión de bosque continuo tropical más extensa de la región mesoamericana (CONAP, 1999). Este mosaico de vegetación natural contiene una gran biodiversidad, así como, entre otros valores, humedales que juegan un papel determinante para las migraciones de aves entre los hemisferios norte y sur. Adicionalmente a los valores de tamaño, continuidad e importancia biológica, la RBM cuenta con al menos 200 sitios arqueológicos mayas registrados, entre los que se puede destacar a Tikal (Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad de la UNESCO), Mirador, Río Azul, Uaxactún, Yaxhá, Nakum, Naranjo, Piedras Negras y El Perú. Igualmente, debe destacarse la importancia socioeconómica del área para las poblaciones locales, quienes aprovechan recursos naturales (maderables y no maderables) y se benefician de la actividad turística, generadora de empleos directos e indirectos.

En este marco, y a pesar de lo que los valores de la RBM representan para Guatemala como país, una problemática compleja ha venido afectando a ésta desde su creación y amenaza directamente su permanencia para generaciones futuras. Dicha problemática está estrechamente relacionada con el crecimiento de la población asentada dentro de la RBM, que se atribuye tanto al incremento demográfico natural como a las migraciones. Las consecuencias de este crecimiento demográfico se manifiestan a través de problemas como la deforestación y la ocurrencia de incendios forestales que amenazan directamente la integridad de la RBM.

A la luz de la importancia que ha tomado recientemente la búsqueda de nuevas vías de acceso que faciliten la integración de Centroamérica y México (BCIE *et al.*, 2001) y sus potenciales efectos negativos sobre el medio ambiente, este trabajo tiene como objetivo realizar una valoración económica y ambiental de proyectos carreteros selectos dentro de la RBM. En un caso específico la valoración económica se extiende a un tramo complementario en México.

En este estudio se evalúan tres escenarios relacionados con la construcción de carreteras y se les compara con un escenario de referencia en el cual no se construye ninguna carretera primaria dentro de la RBM en los próximos 20 años. Los escenarios de construcción de carreteras son: construcción del proyecto carretero Caobas (México)-

Tikal (Guatemala); construcción del proyecto carretero San Andrés-Mirador (ambos en Guatemala); y en el tercer escenario se asume la construcción de los dos tramos mencionados más los denominados Yaxhá-Nakum-Naranja, Lagunitas-El Ceibo y Melchor de Mencos-Arroyo Negro (todos en Guatemala). Aunque la construcción de algunos de estos tramos no ha sido propuesta oficialmente por el Gobierno de Guatemala, se conoce del interés de algunos sectores para construirlos¹ y existe disponibilidad de información razonablemente sólida sobre los trazos generales que tendrían si son construidas.

Este trabajo es un esfuerzo conjunto conducido por Trópico Verde y Wildlife Conservation Society/Guatemala (WCS), con el apoyo de Conservación Estratégica (CSF) y el Fondo de Alianzas para los Ecosistemas Críticos (CEPF).

Paralelamente a este estudio, un equipo colaborador (Amor *et al.* 2007) realizó un análisis a escala regional de los impactos que las carreteras ocasionarían a la Selva Maya y al Corredor Biológico Mesoamericano (CBM). En ambos estudios se utilizó el mismo análisis económico de transporte de los proyectos San Andrés-Mirador y Tikal-Caoba, por lo cual los resultados son los mismos. Los resultados de la valoración de externalidades ambientales son distintos debido a que los modelos de deforestación son diferentes. El modelo local permite el uso de un mayor número de variables, dado que estas son difíciles de obtener de manera sistemática y comparable para países distintos. El análisis local proyecta de manera detallada los cambios que se darían en la Reserva de la Biosfera Maya como consecuencia de la construcción de carreteras, mientras que el análisis regional explica las implicaciones de las carreteras para México, Belice, Guatemala, la Selva Maya y el CBM.

¹ Un documento (INGUAT, 2000) menciona específicamente el tramo Yaxhá-Nakum en el marco de una propuesta de prioridades para infraestructura vial para uso turístico. Una presentación (Organización Mundo Maya, 2001) hace mención específica de las carreteras Uaxactún-Arroyo Negro y Carmelita-Mirador, bajo la denominación "Corredores de la Selva Maya" y en el contexto de una propuesta de identificación de "corredores prioritarios para la inversión en turismo". De acuerdo a artículo de prensa (Escobar y González, 2006) la carretera Lagunitas-El Ceibo ya está en construcción. De acuerdo a artículo de prensa (Vásquez, 2006), el presidente Óscar Berger de Guatemala ofreció en una visita a Carmelita en enero de 2006 asfaltar la ruta entre San Andrés y Carmelita (textualmente la referencia menciona Flores, pero ya hay un proyecto paralelo de asfalto entre Flores-San Andrés). Este ofrecimiento está, presuntamente, relacionado con el interés de abrir una vía de comunicación accesible todo el tiempo entre Carmelita-Mirador para el aprovechamiento turístico del área. En México ya se inició la reconstrucción de la ruta carretera asfaltada Caobas-Arroyo Negro (Ovando, 2003; Iniciarán en una semana construcción de carretera Caobas-Arroyo Negro, 2006), que de acuerdo a notas de prensa y documentos oficiales "comunicaría Quintana Roo con Guatemala", lo que por definición implicaría la construcción del tramo Arroyo Negro- Uaxactún. El proyecto Caobas-Arroyo Negro está claramente vinculado a la construcción de carreteras a través de RBM, como lo demuestran los documentos de referencia consultados y estudios específicos del Gobierno de Quintana Roo que textualmente se refieren al proyecto Caobas-Arroyo Negro como "obra parte del Proyecto Carretero Caobas, México-Flores, Guatemala" (SCT, 2004), donde "se recomienda continuar con las diversas medidas implementadas para promover la continuación de la carretera Caobas, México-Flores, Guatemala".

Las carreteras analizadas

Cinco tramos carreteros completamente nuevos o candidatos a ser mejorados son considerados en esta evaluación. Los tramos se describen en la Tabla 1 y su ubicación con respecto a la RBM se muestra en la Figura 1.

Se estimó el incremento en deforestación y quema que generaría todos estos tramos y se valoraron algunos de los costos económicos de estos dos impactos. Se evaluaron también por separado y con más profundidad los impactos ambientales de los subtramos Uaxactún-Arroyo Negro y Carmelita-Mirador. Además se realizaron análisis de costo-beneficio del tramo Caobas-Tikal y San Andrés-Mirador, que son los tramos con mayor probabilidad de ser desarrollados.

TABLA 1. DESCRIPCIÓN DE TRAMOS ANALIZADOS

ID	Tramo	Longitud km	ID	Subtramo	Longitud km	Observaciones
A	Tikal-Caobas	197	A1	Tikal-Uaxactún	22.9	Pavimentación de camino de terracería
			A2	Uaxactún-Arroyo Negro	83.1	Construcción de camino nuevo pavimentado
			A3	Arroyo Negro-Caobas	91	Reconstrucción de camino pavimentado
B	San Andrés-Mirador	106.2	B1	San Andrés- Carmelita	62.7	Pavimentación de camino de terracería
			B2	Carmelita-Mirador	42.5	Construcción de camino nuevo pavimentado
C	Lagunitas-El Ceibo	18.4				
D	Melchor de Mencos-Tres Banderas	106.9				
E	Circuito Yaxhá-Nakum-Naranjo	64.4				

Área de estudio: la Reserva de la Biosfera Maya

Geografía y naturaleza

La RBM tiene una extensión aproximada de 2 millones de hectáreas, equivalentes a más del 18% del territorio nacional, y se encuentra ubicada al norte del departamento de Petén, la unidad administrativa más grande de Guatemala, con un área equivalente a cerca de un tercio de la extensión superficial total del país.

La RBM está zonificada internamente en tres tipos de unidades de manejo definidas en función de los niveles de restricciones por zona. Las Zonas Núcleo -ZN- son unidades de manejo de protección estricta con usos permitidos muy regulados e incluyen 5 Parques Nacionales (Laguna del Tigre -PNLT-, Sierra del Lacandón -PNSL-, Mirador-Río Azul -PNMRA-, Tikal -PNT- y Yaxhá-Nakum-Naranjo -PNYNN-), 4 Biotopos (Laguna del Tigre-Río Escondido -BILTRE-, Naachtún-Dos Lagunas -BTNDL-, San Miguel la Palotada-El Zotz -BTSMPZ- y Cerro Cahuí -BTCC-) y 1 Monumento Cultural (El Pilar -MCEP-). La Zona de Uso Múltiple -ZUM- tiene menos restricciones de manejo que las Zonas Núcleo y está establecido que su uso debe estar definido por la promoción de actividades extractivas de bajo impacto, que incluyen manejo forestal, extracción de no maderables y otras formas de aprovechamiento. Actualmente esta zona está concesionada en un 66% de su extensión con 12 unidades de manejo asignadas a comunidades y 2 unidades asignadas a la industria privada bajo la figura de concesión forestal. En la Zona de Amortiguamiento -ZAM-, definida como una franja de 15 km desde los límites de la RBM dentro de Guatemala, están permitidas las actividades agropecuarias y la legalización de la tenencia de la tierra. En general, ésta es la unidad de manejo con menos restricciones, lo que se refleja en el hecho de que en ella ha ocurrido el 63% de la deforestación en la RBM en los últimos 20 años (CONAP, WCS, 2005). En total, un 39% de la RBM está asignado a ZN; un 38%, a ZUM; y un 23%, a ZAM (Figura 2).

Los ecosistemas de la RBM albergan una cantidad notable de biodiversidad que incluye como mínimo 111 mamíferos, 442 aves, 107 reptiles y 22 anfibios (Radachowsky, 2002). En cuanto a plantas vasculares, la investigación botánica en el área ha sido escasa, pero por asociación se puede estimar la presencia mínima de 3,000 especies de plantas, usando como referencia los valores reportados para Selva Lacandona en México (Medellín, 1991).

Entre otros valores naturales excepcionales contenidos en la RBM, se puede mencionar: un pequeño rodal de pino que es, probablemente, la población natural de *Pinus caribaea* más al norte de Guatemala y un remanente de las formaciones de vegetación del último periodo glacial (CONAP, 2001); cenotes de hasta 100 m de profundidad dentro del Parque Nacional

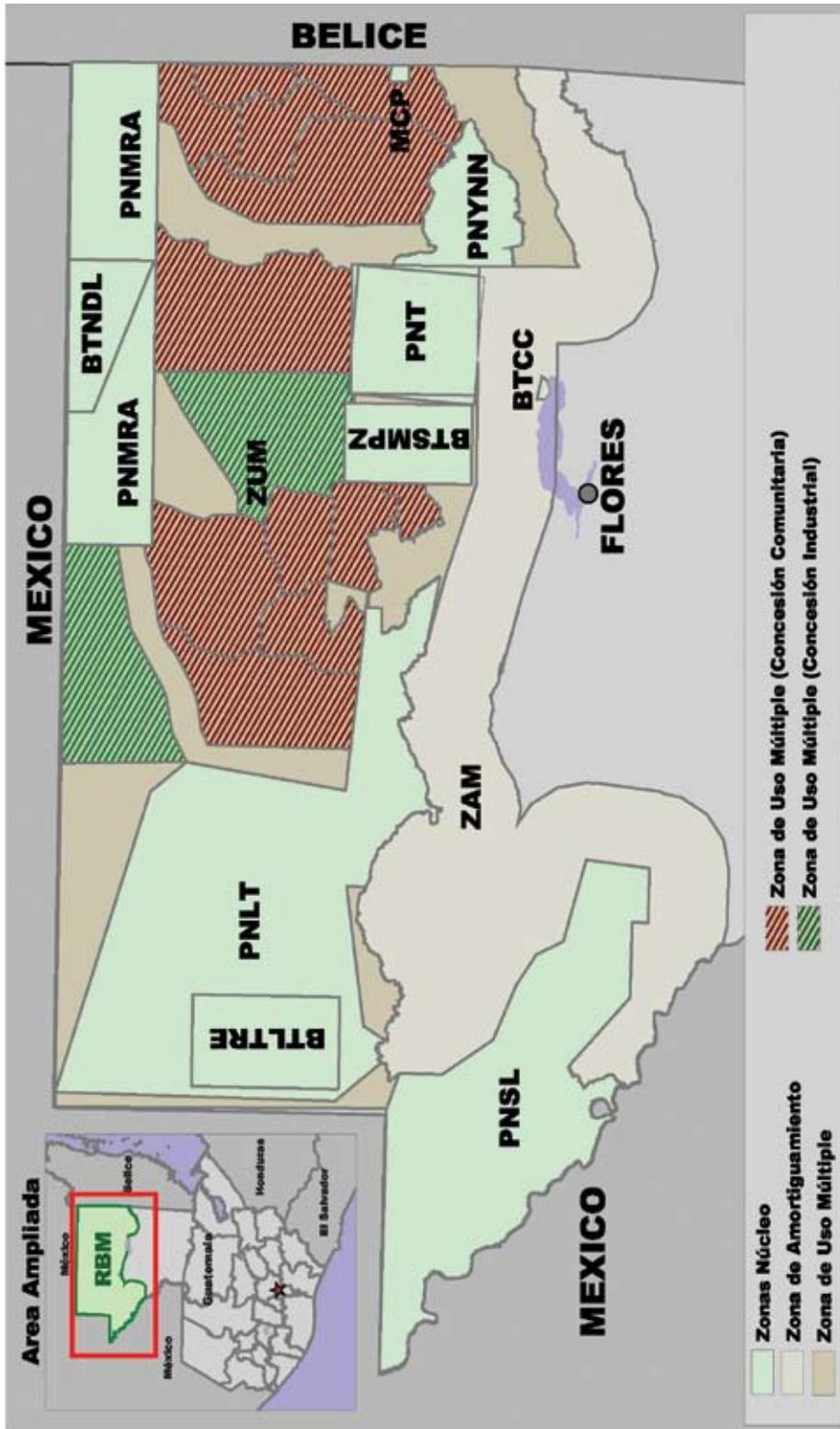


FIGURA 2. ZONIFICACIÓN DE LA RBM

Sierra del Lacandón, probablemente con asociaciones de flora y fauna endémica (Herrera, R. y Paiz, M., 1999) y la población de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) más lejana de la costa, tierra adentro en la península de Yucatán (Bestelmeyer y Alonso, 2000).

Valores culturales y arqueológicos

Asentamientos habitacionales poblados por los itzaes representan lo que fueron las últimas ciudades-estado mayas que subsistieron tras el gran colapso de la civilización alrededor del Siglo X y que luego sucumbieron a la llegada de los españoles en el siglo XV. Remanentes vivos de estos asentamientos se mantienen actualmente en la ribera norte del Lago Petén Itzá y son el último bastión para la cultura y el idioma de los itzaes, una de las etnias más amenazadas en Guatemala a causa de la reducción de sus poblaciones y su erosión cultural. Su conocimiento, incluyendo el idioma, formas de producción, creencias, tradiciones y medicina tradicional, representa un gran valor para la RBM porque mantienen formas de convivencia con la naturaleza y adaptación al medio ambiente, lo que les ha permitido subsistir por más de 4,000 años, si se toma en consideración que son descendientes directos de los antiguos mayas (FIPA/AID, 2001).

Desde otra perspectiva, prácticamente toda la RBM sirvió como sitio de asentamiento a poblaciones mayas antiguas, lo que se manifiesta en la actualidad en una gran cantidad de vestigios de esa civilización. Estos vestigios están distribuidos a lo largo de la RBM y los registros actuales documentan la existencia de al menos 200 sitios arqueológicos conocidos (CONAP, 2001). Estos sitios incluyen desde ciudades monumentales hasta pequeños conjuntos de estructuras habitacionales. Dentro de estos sitios cabe destacar a Tikal, declarado Patrimonio Natural y Cultural de la Humanidad de UNESCO en 1979. Otras antiguas ciudades mayas notables dentro de la RBM incluyen a Mirador, Nakbé, Río Azul, Uaxactún, Piedras Negras, Yaxhá, Nakum, Naranjo, El Perú y San Bartolo, entre muchas más.

Demografía

Entre 2000 y 2001 se estimaba que la población total de la RBM era de 80,900 habitantes, distribuidos en 175 asentamientos. Actualizado a 2006, ese número debe aproximarse a 105,000 habitantes. La población de la RBM es mayormente joven: el 64.6% es menor de 20 años, lo que supera en casi 7 puntos porcentuales la estimación nacional para ese grupo de edad. Se estima que cerca del 64% de la población actual de la RBM es inmigrante, proveniente de otras partes del país o de otros sitios en Petén, aunque actualmente las fuentes de crecimiento de población se encuentran distribuidas casi igualmente entre crecimiento por migración y por nacidos nativos (Ramos *et al.*, 2001). Este patrón de migraciones es el reflejo de la continuación de una política de Gobierno, iniciada a mediados de los años 60, que perseguía la rápida colonización del Petén para

aliviar las demandas de tierra en otras partes del país (Schwartz, 1990). Aunque en la actualidad la colonización no es una política oficial, la inercia de las migraciones se ha mantenido y todavía persiste la visión del Petén como un sitio donde el acceso a la tierra es barato y fácil.

Proyecciones de crecimiento de población (Ramos *et al.*, 2001) estiman que la población de la RBM crecerá de 58,800 a 109,700 habitantes entre 2001 y 2010. Esta estimación se limita a las áreas rurales; no incluye a tres asentamientos semiurbanos en la RBM, cabeceras de municipio (San Andrés, San José y Melchor de Mencos); y representa un incremento cercano al 100% durante un periodo de sólo 10 años.

Economía

Cuatro grandes modelos de ingreso de la población residente en la RBM pueden ser diferenciados y relacionados con la zona geográfica de la Reserva en la que las poblaciones se ubican. Primero, un modelo basado en la producción de cultivos de subsistencia para el autoconsumo, con ventas de excedentes de la producción; segundo, un modelo que combina la producción de cultivos de subsistencia con la ganadería extensiva; tercero, agricultura de subsistencia y producción forestal (productos maderables y no maderables); y cuarto, un modelo en el que el trabajo asalariado contribuye a la mayor parte del ingreso familiar y que se caracteriza por ocurrir en asentamientos cercanos a áreas urbanas y en zonas donde el turismo es una actividad económica importante. Se estima que los porcentajes de población dependientes de cada modelo se distribuyen como sigue: 50% (agricultura de subsistencia); 30% (agricultura de subsistencia + ganadería); 15% (agricultura de subsistencia + producción forestal); y 5% (asalariados) (Grünberg y Ramos, 1998).

La agricultura comercial a escalas medianas y grandes es incipiente dentro de la RBM y está concentrada en el cultivo de la papaya, aunque aparentemente está creciendo aceleradamente, impulsada por la nueva posibilidad de exportar al mercado estadounidense². Se preve que en el marco de nuevos proyectos gubernamentales de impulso a cultivos no tradicionales se incrementen las superficies cultivadas de éstos, particularmente en el caso de frutales y otros cultivos perennes.

La ganadería es la actividad agropecuaria que más tierra usa en la RBM (MAGA, 2006), frecuentemente en unidades de producción extensivas, con operaciones superiores a las 200 ha. Aunque no existe mucha información al respecto, se estima que el destino de la producción ganadera de bovinos es, principalmente, la venta en pie.

² En 2004 se producían tres mil toneladas métricas de papaya y se esperaban crecimientos en la producción en el orden del 46%, además del incremento en las cantidades exportadas (Dardón, 2004).

Actividades productivas tradicionales en la RBM han sido la extracción de tres productos forestales no maderables xate (*Chamaedora* sp.), chicle (*Manilkara achras*) y pimienta gorda (*Pimenta dioica*), que se estima emplean alrededor de 7,000 personas. Únicamente el xate produce ingresos brutos por más de US\$ 5.7 millones anuales en el Petén (Reyes y Wilshusen, 2006) y muy probablemente una gran proporción de esa cifra provenga de aprovechamientos en la RBM, donde se concentra la mayor parte del recurso. Actividades de manejo forestal dentro de la RBM han producido volúmenes cercanos a 83,000 m³ de madera de diferentes especies entre 1994 y 2002. Este volumen acumulado ha crecido desde valores de alrededor de 600 m³ en 1994 hasta 19,000 m³ en 2002, impulsado por la incorporación de nuevas concesiones forestales entre las dos fechas citadas. Se estima que entre 1994 y 2002 las operaciones forestales llevadas a cabo por grupos comunitarios organizados han generado ingresos brutos por más de US\$ 6 millones, creciendo desde US\$ 13,000 en 1994 hasta US\$ 1.3 millones en 2002 (CONAP, 2003).

Se estima que más 200,000 turistas visitaron Tikal en 2005, el 70% de los cuales eran visitantes extranjeros y el resto nacionales (INGUAT, 2006). Cifras de gasto promedio por turista se estiman en US\$ 58 por día (PA Consulting Group, 2004), por lo que los ingresos relacionados con visitas a Tikal son superiores a US\$ 11 millones anuales.

Finalmente, se estima que en 2005 la producción del Contrato 2-85, ubicado dentro del Parque Nacional Laguna del Tigre y Biotopo Laguna del Tigre-Río Escondido, fue de 6.2 millones de barriles de petróleo crudo, reportando regalías para el Gobierno de Guatemala superiores a US\$ 13 millones (Ministerio de Energía y Minas, 2006).

Infraestructura de carreteras

Se estima que en 2005 dentro de la RBM existían 154 km de carreteras de dos vías asfaltadas y 728 km de caminos de revestimiento suelto, transitables todo el tiempo. Adicionalmente, existen 1,354 km de roderas y veredas con capacidad de ser usadas muy limitadamente y con muy poco tráfico en temporadas secas (CEMEC-CONAP, 2006a). Los valores estimados dan una densidad de caminos de 0.04 km/km² de carreteras transitables todo el tiempo dentro de la RBM, comparados con 0.13 km/km², que es el valor promedio nacional para 1999 (Banco Mundial *et al.*, 2004).

A pesar de la baja densidad de caminos, éstos parecen haber tenido influencia sobre la ocurrencia de deforestación en zonas específicas. Los efectos de la construcción de caminos sobre la colonización y posterior deforestación son claramente visibles en la ZAM, PNLT, BTLTRE y PNSL donde un camino destinado a facilitar la explotación petrolera en el bloque de concesión 2-85 fue construido entre 1978 y 1984 (Arriola, 2005). Durante y después de la construcción, las áreas cerca del camino fueron

colonizadas y deforestadas consistentemente, incluso después de la declaratoria de la RBM y más recientemente de manera notable dentro de PNLT y BTLTRE (CONAP, WCS, 2005). En la Figura 3 se muestran las áreas deforestadas en el año 1986, mientras que en la Figura 4 se puede ver la deforestación ocurrida hasta el año 2005. Estas dos figuras muestran que durante el periodo 1986-2005 la deforestación en la RBM ocurrió de manera concentrada alrededor de las carreteras.

Por el contrario, la carretera que conduce al sitio arqueológico Tikal, dentro del Parque Nacional del mismo nombre, a pesar de haber sido construida a principios de los años 60 y asfaltada en 1982 (Schwartz, 1990), no ha tenido prácticamente ningún efecto relacionado con la deforestación dentro de los límites del Parque, y fuera de los límites los efectos han sido mucho menos severos que los documentados para la Ruta al Naranjo-Xan. Un análisis que compara valores de deforestación con respecto a la distancia hasta los caminos principales en varios tramos de la RBM se presenta en el Anexo 1.

Personal que atiende la RBM

Se estima que en 2006 había 257 personas contratadas por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) y CECON (CEMEC-CONAP, 2006b) que trabajaban directamente en la RBM, divididas en 22 técnicos y 235 operativos involucrados en control y vigilancia (guardarrecursos). Estos números excluyen a Tikal, que en 2003 registró 129 trabajadores (Ministerio de Cultura y Deportes, 2003), divididos en cuatro categorías de responsabilidad: operativos involucrados en tareas de educación y comunicación (4), operativos en tareas de apoyo a la administración y mantenimiento (44), técnicos (26) y operativos involucrados en tareas de control y vigilancia (55). Al comparar las cifras de personal de Tikal y el resto de la RBM encontramos que en Tikal hay un técnico por cada 22 km² de responsabilidad y un operativo de control y vigilancia por cada 10.4 km². Las cifras correspondientes al resto de la RBM son un técnico por cada 723.9 km² y un guardarrecursos por cada 67 km²; es decir, Tikal tiene 32 veces más técnicos y 6 veces más guardarrecursos por unidad de área que el resto de la RBM.

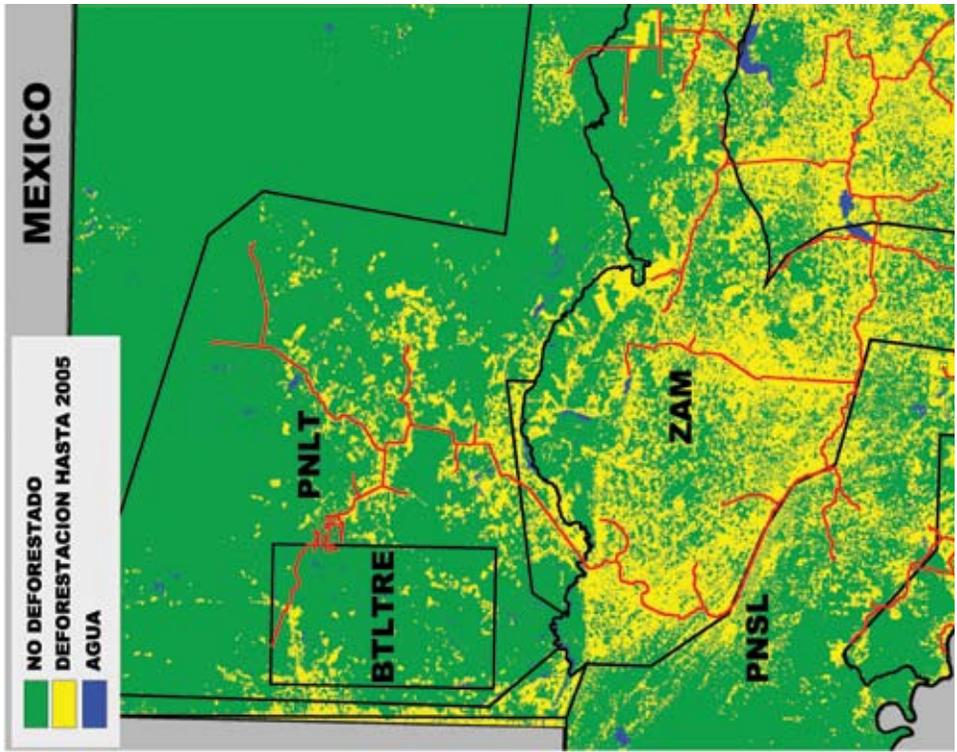


FIGURA 4. AREAS DEFORESTADAS HASTA 2005 EN LA RBM

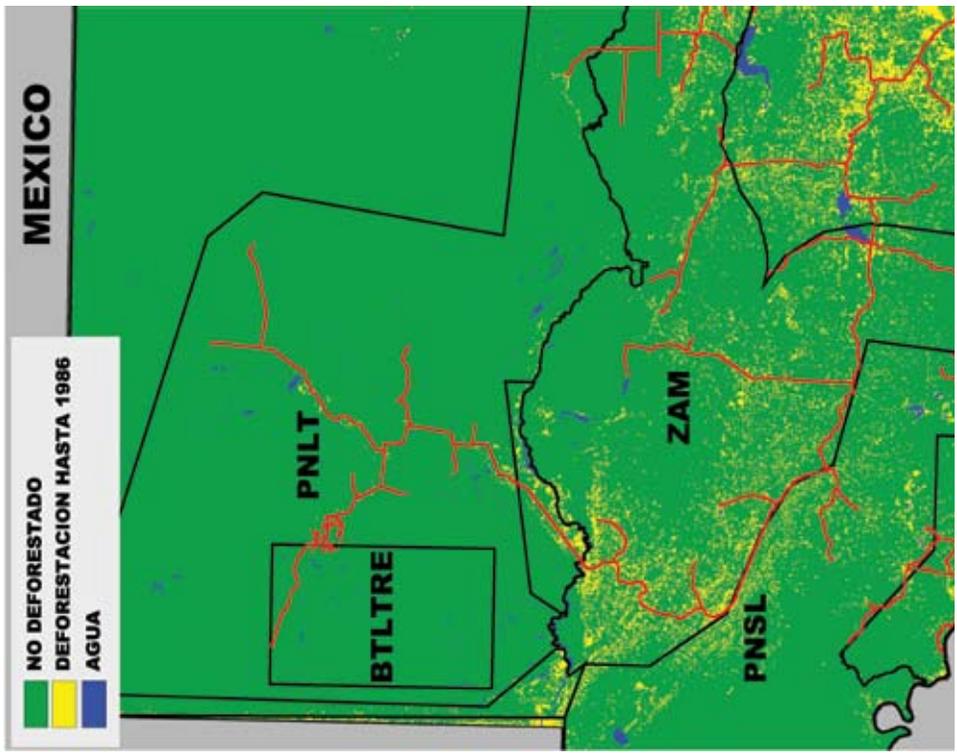


FIGURA 3. AREAS DEFORESTADAS HASTA 1986 EN LA RBM



Evaluación de impactos
ambientales indirectos
de las carreteras

Deforestación

Antecedentes

La deforestación en la RBM ha sido monitoreada con intervalos máximos de 4 años (CONAP, WCS, 2005; CONAP *et al.*, 2004; CONAP *et al.*, 2003; CONAP *et al.*, 2002; Ramos y Bernal, 2001; Sader *et al.*, 2000); usando métodos consistentes y se cuenta con datos sobre tasas de deforestación a intervalos variables entre 1986 y 2005.

Los valores de superficies deforestadas por unidad de manejo se muestran en la Tabla 2 para el periodo comprendido entre 1986 y 2005, en intervalos de aproximadamente 5 años, y la Figura 5 muestra el mapa de deforestación de la RBM en el mismo periodo.

TABLA 2. DEFORESTACIÓN POR UNIDAD DE MANEJO Y PERIODO ENTRE 1986-2005, RBM (CONAP, WCS, 2005)

Unidad	Deforestación (ha) 1986-1990	Deforestación (ha) 1990-1995	Deforestación (ha) 1995-2000	Deforestación (ha) 2000-2005	Deforestación (ha) 1986 - 2005
Parque Nacional Sierra del Lacandón	964	10717.1	4993.7	6043.1	22717.9
Parque Nacional Laguna del Tigre	48	1894.9	8012.4	17008.2	26963.5
Parque Nacional Tikal	0	0	8.2	0	8.2
Parque Nacional Mirador-Río Azul	0	0	0.6	1.3	1.9
Parque Nacional Yaxhá Nakum Naranjo	1.2	26	438.8	208.3	674.3
Biotopo Laguna del Tigre-Río Escondido	0.4	2.3	1017.8	2868.7	3889.2
Biotopo San Miguel la Palotada-El Zotz	42.8	64.7	171.4	139.3	418.2
Biotopo Dos Lagunas	0	0	1.2	0	1.2
Biotopo Cerro Cahuí	4	1.2	28.6	0	33.8
Monumento Cultural El Pilar	0	0	23.5	5	28.5
Zona de Uso Múltiple	1370.4	6617.3	5796.5	10716.9	24501.1
Zona de Amortiguamiento	10437.6	52266.5	36190.6	38155.5	137050.2
Total	12868.4	71590	56683.3	75146.3	216288

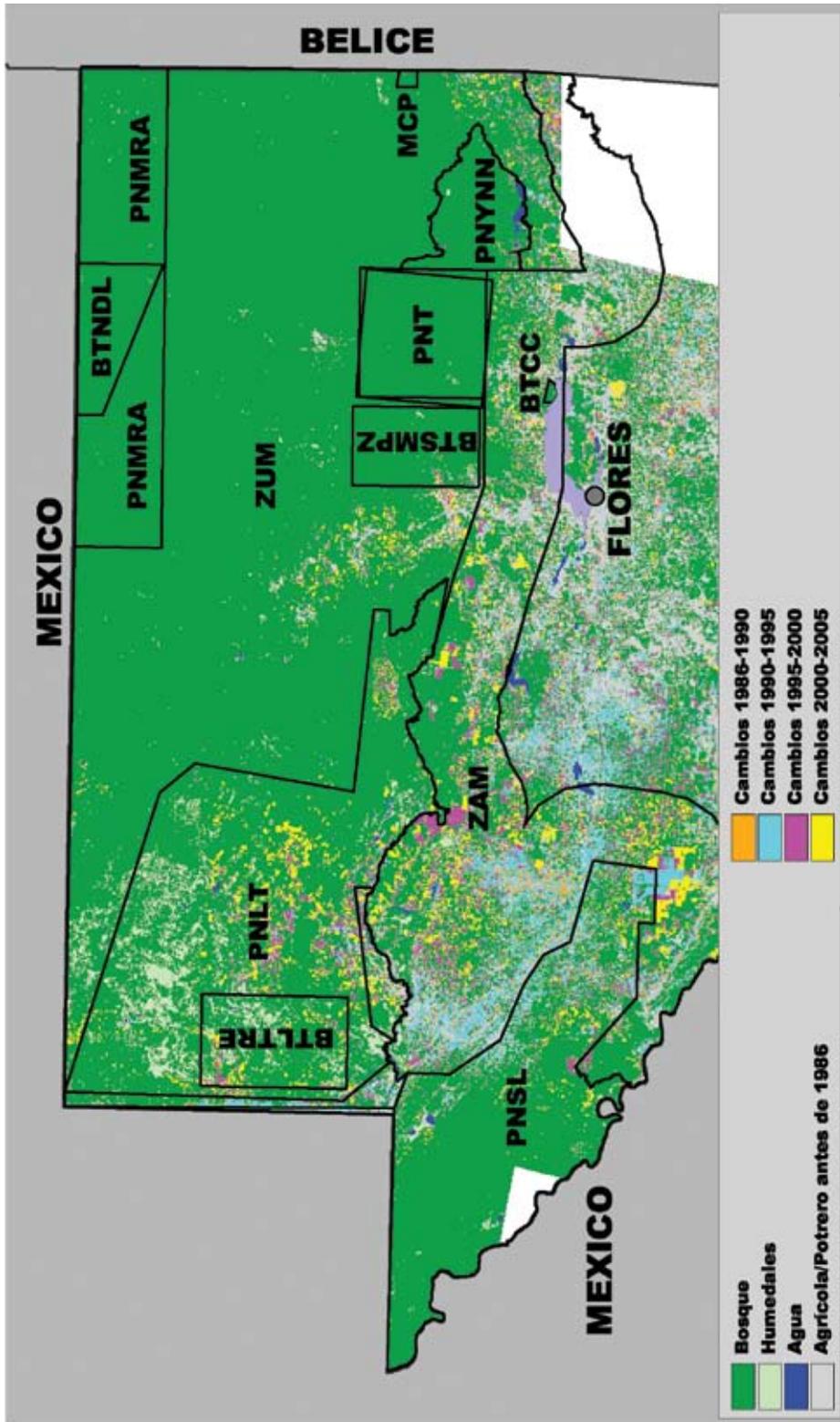


FIGURA 5. DEFORESTACIÓN EN LA RBM, 1986-2005

Métodos

El requisito principal para alcanzar los objetivos de este estudio en lo referente a modelar la deforestación fue la evaluación de la influencia de la construcción de caminos sobre la ocurrencia de deforestación, contrastado contra otras variables, citadas en la bibliografía como promotores de la deforestación. Adicionalmente, se definió como fundamental la capacidad del modelo de estimar razonablemente la cantidad de deforestación en un horizonte de predicción de 20 años y hacer espacialmente explícitos los resultados del modelo en términos de la localización de la deforestación.

Con base en estos requisitos, la información actualmente disponible y la revisión de la bibliografía disponible sobre modelos espacialmente explícitos de deforestación (Kaimowitz y Angelsen, 1998), se estimó apropiado usar la regresión logística como un enfoque adecuado para abordar el modelaje de la deforestación.

La construcción del modelo incluyó los siguientes procedimientos:

- Optimización del muestreo analizando la autocorrelación espacial de deforestación entre 2000 y 2005 (variable dependiente).
- Preparación de capas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la construcción de la base de datos de muestras.
- Colecta de muestras de variables independientes candidatas y variable dependiente.
- Evaluación iterativa de modelos candidatos hasta seleccionar el modelo final.

Una explicación más detallada de los métodos usados para la construcción del modelo se puede consultar en el Anexo 2.

El modelo

Se seleccionó un modelo con 10 variables independientes³ que explican el patrón de deforestación en la RBM, y se usó como variable dependiente la deforestación ocurrida entre 2000 y 2005. En orden descendente de importancia las variables independientes dentro del modelo son: la distancia a los asentamientos con poblaciones menores a 2,000 habitantes; el área dentro de Zona de Amortiguamiento –ZAM–; áreas clasificadas como humedales; área dentro de Zona de Uso Múltiple no concesionada con poblaciones residentes; áreas dentro de zonas núcleo con poblaciones residentes; áreas dentro de concesiones comunitarias con poblaciones residentes (excluidas las poblaciones con más de 50 años de asentadas); la distancia hasta caminos existentes antes de 2005; la distancia a deforestación acumulada hasta 2000; áreas con suelos profundos; e índice topográfico de humedad. Los resultados detallados del modelo se pueden encontrar en el Anexo 3 y la Figura 6 muestra el mapa de probabilidad de deforestación para el periodo 2000–2005.

3 Elegidas entre 54 variables candidatas. Las variables candidatas y seleccionadas se listan en el Anexo 2.

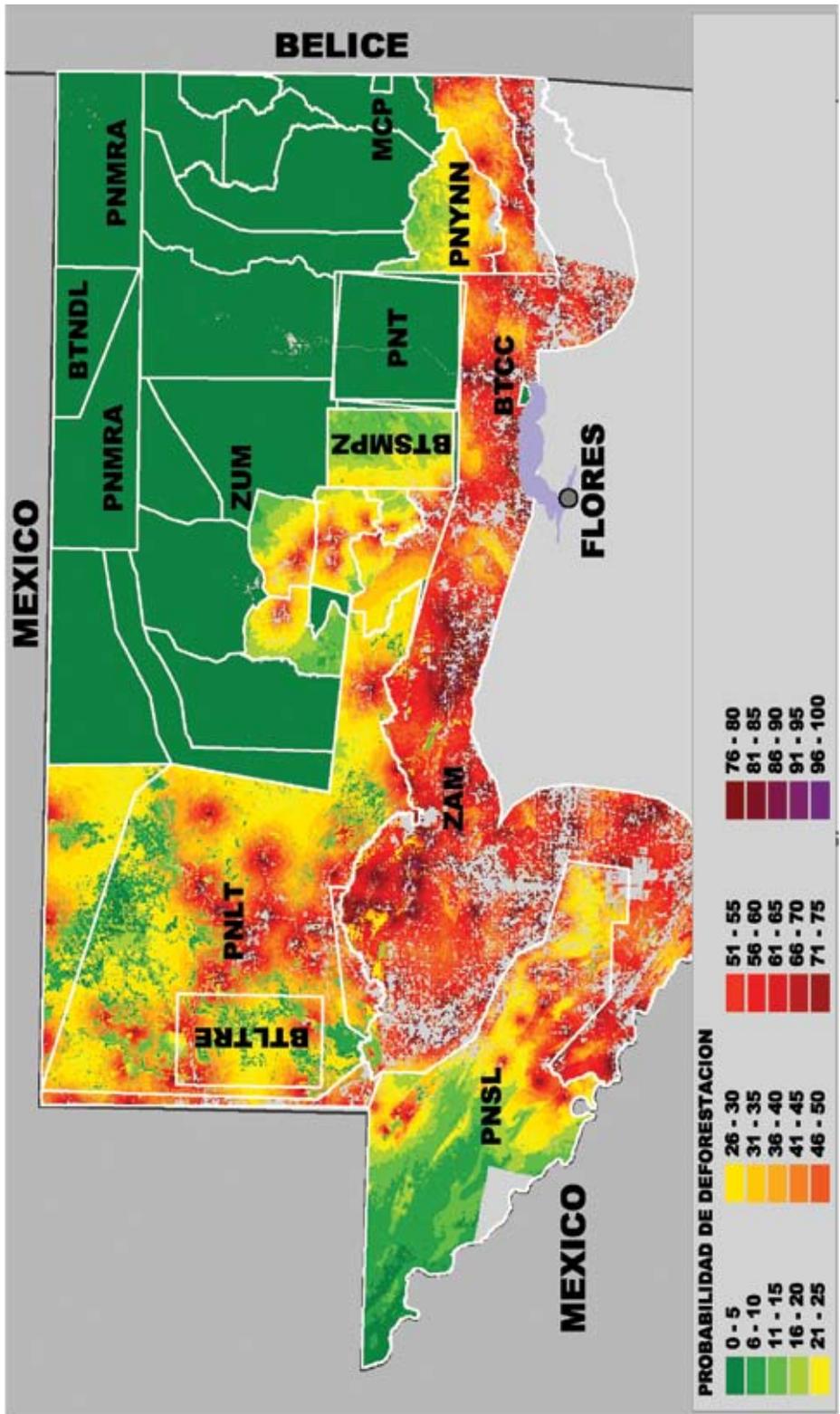


FIGURA 6. PROBABILIDAD DE DEFORESTACIÓN, RBM, 2000-2005

El modelo tiene, relativamente, baja significación estadística con un valor de R cuadrado de Nagelkerke de 0.400. No obstante, es de notar que este valor fue más alto que el 0.375 alcanzado por Grümberg (2000) para la RBM que utilizó la deforestación acumulada (1986-última fecha) como variable dependiente.

Siguiendo la interpretación del modelo, los patrones de deforestación con respecto a unidades de manejo en la RBM y la presencia o ausencia de poblaciones dentro de las mismas en los últimos cinco años de medición (2000-2005) pueden definirse de la manera siguiente:

- Las tasas de deforestación son mucho más altas en la Zona de Amortiguamiento de la RBM que en cualquier otra zona, dado que esta zona no tiene regulaciones estrictas en cuanto a cambios de uso del suelo y también es posible legalizar propiedades privadas.
- Las Zonas Núcleo (Parques Nacionales y Biotopos) con poblaciones residentes ocupan el segundo lugar en cuanto a tasas de deforestación en la RBM. Esta deforestación ocurre principalmente en los Parques Nacionales Sierra del Lacandón y Laguna del Tigre, así como en el Biotopo Laguna del Tigre. Otras Zonas Núcleo con poblaciones residentes (Biotopo San Miguel la Palotada-El Zotz y Parque Nacional Yaxhá-Nakum-Naranjo) presentan tasas de deforestación moderadamente más bajas que las Zonas Núcleo mencionadas previamente, lo que parece estar directamente relacionado a la ubicación (periférica) y al tamaño (pequeño, comparado con las mencionadas con anterioridad) de sus poblaciones residentes.
- Las Zonas Núcleo restantes, que no tienen poblaciones residentes (Parque Nacional Tikal, Parque Nacional Mirador-Río Azul, Biotopo Naachtún-Dos Lagunas, Monumento Cultural El Pilar, Biotopo Cerro Cahuí), han sido afectadas mínimamente por la deforestación en todo el periodo de monitoreo. Además de la ausencia de poblaciones residentes, existen en estas áreas, como conjunto, muy pocos caminos transitables todo el año y cuando éstos existen se encuentran en sitios como Tikal con una infraestructura de protección muy desarrollada (Ministerio de Cultura y Deportes, 2003) o son muy pequeños y por tanto relativamente fáciles de administrar y proteger, como Cerro Cahuí.
- En la Zona de Uso Múltiple también hay una relación entre la existencia de poblaciones residentes y deforestación, matizada por la existencia de manejo forestal y la presencia de asentamientos humanos relativamente antiguos (> 50 años de existencia) y que no dependen de actividades agropecuarias para su subsistencia. Así, en general las porciones de la ZUM que no han sido otorgadas en concesión forestal y que tienen presencia de asentamientos humanos registran una deforestación constante en los últimos cinco años, mientras que aquellas en las que no existen asentamientos (corredores biológicos) no registran deforestación. En las concesiones forestales comunitarias con poblaciones residentes, a excepción de Carmelita y Uaxactún, también se han reportado tasas de deforestación a la alza.

Las excepciones (Carmelita y Uaxactún), no registran valores altos de deforestación, lo que puede explicarse parcialmente por su historial de poca dependencia de la agricultura como medio de subsistencia, y por su inclinación a las actividades extractivas xate (*Chamaedora* sp.), chicle (*Manilkara achras*), pimienta (*Pimenta dioica*) y cacería de subsistencia y más recientemente al manejo forestal. Finalmente, las concesiones forestales (comunitarias e industriales) sin poblaciones residentes registran de manera constante valores mínimos de deforestación, no asociados a la conversión a usos agropecuarios, sino a la apertura de bacadillas, una actividad inherente al manejo forestal.

Resultados: estimaciones de deforestación 2005-2025

La estimación de la ocurrencia de deforestación se basó en la definición de cuatro escenarios, modificados por tres factores principales relacionados con dos variables dentro del modelo: número y ubicación de poblados nuevos y longitud de caminos (primarios/secundarios) construidos. Estos escenarios se basan en estimaciones conservadoras en cuanto a incrementos en la cantidad de nuevos asentamientos humanos y el crecimiento histórico de la longitud de caminos primarios y secundarios en la RBM. Los escenarios evalúan los efectos de la construcción de dos tramos carreteros principales, Carmelita-Mirador y Uaxactún-Arroyo Negro. En el tercer escenario se asume la construcción de los dos tramos mencionados más los denominados Yaxhá-Nakum-Naranja, Lagunitas-El Ceibo y Melchor de Mencos-Tres Banderas, contrastados con el escenario de referencia en el que no se construyen carreteras principales. La Tabla 3 muestra los detalles de los supuestos asumidos para cada uno de los escenarios.

La extensión de la deforestación fue estimada reclasificando la superficie de probabilidad de deforestación en 20 zonas de probabilidad de igual tamaño (intervalos de 5 en una escala de 0 a 100) y evaluando la deforestación ocurrida entre 2000-2005 en cada zona para generar un porcentaje fijo deforestado por zona de probabilidad que fue aplicado a los mapas de probabilidad de deforestación modelados en el futuro. Este método fue favorecido a cambio de procedimientos alternativos como ROC (Receiver Operating Characteristic Curve)⁴, dado que es más realista en términos de dónde ocurre la deforestación en el paisaje modelado. Estos cálculos son ilustrados en el Anexo 4 junto al esquema del procedimiento para la estimación de la deforestación.

⁴ Como medida de la discriminación se usa el área bajo la curva ROC construida para la probabilidad predicha por el modelo, que representa, para todos los pares posibles de individuos formados por un individuo en el que ocurrió el evento y otro en el que no, la proporción de los que el modelo predice una mayor probabilidad para el que tuvo el evento.

TABLA 3. ESCENARIOS CONSTRUIDOS A PARTIR DEL MODELO

Escenario	Poblados	Caminos Primarios	Caminos Secundarios
Sin construcción de nuevos caminos principales.	40 poblados nuevos aparecen en la RBM durante 20 años de modelamiento.	0 km de caminos primarios transitables todo el año construidos.	400 km de nuevos caminos secundarios transitables todo el año dentro de la RBM. Los nuevos caminos están asociados a caminos ya existentes, ampliándose principalmente para comunicar comunidades sin caminos durante 20 años de modelamiento.
Construcción de todos los caminos principales que incluyen las rutas Uaxactún-Arroyo Negro, Carmelita-Mirador, Lagunitas-El Ceibo, Circuito Yaxhá- Nakum-Naranjo y Melchor de Mencos-Tres Banderas.	40 poblados nuevos no asociados a los caminos nuevos aparecen en la RBM durante 20 años de modelamiento. 20 poblados nuevos asociados a la red de caminos nuevos aparecen también dentro de la RBM durante 20 años de modelamiento.	315 km de caminos primarios transitables todo el año construidos (la suma de las rutas modeladas) y con efectos en el modelo desde el primer periodo de evaluación (2005-2010).	400 km de nuevos caminos secundarios transitables todo el año dentro de la RBM. Los caminos están asociados a caminos ya existentes, ampliándose principalmente para comunicar comunidades sin caminos durante 20 años de modelamiento. 140 km de caminos secundarios adicionales, asociados a la nueva red de caminos primarios construidos durante 20 años de modelamiento.
Construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	40 poblados nuevos no asociados a los caminos nuevos aparecen en la RBM durante 20 años de modelamiento. 5 poblados nuevos asociados a la red de caminos nuevos aparecen también dentro de la RBM durante 20 años de modelamiento.	83 km de caminos primarios transitables todo el año construidos (la suma de las rutas modeladas) y con efectos en el modelo desde el primer periodo de evaluación (2005-2010).	400 km de nuevos caminos secundarios transitables todo el año dentro de la RBM. Los caminos están asociados a caminos ya existentes y ampliándose principalmente para comunicar comunidades sin caminos durante 20 años de modelamiento. 81 km de caminos secundarios adicionales, asociados a la nueva red de caminos primarios construidos durante 20 años de modelamiento.
Construcción de la ruta Carmelita-Mirador	40 poblados nuevos no asociados a los caminos nuevos aparecen en la RBM durante 20 años de modelamiento. 5 poblados nuevos asociados a la red de caminos nuevos aparecen también dentro de la RBM durante 20 años de modelamiento.	42 km de caminos primarios transitables todo el año construidos (la suma de las rutas modeladas) y con efectos en el modelo desde el primer periodo de evaluación (2005-2010).	400 km de nuevos caminos secundarios transitables todo el año dentro de la RBM. Los caminos están asociados a caminos ya existentes, ampliándose principalmente para comunicar comunidades sin caminos durante 20 años de modelamiento. 50 km de caminos secundarios adicionales, asociados a la nueva red de caminos primarios construidos durante 20 años de modelamiento.

Los efectos de los caminos nuevos construidos sobre la deforestación fueron cuantificados restando los totales de deforestación proyectada hasta 2025 del escenario de referencia en el que no se construyen nuevos caminos principales, como se presenta en la Tabla 4.

TABLA 4. ESTIMADOS DE DEFORESTACIÓN POR ESCENARIO, FECHA Y ZONA DE PROBABILIDAD

Escenario	Periodo	Deforestación proyectada (km ²)	Deforestación total 2005-2025 (km ²)	Diferencia de deforestación contra escenario de referencia (km ²)
Escenario sin construcción de nuevos caminos	2005-2010	743.4	2,824.2	No aplica
	2010-2015	732		
	2015-2020	690.9		
	2020-2025	657.9		
Escenario construcción de todos los nuevos caminos	2005-2010	800.5	3,199.5	375.3
	2010-2015	814.4		
	2015-2020	800.9		
	2020-2025	783.8		
Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	2005-2010	763.8	2,979.7	155.5
	2010-2015	768		
	2015-2020	735.3		
	2020-2025	712.7		
Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	2005-2010	750.2	2,894.4	70.2
	2010-2015	747		
	2015-2020	713.6		
	2020-2025	683.6		

Como puede verse en la Tabla 4, en el escenario de la construcción de todas las carreteras se estima una deforestación adicional de 375.3 km² de bosque durante el periodo 2005-2025. Mientras que para el escenario de construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro y el escenario de construcción de la ruta Carmelita-Mirador se estima una deforestación adicional de 155.5 km² y 70.2 km² respectivamente.

La Figura 7 muestra probabilidades de deforestación modeladas para los cuatro escenarios hasta 2025 y la Figura 8, mapas de la deforestación simulada para los mismos escenarios, también en 2025.

A partir de la deforestación proyectada se estimaron pérdidas netas de carbono, sobre el suelo y hasta una profundidad de 30 cm en el suelo, por tipo de vegetación deforestada en todos los escenarios. Los valores de contenidos de carbono en Bosque

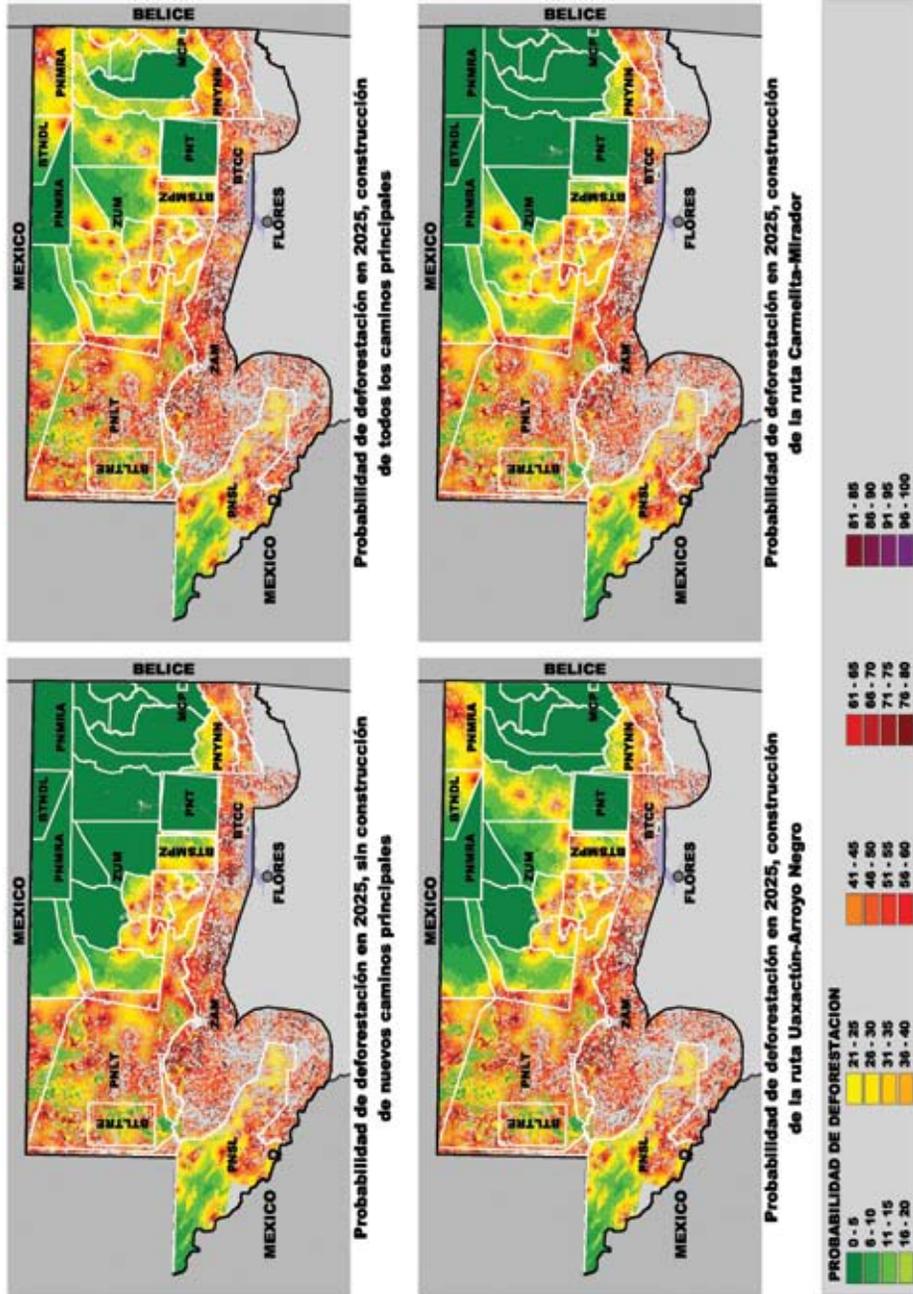


FIGURA 7. PROBABILIDADES DE DEFORESTACIÓN MODELADAS PARA LOS CUATRO ESCENARIOS HASTA 2025

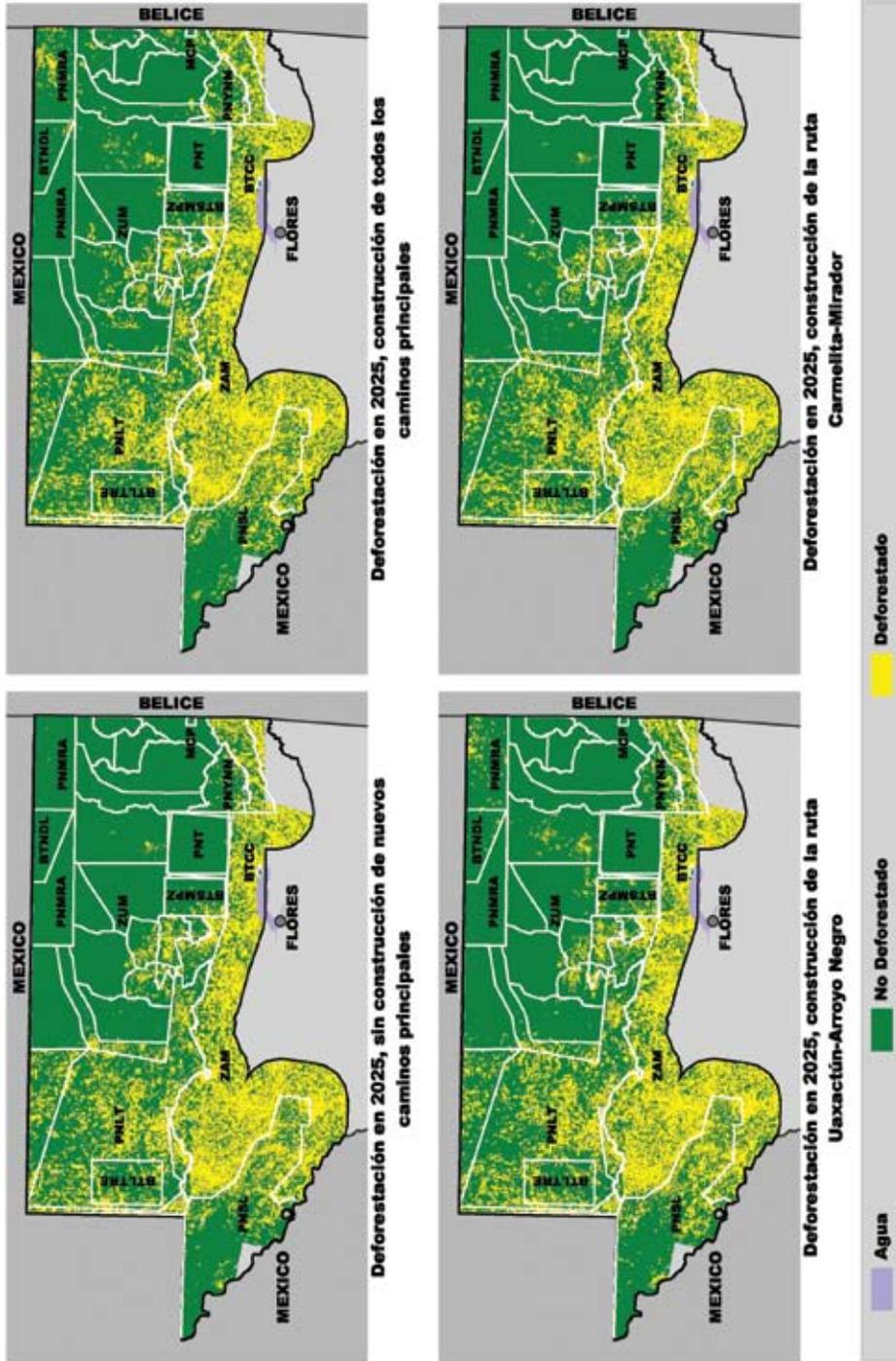


FIGURA 8. DEFORESTACIÓN SIMULADA PARA LOS CUATRO ESCENARIOS HASTA 2025

Alto-Medio corresponden a los reportados por Arreaga (2002). Para Bosque Bajo se usaron los valores reportados por Ruiz (2002), referidos a bosques secundarios de entre 5 y 20 años de edad, que son estructuralmente parecidos a los bosques bajos; y para humedales también se usaron los valores de Ruiz (2002), que el autor reportó para pastizales nativos con árboles dispersos, lo que corresponde de manera general a las características de un humedal en la RBM. Igualmente, para tener el balance de carbono neto emitido directamente por quema y/o respiración se estimó el carbono remanente en sistemas agropecuarios que reemplazaron la vegetación deforestada, asumiendo valores constantes de proporción de usos posteriores del suelo. Los valores de contenidos de carbono de sistemas agropecuarios de reemplazo fueron tomados de Winrock (1998) y Ruiz (2002). Los resultados de la estimación de pérdidas netas de carbono se presentan en la Tabla 5 y los detalles de los cálculos se muestran en el Anexo 5.

La estimación de pérdidas de carbono por deforestación en los escenarios hasta el año 2025 muestra valores totales de pérdidas de carbono de 8.5 millones de toneladas en el escenario de construcción de todos los nuevos caminos, 3.4 millones de toneladas en escenario de construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro y 775,086 toneladas en el escenario de construcción de la ruta Carmelita-Mirador.

TABLA 5. CÁLCULO DE PÉRDIDAS NETAS DE CARBONO POR ESCENARIO Y FECHA

PÉRDIDAS DE CARBONO POR DEFORESTACIÓN (toneladas)					
Escenario/periodo	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	
Escenario sin construcción de nuevos caminos	20,056,310.9	19,592,555.2	18,623,818.8	17,830,389.3	
Escenario construcción de todos los nuevos caminos	21,755,483.2	22,241,358.2	21,595,565.1	21,232,829.2	
Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	20,542,730.5	20,659,964.5	19,956,550.4	19,323,531.2	
Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	20,117,308.0	19,908,761.7	19,126,875.3	18,149,748.1	
CARBONO REMANENTE POR SISTEMAS AGROPECUARIOS (toneladas)					
ESCENARIO	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	
Escenario sin construcción de nuevos caminos	4,495,685.6	4,426,744.5	4,178,193.7	3,978,627.3	
Escenario construcción de todos los nuevos caminos	4,840,995.8	4,925,055.6	4,843,414.8	4,740,003.2	
Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	4,619,053.9	4,644,453.2	4,446,701.1	4,310,028.4	
Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	4,536,808.3	4,517,456.5	4,315,471.1	4,134,047.2	
BALANCE (PÉRDIDAS - REMANENTE) (toneladas)					
ESCENARIO	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	
Escenario sin construcción de nuevos caminos	15,560,625.3	15,165,810.7	14,445,625.2	13,851,762.0	
Escenario construcción de todos los nuevos caminos	16,914,487.4	17,316,302.6	16,752,150.3	16,492,826.1	
Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	15,923,676.6	16,015,511.3	15,509,849.3	15,013,502.8	
Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	15,580,499.7	15,391,305.3	14,811,404.2	14,015,700.9	
BALANCE CONTRA ESCENARIO DE REFERENCIA (toneladas)					
ESCENARIO	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	TOTAL
Escenario sin construcción de nuevos caminos	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Escenario construcción de todos los nuevos caminos	1,353,862.1	2,150,491.9	2,306,525.1	2,641,064.1	8,451,943.1
Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	363,051.3	849,700.6	1,064,224.1	1,161,740.8	3,438,716.7
Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	19,874.4	225,494.6	365,779.0	163,939.0	775,086.9

Incendios

Antecedentes

Tres evaluaciones de determinación de superficies de incendios forestales han sido completadas registrando datos para 1998 (Ramos y Bernaldes, 2001), 2003 (WCS, CONAP, FIPA/AID, 2003) y 2005 (WCS y CONAP, 2005), que corresponden a las temporadas documentadas de incendios más graves en la historia de la RBM.

Los resultados de estas tres evaluaciones arrojaron datos cercanos a 400,000 hectáreas de bosque y/o vegetación natural quemados en cada una de las temporadas evaluadas dentro de la RBM, lo que equivaldría a un 20% de su extensión, ya que mayormente los incendios fueron recurrentes en cuanto a su localización. Para tener una idea de contexto del tamaño del área quemada, esa superficie tiene una extensión aproximada similar a la mitad del tamaño de Puerto Rico o a 1/5 de la superficie de El Salvador o Belice. La Figura 9 muestra su distribución geográfica (el color rojo simboliza las áreas quemadas) y la Tabla 6 muestra la distribución de superficies quemadas por unidad de manejo en la RBM en 1998, 2003 y 2005.

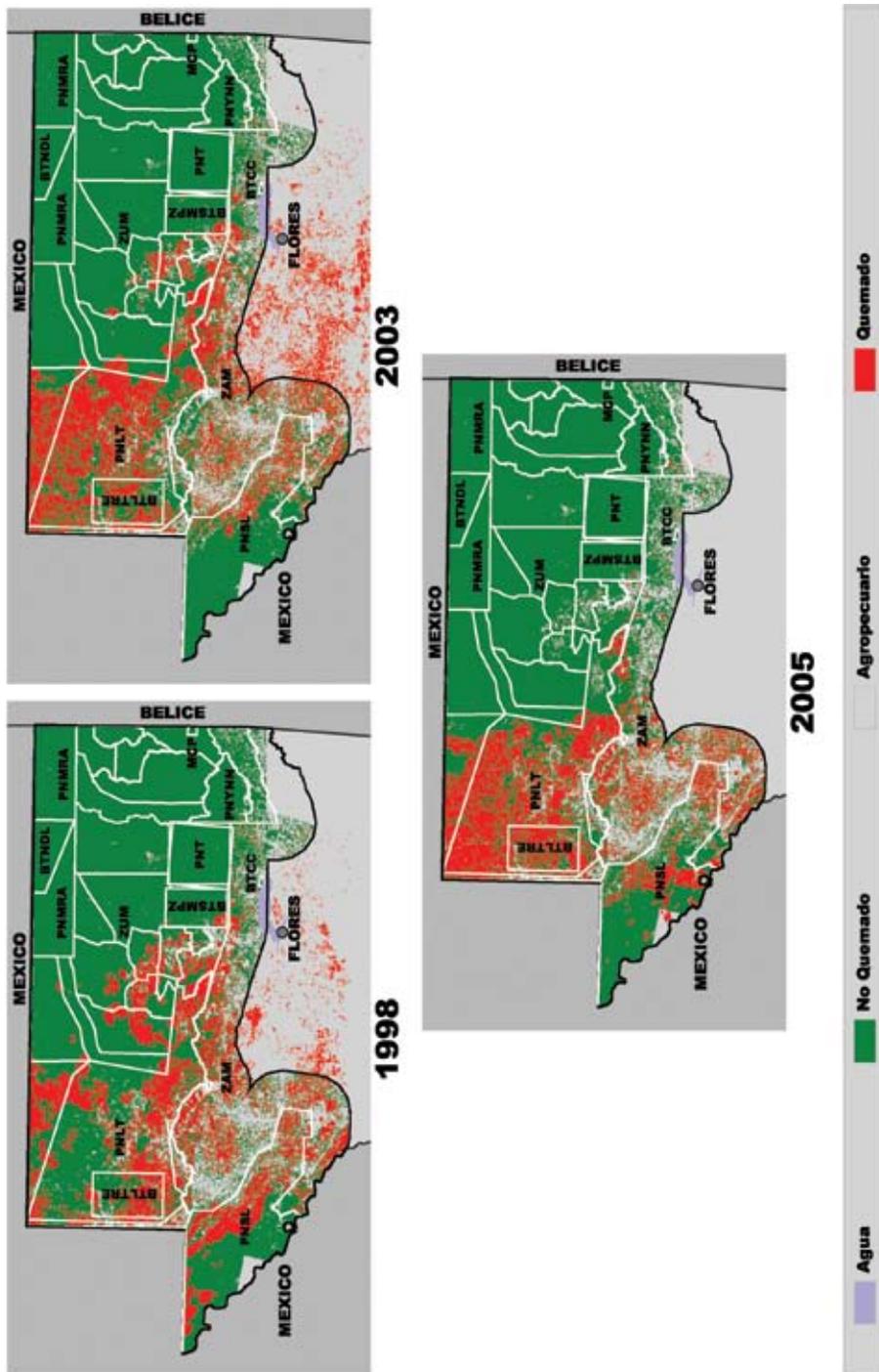


FIGURA 9. SUPERFICIES QUEMADAS EN LA RBM, 1998, 2003 Y 2005

TABLA 6. SUPERFICIES QUEMADAS POR UNIDAD DE MANEJO Y TEMPORADA DE INCENDIOS

Unidad de Manejo	Superficie quemada 1998 (ha)	Superficie quemada 2003 (ha)	Superficie quemada 2005 (ha)
Parque Nacional Sierra del Lacandón	66,035.9	28,856.6	46,920.7
Parque Nacional Laguna del Tigre	112,391.0	161,873.6	166,083.7
Parque Nacional Tikal	24.9	12.7	0.4
Parque Nacional Mirador-Río Azul	0.0	0.0	2.9
Parque Nacional Yaxhá-Nakúm-Naranjo	172.5	170.5	116.3
Biotopo Laguna del Tigre-Río Escondido	22,565.3	18,755.0	29,606.9
Biotopo San Miguel la Palotada-El Zotz	1,992.2	2,423.8	282.7
Biotopo Naachtún Dos Lagunas	0.0	0.0	0.0
Biotopo Cerro Cahuí	0.0	0.3	1.1
Monumento Cultural El Pilar	0.0	0.0	0.0
Zona de Uso Múltiple	102,229.1	76,870.4	41,563.0
Zona de Amortiguamiento	128,045.6	109,522.8	90,663.7
TOTAL	433,456.5	398,485.7	375,241.1

Como lo muestra la Figura 9, la ocurrencia de incendios forestales tiene un patrón espacial aparentemente asociado a las zonas con más dinámica de expansión de la frontera agrícola, es decir, coincide con las regiones de la RBM con las tasas más altas de deforestación. Este patrón de ocurrencia de incendios está ligado, presuntamente, al uso inapropiado del fuego como herramienta agropecuaria. En mucho menor porcentaje, los incendios también son causados por el uso del fuego en la cacería. Además, se ha especulado con los incendios provocados intencionalmente.

Adicionalmente, se cree que la recurrencia de incendios en el mismo patrón espacial también está asociada al establecimiento de retroalimentaciones positivas del fuego causadas por antecedentes de incendios y fragmentación de la vegetación original, tal como se ha demostrado en otros sitios con características similares a las que predominan en la RBM (Alencar *et al.*, 2004; Cochrane *et al.*, 1999; Nepstad *et al.*, 2001)

Además, en apariencia, el cambio climático global y una frecuencia presuntamente mayor en la ocurrencia del fenómeno de El Niño han provocado anomalías climáticas más o menos prolongadas, caracterizadas por temporadas secas con menos lluvia y con temperaturas más altas. En dos de las tres temporadas de incendios descritas en esta sección (1998, 2003), se registraron características asociadas a la ocurrencia de El Niño.

La Figura 10 muestra valores promedio de anomalías de temperatura del mar en la costa pacífica de Sudamérica entre 1995 y 2005 y su coincidencia con la ocurrencia de incendios extensos en la RBM. Las anomalías de temperatura del mar en esta zona son una manifestación de la Oscilación del Sur, estrechamente relacionada con El Niño.

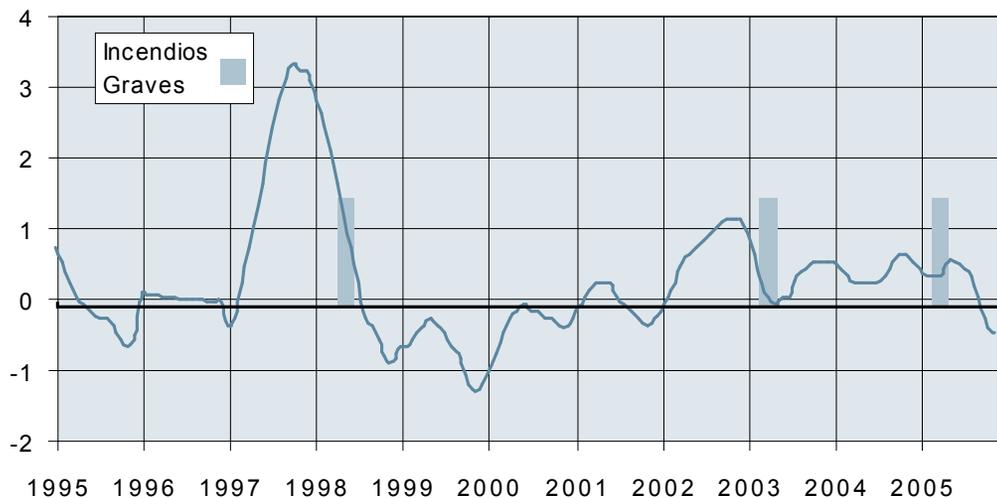


FIGURA 10. ANOMALÍAS DE TEMPERATURA (C°) EN LA COSTA PACÍFICA DE SUDAMÉRICA, 1995-2005 (CENTER FOR OCEAN-ATMOSPHERIC PREDICTION STUDIES, 2006)

En este contexto, no es exagerado afirmar que dado un previsible incremento en la frecuencia de sequías y disturbios en el comportamiento del clima, en línea con tendencias demostradas para otros sitios (Westerling *et al.*, 2006), los incendios forestales son la amenaza más inmediata y potencialmente destructiva para la RBM.

Modelamiento de los incendios y efectos sobre el carbono, madera y xate

Dados los antecedentes de ocurrencia de incendios en la RBM en la última década (WCS y CONAP, 2005; WCS, CONAP, FIPA/AID, 2003; y Ramos y Bernaldes, 2001) y evidencias sobre el incremento en la frecuencia e intensidad de los incendios forestales (Westerling *et al.*, 2006), se modeló la ocurrencia de incendios en los cuatro escenarios evaluados igualmente para deforestación. De nuevo, el objetivo principal de la evaluación fue el de obtener información sobre los efectos indirectos de la construcción de los caminos modelados y traducirlos en valores de carbono perdido por incendios y daños a recursos maderables y no maderables en las zonas de la RBM donde éstos tienen valor de uso (en todas excepto en las zonas núcleo).

El razonamiento general para modelar la ocurrencia de incendios se basa en un ejercicio de simulación de propagación de incendios forestales a partir de fuentes de ignición a través de una superficie de fricción, compuesta por tipos de vegetación, pendientes y antecedentes de incendios forestales⁵. Los valores asignados a la superficie de fricción se muestran en la Tabla 7.

TABLA 7. FRICCIÓN POR TIPO DE SUPERFICIE

Tipo de Vegetación	Fricción
Bosque Alto-Medio en pendientes 0%-25%	0.8
Bosque Alto-Medio en pendientes 25%-50%	0.75
Bosque Alto-Medio en pendientes >50%	0.65
Bosque Alto-Medio Quemado en pendientes 0%-25%	0.4
Bosque Alto-Medio Quemado en pendientes 25%-50%	0.35
Bosque Alto-Medio Quemado en pendientes >50%	0.25
Bosque Bajo	0.3
Humedales y Sabanas Inundables	0.05
Agropecuario-Secundario en pendientes 0%-25%	0.3
Agropecuario-Secundario en pendientes 25%-50%	0.25
Agropecuario-Secundario en pendientes >50%	0.15
Agua	no se propaga

La interpretación de los valores asignados a cada tipo de superficie se basa en que un número más bajo denota menos fricción o sea más facilidad para la propagación de incendios y viceversa. Así los valores de fricción más bajos se asignaron a Humedales-

⁵ Estos valores representan únicamente estimaciones generales subjetivas y no están respaldados por investigación o referencias.

Sabanas Inundables, conocidas por su alta combustibilidad y la facilidad con la que el fuego se propaga en ellas. La superficie con más fricción corresponde a Bosques Alto-Medios, sin antecedentes de incendios y en terrenos planos, donde el fuego se propaga más lentamente porque, entre otros factores, el material combustible tiende a conservar mejor la humedad, lo que es menos favorable para la propagación del fuego.

Se simuló la ocurrencia de incendios graves en al menos dos ocasiones durante el periodo de modelamiento entre 2005 y 2025. El primer incendio se modeló para ocurrir en 2010 y el segundo se modeló para ocurrir en 2020. Estas frecuencias de ocurrencia de incendios graves (uno cada diez años) son conservadoras si se toman en cuenta los antecedentes de ocurrencia para la RBM que ha registrado tres temporadas graves de incendios (en 2005, 2003 y 1998) en un periodo de ocho años.

El criterio general para iniciar un incendio fue determinado analizando datos de deforestación (donde se usó fuego para habilitar áreas agropecuarias) con respecto a la ocurrencia de fuegos en la temporada 2005. Se determinó que al menos el 50% de las rozas tuvieron el potencial de haber sido puntos de ignición para la ocurrencia de incendios, así que se aplicó ese porcentaje para seleccionar el 50% de los polígonos deforestados modelados en uno de los años de cada periodo de cinco años. Una vez seleccionados los puntos de ignición, se calculó una superficie de costo de acceso usando como origen los puntos de ignición y como superficie de costo la fricción. Los límites de propagación de incendios fueron definidos calibrando la superficie de costo de propagación generada contra los límites máximos de superficie quemada en 2005. Esto se hizo usando el valor promedio de la superposición del perímetro del área quemada en 2005 sobre el costo de propagación del incendio calculado para esa fecha, y ese valor se usó como umbral para definir el área quemada en las dos fechas modeladas en el futuro. El Anexo 6 presenta una descripción esquemática del procedimiento usado.

Se modeló la ocurrencia de incendios para los cuatro escenarios de deforestación en dos periodos, como se mencionó antes. La Figura 11 muestra los resultados del modelamiento para cada una de las fechas y escenarios, mostrando áreas quemadas de vegetación natural (rojo), áreas deforestadas (amarillo) y áreas no quemadas (verde).

Las estimaciones de superficies quemadas por fechas de ocurrencia y escenario se muestran en la Tabla 8. Estos valores fueron usados para determinar estimados de pérdidas de carbono, calculados únicamente en la biomasa encima del suelo.

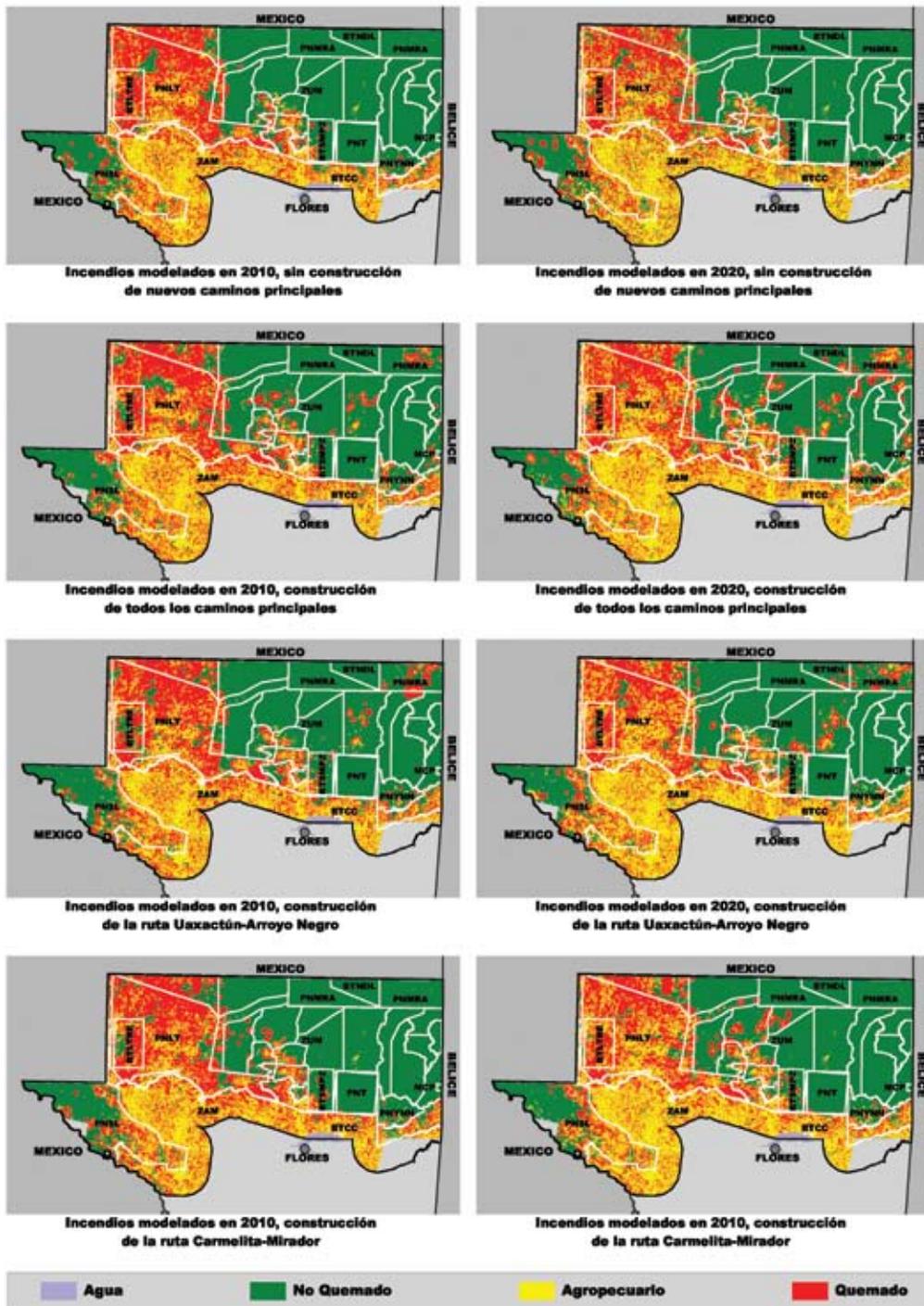


FIGURA 11. ÁREA AFECTADA POR INCENDIOS MODELADOS PARA LOS CUATRO ESCENARIOS Y DOS FECHAS DE OCURRENCIA

TABLA 8. SUPERFICIES QUEMADAS POR ESCENARIO, FECHA Y TIPO DE VEGETACIÓN AFECTADA

Fecha	Escenario	Humedales-Sabanas Inundables (km ²)	Bosque Bajo (km ²)	Bosque Alto-Medio (km ²)	TOTAL (km ²)	Diferencia contra escenario de referencia (km ²)
Entre 2010-2015	Escenario sin construcción de nuevos caminos	835.1	1,195.4	3,770.6	5,801.0	N/A
	Escenario construcción de todos los nuevos caminos	830.6	1,262.5	4,119.6	6,212.7	411.7
	Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	826.2	1,254.6	3,877.7	5,958.6	157.6
	Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	837.0	1,205.1	3,927.9	5,970.0	169.0
Entre 2020-2025	Escenario sin construcción de nuevos caminos	774.5	1,001.5	3,462.2	5,238.3	N/A
	Escenario construcción de todos los nuevos caminos	795.7	1,245.3	4,243.1	6,284.2	1,046
	Escenario construcción de la ruta Uaxactún.Arroyo Negro	786.8	1,084.4	3,769.0	5,640.2	402
	Escenario construcción de la ruta Carmelita.Mirador	772.5	1,080.7	3,670.5	5,523.7	285

La estimación de las pérdidas de carbono se hizo a través de la aplicación de un “factor de emisión de carbono”, definido para cada tipo de vegetación quemada y con base en la bibliografía disponible sobre la relación entre carbono y ocurrencia de incendios rastroeros. El factor de emisión de Humedales y Bosque Alto-Medio fue obtenido de Andrade de Castro y Kauffman (1998), mientras que para Bosque Bajo fue usado el valor sugerido por Cairns *et al.* (2000). En todos los casos los valores de contenidos de carbono hacen referencia únicamente a la biomasa arriba del suelo y corresponden a los usados para modelar pérdidas de carbono por deforestación, que fueron obtenidos de Arreaga (2002) para bosque alto-medio, y de Ruiz (2002) para bosque bajo y humedales.

La Tabla 9 muestra los estimados de pérdidas de carbono, consecuencia de incendios forestales modelados para cada escenario, fecha y tipo de vegetación. Diferencias en toneladas de carbono contra escenario de referencia también son presentados. El Anexo 7 contiene más detalles sobre las estimaciones de pérdidas de carbono causadas por incendios forestales.

Se evaluó también la pérdida de recursos maderables a causa de la ocurrencia de incendios forestales. Para la evaluación se estimó un volumen promedio ponderado por la superficie de cada unidad de manejo de tres grupos de especies (clasificados de acuerdo a su valor y uso en el mercado), basado en datos reportados por 18 inventarios forestales realizados en unidades bajo manejo forestal en la RBM y cuyos datos de

TABLA 9. PÉRDIDAS DE CARBONO POR INCENDIOS POR ESCENARIO, FECHA Y TIPO DE VEGETACIÓN QUEMADA

Fecha	Escenario	Humedales-Sabanas Inundables	Bosque Bajo	Bosque Alto-Medio	TOTAL	Diferencia contra escenario de referencia
Carbono arriba del suelo en Ton/km ²		910	3,310	10,640	No Aplica	No Aplica
Factor de emisión por tipo de vegetación		0.84	0.25	0.09	No Aplica	No Aplica
Entre 2010-2015 (en toneladas)	Escenario sin construcción de nuevos caminos	638,312.2	989,185.2	3,610,688.3	5,238,185.7	No Aplica
	Escenario construcción de todos los nuevos caminos	634,872.4	1,044,718.8	3,944,967.3	5,624,558.4	386,372.7
	Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	631,562.6	1,038,181.5	3,713,323.8	5,383,067.9	144,882.2
	Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	639,779.9	997,203.7	3,761,385.8	5,398,369.3	160,183.6
Entre 2020-2025 (en toneladas)	Escenario sin construcción de nuevos caminos	592,035.4	828,766.1	3,315,421.9	4,736,223.4	
	Escenario construcción de todos los nuevos caminos	608,248.4	1,030,485.8	4,063,230.9	5,701,965.0	965,741.6
	Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	601,437.6	897,316.2	3,609,184.8	5,107,938.6	371,715.2
	Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	590,483.7	894,295.8	3,514,899.5	4,999,679.0	263,455.6

campo fueron colectados mayormente en los últimos 10 años. Los detalles del cálculo del volumen ponderado se muestran en el Anexo 8, así como el listado de especies por grupo comercial de acuerdo a 18 planes de manejo de unidades en la RBM.

Para estimar daños ocurridos a recursos maderables a causa de incendios forestales se definieron supuestos sobre su distribución actual en la RBM, basada principalmente en los antecedentes de ocupación humana y lo que esto significa para sus existencias actuales. Estos supuestos están encaminados a corregir sesgos en la extrapolación de volúmenes comerciales de madera en la ZAM de la RBM, donde es del conocimiento general que los grupos comerciales de especies con mercado totalmente desarrollado (AAACOM) y especies con mercado parcialmente desarrollado (ACTCOM) muy probablemente tengan volúmenes por unidad de área muy por debajo de los reportados en los inventarios forestales usados como fuente⁶. La Tabla 10 muestra estos supuestos. Adicionalmente, un factor de pérdida de volumen por fuego fue obtenido de la bibliografía (Monterroso y Buch, 2003) y la ocurrencia de pérdidas fue limitada a Bosque Alto-Medio, donde se concentran los volúmenes maderables comerciales. La Tabla 11 muestra los estimados.

TABLA 10. VOLÚMENES DE MADERA POR GRUPO COMERCIAL EN 18 UNIDADES DE MANEJO FORESTAL EN LA RBM

Supuestos generales para estimar volúmenes y precios de madera perdida por ocurrencia de incendios forestales	Especies con mercado totalmente desarrollado (AAACOM)	Especies con mercado parcialmente desarrollado (ACTCOM)	Especies con potencial comercial (POTCOM)
Volúmenes en m ³ /km ² para Zona de Uso Múltiple por grupo de especies	158.01	564.68	888.84
Volúmenes en m ³ /km ² para Zona de Amortiguamiento por grupo de especie (castigados con respecto a volúmenes reportados para ZUM con factores de 0.25 para AAACOM, 0.8 para ACTCOM y no castigado para POTCOM)	39.50	451.74	888.84

Para estimar daños en xate (*Chamaedorea* sp. con valor comercial) causados por incendios forestales fueron usados los supuestos mostrados en la Tabla 12 y relacionados a disponibilidad de hojas comerciales, variación entre disponibilidad de hojas entre ZUM y ZAM y precios actuales de hojas⁷.

⁶ Debe dejarse claro, sin embargo, que estos supuestos son subjetivos y no se basan en ninguna información disponible que documente ese aspecto.

⁷ Las estimaciones se hacen sobre los valores promedio de hojas comerciales por unidad de área, aunque los incendios causan la muerte del 95% de las plantas, es decir, destruyen no solamente las hojas con valor comercial, sino la planta entera (Pinelo, 2001). No se dispone de información sobre la regeneración de xate luego de incendios forestales. Se asume la regeneración de hojas perdidas entre incendios.

TABLA 11. PÉRDIDAS EN VOLUMEN DE RECURSOS MADERABLES A CAUSA DE LOS INCENDIOS FORESTALES MODELADOS

ESCENARIO	Fecha	Zona	Superficie de Quemada de Bosque Alto/Medio	Factor de pérdida de volumen	Volumen arriba de 25 cm de DAP en m³		
					AAACOM	POTCOM	
Escenario sin construcción de nuevos caminos	Entre 2010-2015	Zona de Uso Múltiple	821.2	0.10	12,976	46,372	72,993
		Zona Núcleo *	1,804.2	0.00	0	0	0
	Entre 2020-2025	Zona de Amortiguamiento	1,145.2	0.10	4,524	51,732	101,787
		Zona de Uso Múltiple	798.4	0.10	12,615	45,081	70,961
		Zona Núcleo *	1,786.2	0.00	0	0	0
		Zona de Amortiguamiento	877.7	0.10	3,467	39,649	78,013
Escenario construcción de todos los nuevos caminos	Entre 2010-2015	Zona de Uso Múltiple	1,079.4	0.10	17,056	60,951	95,941
		Zona Núcleo *	1,888.9	0.00	0	0	0
	Entre 2020-2025	Zona de Amortiguamiento	1,151.3	0.10	4,548	52,010	102,334
		Zona de Uso Múltiple	1,259.4	0.10	19,899	71,113	111,937
		Zona Núcleo *	2,093.1	0.00	0	0	0
		Zona de Amortiguamiento	890.7	0.10	3,518	40,235	79,165
Escenario construcción de la ruta Uaxactún- Arroyo Negro	Entre 2010-2015	Zona de Uso Múltiple	867.0	0.10	13,700	48,957	77,062
		Zona Núcleo *	1,854.2	0.00	0	0	0
	Entre 2020-2025	Zona de Amortiguamiento	1,156.5	0.10	4,569	52,245	102,797
		Zona de Uso Múltiple	963.2	0.10	15,219	54,389	85,612
		Zona Núcleo *	1,907.2	0.00	0	0	0
		Zona de Amortiguamiento	898.7	0.10	3,550	40,596	79,876
Escenario construcción de la ruta Carmelita- Mirador	Entre 2010-2015	Zona de Uso Múltiple	895.9	0.10	14,156	50,590	79,633
		Zona Núcleo *	1,860.7	0.00	0	0	0
	Entre 2020-2025	Zona de Amortiguamiento	1,171.3	0.10	4,627	52,914	104,113
		Zona de Uso Múltiple	970.9	0.10	15,341	54,824	86,297
		Zona Núcleo *	1,796.5	0.00	0	0	0
		Zona de Amortiguamiento	903.1	0.10	3,568	40,798	80,274

* No calculado, sin valor de uso dado que en las zonas núcleo estos recursos no pueden ser explotados.

TABLA 12. SUPUESTOS ASUMIDOS PARA ESTIMAR PÉRDIDAS POR INCENDIOS FORESTALES CAUSADAS A PLANTAS DE XATE (*CHAMAEDOREA* SP.)

Supuestos generales para estimar volúmenes y precios de xate perdido por incendios forestales	Xate hembra (<i>Chamaedorea elegans</i>)	Xate jade (<i>Chamaedorea oblongata</i>)
Hojas aprovechables por km ² en la ZUM (Radachowsky <i>et al.</i> , 2004)	3,200.00	52,800.00
Hojas aprovechables por km ² en la ZAM (obtenido de castigar valores en ZUM con un factor de 0.25)	800.00	13,200.00

La Tabla 13 muestra los estimados de pérdidas en número de hojas comerciales, donde se asume la existencia de xate (*Chamaedorea* sp.) con valor comercial únicamente en Bosque Alto-Medio, y factores de pérdida reportados por efectos del fuego sobre existencias de plantas de xate (*Chamaedorea elegans* y *Chamaedorea oblongata*) (Pinelo, 2001).

Como se demostró en las Tablas 11 y 13 la pérdida en volumen de recursos maderables y de hoja de xate a causa de los incendios modelados aumenta en todos los escenarios de construcción de carreteras, siendo el escenario de construcción de todos los tramos el escenario donde se dan las mayores pérdidas.

TABLA 13. PÉRDIDAS EN HOJAS DE XATE COMERCIAL (*CHAMAEDOREA ELEGANS* Y *CHAMAEDOREA OBLONGATA*) A CAUSA DE LOS INCENDIOS FORESTALES MODELADOS

ESCENARIO	Fecha	Zona	Superficie quemada de bosque	Factor de pérdida de hojas	Número de hojas (en miles) perdidas	
					Xate hembra	Xate jade
Escenario sin construcción de nuevos caminos	Entre 2010-2015	Zona de Uso Múltiple	821.21	0.95	2,496.5	41,191.8
		Zona Núcleo	1,804.19	0.00	0.0	0.0
	Entre 2020-2025	Zona de Amortiguamiento	1,145.16	0.95	870.3	14,360.3
		Zona de Uso Múltiple	798.35	0.95	2,427.0	40,045.3
Escenario construcción de todos los nuevos caminos	Entre 2010-2015	Zona Núcleo	1,786.18	0.00	0.0	0.0
		Zona de Amortiguamiento	877.69	0.95	667.0	11,006.2
		Zona de Uso Múltiple	1,079.40	0.95	3,281.4	54,142.5
		Zona Núcleo	1,888.93	0.00	0.0	0.0
	Entre 2020-2025	Zona de Amortiguamiento	1,151.32	0.95	875.0	14,437.5
		Zona de Uso Múltiple	1,259.35	0.95	3,828.4	63,169.1
		Zona Núcleo	2,093.14	0.00	0.0	0.0
		Zona de Amortiguamiento	890.65	0.95	676.9	11,168.8
Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	Entre 2010-2015	Zona de Uso Múltiple	867.00	0.95	2,635.7	43,488.5
		Zona Núcleo	1,854.22	0.00	0.0	0.0
	Entre 2020-2025	Zona de Amortiguamiento	1,156.52	0.95	879.0	14,502.8
		Zona de Uso Múltiple	963.18	0.95	2,928.1	48,313.1
Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	Entre 2010-2015	Zona Núcleo	1,907.15	0.00	0.0	0.0
		Zona de Amortiguamiento	898.66	0.95	683.0	11,269.1
		Zona de Uso Múltiple	895.91	0.95	2,723.6	44,938.9
		Zona Núcleo	1,860.68	0.00	0.0	0.0
	Entre 2020-2025	Zona de Amortiguamiento	1,171.34	0.95	890.2	14,688.6
		Zona de Uso Múltiple	970.89	0.95	2,951.5	48,699.8
		Zona Núcleo	1,796.51	0.00	0.0	0.0
		Zona de Amortiguamiento	903.13	0.95	686.4	11,325.2

Fragmentación

Un efecto indirecto adicional de la ampliación de redes de carreteras es la fragmentación del hábitat, que se manifiesta principalmente en el incremento de los efectos de borde y sus consecuencias reflejadas en cambios en la riqueza y abundancia de especies, pérdida de conectividad y alteraciones en el funcionamiento y la dinámica ecológica general de las áreas fragmentadas.

Para estimar los efectos de la fragmentación, en este trabajo se usaron tres indicadores principales:

- El largo total de borde de los fragmentos de vegetación natural remanente en 2025, usando los mapas modelados de deforestación en esa fecha.
- La superficie de “áreas núcleo”, definidas como las áreas dentro de un buffer interno del hábitat natural a cuya distancia los efectos de borde son mínimos para diferentes grupos de especies.
- Estadísticas de número y tamaño de fragmentos de “áreas núcleo”.

La Tabla 14 muestra valores de longitudes totales de borde de hábitat para cada escenario de construcción de caminos modelado, las diferencias contra el escenario de referencia y valores de superficie de “área núcleo” definidas por diferentes valores de buffer interno.

Los valores estimados para la longitud de borde muestran un incremento consistente en este indicador de fragmentación al compararlos con el escenario de referencia. Los resultados muestran que se crearían entre 191.8 km y 2,767.4 km nuevos de borde en los escenarios de construcción de caminos.

Efectos igualmente consistentes ocurren en cuanto a tamaños de “área núcleo” a diferentes distancias del buffer interno. Las diferencias de superficie entre el escenario de referencia y los escenarios de construcción de caminos nuevos muestran que en el caso de construirse todos los caminos modelados, el hábitat sin efecto de borde (“área núcleo”) con un buffer de 3,000 m sería casi la mitad del que quedaría en el escenario de referencia. Esto puede ser interpretado como una severa reducción de la cantidad de hábitat adecuado para especies poco tolerantes a los efectos de borde, tales como el tapir (*Tapirus bairdii*), para los que aplican los tamaños de buffer interno más grandes.

TABLA 14. LONGITUDES TOTALES DE BORDE DE HÁBITAT Y SUPERFICIES DE “ÁREAS NÚCLEO” DEFINIDAS A DIFERENTES TAMAÑOS DE BUFFER INTERNO EN 2025

Parámetro	Escenario sin construcción de nuevos caminos	Escenario construcción de todos los nuevos caminos	Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador
Largo total de borde en km	35,851.0	38,618.4	37,009.0	36,042.8
Diferencia de largo total de borde contra escenario de referencia	No Aplica	2,767.4	1,158.0	191.8
“Area Núcleo” a 500 m o más de borde (km ²)	9,293.7	7,981.3	8,673.9	9,059.1
“Area Núcleo” a 3,000 m o más de borde (km ²)	6,287.4	2,983.2	4,792.4	5,418.9
Diferencia de “Area Núcleo” a 500 m o más de borde (km ²) contra escenario de referencia	No Aplica	1,312.3	619.8	234.5
Diferencia de “Area Núcleo” a 3,000 m o más de borde (km ²) contra escenario de referencia	No Aplica	3,304.2	1,494.9	868.5

La Tabla 15 muestra estadísticas de los fragmentos remanentes luego de aplicados los buffer internos para definir “áreas núcleo”, incluyendo número de fragmentos, número de fragmentos por superficie, tamaños máximo y tamaño promedio de fragmentos, para cada uno de los escenarios y para cada tamaño de buffer interno.

Las estadísticas de fragmentos, luego de aplicados los buffer internos para definición de “áreas núcleo”, permiten señalar como efectos indirectos de la construcción de caminos:

- El incremento en el número de fragmentos.
- La reducción en el tamaño máximo de los fragmentos.
- La reducción en el tamaño promedio de los fragmentos.

Las magnitudes de estos efectos están directamente relacionadas con el tamaño de buffer interno del “área núcleo”, tal y como podría esperarse. Los resultados de la modelación de hábitat en “área núcleo” hacia 2025 con buffers de 500 y 3,000 m se muestran en la Figura 12.

TABLA 15. ESTADÍSTICAS DE FRAGMENTOS POR TAMAÑO DE BUFFER INTERNO Y ESCENARIO

Tamaño de buffer para "Área Núcleo"	Escenario	Número de fragmentos	Número > 100 ha	Número > 1000 ha	Número > 10000 ha	Número > 50000 ha	Tamaño Máximo (km ²)	Tamaño Promedio (km ²)
"Área Núcleo" a 500 m o más de borde	Escenario sin construcción de nuevos caminos	1,077	88	16	3	2	7,900.5	8.6
	Escenario construcción de todos los nuevos caminos	1,269	107	15	3	2	6,459.5	6.3
	Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	1,239	90	17	3	2	7,187.0	7.0
"Área Núcleo" a 3,000 m o más de borde	Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	1,160	90	10	4	2	7,634.5	7.8
	Escenario sin construcción de nuevos caminos	11	3	2	1	1	6,247.1	571.6
	Escenario construcción de todos los nuevos caminos	34	13	6	3	2	1,755.5	87.7
"Área Núcleo" a 3,000 m o más de borde	Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	16	8	4	2	2	2,539.1	299.4
	Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	15	7	4	2	1	5,214.7	353.9



Análisis económico de los
proyectos carreteros

Metodología

Se realizó un análisis de costo-beneficio de proyectos carreteros dentro de la Selva Maya para determinar su factibilidad económica, según el enfoque del excedente del consumidor. Los beneficios se calculan en base a los costos de transporte, también conocido como el Costo Total de los Usuarios de la carretera (CTU). El CTU comprende los costos de operación vehicular (combustible, lubricantes, llantas, mantenimiento, reemplazo de vehículo, etc.) y el tiempo de viaje por parte de los usuarios así como el aumento en la actividad de transporte debido al mejoramiento de los tramos. El beneficio de proyectos carreteros se resume a su capacidad de generar ahorros en el CTU entre usuarios actuales, además del incremento en uso debido a la reducción en precios de transporte. También se estiman beneficios indirectos generados por los proyectos carreteros. Los tramos analizados son los siguientes:

1. Proyecto Tikal-Caobas, compuesto por los subtramos siguientes:
 - Tikal-Uaxactún
 - Uaxactún-Arroyo Negro
 - Arroyo Negro-Caobas
2. Proyecto San Andrés-Mirador compuesto por los subtramos siguientes:
 - San Andrés-Carmelita
 - Carmelita-Mirador

Descripción de los proyectos carreteros

Descripción del proyecto carretero Caobas–Tikal

Se evaluaron los beneficios económicos generados por la consolidación de la ruta alternativa entre Caobas (México) y Flores (Guatemala), que se contrapone a la ruta actual vía Belice. La principal justificación de ese proyecto se basa en el supuesto que la ruta alternativa implica una menor distancia y, por lo tanto, menores costos a los usuarios de la carretera. Se adoptó la ruta alternativa identificada por el estudio de la Secretaría de Comunicación y Transportes (SCT) y el Gobierno del Estado de Quintana Roo (2004). Debido a la falta de información clara sobre la ubicación y distancias de la ruta alternativa en el estudio de SCT, se asumió que el tramo que pasaría por Guatemala tomaría el tramo ya existente entre Uaxactún y Tikal, y luego el tramo pavimentado siguiente hasta Flores. Esta ruta, en su sección en Guatemala, es la más directa y generaría los mayores ahorros a los usuarios (Figura 13).

Nuestro análisis se realizó desde los puntos de vista de la sociedad guatemalteca y de la mexicana, basándose en el análisis mexicano desarrollado por SCT (2004). En el análisis de SCT no se toman en cuenta los costos ni los beneficios locales que el

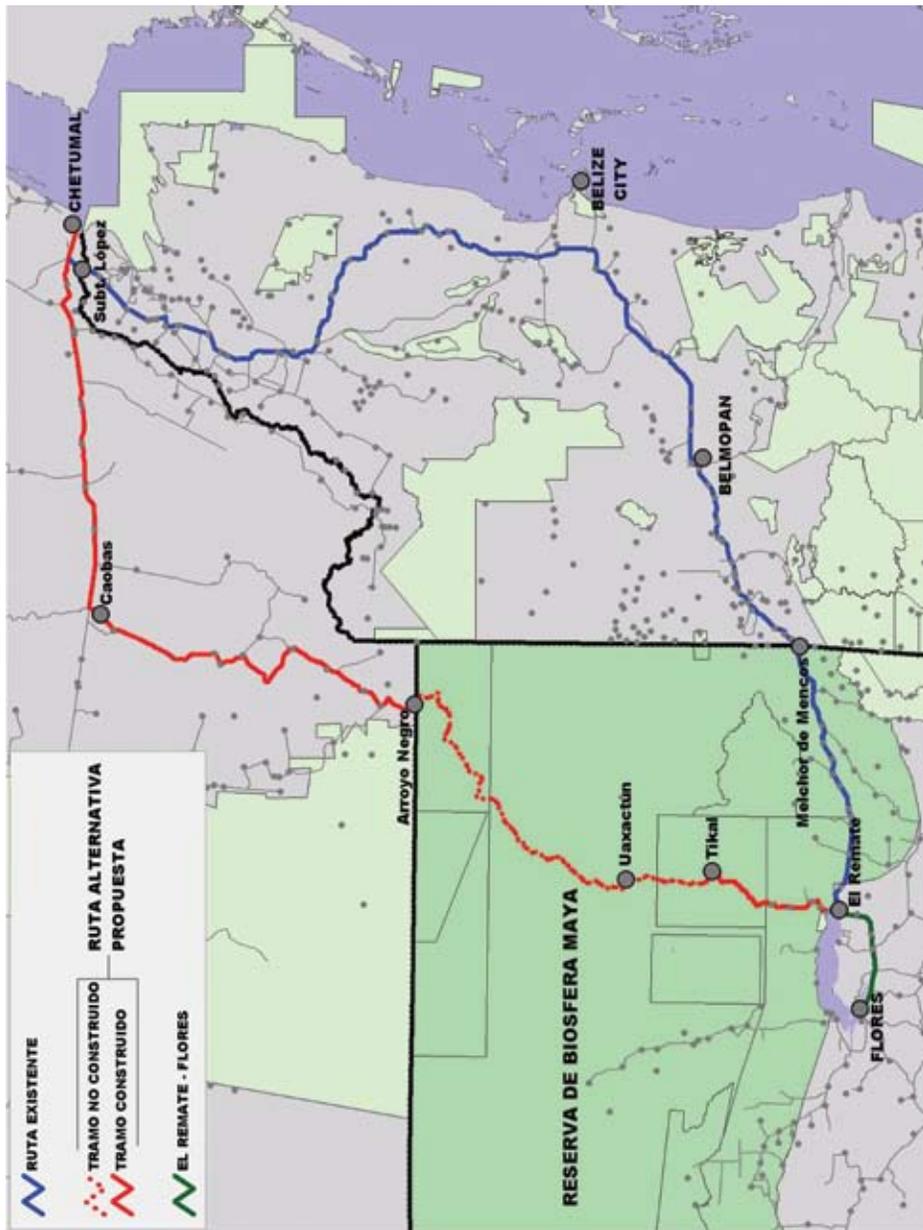


FIGURA 13. RUTA ACTUAL (AZUL) Y ALTERNATIVA (ROJO) ENTRE SUBTIENIENTE LÓPEZ – FLORES

proyecto generará para los guatemaltecos. En este análisis se añaden al análisis de SCT los costos de construcción del tramo inexistente Arroyo Negro-Uaxactún y de la pavimentación del tramo existente Uaxactún-Tikal (Anexo 9). También se agregan los beneficios al tráfico local que implica la construcción y pavimentación de dichos tramos y los beneficios indirectos relacionados a la actividad turística (Anexo 10).

Se definió una zona de influencia económica directa de la carretera para identificar a los beneficiarios potenciales del proyecto. Se incluyeron todas las comunidades identificadas por SCT (2004) y se agregaron las comunidades de Santa Elena, Flores, San Benito (área urbana), Altamira, El Ramonal, Paxcamán, El Capulinar, El Porvenir, Zocotzal, Ixlú, El Remate, El Caoba, Uaxactún (área rural), identificadas como beneficiadas en Guatemala. Se estimó que en total 32,318 personas serían beneficiadas por el proyecto en Guatemala (CEMEC-CONAP,2006b). La zona de influencia indirecta del Proyecto incluye los estados mexicanos de Quintana Roo y de Tabasco y la provincia guatemalteca de Petén.

Descripción del proyecto carretero San Andrés–Mirador

El Proyecto San Andrés–Mirador, con una longitud total de 105.2 km, incluye la pavimentación del tramo de 62.7 km entre San Andrés y Carmelita y la construcción de la carretera de 42.5 km entre Carmelita y Mirador (Figura 14). La justificación principal de este proyecto es el desarrollo turístico del importante sitio arqueológico maya El Mirador, actualmente poco accesible (sólo a través de senderos o helicóptero),

Se definió una zona de influencia económica directa de la carretera para identificar a los beneficiarios potenciales de los proyectos. Se incluyó a todas las comunidades de Santa Elena, Flores, San Benito, San Andrés (área urbana), Cruce a Dos Aguadas, Corozal Pasadita, Cruce a la Colorada, Carmelita, San Miguel, La Milpa, Yarchpe, La Pasadita, Sibal, Ixhuacut, Cruce a la Naranjita, Cruce a Pescaditos y La Colorada (área rural), con una población total de 32,984 personas (CEMEC-CONAP, 2006b). La zona de influencia indirecta del Proyecto incluye el departamento guatemalteco de Petén.

Análisis económico de carreteras

Para calcular el ahorro en el CTU de los proyectos carreteros se utilizaron herramientas basadas en el Modelo de Patrones de Diseño y Mantenimiento de Carreteras (HDM⁸), desarrollado por el Banco Mundial. En el caso del tramo Arroyo Negro–Caobas se asumieron inicialmente los ahorros mencionados en SCT (2004), evaluados en base al paquete HDM VOC (vehicle operating cost, costo de operación vehicular) y un abordaje propio para el análisis de ahorros en tiempo de viaje, en base al Manual de Capacidad Vial de SCT. Para los otros subtramos se utilizó el Modelo Económico de Decisión de Carreteras (RED por sus siglas en inglés: Road Economic Decision Model),

⁸ <http://www.worldbank.org/transport/roads/tools.htm>

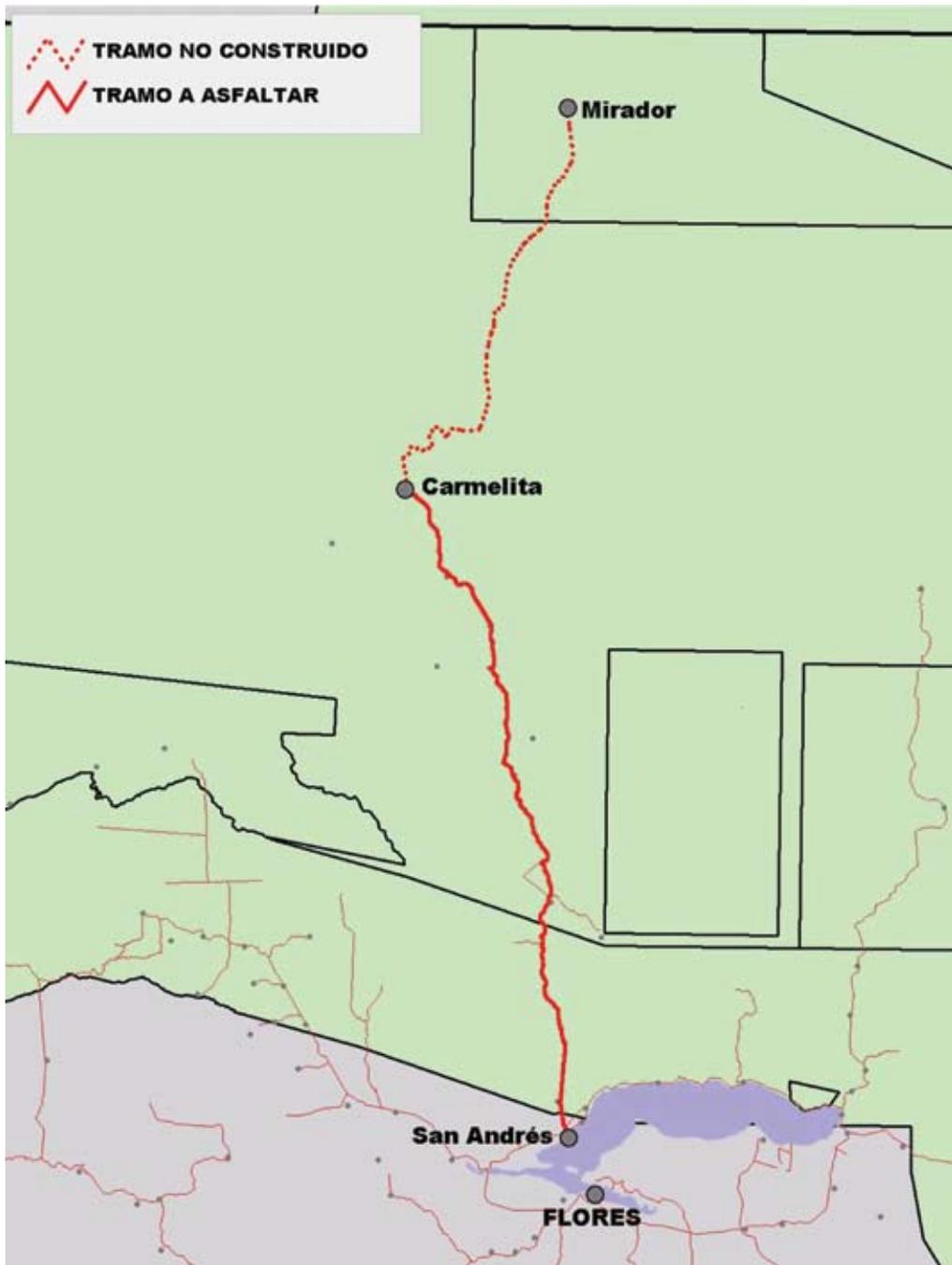


FIGURA 14. TRAMOS PROPUESTOS DE SAN ANDRÉS-MIRADOR

basado en el modelo más reciente HDM-4⁹. Ambos abordajes utilizan modelos similares que permiten estimar el ahorro en el CTU para determinado tráfico vehicular según distintos estándares y esquemas de desarrollo carretero. Ambas herramientas requieren una serie extensa de datos, incluyendo diferentes parámetros de diseño y calidad de carreteras, parámetros de vehículos, tráfico actual y proyectado, costos de construcción y mantenimiento de carreteras y los costos de sus usuarios.

Tales herramientas permiten calcular los indicadores de factibilidad económica, el valor actual neto (VAN¹⁰) y la tasa interna de retorno (TIR)¹¹. En nuestro análisis se considera una tasa de descuento del 12%, típica para proyectos de carreteras en México y Guatemala, en un horizonte de tiempo de 30 años de acuerdo al análisis de SCT (2004). Cabe mencionar que este plazo es más largo que el utilizado en el análisis de deforestación y quema, donde se estimaron los costos relacionados a éstos por 20 años, lo que causa un estimado ligeramente sobreestimado de los beneficios netos.

Se asumió que el año de inicio de las obras para ambos tramos es el 2004 (año 0), dado que las cifras del análisis de SCT (2004) y de Caminos (2004) corresponden a ese año. Los resultados serían los mismos que si se hubiera asumido que las obras iniciarían en el 2006, sólo que los montos relevantes se tendrían que convertir en dólares del 2006 aplicando un factor de ajuste para la inflación de 1.059¹².

9 Esta herramienta, desarrollada por el Banco Mundial en 1999, está destinada a evaluar la factibilidad económica de proyectos de desarrollo carretero en áreas rurales donde se dispone de menos informaciones [http://www.worldbank.org/afr/ssatp/Models/RED_3.2/red32_en.htm]

10 VAN: Es un criterio estandarizado para determinar la viabilidad económica de un proyecto. Un valor actual neto mayor a cero indica que los beneficios del proyecto exceden sus costos (el proyecto es factible), esto es, cuando se ajustan los valores para el periodo de tiempo en el cual el proyecto se lleva a cabo (Jenkins y Harber 2000). Se estimó el VAN utilizando la siguiente fórmula:

$$VAN_r = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

En donde:
t = tiempo en años a partir del presente o tiempo cero.
n = el horizonte de análisis del proyecto, en este análisis 30
B = beneficios
C = costos
r = la tasa de descuento, la cual expresa las preferencias inter-temporales de las sociedades. Se utiliza una tasa de descuento del 12%

11 TIR: Es un criterio estandarizado para determinar la viabilidad económica de un proyecto. Si el TIR es superior a la tasa de descuento, el proyecto es considerado factible.

12 Calculado según los índices establecido en el "Economic Report of the President" (GPO, 2006).

Estimación del ahorro en el Costo Total de los Usuarios (CTU)

Para calcular los ahorros en el CTU entre Arroyo Negro-Uaxactún, Uaxactún-Tikal, San Andrés-Carmelita y Carmelita-Mirador se utilizaron los parámetros utilizados por el Departamento de Preinversión, Dirección General de Caminos (2004). Para el tramo mexicano Caobas-Arroyo Negro, inicialmente usamos los parámetros y resultados establecidos de la ruta actual entre Caobas y Flores en SCT (2004). Al descubrir que en dicho análisis se había usado de forma inapropiada una distancia de 500 km para la ruta actual entre Caobas y El Petén, supuestamente promedio a diversos puntos dentro de El Petén, corregimos esta cifra con datos reales (excluyendo los ahorros en CTU de aquellos usuarios que viajan entre Guatemala y México).

Proyecto carretero Tikal-Caobas

Consideramos el análisis de SCT (2004) como base de este estudio. Sin embargo, el análisis de SCT asume que “La ruta actual al Petén guatemalteco... representa un recorrido promedio de 500 km¹³... en el que se incluye el traslado a través de Belice” (SCT, 2004). Debido a la falta de información clara sobre como se estimó esta distancia y la de la ruta alternativa en el estudio de SCT, que es una información base para estimar los beneficios relacionados al tráfico desviado¹⁴, éstas fueron recalculadas a través de la base de datos SIG de CEMEC-CONAP, 2006a (Base de datos de caminos de la Selva Maya, Centro de Monitoreo y Evaluación del CONAP)¹⁵. Se asumió que el punto de origen sería el Ramal hacia Subteniente López en el Estado de Quintana Roo, al igual que en el estudio de SCT (2004), y que Flores sería el destino final, ya que es la capital y el punto central para moverse a varios destinos turísticos en la región.

La diferencia entre las rutas resultó menor que 10 kilómetros, lo que corresponde a una pequeña reducción del 2.7% en la distancia con el proyecto (Tabla 16; Figura 13). Eso hace que la principal justificación para el desarrollo de la ruta alternativa –una ruta supuestamente muy ventajosa en términos de distancia para las personas que se desplazan entre Quintana Roo y Petén (SCT 2004)– sea prácticamente insignificante.

¹³ En el estudio de SCT (2004) no se define un punto final en Guatemala, sino que se menciona un lugar promedio en Petén, algo impreciso y atípico en análisis de proyectos viales.

¹⁴ Hay cuatro categorías de tráfico: normal, generado, inducido y desviado. El tráfico normal es el que existe actualmente en la carretera y no cambia de origen/destino con el proyecto. El tráfico generado es el que se genera como consecuencia de la reducción de los costos de transporte. El tráfico inducido es el generado por el desarrollo económico local debido al mejoramiento de la carretera. El tráfico desviado es el que se desvía de otra carretera cuando la nueva carretera se considera ventajosa.

¹⁵ Desarrollada en base a: Mapas 1:250,000 de México (INEGI), Guatemala (IGN) y Belice (Land Information Centre)

TABLA 16. DISTANCIAS DE SUBTENIENTE LÓPEZ A FLORES TRAMO ACTUAL Y CON PROYECTO CAOBAS-TIKAL

	Origen	Destino	A través de	Distancia
Sin Proyecto	Ramal Frontera Subteniente López, Quintana Roo	Ciudad de Flores Petén	Belice	353.3 km
Con Proyecto			Reserva Biosfera Maya, Guatemala	343.8 km

Así, el análisis de este tramo se basa en las distancias efectivas (Tabla 16) entre origen y destino; por lo tanto, se excluyeron los beneficios asociados a ahorros en CTU de tráfico desviado de la ruta Subteniente López-Belice-Flores mencionados en SCT (2004), considerándose que tales beneficios son insignificantes debido a la pequeña diferencia de distancia entre las rutas.

Adicionalmente, el tráfico normal que utiliza el tramo Arroyo Negro-Uaxactún y Uaxactún-Tikal en Guatemala es incorporado al análisis. Según datos de boletas de la garita en la entrada al Parque Nacional Tikal, administrada por el Instituto de Antropología e Historia (IDAEH), el tráfico normal (Tráfico Diario Promedio Anual-TPDA) entre Tikal y Uaxactún es de 14 vehículos. Sin embargo, ese conteo no incluye el tráfico local (residentes de Uaxactún y transporte público) que probablemente no llena boletas con frecuencia, así que asumimos un TPDA de 27 que consideramos optimista. En el caso del tramo aún inexistente Uaxactún-Arroyo Negro, se recopiló información sobre la cantidad de viajes que las distintas organizaciones realizan al año para monitorear la zona, identificándose un TPDA de 6. Ese valor también es considerado como optimista, pues de hecho el tráfico es prácticamente inexistente entre estos dos puntos (Tabla 17).

La tasa de crecimiento del tráfico anual utilizada para el primer periodo (2004-2008) y para el último periodo (2014-2034) fue del 5%, que es el crecimiento promedio que se utilizó en la Evaluación Económica de la Franja Transversal del Norte (Caminos, 2004) y que asumimos se comportaría de manera similar a la carretera analizada. Según ese estudio, dicha tasa abarca el crecimiento demográfico y de la producción nacional. En el segundo periodo (2009-2013), para incluir el incremento en turismo provocado por la apertura de la carretera, se utilizó una tasa del 10% anual.

TABLA 17. TPDA Y TASA DE CRECIMIENTO DEL TPDA DE LOS TRAMOS EN GUATEMALA

TRAMO	TPDA	Tasas de crecimiento anual del TPDA por periodo		
		2004 - 2008	2009 - 2013	2014 - 2034
Uaxactún-Arroyo Negro	6	5%	10%	5%
Tikal-Uaxactún	27	5%	10%	5%

Para los análisis independientes de los tramos en Guatemala se asumió un tráfico generado que responderá a una elasticidad del precio de demanda de tráfico de 1.1 para transporte liviano y público y del 0.6 para el transporte de carga.

Proyecto carretero San Andrés-Mirador

Para estimar el tráfico normal que utiliza el tramo San Andrés-Carmelita y Carmelita-Mirador se utilizó como referencia la información contenida en las boletas del Puesto de Control de Ixhuacut, administrado por el CONAP.

El tráfico inducido por el crecimiento en la actividad turística en Mirador se estimó asumiendo que las tasas de crecimiento anual del TPDA entre 2009 y 2018 serían iguales a la tasa de crecimiento anual de las visitas turísticas a Mirador estimadas por Global Heritage Fund (2006) ¹⁶. Dicho crecimiento asume la inversión necesaria en el sitio arqueológico; en el presente análisis no se incluyen tales costos. Antes y después del periodo 2009-2018 se asumió un crecimiento de tráfico inducido del 5% de acuerdo con el crecimiento promedio utilizado por la Dirección General de Caminos (2004).

TABLA 18. TPDA Y TASAS DE CRECIMIENTO DE TRÁFICO DURANTE EL PERIODO DE ANÁLISIS

Tramo	TPDA	Tasas de crecimiento anual del TPDA por periodo		
		2004 - 2008	2009 - 2018	2019 - 2034
San Andrés Carmelita	17	5%	27%	5%
Carmelita-Mirador	6	5%	27%	5%

Se asumió un tráfico generado con la misma elasticidad usada en el caso anterior. Dado que este tramo no es una alternativa para ningún otro camino, no fue necesario estimar el tráfico desviado.

Beneficios indirectos

Para ambos proyectos carreteros se calcularon los beneficios indirectos en el turismo que las carreteras generarían a partir del cálculo del tiempo adicional que los turistas permanecerían en Petén, y sus gastos correspondientes. Se asumió que una visita a Mirador, Uaxactún o Río Azul relacionada a los proyectos Tikal-Uaxactún, Tikal-Arroyo Negro y Carmelita-Mirador implicaría un día adicional de permanencia de los turistas en Petén. Este abordaje considera todos los gastos de los turistas como beneficios para Guatemala, pues asigna origen internacional a todos. Por eso, no toma en cuenta cuál es la proporción de tales gastos que son costos para la economía local, ya que lo que

¹⁶ En GHF (2005) se prevé un crecimiento en el turismo de 3,000 a 10,000 personas en el periodo 2006-2011 y de 10,000 a 35,000 personas en el periodo 2011-2021; para ambos periodos esto implica una tasa de crecimiento anual del 27%.

ingresa es de origen externo y, por lo tanto, puede ser considerado como beneficio (Fleck *et al.*, 2006). Sin embargo, se puede considerar ese cálculo optimista, pues se sabe que parte de los turistas que llegan al Petén son guatemaltecos, y sus gastos sólo reflejan transferencias internas de recursos.

Asumimos los gastos de turistas según PA Consulting Group (2004), que define que el gasto promedio es de US\$ 51.90 diarios por turista en Centroamérica para el año 2002, sin incluir el pasaje aéreo. Al corregir el valor para el año 2004, éste asciende a US\$ 58¹⁷.

Proyecto carretero Tikal-Caobas

En este análisis se asumieron todos los beneficios indirectos cuantificados en SCT (2004): plusvalía de terrenos privados al margen de la carretera, ingresos adicionales en turismo para esa zona y mayor ingreso de divisas para México por la prestación de servicios de salud a ciudadanos guatemaltecos en clínicas privadas. También se estimaron los beneficios adicionales en turismo que se generarían en Petén al existir una carretera que facilite el acceso a la comunidad de Uaxactún y al sitio arqueológico Río Azul desde Tikal ¹⁸.

Los beneficios adicionales para Guatemala derivados del turismo se calcularon comparando un escenario sin carretera, donde la tasa de crecimiento de visitas para todo el periodo era del 1%, que asumimos corresponde a la tasa de crecimiento de visitas turísticas a Tikal entre el 1998 y 2004 (Mazars, 2005) y un escenario con carretera donde la tasa de crecimiento de las visitas es del 10% entre el año 2007 y el 2011 y del 1% de 2016 en adelante. La cantidad de turistas que ingresa a Río Azul se estimó en base a observaciones de campo de Wildlife Conservation Society (WCS). Los datos sobre turistas que ingresan a Uaxactún se obtuvieron de las boletas que se colectaron en la garita de entrada al Parque Nacional Tikal, administrada por el IDAEH en el año 2005 (Tabla 19).

TABLA 19. TURISMO EN UAXACTÚN Y RÍO AZUL GENERADO A PARTIR DEL ACCESO MEJORADO DESDE TIKAL

	Visitas turísticas	Tasa de crecimiento de visitas turísticas		
		Sin proyecto	Con proyecto	
	2006	2007-2034	2007-2011	2011-2035
Turistas Río Azul	20	1%	10%	1%
Turistas Uaxactún	1,726	1%	10%	1%

¹⁷Actualización hecha con el "Índice del Precio al Consumidor nivel República" y "Tipo de Cambio." Banco de Guatemala (2006)

¹⁸La plusvalía de terrenos no se aplica a los tramos guatemaltecos, pues las tierras afectadas están en concesiones o áreas núcleo.

Proyecto carretero San Andrés - Mirador

Se estimaron los beneficios adicionales en turismo que se generarían en Petén al existir una carretera que facilite el acceso al sitio arqueológico Mirador. Los beneficios adicionales se calcularon comparando un escenario sin carretera, donde la tasa de crecimiento de visitas para todo el periodo era del 1% anual, que asumimos corresponde a la tasa de crecimiento de visitas turísticas a Tikal entre el 1998 y 2004 (Mazars, 2005), y un escenario con carretera, donde la tasa de crecimiento anual de las visitas es del 27% (GHF, 2006)¹⁹ entre el año 2007 y el 2016 y del 2016 en adelante es del 1%.

Costo de carreteras

Las obras en desarrollo para la carretera Caobas-Arroyo Negro contemplan “la ampliación y modernización de los dos carriles actuales de 3 a 3.5 metros de ancho con pavimento asfáltico flexible (concreto asfáltico) y acotamientos a cada lado de la vía” (SCT, 2004). La longitud es de 86 km, desde el entronque a Caobas en la Carretera Federal 186 hasta la localidad de Arroyo Negro. Para los costos de construcción y mantenimiento del tramo Caobas-Arroyo Negro se usaron los que fueron establecidos en el estudio de SCT (2004). Se agregaron 5 kilómetros de construcción a la carretera para completar el enlace con la frontera guatemalteca, y se asumió un costo de construcción adicional al proyecto, proporcional al establecido en el estudio (Anexo 9). Se sigue el tiempo de construcción (3 años) y plan de desembolso establecidos en SCT (2004).

Las obras de Arroyo Negro a Uaxactún contemplan la construcción de 83.1 kilómetros de carretera de concreto asfáltico con dos carriles de 3.5 m de ancho cada uno. Dado que actualmente no existe un camino, se considera la existencia de una carretera en pésimas condiciones, con un índice internacional de rugosidad (IRI) de 25²⁰. Las obras de Uaxactún a Tikal contemplan la pavimentación con concreto asfáltico de 23 kilómetros de carretera con dos carriles de 3.5 m de ancho cada uno. Por las condiciones actuales de ese tramo se determinó que actualmente el IRI es de 14²¹. Con ambos proyectos se estima de manera optimista que las carreteras tendrán un IRI promedio de 2.5 para el periodo de análisis²².

Las obras de Carmelita a Mirador contemplan la construcción de 42.5 kilómetros de carretera de concreto asfáltico con dos carriles de 3.5 m de ancho cada uno. Dado que

¹⁹En GHF (2005) se prevé un crecimiento en turismo de 3,000 a 10,000 personas en el periodo 2006-2011 y de 10,000 a 35,000 personas en el periodo 2011-2021; para ambos periodos esto implica una tasa de crecimiento anual del 27%.

²⁰Actualmente existe una brecha turística entre Uaxactún y Río Azul, muy cercano a Arroyo Negro.

²¹Ese IRI es típico de carreteras no pavimentadas con estado regular (Archondo-Callao, 2004).

²²Un IRI de 2.5 es considerado muy bueno para carreteras pavimentadas (Archondo-Callao, 2004), aun más cuando es considerado como IRI promedio, pues un IRI tan favorable raramente se mantiene durante el ciclo de vida de una carretera.

actualmente no existe un camino²³, se asumió que el índice de rugosidad internacional (IRI) actual es el valor máximo de 25. Las obras de San Andrés a Carmelita contemplan la pavimentación de 62.7 kilómetros de carretera con dos carriles de 3.5 m de ancho cada uno. Por las condiciones actuales de ese tramo se determinó que actualmente el IRI es de 14. Con ambos proyectos se estima optimistamente que las carreteras tendrán un IRI promedio de 2.5 para el periodo de análisis.

Para todos los tramos dentro de Guatemala se utilizó información general de costos de construcción, pavimentación y mantenimiento facilitada por la División de Planificación y Estudios de la Dirección General de Caminos del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda de Guatemala, que se muestra en la Tabla 20. Se asumió para todos los tramos un periodo de construcción de tres años con plan de desembolsos de 33.3% para cada uno de los tres periodos.

TABLA 20. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LOS TRAMOS EN GUATEMALA

Tramo	Inversión US\$/km	Mantenimiento antes del Proyecto US\$/km/año	Mantenimiento después del Proyecto US\$/km/año
Pavimentación Tikal-Uaxactún/ San Andrés-Carmelita	396,000	9,994	6,329
Construcción Uaxactún-Arroyo Negro/Carmelita-Mirador	514,200	0	6,329

Valoración de potenciales impactos ambientales

Se identificó el área principal que podría ser la más afectada por la mayoría de impactos ambientales indirectos de las carreteras durante los primeros 20 años del análisis. Se asume con gran optimismo que se implementará el diseño y mantenimiento apropiado de la carretera, lo que mitigará la mayoría de los impactos ambientales directos y muchos de los indirectos. Por lo tanto, consideramos que los impactos indirectos más probables y sin control los constituyen la deforestación y la quema. De estos impactos resulta una serie de costos ambientales relacionados a la pérdida de flora, fauna y procesos ecológicos. En este análisis nos limitamos a estimar el valor monetario de emisiones de dióxido de carbono hacia la atmósfera y la pérdida de madera y xate a consecuencia de las quemadas en zonas donde se permite la explotación de estos recursos.

Se proyectó el área afectada para cada proyecto carretero durante los próximos 20 años en base al modelo descrito en la sección de evaluación de impactos indirectos de las

²³ Actualmente existe una brecha turística entre Carmelita y Mirador.

carreteras de este trabajo. Los escenarios de la deforestación inducida por las nuevas carreteras son conservadores, porque se basan en valores de nuevos poblados y nuevos caminos primarios y secundarios que son inferiores a los incrementos actuales de estos valores en la RBM.

Las emisiones de carbono se calcularon como la pérdida neta (liberación) derivada de la conversión del uso de la tierra (por deforestación) y de los incendios forestales modelados. En este análisis se asumió que en la actualidad existe un equilibrio entre absorción y liberación general de carbono en los bosques primarios de la Selva Maya. Por lo tanto, el flujo neto es igual a 0. También se partió del supuesto que una tonelada de carbono, al transferirse a la atmósfera, se convierte en 3.7 toneladas de dióxido de carbono (Asuntos Forestales, 2000).

Para calcular el valor monetario del dióxido de carbono se utilizaron los precios a los que éste se comercializa en los mercados de “Chicago Climate Exchange” y el “European Union Emissions Trading Scheme”, entre US\$ 4.03/tCO₂e y US\$ 18.27/tCO₂e, según The Katoomba Group’s Ecosystem Market Place (Carbon Mid-Prices, consultado en noviembre del 2006). Estos precios reflejan el costo marginal de reducir una tonelada de emisiones de dióxido de carbono, ya que los contaminadores deciden si controlan sus emisiones o compran permisos. Dado que estos precios son del 2006, y que el análisis se hizo en base a precios del 2004, éstos se convirtieron en dólares del 2004 aplicando un factor de 1.059. Los precios utilizados fueron US\$ 3.81/tCO₂e y US\$ 17.25/tCO₂e. Las emisiones de carbono se convirtieron en valores monetarios utilizando ambos valores mencionados. Se realizó un cálculo del valor actual de las pérdidas futuras, aplicando la misma tasa de descuento utilizada para el análisis de las carreteras. Aunque por el momento este costo ambiental no se convierte en una pérdida económica para Guatemala ni México debido carácter incipiente de los mercados para la deforestación evitada (Fearnside y Barbosa *et al.*, 2003; Schlamadinger *et al.*, 2005), sirve como indicador de la magnitud de los costos económicos globales que la deforestación inducida representa.

Debido a que las carreteras tienen también como efecto indirecto el incremento de la incidencia de incendios, este análisis valoró la pérdida de xate y madera a consecuencia del aumento de incendios. Aunque las carreteras aumentarían las quemaduras en todas las zonas, únicamente se cuantificó las pérdidas de estos productos en las zonas de uso múltiple y de amortiguamiento donde su extracción es permitida.

En el caso del xate, se estimó que un incendio ocasionaría una pérdida durante 3 años, dado que los incendios causan la muerte del 95% de las plantas (Pinelo, 2001). Usamos este periodo de pérdida aunque se sabe que el crecimiento de la planta dura más que esto, pero no se dispone de información sobre la regeneración de xate luego de incendios forestales.

En la Zona de Uso Múltiple se estimó (en la sección de evaluación de impactos ambientales indirectos de las carreteras) que durante un incendio se pierden, por kilómetro cuadrado, 3,200 hojas de xate hembra, 52,800 hojas de xate jade, 158.01 m³ de especies maderables con mercado totalmente desarrollado (AAACOM), 564.68 m³ de especies con mercado parcialmente desarrollado (ACTCOM), y 888.84 m³ de especies con potencial comercial (POTCOM). En la Zona de Amortiguamiento se estimó que se da una pérdida de 800 hojas de xate hembra y 13,200 hojas de xate jade por kilómetro cuadrado y una pérdida de madera de: 39.50 m³ de especies con mercado totalmente desarrollado (AAACOM), 451.74 m³ de especies con mercado parcialmente desarrollado (ACTCOM), y 888.84 m³ de especies con potencial comercial (POTCOM).

Valoramos la pérdida de estos recursos utilizando los precios mencionados en las Tablas 21 y 22. Se realizó un cálculo del valor actual de las pérdidas futuras, aplicando la misma tasa de descuento utilizada para el análisis de las carreteras. Se asume que una vez que los proyectos carreteros estén listos, las especies con mercado parcialmente desarrollado estarán desarrolladas. Sin embargo, el valor de opción de la madera de las especies con potencial comercial (POTCOM) no fue incluido en el análisis de costo-beneficio, pero su existencia se estima en valores de mercado de US\$ 21.78 por m³.

TABLA 21. PRECIOS DE MADERA (US\$)

Grupo de especies	Especies con mercado totalmente desarrollado (AAACOM)	Especies con mercado parcialmente desarrollado (ACTCOM)
Precio en US\$/tonelada ²⁴	93	21.78

TABLA 22. PRECIO DEL XATE (US\$)

Especie de xate	Xate hembra (<i>Chamaedorea elegans</i>)	Xate jade (<i>Chamaedorea oblongata</i>)
Precio en US\$/hoja ²⁵	0.006	0.008

Para estimar el costo de las emisiones de CO₂ y de la pérdida en madera y xate que generarían todos los tramos mencionados en la Tabla 1, se utilizó la metodología de valoración descrita en esta sección.

²⁴Resolución INAB 01.24.2003

²⁵Monto que reciben los xateros entregando producto a bodegas en Uuaxactún y Carmelita. Fuente: Gustavo Pinelo, comunicación personal, 2005. Cifras convertidas a dólares utilizando el tipo de cambio de 7.99 quetzales por dólar.

Distribución de costos y beneficios

Calculamos la distribución de costos y beneficios entre Guatemala y México según los siguientes supuestos:

- La inversión y mantenimiento de las carreteras dentro de Guatemala se le asignó a Guatemala, y de las carreteras dentro de México se le asignó a México.
- Los ahorros en CTU para los usuarios al utilizar únicamente carreteras mexicanas fueron asignados a México, y los de las carreteras guatemaltecas, a Guatemala.
- Los beneficios en turismo, plusvalía e ingreso de divisas por la prestación de servicios de salud a ciudadanos guatemaltecos, mencionados en SCT (2004), fueron asignados por completo a México. Los beneficios en turismo que se calcularon adicionalmente en este estudio se le asignaron a Guatemala.
- Para la distribución de costos y beneficios entre los sectores en cada país, se supuso que los gobiernos asumirán la inversión y los costos de mantenimiento. Los otros costos y beneficios fueron asignados según el sector afectado por la pérdida o el beneficio.

Resultados

Resultados del proyecto carretero Caobas-Tikal y sus tramos

Análisis de beneficios económicos sin considerar externalidades ambientales: Caobas-Tikal

La construcción de la carretera Caobas-Tikal no es económicamente factible para Guatemala, ocasionando pérdidas netas al país de US\$ 39.8 millones, con una tasa interna de retorno de -12%. El cuadro no mejora mucho desde la perspectiva de México, cuyas pérdidas serían de US\$ 14.5 millones, con una tasa de retorno de 8%, por debajo de los 12% por ciento que utilizamos como tasa de descuento. En la Tabla 23 se muestra la distribución de costos y beneficios del proyecto carretero Caobas-Tikal bajo los dos escenarios de análisis. Como se puede apreciar, los costos los asume de manera concentrada el gobierno y los beneficios son para los usuarios de las carreteras.

TABLA 23. VAN Y TIR DEL PROYECTO CAOBAS-TIKAL SIN EXTERNALIDADES

VAN y TIR	México	Guatemala
	VAN (US\$)	VAN (US\$)
Gobierno	-32,802,633	-41,504,320
Usuarios: ahorros en CTU	17,183,327	1,434,328
Beneficios indirectos	1,112,686	302,404
Beneficios netos (VAN)	-14,506,620	-39,767,588
TIR sin externalidades	8%	-12%

Los Anexos 9,10 y 11 presentan las planillas de cálculo que sirvieron de base para elaborar la Tabla 23.

Si únicamente se considera la pavimentación del tramo Caobas-Arroyo Negro, éste ocasionaría pérdidas netas para México de US\$ 2.7 millones²⁶. Por otra parte, si únicamente se considera la construcción de carreteras en Guatemala (sin tráfico desviado entre Guatemala y México):

- La pavimentación del tramo Tikal-Uaxactún generaría pérdidas para Guatemala de US\$ 5.5 millones.
- La construcción del tramo Uaxactún-Arroyo Negro generaría pérdidas para Guatemala de US\$ 33.9 millones.
- La pavimentación y construcción de ambos tramos generarían pérdidas para Guatemala de US\$ 39.4 millones.

Costos ambientales: Caobas-Tikal

En este análisis se estimó la deforestación y quema derivadas de la construcción de tramos nuevos en la RBM. Se estimó una deforestación de 15,560 hectáreas y quema de 55,947 hectáreas de bosque como consecuencia de la construcción del tramo Uaxactún-Arroyo Negro dentro de la Reserva de Biosfera Maya en Guatemala en el período de 20 años. La deforestación se concentraría en las cercanías de la carretera (Ver Figura 15 y 16).

La deforestación adicional ocasionada por la carretera resultaría en emisiones netas de 14.6 millones de toneladas de dióxido de carbono, derivadas de la conversión de los bosques en tierras con cultivos permanentes o pastizales. El valor actual de estas pérdidas varía entre US\$ 16.1 millones y US\$ 72.9 millones dependiendo del precio que se utilice.

²⁶ Las pérdidas del proyecto Caobas-Arroyo Negro se disminuyen si no construye el tramo Arroyo Negro-Tikal debido a que no habría la necesidad de construir los 5 km adicionales hacia la frontera ni habrían costos adicionales generados por el tráfico internacional, tráfico indirecto, en la zona (columnas 4 y 6 Anexo 9)

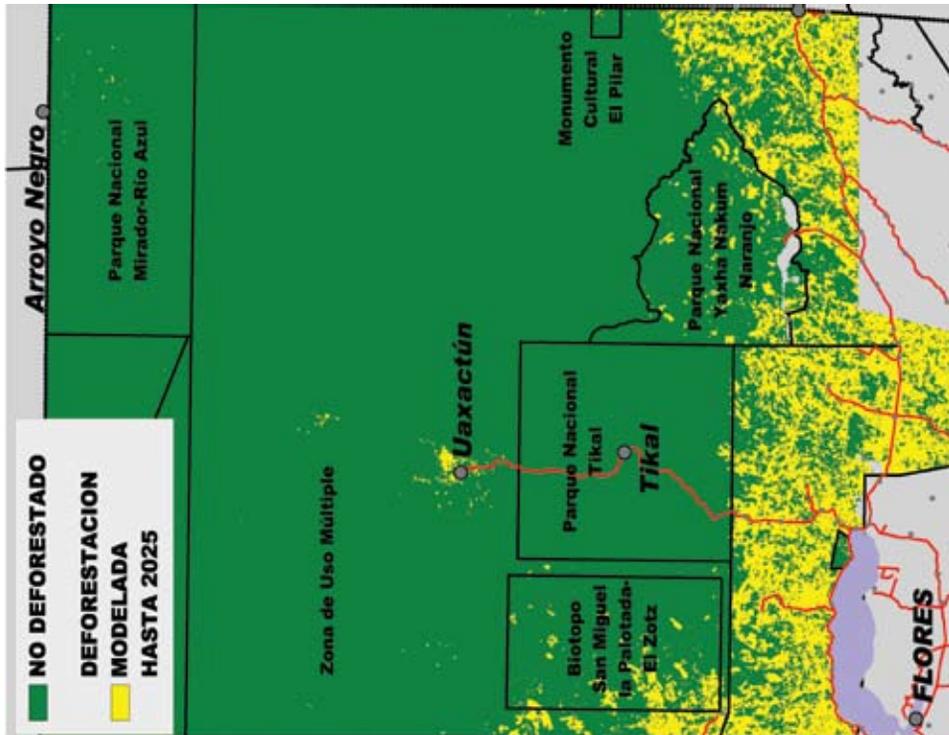


FIGURA 15. DEFORESTACIÓN SIN CARRETERA UAXACTÚN-ARROYO NEGRO

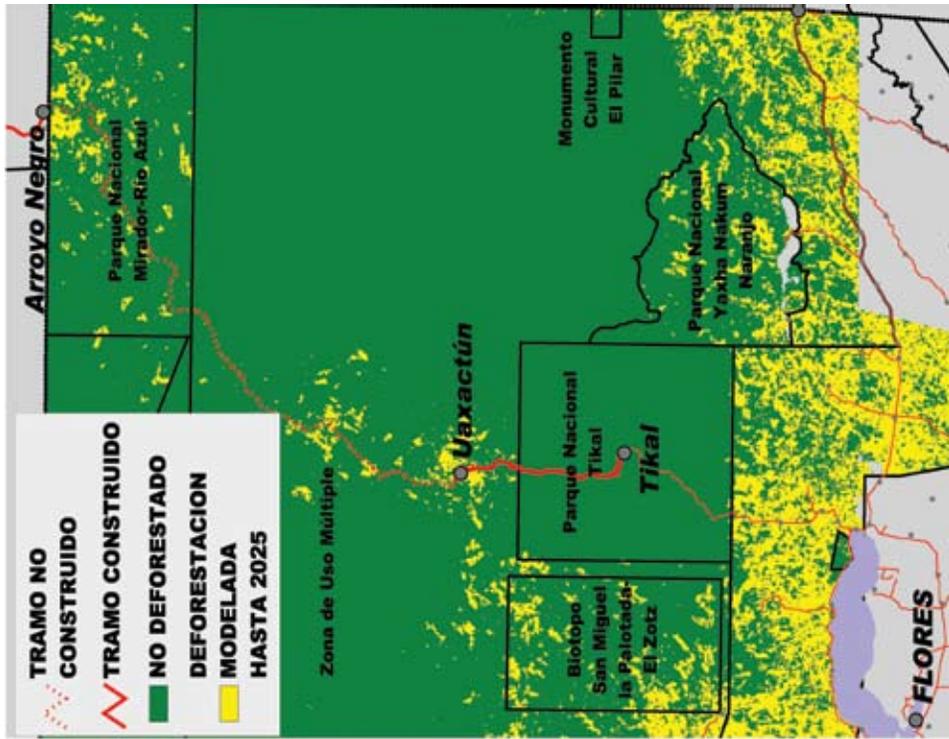


FIGURA 16. DEFORESTACIÓN CON CARRETERA UAXACTÚN-ARROYO NEGRO

TABLA 24. VALOR DE LAS EMISIONES DE CARBONO SEGÚN EL PRECIO UTILIZADO.

Razón de pérdida de dióxido de carbono	Valor de las emisiones US\$	
	US\$ 3.81/ tCO2e	US\$ 17.25/ tCO2e
Deforestación	14,212,666	64,433,105
Incendios	1,887,271	8,555,941
TOTAL	16,099,937	72,989,046

Además, las quemas generarían una pérdida de 38,403 m³ de madera y 11,634,691 hojas de xate aprovechable en zonas donde actualmente es permitida la extracción de estos recursos. El valor actual neto de estas pérdidas es de US\$ 148,000 y US\$ 56,000, respectivamente. Las pérdidas ambientales estimadas en ese análisis suman entre US\$ 16.3 millones y US\$ 73.2 millones, dependiendo del precio de dióxido de carbono que se utilice.

La Tabla 25 muestra el valor del proyecto bajo dos escenarios utilizado distintos precios. Cuando se incluyen los costos ambientales el proyecto Caobas-Tikal generaría pérdidas netas aun mayores a Guatemala, de entre US\$ 56 millones y US\$ 113 millones. Las variaciones se dan según el precio de dióxido de carbono. El VAN para México sigue siendo de US\$ -14.5 millones, ya que no se estimó la deforestación en este país.

TABLA 25. VALOR ACTUAL NETO DEL PROYECTO CAOBAS-TIKAL CONSIDERANDO EXTERNALIDADES AMBIENTALES

Valor del dióxido de carbono US\$ t/CO2e	VAN México US\$	VAN Guatemala US\$
3.81	-14,506,620	-56,071,123
17.25	-14,506,620	-112,960,232

Por otra parte, si se analizan separadamente los tramos en Guatemala y si se incluyen las externalidades ambientales:

- La pavimentación del tramo Tikal-Uaxactún aún generaría pérdidas para Guatemala de US\$ 5.5 millones (no se estimaron externalidades ambientales en este caso de pavimentación).
- La construcción del tramo Uaxactún-Arroyo Negro generaría pérdidas para Guatemala de entre US\$ 50.2 millones y US\$ 107 millones.
- La pavimentación y construcción de ambos tramos (Tikal-Uaxactún y Uaxactún-Tikal) generarían pérdidas para Guatemala de entre US\$ 56 millones y US\$ 112.9 millones.

Resultados del proyecto carretero San Andrés-Mirador

Análisis de beneficios económicos sin considerar externalidades ambientales: San Andrés-Mirador

La construcción del proyecto San Andrés-Mirador no es factible económicamente y ocasionaría pérdidas a la sociedad de Guatemala de US\$ 21 millones, con una TIR del 5%. Si únicamente se pavimentara el tramo San Andrés-Carmelita, las pérdidas netas para Guatemala serían de US\$ 16.8 millones, con una tasa interna de retorno del -4%. Si se construyera el tramo Carmelita-Mirador, las pérdidas serían de US\$ 6.4 millones, con una TIR de 7%.

En ambos casos, desde el punto de vista de la sociedad guatemalteca los tramos no son factibles. En la Tabla 26 se presentan el análisis distributivo de la ruta y de cada uno de los subtramos por separado.

TABLA 26. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS DEL PROYECTO SAN ANDRÉS-MIRADOR Y DE SUS TRAMOS SIN EXTERNALIDADES

	Proyecto: San Andrés-Mirador US\$	Subtramo: San Andrés-Carmelita US\$	Subtramo: Carmelita-Mirador US\$
Gobierno	-31,646,353	-17,491,827	-14,154,526
Usuarios: ahorros en CTU	1,159,953	657,215	502,738
Beneficios indirectos	9,241,605	0	7,223,659
Beneficios netos (VAN)	-21,244,795	-16,834,612	-6,428,129
TIR	5%	-4%	7%

Costos ambientales: San Andrés-Mirador

La deforestación, producto de la construcción del tramo Carmelita-Mirador²⁷, sería de un total de 7,020 hectáreas y la quema de 45,445 hectáreas de bosques dentro de la RBM en el período de 20 años (Figuras 17 y 18). Deforestación e incendios de esta magnitud resultarían en emisiones de 4.4 millones de toneladas de dióxido de carbono. El valor actual de estas pérdidas oscila entre US\$ 4.7 millones y US\$ 21.5 millones, dependiendo del precio de carbono que se utilice (Tabla 27).

²⁷En este análisis únicamente se estimó la deforestación y quema a consecuencia de la construcción de tramos nuevos y no de pavimentación.

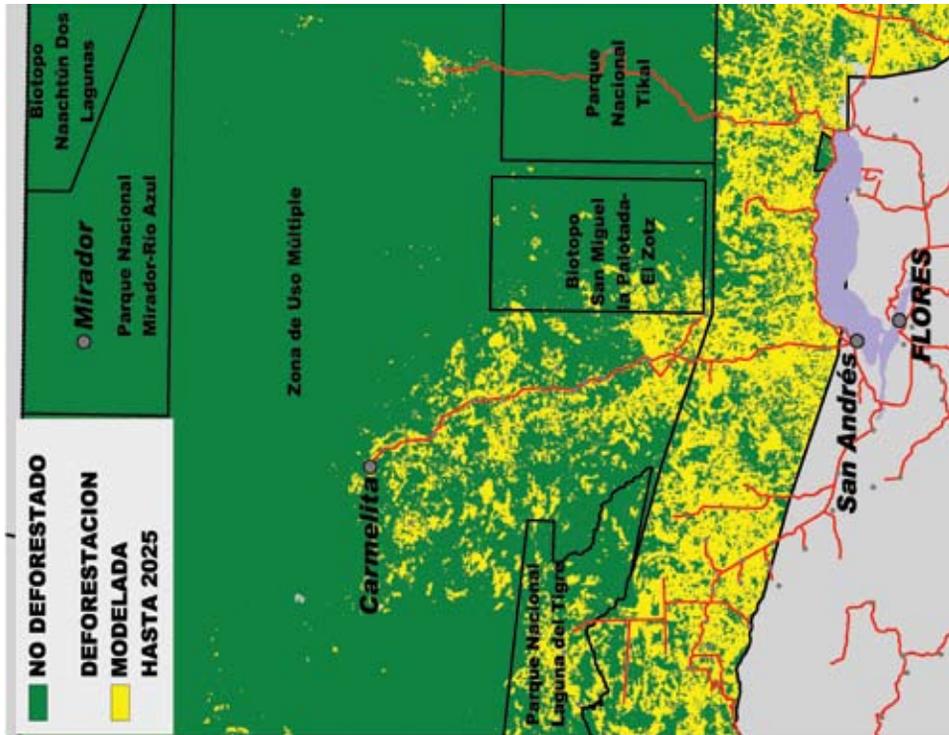


FIGURA 17. DEFORESTACIÓN SIN CARRETERA CARMELITTA-MIRADOR

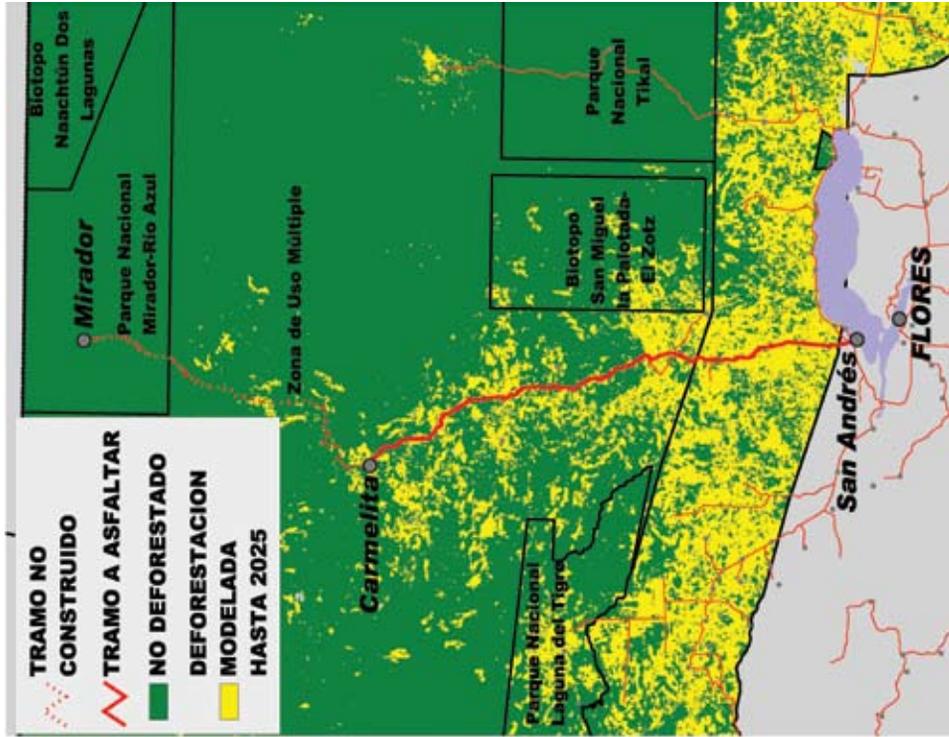


FIGURA 18. DEFORESTACIÓN CON CARRETERA CARMELITTA-MIRADOR

TABLA 27. VALOR MONETARIO DE LAS PÉRDIDAS POR EMISIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO SAN ANDRÉS-MIRADOR

Razón de pérdida de dióxido de carbono	Valor del dióxido de carbono US\$	
	US\$ 3.81/ tCO2e	US\$ 17.25/ tCO2e
Deforestación	3,000,180	13,601,313
Incendios	1,747,774	7,923,531
TOTAL	4,747,954	21,524,844

Además, las quemas generarían una pérdida de 46,967 m³ de madera y de 13,839,640 hojas aprovechables de xate en zonas donde actualmente es permitida la extracción de estos recursos. El valor actual de estas pérdidas es de US\$ 202,000 y US\$ 74,000 respectivamente. Estas pérdidas ambientales totales suman entre US\$ 5 millones y US\$ 21.8 millones, dependiendo del precio del dióxido de carbono que se utilice.

Análisis económico con externalidades ambientales: San Andrés-Mirador

Cuando se incluye el valor del dióxido de carbono emitido y la pérdida en madera y xate a consecuencia de la deforestación y quema inducida en zonas donde esta extracción es permitida, el proyecto carretero San Andrés-Mirador generaría pérdidas netas a Guatemala de entre US\$ 26.3 millones y US\$ 43 millones; las variaciones se dan según el precio de dióxido de carbono (Tabla 28).

Por otra parte, la pavimentación del tramo San Andrés-Carmelita aún generaría pérdidas para Guatemala de US\$ 16.8 millones²⁸. En cambio, la construcción del tramo Carmelita-Mirador generaría pérdidas para Guatemala de entre US\$ 11.5 millones y US\$ 28.2 millones.

TABLA 28. VALOR ACTUAL NETO DEL PROYECTO SAN ANDRÉS - MIRADOR CONSIDERANDO EXTERNALIDADES

Valor del dióxido de carbono US\$ t/CO2e	VAN Proyecto: San Andrés-Mirador US\$	VAN Subtramo: Carmelita-Mirador US\$
3.81	-26,269,617	-11,452,951
17.25	-43,046,507	-28,229,841

²⁸No se estimó la deforestación ni quema que generaría este tramo.

Costos ambientales agregados de todos los tramos proyectados en la RBM

Se estimó de forma agregada los costos ambientales que implica la construcción de todos los tramos proyectados en la RBM²⁹. Según las estimaciones en la sección de evaluación de impactos indirectos de las carreteras, estos tramos incrementarían la deforestación en 37,540 hectáreas y la quema en 145,759 hectáreas en 20 años. Como puede verse en la Tabla 29, dicha deforestación y quema ocasionarían la emisión de 36 millones de toneladas de dióxido de carbono, un valor actual estimado de entre US\$ 43.5 millones y US\$ 197.4 millones.

TABLA 29. CANTIDAD Y VALOR DEL CARBONO EMITIDO A CONSECUENCIA DE LA DEFORESTACIÓN Y QUEMA PRODUCIDA POR TODOS LOS TRAMOS

Deforestación (hectáreas)	Quema (hectáreas)		Dióxido de carbono (toneladas)	VAN emisiones CO2 (US\$)	
	2010-2015	2020-2025		US\$ 3.81/ tCO2e	US\$ 17.25/ tCO2e
37,540	41,169	104,590	36,275,013	43,541,511	197,395,387

Asimismo, los incendios ocasionarían la pérdida de 118,539 m³ de madera con un valor actual neto de US\$ 564,441 y de 38.5 millones de hojas aprovechables de xate con un valor actual de US\$ 220,000 en zonas donde estas extracciones son permitidas (ver Tabla 30).

TABLA 30. CANTIDAD Y VALOR DE LAS PÉRDIDAS EN MADERA Y XATE POR INCENDIOS PRODUCIDA POR TODOS LOS TRAMOS

Quema (hectáreas)		Madera (m ³)	Xate (número de hojas)	VAN pérdida recursos US\$	
2010-2015	2020-2025			Madera	Xate
41,170	104,600	118,539	38,515,086	564,441	220,397

El valor actual de las pérdidas estimadas como resultado de la deforestación y quema sería de entre US\$ 44 y US\$ 198 millones.

²⁹ Uaxactún-Arroyo Negro, Carmelita-Mirador, Lagunitas-El Ceibo, Circuito Yaxhá-Nakum-Naranjo, Melchor de Mencos-Tres Banderas.



Discusión y conclusiones

L

os proyectos carreteros Tikal-Caobas, San Andrés-Carmelita y sus subtramos no son económicamente factibles, aun antes de considerar sus costos ambientales. Las inversiones necesarias en construcción y mantenimiento son mucho mayores que los ahorros en costos de transporte y beneficios en turismo que se generarían. En todos los casos, la demanda de las carreteras es insuficiente para justificar su construcción, debido a la baja densidad de población en la Reserva de Biosfera Maya. En el caso de la carretera Tikal-Caobas hay otro factor: la demanda de transporte internacional ya está siendo atendida por la ruta actual vía Belice. Hacemos notar que se usaron estimados altos respecto al crecimiento del tráfico, lo que amplía los beneficios proyectados.

Por otra parte, los ambientes naturales de la Reserva de Biosfera Maya estarían amenazados por las nuevas carreteras. Se estimó de manera conservadora que si se construyeran los cinco tramos analizados, un mínimo de 37,530 hectáreas serían deforestadas hasta el año 2025. 41,170 hectáreas adicionales serían quemadas entre 2010 y 2015, y 104,600 hectáreas entre 2020 y 2025. Los bosques remanentes de la RBM sufrirían un proceso de fragmentación ecológica. La extensión de hábitat viable para las especies más sensibles a la fragmentación sería reducida en 47%. Habría una pérdida de la riqueza y abundancia de especies y alteraciones en el funcionamiento y la dinámica ecológica general de las áreas fragmentadas. Cabe mencionar que en los análisis se usaron estimados conservadores de deforestación y quema, basados en tasas de colonización humana inferiores a las tasas históricas. Señalamos también que los impactos ambientales no se restringirían a los 20 años de análisis de impactos ambientales. Las carreteras permitirían el avance continuo de caminos secundarios con sus respectivos daños ambientales.

Sin incluir las externalidades ambientales, el proyecto Tikal-Caobas, que consolidaría una ruta alternativa entre Subteniente López (Quintana Roo) y Flores (Petén), generaría pérdidas de US\$ 40 millones para Guatemala y de US\$ 14 millones para México. Estos resultados son diferentes a los presentados en un estudio de SCT (2004), que estimó en US\$ 70 millones los beneficios netos para México. La diferencia se debe, principalmente, a dos problemas técnicos en el estudio de SCT.

Primero, SCT asume que la distancia de la ruta actual (vía Belice) entre Subteniente López y Flores representa un recorrido promedio de 500 km y que la ruta alternativa a través de la RBM, de 343.8 km, generaría una economía de distancia de alrededor de 178 km (35.6%). En la realidad, la distancia entre estos dos puntos por la ruta actual es de 353.3 km y la economía en distancia es menor a 10 kilómetros (2.7%). Por esta razón, los beneficios de los usuarios de la carretera (los ahorros en CTU del tráfico desviado de la ruta vía Belice), fueron sobreestimados por SCT (2004).

Segundo, SCT incorpora los ahorros (CTU) a lo largo de toda la ruta, tanto para el tráfico desde Guatemala como para el que se origina en México, pero no incorpora los costos

que Guatemala tendría que asumir en la construcción y mantenimiento del tramo entre Arroyo Negro y Flores (en nuestro análisis, los subtramos Arroyo Negro-Uaxactún y Uaxactún-Tikal). Por consiguiente, el análisis de SCT subestima los costos.

El análisis individual de los subtramos que componen la ruta Tikal-Caobas indica que éstos tampoco son económicamente factibles, aun sin incluir externalidades. La pavimentación del tramo Tikal-Uaxactún generaría pérdidas para Guatemala de US\$ 5.5 millones, la del tramo Uaxactún-Arroyo Negro generaría pérdidas de US\$ 33.9 millones, y la del tramo Caobas-Arroyo Negro ocasionaría pérdidas netas a México de US\$ 2.7 millones de dólares.

Por otra parte, el proyecto San Andrés-Mirador generaría pérdidas a Guatemala de US\$ 21 millones sin incluir las externalidades ambientales. Si se pavimentara únicamente el tramo San Andrés-Carmelita, este tramo generaría pérdidas netas de US\$ 16.8 millones, y si sólo se construyera el tramo Carmelita-Mirador las pérdidas netas serían de US\$ 6.4 millones. Al respecto, incluso consideramos estimados bastante altos respecto a los beneficios inducidos por el acceso mejorado a Mirador (adoptando supuestos de GHF, 2006).

Es importante notar que asumimos el mantenimiento adecuado de las nuevas carreteras, condición imprescindible para que efectivamente se generen los beneficios proyectados. En el caso en que no se dé este mantenimiento, lo cual es común para las carreteras pavimentadas en países en vías de desarrollo, toda la inversión estaría comprometida, ya que las carreteras pavimentadas mal mantenidas pueden ser aun peores que las carreteras de balastre.

Otra consideración económica clave es que este análisis no incluye los costos públicos adicionales en educación, salud y otros servicios que serían necesarios para las nuevas comunidades creadas como consecuencia de las carreteras. Tampoco considera el probable aumento de los conflictos por tierra y recursos naturales en las concesiones y zonas núcleo, producto del aumento de la migración. En el caso del proyecto Tikal-Caobas no se incluye en el análisis los costos públicos adicionales relacionados a la construcción y operación de un puesto fronterizo adicional.

Cuando se toman en cuenta los costos ambientales valorados en este análisis, que incluyen la pérdida de xate y madera legalmente explotados y la transferencia de dióxido de carbono a la atmósfera, las pérdidas económicas de los proyectos aumentan. Las pérdidas netas de la ruta San Andrés-Mirador pasarían de US\$ 21 millones a US\$ 26 millones. Para Tikal-Caobas, la pérdida neta pasa de US\$ 40 millones a más de US\$ 56 millones. Cabe mencionar que la pérdida económica por transferencia del dióxido de carbono sólo representará un sacrificio monetario real para Guatemala cuando los mercados internacionales de deforestación evitada se consoliden.

Es importante recalcar que las carreteras ocasionarían diversos otros impactos en la riqueza biológica y en los servicios ambientales de la RBM que no fueron valorados en este estudio. Además, destacamos que, según proyecciones de SCT (2004), habría un tránsito diario en el tramo entre Caobas y Flores, a través del Parque Nacional Río Azul y probablemente del Parque Nacional Tikal, de 313 vehículos en 2007, de 800 en 2015 y de más de 7,000 en el año 2034. Si estas estimaciones se cumplen, la carretera ocasionaría grandes impactos negativos en los valores culturales y ambientales de estas áreas protegidas, además de alterar dramáticamente a la comunidad de Uaxactún.

En cuanto al análisis distributivo de costos y beneficios, los beneficios de las carreteras se concentrarían en el sector de turismo, en los pocos usuarios locales y en las empresas constructoras. Otros individuos o compañías también se beneficiarían al extraer recursos naturales de manera ilegal o legal dentro de la Reserva de Biosfera Maya, dado que la extracción de recursos y la colonización en áreas protegidas se facilitarían. Los costos los sobrellevaría la población guatemalteca a través de las contribuciones al gobierno (que asume los costos de las carreteras), las personas que actualmente explotan legalmente el xate y la madera, y la sociedad global en general por el incremento en la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera y la afectación de servicios ambientales.

Hay evidencias que demuestran que los caminos no siempre causan deforestación. El buen estado de conservación de Tikal, que cuenta con una carretera pavimentada, ha sido incluso usado como justificación por la agencia de transportes boliviana para la construcción de nuevas carreteras en áreas protegidas. Pero el caso de Tikal se muestra relativamente atípico cuando se compara con otros tramos existentes en la RBM y otros bosques tropicales. En primer lugar, la carretera da acceso a un sitio histórico respetado, con importante significado para la cultura guatemalteca y que genera una parte considerable de los ingresos turísticos al país. Segundo, Tikal tiene 32 veces más técnicos de conservación y 6 veces más guardaparques por unidad de área que el resto de la RBM. Eso le garantiza una fiscalización mucho más consistente.

Las inversiones que estudiamos no tienen potencial como instrumentos de desarrollo económico y representan el riesgo más grave para el bloque de bosque continuo más grande de Mesoamérica. Un programa alternativo de desarrollo sostenible debería ser fomentado para mejorar las condiciones económicas de la población petenera, estimular el turismo de bajo impacto en la Selva Maya, promover la explotación sostenible de los recursos naturales, y al mismo tiempo permitir y facilitar la conservación de la Reserva de Biosfera Maya.



Bibliografía

Alencar, A., Solórzano, L., Nepstad, D. 2004. Modeling forest understory fires in an eastern Amazonian landscape. *Ecological Applications*, 14(4): Supplement, 2004, p. S139–S149.

Andrade de Castro, E., Kauffman, B. 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology* (14): p. 263–283

Archondo-Callao, R. 2004. Niveles de gastos justificables desde el punto de vista económico en trabajos viales en caminos no pavimentados. *Notas de Transporte* No. TRN-2. Banco Mundial, Washington, DC, EUA. 10 p. [<http://web.worldbank.org/servlets/ECR?contentMDK=20325737&contTypePK=217180&folderPK=214578&sitePK=336292&callCR=true>], accesado en octubre del 2006.

Arreaga, W. 2002. Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis MSc. Turrialba, CR CATIE. 73 p.

Arriola, L. 2005. Agency at the frontier and the building of territoriality in the Naranjo-Ceibo corridor, Petén, Guatemala. *Disertación Doctoral*. University of Florida, US. 344 p.

Asuntos Forestales. 2000. Los bosques tropicales y los cambios climáticos. *Asuntos Forestales* (13): p. 4 [<http://www.rcfa-cfan.org/spanish/s.issues.13.htm>, consultado en noviembre del 2006].

Banco de Guatemala. 2006. “Índice del precio al consumidor nivel república” y “Tipo de cambio”. [<http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/sr/sr002&e=1780> y <http://www.banguat.gob.gt/cambio/default.asp>, consultados en noviembre del 2006].

Banco Mundial, FIAS, FUNDESA. 2004. La mejora del clima de inversión en Guatemala. GT. BM/FIAS/FUNDESA. 120 p.

BCIE-BID-CEPAL. 2001. Plan Puebla-Panamá, Iniciativas mesoamericanas y proyectos. San Salvador, ES. BCIE-BID-CEPAL. 55 p.

Bestelmeyer, B., Alonso, L. 2000. Evaluación biológica de los sistemas acuáticos del Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén, Guatemala. Washington, US. Programa de Evaluación Rápida, CI-Propetén, CABS, CONAP, CECON, Canán K'aax, CONAMA, USAID, GEF, TRF. Sp.

Cairns, M., Hao, W., Alvarado, E., Haggerty, P. 2000. Carbon emissions from spring 1998 fires in tropical México. In The Joint Fire Science Conference and Workshop "Crossing the Millenium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management" Moscow, ID, US. Proceedings. Ed. University of Idaho. Vol 1. p. 242-248.

Caminos. 2004. Evaluación económica de la Ruta Transversal del Norte: Tramo Modesto Méndez-La Trinidad y accesos de Playa Grande a Ingenieros frontera con México. Departamento de Preinversión, División de Planificación y Estudios, Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda, Guatemala. 37 p. y Anexo: Tramo Modesto Méndez-Chahal 49 Kms.

CEMEC-CONAP. 2006a. Base de datos de caminos de la Selva Maya. México, Guatemala y Belice. Desarrollada en base a: Mapas 1:250,000 de México (INEGI), Guatemala (IGN) y Belice (Land Information Centre).

CEMEC-CONAP. 2006b. Bases de datos geoespaciales de la RBM. Flores, Petén, GT. Centro de Monitoreo y Evaluación de CONAP.

CEMEC-CONAP. 2006c. Base de datos de personal de CONAP. Flores, Petén, GT. Centro de Monitoreo y Evaluación de CONAP.

Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies. 2006. ENSO Index According to JMA SSTA (1868-present). COAPS, Florida State University [ftp://www.coaps.fsu.edu/pub/JMA_SST_Index/jmasst1949-today.anom.txt, consultado el 30 de Noviembre de 2006].

Cochrane, M., Alencar, A., Schulze, M., Souza, C., Nepstad, D., Lefebvre, P., Davidson, P. 1999. Positive Feedbacks in the Fire Dynamic of Closed Canopy Tropical Forests. *Science* (284): p. 1832-1835.

CONAP. 1999. Reserva de la Biosfera Maya: a un paso del siglo XXI en la Reserva de Biosfera Maya, (Documento Técnico No. 4). GT. CONAP- IRG/USAID. Sp.

CONAP. 2001. Plan Maestro de la Reserva de la Biosfera Maya 2001-2006. GT. Serviprensa. 82 p.

CONAP, WCS, FIPA/AID. 2002. Estimación de la Deforestación en la Reserva de Biosfera Maya, periodo 2002-2003. GT. CONAP, WCS, FIPA/AID. 18 p.

CONAP. 2003. Informe de estadísticas forestales maderables en las Áreas Protegidas de Petén para el periodo 1994-2002. San Benito, Petén, GT. Departamento de Manejo Forestal. 101 p.

CONAP, WCS, FIPA/AID. 2003. Estimación de la Deforestación en la Reserva de Biosfera Maya, periodo 2002-2003. Flores, Petén, GT. CONAP, WCS, FIPA/AID. 19 p.

CONAP, WCS, FIPA/AID. 2004. Estimación de la Deforestación en la Reserva de Biosfera Maya, periodo 2003-2004 Flores, Petén, GT. CONAP, WCS, FIPA/AID. 20 p.

CONAP, WCS. 2005. Estimación de la Deforestación en la Reserva de Biosfera Maya, periodo 2004-2005 Flores, Petén, GT. CONAP, WCS, USAID. 16 p.

Congreso de la República. 1990. Decreto No. 5-90; Ley que declara Área Protegida la Reserva de la Biosfera Maya del Departamento de Petén. GT. Congreso de la República. 7 p.

Escobar, R., González, F. 2006. En marcha, construcción de carretera fronteriza: Mandatarios y parte de comitiva llegaron al lugar en dos helicópteros. Prensa Libre. Guatemala, GT. oct, 11. [<http://www.prensalibre.com/pl/2006/octubre/11/153696.html>, consultado el 30 de noviembre de 2006].

Dardón, B. 2004. Un futuro prometedor: En pocos años la papaya podría ganar importancia para el país. Prensa Libre. Guatemala, GT. abr, 08. [<http://www.prensalibre.com/pl/2004/abril/08/85676.html>, consultado el 30 de noviembre de 2006].

Fearnside, P.M., Barbosa, R.I. 2003. Avoided deforestation in Amazonia as a global warming mitigation measure: The case of Mato Grosso. World Resource Review 15 (3): p. 352-361.

Fleck, C. L., Amend, M., Painter, L., Reid, J. 2006. Beneficios económicos regionales generados por la conservación: El caso Madidi. Conservation Strategy Fund, Bolivia. [<http://conservation-strategy.org/en/publications>] p. 85.

FIPA/AID. 2001. Petén Breve. GT. Proyecto de Fortalecimiento Institucional en Políticas Ambientales - FIPA. 59 p.

Global Heritage Fund (GHF). 2006. Mirador Conservation Proposal. Establishing a 525,100 acre Archeological and Wilderness Preserve in the Heart of the Maya Biosphere. 11 p.

Government Printing Office (GPO) of the United States of America. Economic Report of the President. 2006. B-3.—Quantity and price indexes for gross domestic product, and percent changes, 1959–2005, Report Spreadsheet Tables [<http://www.gpoaccess.gov/eop/tables06.html>, consultado en noviembre del 2006].

Griffith, D. 2005. Effective Geographic Sample Size in the Presence of Spatial Autocorrelation. *Annals of the Association of American Geographers*, 95(4), 2005, p. 740–760.

Grümberg, W. 2000. Modeling deforestation risk in the Maya Biosphere Reserve, Guatemala. Tesis MSc. Gainesville, US: University of Florida. 55 p.

Grünberg, G., Ramos, V. 1998. Base de Datos sobre población, tierras y medio ambiente en la Reserva de la Biosfera Maya. Peten, GT. CARE Guatemala / CONAP. 91 p.

Herrera R., Paiz, M. 1999. Plan Maestro 1999–2003 Parque Nacional Sierra del Lacandón, Coediciones Técnicas No.3. Petén, GT. CONAP-TNC-USAID. 45 p.

INAB. 2003. Resolución 01.24.2003, Valor de la Madera en pie por Región, y Tipo de Producto. *Diario de Centroamérica*, 28 de Agosto de 2003. Guatemala.

INGUAT. 2000. Propuesta de prioridades en infraestructura vial para uso turístico en el Departamento de Petén. GT. INGUAT/BID. Sp.

INGUAT. 2006. Boletín Estadísticas de Turismo, Guatemala, Año 2005. GT. Instituto Guatemalteco de Turismo. Sp.

Iniciarán en una semana construcción de carretera Caobas-Arroyo Negro. 2006. *Noticaribe*. Chetumal, MX. may, 08. [http://www.noticaribe.com.mx/chetumal/2006/05/iniciaran_en_una_semana_constr.htm, consultado el 04 de octubre de 2006].

Kaimowitz, D., Angelsen, A. 1998. Economic Models of Tropical Deforestation: A Review. Indonesia. Center for International Forest Research. 135 p.

MAGA. 2006. Mapa de Uso de la Tierra 2003 a escala 1:50,000 de la República de Guatemala. GT. Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, Laboratorio de Información Geográfica.

Mazars. 2005. II Informe de Progreso, Propuesta de desarrollo turístico para Petén y la RBM. Programa de Desarrollo Sostenible de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM) Componente Turismo. 17 p.

Medellín, R. 1991. The Selva Lacandona: an overview. Gainesville, US. TDC Newsletter, University of Florida. 24: p. 1-5.

Ministerio de Cultura y Deportes. 2003. Plan Maestro del Parque Nacional Tikal 2004-2008. GT. Ministerio de Cultura y Deportes, Dirección del Patrimonio Cultural y Natural - Parque Nacional Tikal. 136 p.

Ministerio de Energía y Minas. 2006. Guatemala: Principales Ingresos Estatales por Producción Petrolera Nacional (Contrato 2-85). (en línea). GT. Ministerio de Energía y Minas. [http://www.mem.gob.gt/Portal/Documents/Documents/2006-04/450/111/INGRESOS%20ESTATALES%202005%20C2-85_1.pdf], consultado el 30 de noviembre de 2006].

Nepstad, D., Carvalho, G., Barros, A., Alencar, A., Capobianco, J., Bishop, J., Moutinho, P., Lefebvre, P., Lopes, U., Prins, E. 2001. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and Management* 154 (2001): p. 395-407.

Monterroso, O., Buch, M. 2003. Valoración económica, ambiental y social de daños ocasionados por incendios forestales durante 2003. GT. INAB-CONAP-CATIE. 27 p.

Organización Mundo Maya. 2001. Los Sac'bes de hoy, para la identificación de corredores prioritarios para la inversión en turismo del Mundo Maya. Presentación sobre informe de consultoría. GT. Programa de Desarrollo Sostenible de Mundo Maya BID-STP. Sp.

Ovando, E. 2003. Del Sen. Eduardo Ovando Martínez, del grupo parlamentario del Partido Revolucionario Institucional, la que contiene punto de acuerdo por el que se exhorta a la Cámara de Diputados, para que establezca en el Presupuesto de Egresos de la Federación, los recursos destinados a la construcción de la carretera Caobas-Arroyo Negro. (en línea). Senado de la República. México D.F., MX. 04, dic. [http://www.senado.gob.mx/gaceta.php?&lg=59&lk=28/10_proposiciones/ovando_caobas.htm], consultado el 04 de octubre de 2006].

PA Consulting Group. 2004. Estudio de oferta y demanda para el programa de turismo sostenible Mundo Maya (PTSMM). BID. 2-68 p.

Pinelo, G. I. 2001. Efecto de un incendio forestal rastroero sobre la vegetación de un bosque natural latifoliado en San Francisco, Petén, Guatemala. Tesis Ing. Ftal. GT. USAC-CUDEP. 96 p.

Radachowsky, J. 2002. Endemismo en la Selva Maya. GT. WCS para FIPA/USAID y CONAP. 25 p.

Radachowsky, J., Ramos, V., Garcia, R., López, J., Fajardo, A. 2004. Efectos poblacionales de la extracción de la palma de xate (*Chamaedorea* sp.), en el norte de Guatemala. GT. WCS para FIPA/USAID y CONAP. 26 p.

Ramos, V., Bernales, E. 2001. Estimación de la deforestación en la Reserva de Biosfera Maya, periodos 1997-2000 y 2000-2001. GT. PROPETEN/CI, CONAP-CEMEC, FMAM. 15 p.

Ramos, V., Solis, N., Zetina J. 2001. Censo de Población, para actualizar la Base de Datos sobre Población Tierras y Medio Ambiente en la Reserva de Biosfera Maya. GT. CONAP-CARE-Cooperación Austriaca-USAID. 849 p.

Reyes, R., Wilshusen, P. 2006. El rol de los productos naturales en el desarrollo rural, el alivio a la pobreza y gobernabilidad en el manejo del recurso: el caso de la palma de xate (*Chamaedorea* spp) en la región de Petén, Guatemala. GT. International Resources Group, para USAID. 74 p.

Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis MSc. Turrialba, CR. CATIE. 106 p.

Sader, S., Bernales, E., Irwin, D. y Tuy, H. 2000. Estimación de la Deforestación en la Reserva de Biosfera Maya, 1997-1999. In Encuentro Internacional de Investigadores, Nuevas Perspectivas de Desarrollo Sostenible en Petén. FLACSO, Guatemala. P. 321-324.

Schlamadinger, B., L. Ciccarese, M. Dutschke, P.M. Fearnside, S. Brown, D. Mudiyarso. 2005. Should we include avoidance of deforestation in the international response to climate change? p. 26-41 In: D. Mudiyarso y H. Herawati (eds.) Carbon Forestry: Who Will Benefit? Proceedings of Workshop on Carbon Sequestration and Sustainable Livelihoods, held in Bogor on 16-17 February 2005. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia. 215 p. [http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/Books/BMurdiyarso0502.pdf, consultado en noviembre de 2006].

Schwartz, N. 1990. Forest society - a social history of Petén, Guatemala. US. University of Pennsylvania Press. 367 p.

Secretaría de Comunicación y Transportes (SCT) y el Gobierno del Estado de Quintana Roo. 2004. Evaluación social del proyecto “Modernización del tramo carretero Caobas-Arroyo Negro” en el Municipio de Othon P. Blanco, Quintana Roo, obra que forma parte del proyecto carretero Caobas, México - Flores, Guatemala.

The Katoomba Group’s Ecosystem Market Place. 2006. Carbon Mid-Prices.

[<http://www.ecosystemmarketplace.com> consultado en noviembre del 2006].

Vásquez, J. 2006. Breves: Berger visitó “aldea modelo de autogestión”. Prensa Libre. Guatemala, GT. ene, 18. [<http://www.prensalibre.com/pl/2006/enero/18/132487.html>, consultado el 4 de octubre de 2006].

WCS, CONAP, FIPA/AID. 2003. Monitoreo de Incendios Forestales y Estimación de Superficies Quemadas, Reserva de Biosfera Maya, 2003. GT. WCS, CONAP, FIPA/AID. 29 p.

WCS, CONAP. 2005. Monitoreo de Incendios Forestales y Estimación de Superficies Quemadas, Reserva de Biosfera Maya, 2005. GT. WCS, CONAP, CEPF, DOI, USAID. 11 p.

Westerling, A., Hidalgo, H., Cayan, D., Swetnam, T. 2006. Warming and Earlier Spring Increase Western U.S. Forest Wildfire Activity. *Science*, (313) p. 940-943.

Winrock. 1998. Carbon Sequestration and Sustainable Coffee in Guatemala. Arlington, Virginia, US. Winrock International. Sp.



Anexos

Anexo 1 Valores de deforestación y distancia a caminos en los tramos principales de la RBM

Cinco tramos principales dentro de la RBM fueron analizados para extraer estadísticas que relacionan la distancia a caminos con la deforestación. Los tramos analizados son:

- Flores-Bethel
- Flores-Naranjo-Xan
- Flores-Melchor de Mencos
- Flores-Carmelita
- Flores-Tikal-Uaxactún

El análisis se basó en las superficies de deforestación acumulada hasta 2005, para cada uno de los tramos enumerados a una distancia de 15 km de la vía principal, a intervalos de 1 km. La Figura A1 muestra los tramos analizados.

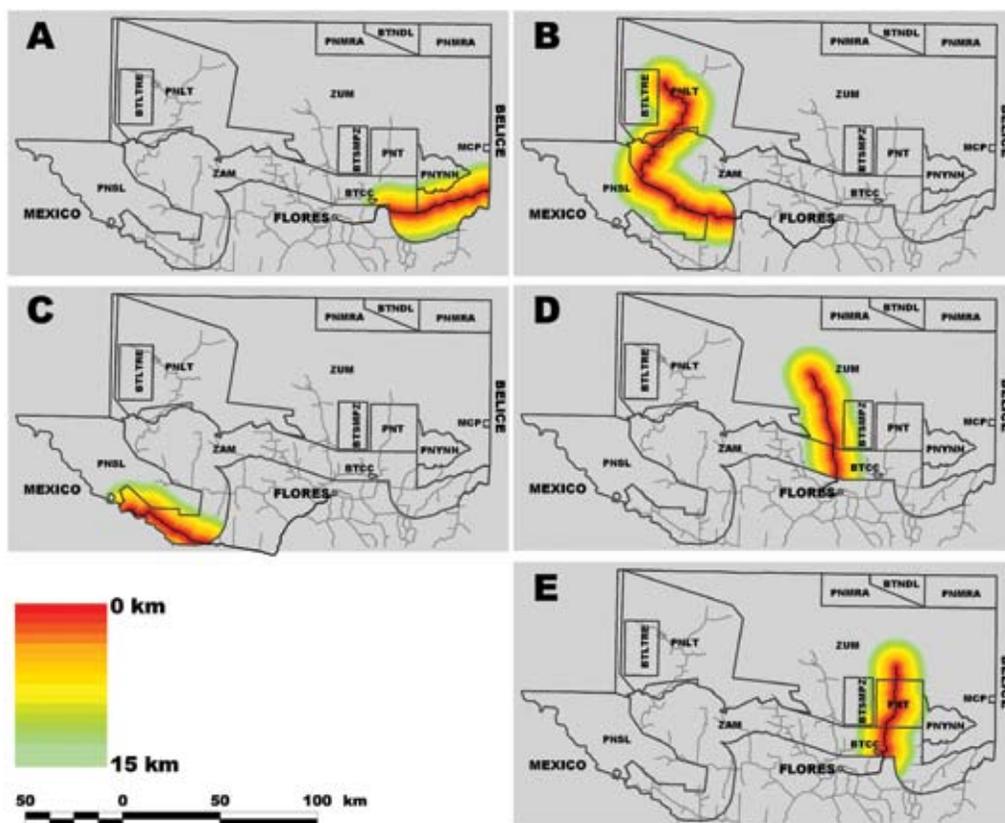


FIGURA A1. TRAMOS ANALIZADOS EN BUFFER DE 15 KM DESDE VÍA PRINCIPAL: A. FLORES-BETHEL, B. FLORES-NARANJO-XAN, C. FLORES-MELCHOR DE MENCOS, D. FLORES-CARMELOTA Y E. FLORES-TIKAL-UAXACTÚN

Los valores de deforestación acumulada se muestran en la Tabla A1 para cada rango de distancia. Los valores más altos acumulados hasta 15 km corresponden a la ruta Flores-Bethel y los más bajos, a la ruta Flores-Tikal-Uaxactún. La Figura A2 muestra un gráfico con los valores de la Tabla A1 que permite visualizar cambios en la proporción de superficie deforestada a lo largo de los rangos de distancia desde la vía principal del tramo evaluado.

TABLA A1. PORCENTAJE DEFORESTADO POR RANGO DE DISTANCIA DESDE VÍAS PRINCIPALES DE LOS TRAMOS EVALUADOS

Distancia	% deforestado del rango hasta 2005				
	Flores-Bethel	Flores-Carmelita	Flores-Melchor de Mencos	Flores-Tikal-Uaxactún	Flores-Naranjo-Xan
0 - 1 km	62.3	41.6	58.6	19.3	69.5
0 - 2 km	50.4	37.9	51.8	16.2	61.7
0 - 3 km	43.9	36.5	49.4	14.2	56.6
0 - 4 km	40.3	34.4	46.0	12.8	52.6
0 - 5 km	39.6	32.0	43.6	12.0	49.3
0 - 6 km	39.7	29.0	42.5	11.0	46.6
0 - 7 km	40.1	26.7	41.0	10.3	44.0
0 - 8 km	39.9	24.7	40.0	10.2	42.0
0 - 9 km	39.6	23.0	38.9	10.3	40.2
0 - 10 km	39.9	21.4	37.5	10.3	38.4
0 - 11 km	40.1	19.9	36.2	10.4	37.0
0 - 12 km	39.9	18.6	35.0	10.5	36.0
0 - 13 km	39.6	17.7	34.0	10.6	35.1
0 - 14 km	39.4	17.0	32.9	10.5	34.3
0 - 15 km	38.5	16.3	31.6	10.4	33.8

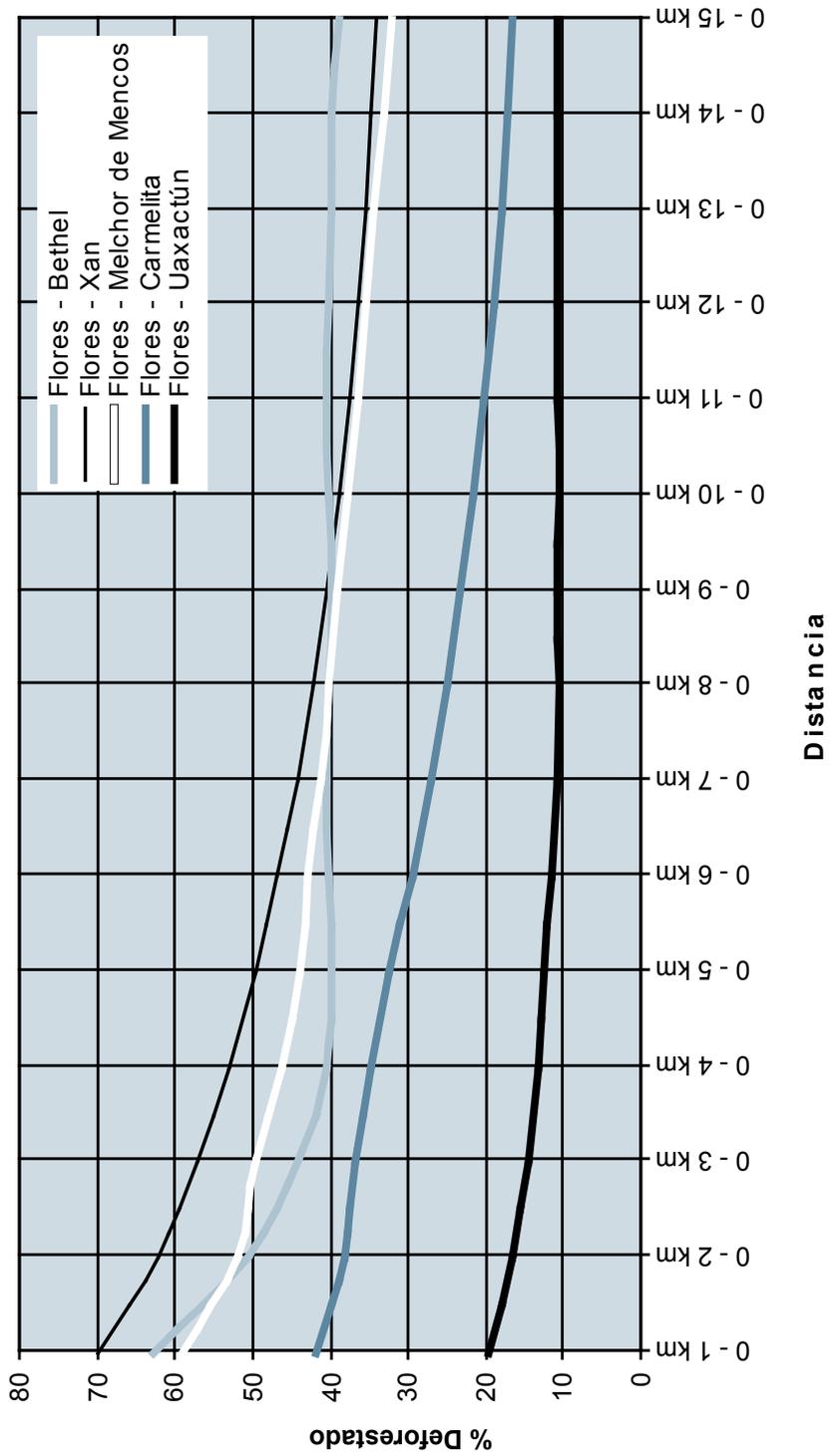


FIGURA A2. CURVAS DE % DEFORESTADO POR RANGO DE DISTANCIA DESDE VÍA PRINCIPAL EN LOS TRAMOS EVALUADOS

Anexo 2 Métodos para la construcción del modelo

Procedimientos específicos para la construcción del modelo logístico de deforestación se explican a continuación.

Muestreo y autocorrelación espacial

Con el propósito de optimizar el muestreo de variables dependientes e independientes, se evaluó la autocorrelación espacial en la capa de deforestación (la variable dependiente). La presencia de autocorrelación espacial (AE) puede oscurecer el papel de variables independientes del fenómeno a explicar, en este caso la deforestación. Los resultados de la evaluación de AE son usados para diseñar un sistema de muestreo que minimice sus efectos y que permita, en lo posible, garantizar que las muestras sean estadísticamente independientes para obtener resultados válidos del modelo y, en especial, de la valoración de los efectos relativos de las variables independientes sobre la deforestación.

Usando Moran I se estimó que existe autocorrelación espacial en prácticamente toda el área de estudio. A distancias entre pares de puntos cerca de 60 km y 180 km la curva del correlograma Moran I/Distancia indica la ausencia de AE (Figura A3). Estas distancias no permiten la construcción de un esquema de muestreo con un número suficiente de unidades de muestra debido al tamaño del área de interés. Este inconveniente hizo que se optara por reducir al mínimo posible la AE, al mismo tiempo que se mantenía un número razonable de muestras.

El diseño resultante, basado parcialmente en Griffith (2005) y que se estima registra valores de Moran I no mayores a 0.5, se define entonces de la siguiente manera:

- Generación de círculos de 250 m de diámetro distribuidos sistemáticamente a lo largo del área de estudio y distanciados 1,000 m entre sí (desde el perímetro).
- Selección aleatoria de la ubicación de una unidad de muestra dentro de cada círculo de 250 m.
- Exclusión de unidades de muestra de áreas deforestadas previamente al periodo de análisis (antes de 2000).
- Exclusión de unidades de muestra de cuerpos de agua.
- Selección de todas las muestras dentro de áreas deforestadas entre 2000 y 2005 (545 muestras) y selección aleatoria de 1/5 de las muestras en áreas no deforestadas (2,518 muestras).



FIGURA A3. MORAN I A DIFERENTES DISTANCIAS DE PUNTOS DE MUESTREO PARA DEFORESTACIÓN

Variables

De entre 54 variables candidatas, el modelo seleccionado usó 10, que se describen en la tabla A2, a continuación (las variables elegidas se presentan en azul oscuro).

TABLA A2. VARIABLES CANDIDATAS Y SELECCIONADAS EN EL MODELO

No	Nombre corto	Nombre largo	Papel en el análisis
0	DEP_NAC	Deforestación entre 2000-2005	Dependiente
1	BALT	Dummy para “Bosque Alto”	Independiente candidata
2	HUME	Dummy para “Humedales”	Independiente en el modelo
3	BBAJ	Dummy para “Bosque Bajo”	Independiente candidata
4	S_drain	Dummy para “Suelos con Buen Drenaje”	Independiente candidata
5	S_depth	Dummy para “Suelos Profundos”	Independiente en el modelo
6	Nsd00_11	Medida de fragmentación focal basada en desviación estándar de una capa donde 0=no deforestado en 1995, 1=deforestado en 1995, kernel 21 pixeles	Independiente candidata
7	Nsd00_21	Medida de fragmentación focal basada en desviación estándar de una capa donde 0=no deforestado en 1995, 1=deforestado en 1995, kernel 11 pixeles	Independiente candidata
8	dpob-7600	Densidad de población, todas las poblaciones, kernel 7600 metros	Independiente candidata
9	dpob_8400	Densidad de población, todas las poblaciones, kernel 8400 metros	Independiente candidata
10	dpob_8400 ^a	Densidad de población a partir de poblados con 1,500 o menos habitantes, kernel 8,400 metros	Independiente candidata
11	dnpop8400b	Densidad de población a partir de poblados con 2,000 o menos habitantes, kernel 8,400 metros	Independiente candidata
12	dcam-9400	Densidad de segmentos de camino de 25 m, kernel 9,400 m	Independiente candidata
13	dcam-12200	Densidad de segmentos de camino de 25 m, kernel 12200 m	Independiente candidata
14	D_navriv	Distancia a ríos navegables	Independiente candidata
15	D_cuerpos	Distancia a cuerpos de agua permanentes	Independiente candidata
16	Twi25	Índice topográfico de humedad	Independiente candidata
17	Pend	Pendiente en grados sexagesimales	Independiente candidata
18	Ppluv	Precipitación pluvial promedio anual en mm	Independiente candidata
19	Elev	Elevación en msnm	Independiente candidata
20	Das_250	Distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 250 hab	Independiente candidata
21	Das_500	Distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 500 hab	Independiente candidata

No	Nombre corto	Nombre largo	Papel en el análisis
22	Das_750	Distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 750 hab	Independiente candidata
23	Das_1000	Distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 1000 hab	Independiente candidata
24	Das_1500	Distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 1500 hab	Independiente candidata
25	Das_2000	Distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 2000 hab	Independiente candidata
26	Das_todos	Distancia en metros a asentamientos	Independiente candidata
27	dagr_ac00	Distancia a deforestación acumulada hasta 2000	Independiente candidata
28	dagr-9500	Distancia a deforestación en el periodo 1995-2000	Independiente candidata
29	dcam-0005	Distancia a caminos existentes antes de 2005	Independiente candidata
30	LD_navriv	Logaritmo natural de Distancia a ríos navegables	Independiente candidata
31	LD_cuerpos	Logaritmo natural de Distancia a cuerpos de agua permanentes	Independiente candidata
32	LTwi25	Logaritmo natural de Índice topográfico de humedad	Indenpendiente en el modelo
33	LPend	Logaritmo natural de Pendiente en grados sexagesimales	Independiente candidata
34	LPpluv	Logaritmo natural de Precipitación pluvial promedio anual en mm	Independiente candidata
35	LElev	Logaritmo natural de Elevación en msnm	Independiente candidata
36	LDas_250	Logaritmo natural de Distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 250 hab	Independiente candidata
37	LDas_500	Logaritmo natural de Distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 500 hab	Independiente candidata
38	LDas_750	Logaritmo natural de Distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 750 hab	Independiente candidata
39	LDas_1000	Logaritmo natural de Distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 1,000 hab	Independiente candidata
40	LDas_1500	Logaritmo natural de Distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 1,500 hab	Independiente candidata
41	LDas_2000	Logaritmo natural de Distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 2,000 hab	Indenpendiente en el modelo
42	LDas_todos	Logaritmo natural de Distancia en metros a asentamientos	Independiente candidata
43	Ldagr_ac00	Logaritmo natural de Distancia a deforestación acumulada hasta 2000	Indenpendiente en el modelo

No	Nombre corto	Nombre largo	Papel en el análisis
44	Ldagr-9500	Logaritmo natural de Distancia a deforestación en el periodo 1995-2000	Independiente candidata
45	Ldcam-0005	Logaritmo natural de Distancia a caminos existentes antes de 2005	Independiente en el modelo
46	CCSPR	Dummy para “Concesiones Comunitarias sin Poblaciones Residentes”	Independiente candidata
47	CCCPR	Dummy para “Concesiones Comunitarias con Poblaciones Residentes”	Independiente en el modelo
48	CCCPR50	Dummy para “Concesiones Comunitarias con Poblaciones Residentes asentadas hace más de 50 años”	Independiente candidata
49	CI	Dummy para “Concesiones Industriales”	Independiente candidata
50	ZAM	Dummy para “Zona de Amortiguamiento”	Independiente en el modelo
51	ZUMSPR	Dummy para “Zona de Uso Múltiple sin Poblaciones Residentes”	Independiente candidata
52	ZUMCPR	Dummy para “Zona de Uso Múltiple con Poblaciones Residentes”	Independiente en el modelo
53	ZNSPR	Dummy para “Zonas Núcleo sin Poblaciones Residentes”	Independiente candidata
54	ZNCPR	Dummy para “Zonas Núcleo con Poblaciones Residentes”	Independiente en el modelo

Anexo 3 Detalles de resultados del modelo logístico de deforestación

Los resultados del modelo de regresión logística se resumen en la Tabla A4 y A5 en las siguientes páginas. La ecuación final para generar superficies de probabilidad del modelo es:

$$-1.011341 + (\text{HUME} * -1.5137) + (\text{S-DEPTH} * 0.3915) + (\text{LTIW25} * 1.4014) + (\text{LDAS}_{2000} * -0.6315) + (\text{LDAGR_AC00} * -0.0854) + (\text{LDCAM-0005} * -0.1444) + (\text{CCCPR} * 4.0362) + (\text{ZAM} * 5.2465) + (\text{ZUMCPR} * 4.7538) + (\text{ZNCPR} * 4.5862)$$

El modelo tiene, relativamente, poca significación estadística (ver Tabla A3) con un valor de R cuadrado de Nagelkerke de 0.400, aunque este valor fue más alto que el alcanzado en el mejor modelo de Grümberg (2000), que obtuvo 0.375 y usó deforestación acumulada (1986-última fecha) como variable dependiente. Sin embargo, tal como en el caso de Grümberg se cree que el modelo representa apropiadamente los patrones de deforestación en la RBM y que valora adecuadamente el papel de las variables incluidas en la ocurrencia de deforestación.

TABLA A3. MEDIDAS SELECTAS DE AJUSTE Y PSEUDO R DEL MODELO SELECCIONADO

-2 Log likelihood	2013.955
Cox & Snell R Cuadrado	0.243
Nagelkerke R Cuadrado	0.400
McFadden Rho Cuadrado	0.298
Prueba de Hosmer y Lemeshow	
Chi-square	51.104
Df	8
Sig.	0.000

La distancia a los caminos existentes antes de 2005 es comparativamente mucho menos importante en el modelo que la distancia a los asentamientos con menos de 2,000 habitantes, lo que parece indicar una relación no tan determinante entre deforestación y existencia de caminos. Esta diferencia puede explicarse afirmando que en el caso de la RBM existen caminos en cuyas cercanías no ocurre deforestación (porción de camino dentro de Tikal), mientras que prácticamente en todos los sitios cercanos a asentamientos sí ocurre deforestación.

La segunda variable más importante para explicar la deforestación es en áreas dentro de la Zona de Amortiguamiento -ZAM-, lo que es lógico, dado que en esta zona el cambio de uso del suelo no está regulado estrictamente como en el resto de las unidades de manejo de la RBM.

TABLA A4. RESULTADOS DEL MODELO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA

Variable	Descripción	Coefficiente	Error estándar del coeficiente	Wald Chi cuadrado	Valor P	Cociente de "odds"	Coefficientes estandarizados
HUME	Dummy para "Humedales"	-1.51	0.30	25.29	0.00	0.22	-5.03
S-DEPTH	Dummy para "Suelos Profundos"	0.39	0.14	8.08	0.00	1.48	2.84
LTIW25	Logaritmo natural de Índice topográfico de humedad	1.40	0.52	7.29	0.01	4.06	2.70
LDAS_2000	Logaritmo natural de distancia en metros a asentamientos con poblaciones menores a 2,000 hab	-0.63	0.08	58.09	0.00	0.53	-7.62
LDAGR_AC00	Logaritmo natural de distancia a deforestación acumulada hasta 2000	-0.09	0.03	11.52	0.00	0.92	-3.39
LDCAM-0005	Logaritmo natural de distancia a caminos existentes antes de 2005	-0.14	0.04	12.35	0.00	0.87	-3.52
CCCPR	Dummy para "Concesiones Comunitarias con Poblaciones Residentes", excluidas aquellas cuyas poblaciones tienen más de 50 años de asentadas (Carmelita y Uaxactún)	4.04	1.04	15.05	0.00	56.61	3.88
ZAM	Dummy para "Zona de Amortiguamiento"	5.25	1.01	26.90	0.00	189.91	5.19
ZUMCPR	Dummy para "Zona de Uso Múltiple no concesionada con Poblaciones Residentes"	4.75	1.02	21.83	0.00	116.02	4.67
ZNCPR	Dummy para "Zonas Núcleo con Poblaciones Residentes"	4.59	1.01	20.64	0.00	98.12	4.54
Constante	Intercepto Y de la ecuación de regresión logística	-1.68	1.56	1.16	0.28	0.19	-1.08
Constante corregida para muestras de tamaños diferentes	Intercepto Y corregido para muestras de tamaños diferentes de la ecuación de regresión logística	-1.011341					

TABLA A5. MATRIZ DE CORRELACIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES

	Constant	HUME	S_depth	LTwi25	LDas_2000	Ldagr_ac00	Ldcam0005	CCCPR	ZAM_A	ZUMCPR	ZNCPR
Constant	1	0.071	0.195	-0.589	-0.4	0.123	-0.141	-0.68	-0.684	-0.666	-0.678
HUME	0.071	1	0.094	-0.194	0.091	-0.057	0.045	0.005	-0.005	-0.006	-0.01
S_depth	0.195	0.094	1	-0.363	-0.014	-0.051	0.004	-0.031	-0.031	-0.02	-0.032
LTwi25	-0.589	-0.194	-0.363	1	-0.041	-0.177	0.041	0.015	0.002	-0.009	0.001
LDas_2000	-0.4	0.091	-0.014	-0.041	1	-0.203	-0.203	0.081	0.071	0.077	0.076
Ldagr_ac00	0.123	-0.057	-0.051	-0.177	-0.203	1	-0.164	0.016	0.055	0.036	0.028
Ldcam0005	-0.141	0.045	0.004	0.041	-0.203	-0.164	1	0.044	0.021	-0.011	-0.002
CCCPR	-0.68	0.005	-0.031	0.015	0.081	0.016	0.044	1	0.965	0.956	0.964
ZAM_A	-0.684	-0.005	-0.031	0.002	0.071	0.055	0.021	0.965	1	0.984	0.992
ZUMCPR	-0.666	-0.006	-0.02	-0.009	0.077	0.036	-0.011	0.956	0.984	1	0.985
ZNCPR	-0.678	-0.01	-0.032	0.001	0.076	0.028	-0.002	0.964	0.992	0.985	1

La variable de áreas clasificadas como humedales es ligeramente menos importante que la ZAM para explicar la ocurrencia de deforestación, y con un coeficiente negativo en el modelo tiene el efecto de excluirla de las zonas de humedal, lo que por defecto la sitúa en bosque alto y bosque bajo, las otras dos clases de vegetación disponibles para deforestar. Inicialmente se pensaría que lo mismo debería ocurrir con áreas clasificadas como Bosque Bajo, pero recientemente y con la introducción de nuevas variedades de pasto (como *Brachiaria humidicola*)¹ y razas de ganado que soportan inundaciones temporales, este tipo de vegetación también está siendo convertido, principalmente, a potreros para ganado.

Tres variables más, asociadas a la zonificación y presencia/ausencia de asentamientos humanos, siguen en orden de importancia como explicadores de la deforestación: áreas dentro de Zona de Uso Múltiple no concesionada con Poblaciones Residentes, áreas dentro de Zonas Núcleo con Poblaciones Residentes y áreas dentro de Concesiones Comunitarias con Poblaciones Residentes (excluidas aquellas cuyas poblaciones tienen más de 50 años). Aparentemente existe un efecto marginal de contención de la deforestación en zonas bajo manejo forestal con poblaciones residentes cuando se compara con zonas núcleo con poblaciones residentes. En el modelo, el papel de la zonificación se explica de manera general afirmando que aquellas zonas con poblaciones residentes son más susceptibles a la deforestación (con efectos de diferentes magnitudes en función de la categoría de manejo), comparado con cualquier tipo de zona dentro de la RBM, independientemente de su categoría de manejo, que no tiene poblaciones residentes.

¹ *Comunicación personal, Jorge Cruz Bolaños, Proyecto CATIE NORUEGA “Desarrollo Participativo de Alternativas de Uso Sostenible de la Tierra para Pasturas Degradadas en Centroamérica”, septiembre de 2006.*

Anexo 4 Cálculos para la estimación de deforestación por zona de probabilidad y esquema de procedimiento para la estimación de deforestación

TABLA A6. PORCENTAJES DE DEFORESTACIÓN ENTRE 2000 Y 2005 POR ZONA DE PROBABILIDAD

Zona de Probabilidad	Superficie de la Zona de Probabilidad (km ²)	Deforestación 2000-2005 (km ²)	% de la Zona de Probabilidad Deforestada
0 a 5	7986.5	3.7	0.05
5 a 10	804.6	4.2	0.52
10 a 15	785.2	6	0.76
15 a 20	699.3	6.7	0.96
20 a 25	919.6	18.8	2.05
25 a 30	1066	32.9	3.08
30 a 35	905.1	40.9	4.51
35 a 40	812	57.5	7.09
40 a 45	732.6	72.2	9.86
45 a 50	664	84.5	12.73
50 a 55	685.3	96	14.01
55 a 60	629.1	92.1	14.63
60 a 65	504.8	83.6	16.56
65 a 70	352.7	60.2	17.07
70 a 75	235.3	40.9	17.4
75 a 80	134.5	26.6	19.81
80 a 85	61.5	12.1	19.61
85 a 90	22.6	4.6	20.35
90 a 95	4.2	0.6	15.13
95 a 100	0.2	0	4.55

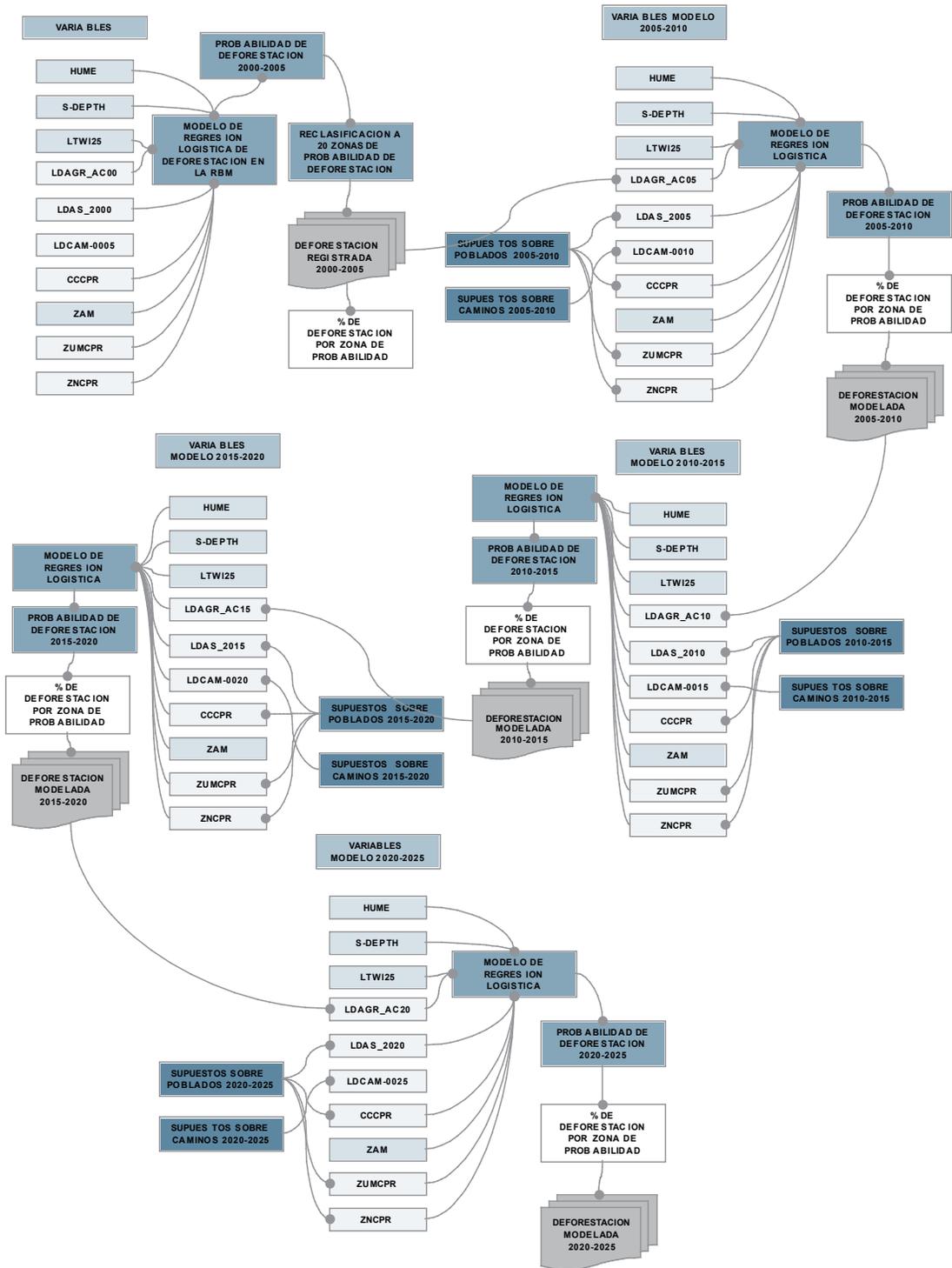


FIGURA A4. ESQUEMA DE PROCEDIMIENTO PARA MODELAR LA DEFORESTACIÓN HASTA 2025

Anexo 5 Detalles de cálculos para estimar pérdidas netas de carbono por deforestación

TABLA A7. ESTIMADOS DE PÉRDIDAS BRUTAS DE CARBONO POR DEFORESTACIÓN, POR FECHA Y POR TIPO DE VEGETACIÓN AFECTADA

Escenario	Deforestación en km ²				Fracción de la deforestación por tipo de vegetación afectada				Estimaciones de carbono perdido por tipo de vegetación deforestada y periodo en toneladas					
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	Periodo	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	Carbono en ton/ km ²	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025
Escenario sin construcción de nuevos caminos	743.4	732	690.9	657.9	Bosque Alto-Medio	0.76	0.75	0.76	0.77	31,840	17,998,773.2	17,520,780.2	16,783,346.9	16,105,013.2
	743.4	732	690.9	657.9	Bosque Bajo	0.20	0.19	0.18	0.18	12,260	1,797,112.1	1,749,296.0	1,494,522.2	1,437,848.4
	743.4	732	690.9	657.9	Humedales	0.04	0.05	0.06	0.05	8,260	260,425.6	322,479.0	345,949.7	287,527.7
Escenario construcción de todos los nuevos caminos	800.5	814.4	800.9	783.8	Bosque Alto-Medio	0.77	0.78	0.76	0.77	31,840	19,631,006.1	20,175,800.5	19,423,636.8	19,129,450.4
	800.5	814.4	800.9	783.8	Bosque Bajo	0.19	0.18	0.19	0.19	12,260	1,854,521.6	1,755,210.4	1,824,947.3	1,813,846.3
	800.5	814.4	800.9	783.8	Humedales	0.04	0.05	0.05	0.04	8,260	269,955.5	310,347.3	346,980.9	289,532.6
Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	763.8	768	735.3	712.7	Bosque Alto-Medio	0.76	0.76	0.77	0.77	31,840	18,406,591.5	18,538,129.0	18,027,324.0	17,425,531.1
	763.8	768	735.3	712.7	Bosque Bajo	0.20	0.19	0.18	0.19	12,260	1,845,828.3	1,800,246.2	1,631,606.2	1,629,556.6
	763.8	768	735.3	712.7	Humedales	0.05	0.05	0.05	0.05	8,260	290,310.7	321,589.3	297,620.2	268,443.4
Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	750.2	747	713.6	683.6	Bosque Alto-Medio	0.75	0.75	0.75	0.74	31,840	17,986,405.1	17,760,958.1	17,128,232.9	16,156,060.7
	750.2	747	713.6	683.6	Bosque Bajo	0.20	0.20	0.19	0.20	12,260	1,839,987.2	1,793,542.7	1,678,850.0	1,650,167.6
	750.2	747	713.6	683.6	Humedales	0.05	0.06	0.05	0.06	8,260	290,915.7	354,261.0	319,792.4	343,519.8

TABLA A8. ESTIMADOS DE CARBONO REMANENTE POR SISTEMA AGROPECUARIO DE REEMPLAZO (DEFORESTACIÓN), POR FECHA Y POR TIPO DE SISTEMA AGROPECUARIO DE REEMPLAZO

ESCENARIO	Deforestación en Km ²				Fracción de la Deforestación por Tipo de Sistema Agropecuario de Reemplazo		Estimaciones de Carbono Remanente por Tipo de Sistema Agropecuario de Reemplazo en toneladas					
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	Sistema Agropecuario	Fracción	Carbono en Ton/ km ²	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	
Escenario sin construcción de nuevos caminos	743.4	732	690.9	657.9	Cultivos Anuales	0.6049	3,500.0	1,573,804.6	1,549,670.4	1,462,660.2	1,392,798.0	
	743.4	732	690.9	657.9	Cultivos Perennes	0.0111	12,260.0	101,554.6	99,997.2	94,382.6	89,874.5	
	743.4	732	690.9	657.9	Pastizales	0.384	9,880.0	2,820,326.4	2,777,076.9	2,621,150.8	2,495,954.8	
Escenario construcción de todos los nuevos caminos	800.5	814.4	800.9	783.8	Cultivos Anuales	0.6049	3,500.0	1,694,687.3	1,724,114.1	1,695,534.2	1,659,332.8	
	800.5	814.4	800.9	783.8	Cultivos Perennes	0.0111	12,260.0	109,354.9	111,253.7	109,409.5	107,073.5	
	800.5	814.4	800.9	783.8	Pastizales	0.384	9,880.0	3,036,953.6	3,089,687.7	3,038,471.1	2,973,596.8	
Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	763.8	768	735.3	712.7	Cultivos Anuales	0.6049	3,500.0	1,616,992.1	1,625,883.7	1,556,656.6	1,508,811.6	
	763.8	768	735.3	712.7	Cultivos Perennes	0.0111	12,260.0	104,341.4	104,915.1	100,448.0	97,360.7	
	763.8	768	735.3	712.7	Pastizales	0.384	9,880.0	2,897,720.4	2,913,654.4	2,789,596.5	2,703,856.1	
Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	750.2	747	713.6	683.6	Cultivos Anuales	0.6049	3,500.0	1,588,200.4	1,581,425.9	1,510,716.9	1,447,205.8	
	750.2	747	713.6	683.6	Cultivos Perennes	0.0111	12,260.0	102,483.5	102,046.3	97,483.6	93,385.4	
	750.2	747	713.6	683.6	Pastizales	0.384	9,880.0	2,846,124.4	2,833,984.2	2,707,270.6	2,593,456.0	

Anexo 6 Descripción esquemática del modelo de incendios

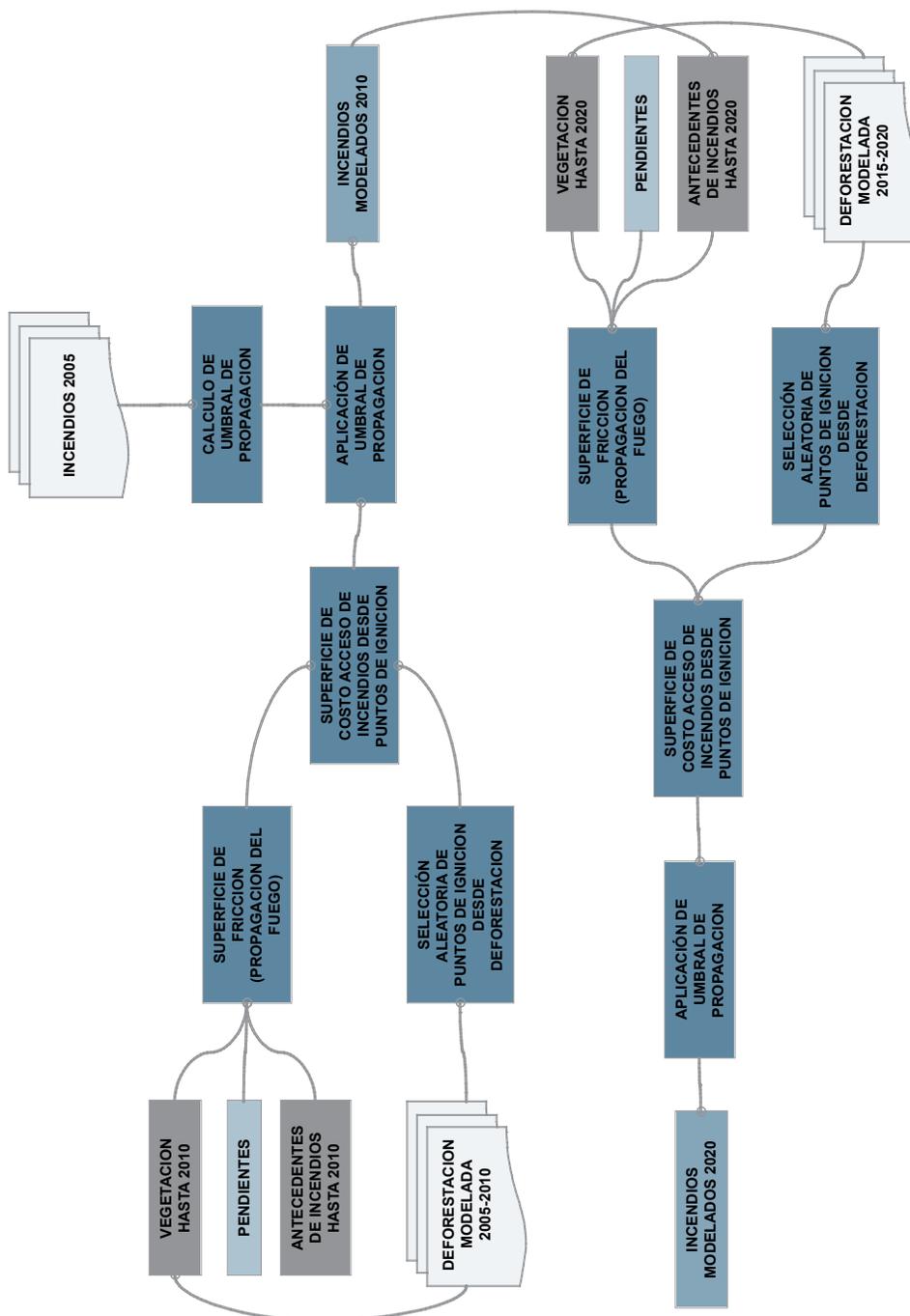


FIGURA A5. ESQUEMA DE PROCEDIMIENTO PARA MODELAR INCENDIOS EN 2010 Y 2020

Anexo 7 Detalles de cálculos para estimar pérdidas netas de carbono por incendios forestales

TABLA A9. SUPERFICIES QUEMADAS POR ESCENARIO, FECHA Y TIPO DE VEGETACIÓN AFECTADA

Fecha	Escenario	Humedales-Sabanas Inundables Km ²	Bosque Bajo Km ²	Bosque Alto-Medio Km ²	TOTAL Km ²	Diferencia contra escenario de referencia Km ²
Entre 2010-2015 (en toneladas)	Escenario sin construcción de nuevos caminos	835.1	1,195.4	3,770.6	5,801.0	No aplica
	Escenario construcción de todos los nuevos caminos	830.6	1,262.5	4,119.6	6,212.7	411.7
	Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	826.2	1,254.6	3,877.7	5,958.6	157.6
	Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	837.0	1,205.1	3,927.9	5,970.0	169.0
Entre 2020-2025 (en toneladas)	Escenario sin construcción de nuevos caminos	774.5	1,001.5	3,462.2	5,238.3	No aplica
	Escenario construcción de todos los nuevos caminos	795.7	1,245.3	4,243.1	6,284.2	1,046
	Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	786.8	1,084.4	3,769.0	5,640.2	402
	Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	772.5	1,080.7	3,670.5	5,523.7	285

TABLA A10. PÉRDIDAS DE CARBONO POR INCENDIOS POR ESCENARIO, FECHA Y TIPO DE VEGETACIÓN QUEMADA

Fecha	Escenario	Humedales-Sabanas Inundables	Bosque Bajo	Bosque Alto-Medio	TOTAL	Diferencia contra escenario de referencia
Carbono arriba del suelo en Ton/km ²		910	3310	10,640	No aplica	No aplica
Factor de emisión por tipo de vegetación		0.84	0.25	0.09	No aplica	No aplica
Entre 2010-2015	Escenario sin construcción de nuevos caminos	638,312.2	989,185.2	3,610,688.3	5,238,185.7	No aplica
	Escenario construcción de todos los nuevos caminos	634,872.4	1,044,718.8	3,944,967.3	5,624,558.4	386,372.7
	Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	631,562.6	1,038,181.5	3,713,323.8	5,383,067.9	144,882.2
	Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	639,779.9	997,203.7	3,761,385.8	5,398,369.3	160,183.6
Entre 2020-2025	Escenario sin construcción de nuevos caminos	592,035.4	828,766.1	3,315,421.9	4,736,223.4	No aplica
	Escenario construcción de todos los nuevos caminos	608,248.4	1,030,485.8	4,063,230.9	5,701,965.0	965,741.6
	Escenario construcción de la ruta Uaxactún-Arroyo Negro	601,437.6	897,316.2	3,609,184.8	5,107,938.6	371,715.2
	Escenario construcción de la ruta Carmelita-Mirador	590,483.7	894,295.8	3,514,899.5	4,999,679.0	263,455.6

Anexo 8 Cálculo de volúmenes ponderados por clase comercial y listado de especies por grupo comercial

TABLA A11. VOLÚMENES POR GRUPO COMERCIAL Y UNIDAD DE MANEJO EN LA RBM Y VOLUMEN PONDERADO CON BASE EN LA SUPERFICIE DE LA UNIDAD DE MANEJO

UNIDAD DE MANEJO	Extensión territorial concesionada (hectáreas)	Volumen arriba de 25 cm de DAP en m ³ /ha		
		Especies con mercado totalmente desarrollado (AAACOM)	Especies con mercado parcialmente desarrollado (ACTCOM)	Especies con potencial comercial (POTCOM)
Río Chanchic	12,173.00	1.82	8.69	6.40
Chosquitán	19,390.00	1.67	6.52	9.12
Uaxactún	83,558.00	1.03	4.47	9.05
La Unión	21,176.34	2.45	10.03	10.75
Yaloch	25,386.48	1.90	8.45	12.27
Bethel	4,226.86	0.56	4.41	5.71
La Técnica	4,607.00	0.35	6.55	14.35
La Lucha	3,931.71	2.61	17.64	17.76
Unión Maya Itza	5,923.99	1.70	8.64	8.70
Monte Sinai	1,048.20	1.27	4.62	5.92
Yanahí	1,080.00	0.28	3.48	18.59
Retalteco	1,665.00	0.17	10.14	9.51
La Felicidad	1,341.48	0.29	4.40	9.59
La Colorada	22,067.00	1.70	4.91	4.44
Cruce a la Colorada	20,469.00	1.96	1.77	4.57
San Miguel	7,170.68	1.17	2.14	8.69
Árbol Verde	64,973.57	0.97	5.73	9.38
Paxbán	65,755.00	2.46	4.58	8.72
Volumen en m ³ /ha ponderado desde datos de inventarios forestales oficiales de las unidades de manejo enumeradas		1.58	5.65	8.89

TABLA A12. ESPECIES POR GRUPO COMERCIAL (FUENTE: PLANES DE MANEJO FORESTAL DE 18 UNIDADES DE MANEJO FORESTAL EN LA RBM)

No.	Nombre común	Nombre Científico	Grupo comercial
1	Aceituno	<i>Simarouba amara</i>	POTCOM
2	Amapola	<i>Pseudobombax ellipticum</i>	ACTOM/POTCOM
3	Amate	<i>Ficus sp.</i>	POTCOM
4	Bálsamo	<i>Myroxilon balsamum</i>	POTCOM
5	Bojón	<i>Cordia sp.</i>	POTCOM
6	Cansan	<i>Terminalia amazonia</i>	ACTOM
7	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	AAACOM
8	Catalox	<i>Swartzia lundellii</i>	ACTOM/POTCOM
9	Cechén Negro	<i>Metopium brownei</i>	ACTOM/POTCOM
10	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	AAACOM
11	Cedrillo	<i>Gutteria leiophylla</i>	POTCOM
12	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	POTCOM
13	Cericote	<i>Cordia dodecandra</i>	ACTOM
14	Chacaj Blanco	<i>Bursera graveolens</i>	POTCOM
15	Chacaj Colorado	<i>Bursera simaruba</i>	POTCOM, ACTCOM
16	Chichicaste	<i>Poulsenia armata</i>	POTCOM
17	Chichipate	<i>Sweetia panamensis</i>	POTCOM, ACTCOM
18	Chonté	<i>Cupania macrophylla</i>	POTCOM
19	Cola de Coche	<i>Phitecelobium arboreum</i>	ACTOM
20	Colorín u obero	<i>Ormosia sp.</i>	POTCOM/ACTCOM
21	Cortez	<i>Tabebuia ochracea</i>	POTCOM/ACTCOM
22	Danto	<i>Vatairea lundellii</i>	ACTOM
23	Frente de Toro	<i>Coussapoa sp.</i>	POTCOM
24	Gesmo	<i>Lysiloma desmostachys</i>	POTCOM
25	Guacibán	<i>Phitecelobium leucocalix</i>	ACTOM/POTCOM
26	Guapaque	<i>Dialium guianense</i>	POTCOM
27	Jobillo	<i>Astronium graveolens</i>	ACTOM
28	Jobo	<i>Spondias Bombin</i>	POTCOM/ACTCOM
29	Hormigo	<i>Platimiscium dimorphandrun</i>	POTCOM
30	Laurel	<i>Cordia sp.</i>	POTCOM
31	Lagarto	<i>Zanthoxylum belizense</i>	POTCOM/ACTCOM
32	Lagarto amarillo	<i>Zanthoxylum sp.</i>	ACTCOM/POTCOM
33	Luín Hembra	<i>Ampelocera hottlei</i>	POTCOM
34	Luín Macho	<i>Drypetes brownii</i>	POTCOM
35	Lloran Sangre	<i>Swartzia cubensis</i>	POTCOM
36	Maculis	<i>Tabebuia rosea</i>	POTCOM
37	Malerio Blanco	<i>Aspidosperma stegomeris</i>	ACTOM

No.	Nombre común	Nombre Científico	Grupo comercial
38	Malerio Colorado	<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	ACTOM
39	Manax	<i>Pseudolmedia</i> sp.	POTCOM
40	Manchiche	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	ACTOM
41	Mano de León	<i>Dendropanax arboreus</i>	ACTOM/POTCOM
42	Matasano	<i>Casimiroa edulis</i>	POTCOM
43	Mora	<i>Chlorophora tinctoria</i>	POTCOM
44	Pasaque Hembra	<i>Simarouba glauca</i>	POTCOM
45	Pij	<i>Gymnanthes lucida</i>	POTCOM
46	Pito de Montaña	<i>Erythrina</i> sp.	POTCOM
47	Plumajillo	<i>Schizolobium parahybum</i>	POTCOM
48	Pochote	<i>Bombacopsis</i> sp.	POTCOM/ACTCOM
49	Pucté	<i>Bucida buceras</i>	POTCOM
50	Ramón	<i>Brosimum terrabana</i>	POTCOM
51	Ramón Blanco	<i>Brosimum aliscastrum</i>	POTCOM
52	Ramón Oreja de Mico	<i>Brosimum costaricanum</i>	POTCOM
53	Ramón Colorado	<i>Trophys racemosa</i>	POTCOM
54	Sacuché	<i>Rehdera penninervia</i>	POTCOM
55	Saltemuche	<i>Sickingua salvadorensis</i>	POTCOM
56	San Juan	<i>Vochysia</i> sp.	POTCOM/ACTCOM
57	Santa María	<i>Callophyllum brasiliense</i>	ACTOM
58	Silión	<i>Pouteria amygdalina</i>	POTCOM
59	Son	<i>Alseis yucatanenses</i>	POTCOM
60	Sosní	<i>Ocotea lundelli</i>	POTCOM
61	Sunza	<i>Licania platypus</i>	POTCOM/ACTCOM
62	Tempisque	<i>Matechodendron capiri var tempisque</i>	POTCOM
63	Testap	<i>Guettarda combsii</i>	POTCOM
64	Toxoc	<i>Caesalpinia vesicaria</i>	POTCOM
65	Tinta Roja	-	POTCOM
66	Tzalam	<i>Lysiloma bahamensis</i>	POTCOM/ACTCOM
67	Yaxnik	<i>Vitex gaumeri</i>	POTCOM
68	Zacuayum	<i>Matayba oppositifolia</i>	POTCOM
69	Zapote Mamey	<i>Pouteria</i> sp.	POTCOM

Anexo 9 Desglose de costos del tramo Caobas-Tikal

TABLA A.13. DESGLOSE DE COSTOS EN US\$ DEL TRAMO CAOBAS-TIKAL

	México						Guatemala		
	Derecho de vía (SCT, 2004)*	Inversión (SCT, 2004)*	Inversión Tramo Arroyo Negro-Frontera con Guatemala 5 km (análisis)	Costos por molestias (SCT 2004)*	Tráfico Indirecto (SCT 2004)*	Cambio en costos de mantenimiento y reparación inundaciones (SCT 2004)*	Inversión Tikal-Uaxactún (análisis y RED)	Inversión Uaxactún-Río Azul (análisis y RED)	Cambio en costos de Mantenimiento (análisis y RED)
2004	-34,705	-2,995,828	-174,176	-40,046	0	0	-2,554,794	-11,985,771	0
2005	-145,760	-18,723,924	-1,088,600	-1,280,626	0	0	-2,554,794	-11,985,771	0
2006	-117,996	-15,728,096	-914,424	-233,519	0	0	-2,554,794	-11,985,771	0
2007	0	0	0	0	-1,323,742	23,037	0	0	-375,398
2008	0	0	0	0	-1,160,965	470,728	0	0	-375,398
2009	0	0	0	0	-1,342,425	23,037	0	0	-375,398
2010	0	0	0	0	-2,181,045	23,037	0	0	-375,398
2011	0	0	0	0	-2,360,149	-522,928	0	0	-375,398
2012	0	0	0	0	-2,349,898	10,469,166	0	0	-375,398
2013	0	0	0	0	-2,320,937	23,037	0	0	-375,398
2014	0	0	0	0	-2,267,803	23,037	0	0	-375,398
2015	0	0	0	0	-2,239,106	-4,526,671	0	0	-375,398
2016	0	0	0	0	-2,444,144	470,728	0	0	-375,398
2017	0	0	0	0	-2,404,376	23,037	0	0	-375,398
2018	0	0	0	0	-2,351,471	23,037	0	0	-375,398
2019	0	0	0	0	-2,008,807	-522,928	0	0	-375,398
2020	0	0	0	0	-1,908,399	3,753,797	0	0	-375,398
2021	0	0	0	0	-1,794,109	23,037	0	0	-375,398
2022	0	0	0	0	-1,636,644	23,037	0	0	-375,398
2023	0	0	0	0	-1,511,581	-12,716,146	0	0	-375,398
2024	0	0	0	0	-1,337,056	470,728	0	0	-375,398
2025	0	0	0	0	-1,151,238	23,037	0	0	-375,398

	México				Guatemala			
2026	0	0	0	-1,262,342	23,037	0	0	-375,398
2027	0	0	0	-602,006	-522,928	0	0	-375,398
2028	0	0	0	139,305	10,469,166	0	0	-375,398
2029	0	0	0	964,924	23,037	0	0	-375,398
2030	0	0	0	2,470,380	23,037	0	0	-375,398
2031	0	0	0	3,141,634	23,037	0	0	-375,398
2032	0	0	0	3,867,463	470,728	0	0	-375,398
2033	0	0	0	4,717,322	23,037	0	0	-375,398
2034	0	0	0	5,559,218	23,037	0	0	-375,398
VAN	-258,913	-32,251,958	-1,875,114	-1,369,622	2,952,975	-6,872,526	-32,242,334	-2,389,459
Total			US\$ -43,091,422				US\$ -41,504,320	
Total				US\$ -84,595,743				

* Se utilizó la información de SCT (2004) convertida a dólares con el tipo de cambio utilizado en ese estudio 11.53.

Anexo 10 Desglose de beneficios del tramo Caobas-Tikal

TABLA A14. DESGLOSE DE BENEFICIOS EN US\$ DEL TRAMO CAOBAS-TIKAL

	México										Guatemala		
	Tránsito Normal (SCT, 2004)*		Ruta por inundaciones (SCT, 2004)*		Beneficios Indirectos (SCT 2004)*			Beneficios Usuarios Actuales Guatemala (análisis RED)	Beneficios Usuarios Adicionales Guatemala (análisis RED)	Beneficios Indirectos Turismo (análisis)			
	Local	Turismo	Tránsito desviado	Tránsito indirecto	Plusvalía terrenos	Ingresos turismo	Ingresos salud						
2004	0	0	0	0	12,147	0	0	0	0	0	0	0	
2005	0	0	0	0	51,016	0	0	0	0	0	0	0	
2006	0	0	0	0	41,299	0	0	0	0	0	0	0	
2007	2,459,045	37,009	128,564	13,506	0	20,893	56,749	126,603	0	9,344	0	19,707	
2008	2,606,908	39,220	136,690	14,512	0	28,699	56,749	132,933	0	31,192	0	43,913	
2009	2,763,551	41,561	145,358	15,607	0	36,969	56,749	139,580	6,647	57,994	0	58,523	
2010	2,930,225	44,045	154,607	16,800	0	45,729	56,749	146,559	14,290	59,057	0	59,596	
2011	3,106,005	46,667	164,481	18,101	0	55,010	56,749	153,887	23,047	60,139	0	60,688	
2012	3,293,126	49,450	175,025	19,521	0	64,840	56,749	161,581	33,046	61,242	0	61,800	
2013	3,497,230	52,452	186,290	21,073	0	75,254	56,749	169,660	44,430	62,364	0	62,933	
2014	3,707,917	55,576	198,331	22,771	0	86,286	56,749	178,143	46,652	63,507	0	64,087	
2015	3,929,138	58,869	211,288	24,631	0	97,972	56,749	187,050	48,984	64,671	0	64,671	
2016	4,164,192	62,352	225,074	26,670	0	110,351	56,749	196,403	51,433	65,643	0	65,643	
2017	4,415,135	66,059	239,021	28,369	0	123,465	56,749	206,223	54,005	66,652	0	66,652	
2018	4,677,288	69,931	254,410	30,584	0	137,357	56,749	216,534	56,705	67,729	0	67,729	
2019	4,953,883	74,029	270,989	32,984	0	152,074	56,749	227,361	59,541	68,926	0	68,926	
2020	5,241,816	78,313	289,207	35,371	0	167,663	56,749	238,729	62,518	69,933	0	69,933	
2021	5,548,984	82,852	307,776	38,012	0	184,177	56,749	250,665	65,643	70,944	0	70,944	
2022	5,862,223	87,508	327,721	40,682	0	201,671	56,749	263,199	68,926	72,372	0	72,372	
2023	6,196,246	92,458	348,302	43,559	0	220,203	56,749	276,359	72,372	73,383	0	73,383	

	México										Guatemala		
	Tránsito Normal (SCT, 2004)*		Ruta por inundaciones (SCT, 2004)*		Beneficios Indirectos (SCT 2004)*				Beneficios Usuarios Actuales Guatemala (análisis RED)	Beneficios Usuarios Adicionales Guatemala (análisis RED)	Beneficios Indirectos Turismo (análisis)		
	Local	Turismo	Tránsito desviado	Tránsito indirecto	Plusvalía terrenos	Ingresos turismo	Ingresos salud						
2024	6,551,806	97,684	370,796	46,740	0	239,834	56,749	285,386	80,781	65,261			
2025	6,927,868	103,211	393,491	50,115	0	260,630	56,749	294,399	90,077	65,857			
2026	7,314,973	108,890	418,775	53,407	0	282,660	56,749	303,401	100,298	66,457			
2027	7,734,962	114,985	444,940	56,876	0	305,997	56,749	312,397	111,487	67,064			
2028	8,167,578	121,319	473,769	61,008	0	330,718	56,749	321,390	123,688	67,675			
2029	8,599,635	127,855	505,659	65,520	0	356,906	56,749	330,385	136,947	68,293			
2030	9,080,448	134,890	538,735	70,458	0	384,648	56,749	339,386	151,313	68,916			
2031	9,564,383	142,014	574,102	75,679	0	414,036	56,749	348,397	166,837	69,545			
2032	10,089,075	149,580	610,622	81,114	0	445,167	56,749	357,422	183,574	70,179			
2033	10,646,753	157,604	649,814	86,861	0	478,145	56,749	366,465	201,580	70,819			
2034	11,274,329	166,420	691,714	93,429	0	513,080	56,749	375,530	220,917	71,465			
VAN	25,528,874	382,042	1,396,649	164,551	90,620	660,850	361,216	1,181,439	252,889	302,404			
Total	US\$ 28,584,803										US\$ 1,736,732		
Total	US\$ 30,321,535												

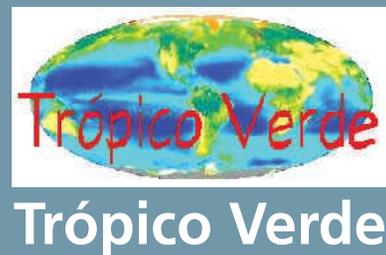
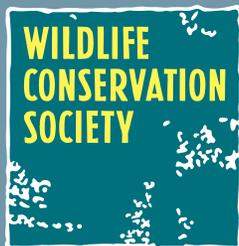
* Se utilizó la información de SCT (2004) convertida a dólares con el tipo de cambio utilizado en ese estudio 11.53.

Anexo 11 Costos totales, beneficios totales y flujos netos del tramo Caobas-Tikal

TABLA A15. COSTOS Y BENEFICIOS TOTALES Y FLUJOS NETOS EN US\$ DEL TRAMO CAOBAS-TIKAL

	Costos Totales US\$		Beneficio Totales US\$		Flujo Neto US\$	
	México	Guatemala	México	Guatemala	México	Guatemala
2004	-3,244,755	-14,540,565	12,147	0	-3,232,608	-14,540,565
2005	-21,238,910	-14,540,565	51,016	0	-21,187,894	-14,540,565
2006	-16,994,035	-14,540,565	41,299	0	-16,952,737	-14,540,565
2007	-1,300,705	-375,398	2,715,767	135,947	1,415,062	-239,452
2008	-690,237	-375,398	2,882,779	152,640	2,192,542	-222,758
2009	-1,319,388	-375,398	3,059,795	177,419	1,740,407	-197,979
2010	-2,158,008	-375,398	3,248,155	204,763	1,090,147	-170,636
2011	-2,883,077	-375,398	3,447,012	234,928	563,935	-140,470
2012	8,119,269	-375,398	3,658,712	253,151	11,777,980	-122,248
2013	-2,297,900	-375,398	3,889,050	273,147	1,591,149	-102,251
2014	-2,244,767	-375,398	4,127,631	284,390	1,882,864	-91,008
2015	-6,765,777	-375,398	4,378,648	296,174	-2,387,129	-79,224
2016	-1,973,416	-375,398	4,645,388	308,524	2,671,972	-66,874
2017	-2,381,339	-375,398	4,928,799	321,470	2,547,460	-53,929
2018	-2,328,435	-375,398	5,226,319	335,040	2,897,884	-40,358
2019	-2,531,735	-375,398	5,540,709	349,265	3,008,973	-26,133
2020	1,845,398	-375,398	5,869,120	364,179	7,714,519	-11,219
2021	-1,771,072	-375,398	6,218,549	379,816	4,447,477	4,418
2022	-1,613,607	-375,398	6,576,555	396,211	4,962,948	20,813
2023	-14,227,726	-375,398	6,957,518	413,402	-7,270,209	38,003
2024	-866,328	-375,398	7,363,610	431,428	6,497,282	56,030
2025	-1,128,201	-375,398	7,792,064	450,332	6,663,863	74,934
2026	-1,239,306	-375,398	8,235,454	470,156	6,996,148	94,758
2027	-1,124,934	-375,398	8,714,508	490,948	7,589,574	115,549
2028	10,608,471	-375,398	9,211,140	512,754	19,819,612	137,355
2029	987,960	-375,398	9,712,325	535,625	10,700,285	160,227
2030	2,493,417	-375,398	10,265,928	559,614	12,759,345	184,216
2031	3,164,671	-375,398	10,826,964	584,778	13,991,634	209,380
2032	4,338,191	-375,398	11,432,307	611,174	15,770,498	235,776
2033	4,740,359	-375,398	12,075,927	638,864	16,816,286	263,466
2034	5,582,255	-375,398	12,795,722	667,913	18,377,976	292,514
VAN	-43,091,423	-41,504,320	28,584,803	1,736,732	-14,506,620	-39,767,588
Total	US\$ -84,595,743		US\$ 30,321,535		US\$ -54,274,208	

REALIZACIÓN



APOYO

