

REALIZACIÓN



NICHOLAS SCHOOL OF THE ENVIRONMENT AND EARTH SCIENCES
DUKE UNIVERSITY



Conservation Strategy Fund | Conservación Estratégica | SERIE TÉCNICA | N° 9 | mayo de 2007



Conservation Strategy Fund | Conservación Estratégica | SERIE TÉCNICA | N° 9 | mayo de 2007

APOYO



Análisis ambiental y económico de proyectos carreteros en la Selva Maya, un estudio a escala regional

dalia amor conde
irene burgués
leonardo c. fleck
carlos manterola
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:
Leonardo C. Fleck

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

Serie Técnica

Edición 1 – Análise de viabilidade sócio-econômico-ambiental da transposição de águas da bacia do Rio Tocantins para o Rio São Francisco na região do Jalapão/TO (2002)
fani mamede, paulo garcia y wilson cabral de souza júnior

Edición 2 – Valoração econômica do Parque Estadual Morro do Diabo (SP) (2003) cristina adams, cristina aznar, ronaldo seroa da motta, ramón ortiz y john reid

Edición 3 – A pavimentação da BR-163 e os desafios à sustentabilidade: uma análise econômica, social e ambiental (2005)
ane alencar, laurent micol, john reid, marcos amend, marília oliveira, vivian zeideman y wilson cabral de souza júnior.

Edición 4 – Custos e benefícios do complexo hidrelétrico de Belo Monte (2006)
wilson cabral de souza júnior, john reid y neidja cristiane silvestre leitão

Edición 5 – Beneficios económicos regionales generados por la conservación: el caso del Madidi (2006)
leonardo c. fleck, marcos amend, lilian paintere y john reid

Edición 6 – Una carretera a través del Madidi: un análisis económico-ambiental (2006)
leonardo c. fleck, lilian painter, john reid y marcos amend

Edición extra – Análisis de costo beneficio de cuatro proyectos hidroeléctricos en la cuenca Changuinola-Teribe (2006)
sarah cordero, ricardo montenegro, maribel mafla, irene burgués y john reid

Edición 7 – Efeitos de projetos de infra-estrutura de energia e transportes sobre a expansão da soja na bacia do rio Madeira (2007)
maria del carmen vera-diaz, john reid, britaldo soares filho, robert kaufmann y leonardo fleck

Edición 8 – Análisis económico y ambiental de carreteras propuestas dentro de la Reserva de la Biosfera Maya (2007)
víctor hugo ramos, irene burgués, leonardo c. fleck, byron castellanos, carlos albacete, gerardo paiz, piedad espinosa y john reid

Edición 9 – Análisis ambiental y económico de proyectos carreteros en la Selva Maya, un estudio a escala regional (2007)
dalia amor conde, irene burgués, leonardo fleck, carlos manterota y john reid

Edición 10 – Tenosique: análisis económico-ambiental de un proyecto hidroeléctrico en el Río Usumacinta (2007)
israel amescua, gerardo carreón, javier marquez, rosa maría vidal, irene burgués, sarah cordero y john reid

Análisis ambiental y económico de proyectos carreteros en la Selva Maya, un estudio a escala regional

dalia amor conde [Nicholas School of the Environment, Duke University - NSE]

irene burgués [Conservación Estratégica - CSF]

leonardo c. fleck [Conservación Estratégica - CSF]

carlos manterola [Unidos para la Conservación A.C - UPC]

john reid [Conservación Estratégica - CSF]

Agradecimientos

A

gradecemos a Fernando Colchero, Victor Hugo Ramos, Norman Christensen, María Andrade, Gerardo Paiz, Carlos Albacete, Piedad Espinosa, Bayron Castellanos, Carlos Rodríguez, Ricardo Hernández, Marie Claire Paiz, Ann Snook, Alex Pfaff, Dean Urban, Antonio Rivera, Danae Azuara, Ricardo Medina, Cuauhtémoc León, Pedro Álvarez, Patricio Robles Gil, Eugenia Pallares y Milbry Polk, por su apoyo en la realización de este proyecto.

También agradecemos a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (México), la Comisión Federal de Electricidad (México), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (México), Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Guatemala), Centro de Monitoreo y Evaluación de CONAP (Guatemala), Pronatura Península de Yucatán, The Nature Conservancy, y Dirección Nacional de Caminos (Guatemala) por el acceso a datos y documentos que han hecho posible la elaboración de este documento.

Agradecemos al Fondo de Alianzas para los Ecosistemas Críticos, el cual brindó financiamiento para la realización de este análisis. 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. Su meta fundamental es asegurar que la sociedad civil se dedique a conservar la diversidad biológica.

Así mismo, agradecemos el apoyo financiero brindado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (México), la National Fish and Wildlife Foundation, Conservación Internacional (Programa Semillas para la Conservación), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (México), Safari Club Internacional, WINGS WorldQuest, y Corredor Biológico Mesoamericano México, junto con el Banco Mundial.

Finalmente, agradecemos a Amigos de Calakmul y a The Nature Conservancy por haber brindado apoyo financiero para la impresión de este documento.

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



Lista de abreviaturas y siglas

AIC	Criterio para la selección de modelos estadísticos Akaike (Akaike Information Criteria)
BCIE	Banco Centroamericano de Integración Económica
Caminos	Dirección General de Caminos (Guatemala)
CBM	Corredor Biológico Mesoamericano
CEMEC	Centro de Monitoreo y Evaluación de CONAP (Guatemala)
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CEPF	Fondo de Alianzas para los Ecosistemas Críticos (Critical Ecosystem Partnership Fund)
CFE	Comisión Federal de Electricidad (México)
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (México)
CONAP	Comisión Nacional de Áreas Protegidas (Guatemala)
CSF	Conservación Estratégica (Conservation Strategy Fund)
CSOB	Oficina Central de Estadística Belice (Central Statistics Office of Belice)
CTU	Costo Total de los Usuarios (carreteras)
GHF	Global Heritage Fund
HDM	Herramienta de desarrollo y gestión de carretera (Highway Development and Management System)
IDAEH	Instituto de Antropología e Historia (Guatemala)
INAB	Instituto Nacional de Bosques (Guatemala)
INE	Instituto Nacional de Estadística (Guatemala)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (México)
INGUAT	Instituto Guatemalteco de Turismo
IRI	Índice de Rugosidad Internacional
NSE	Nicholas School of the Environment, Duke University
PIB	Producto Interno Bruto
RBM	Reserva de la Biosfera Maya (Guatemala)
RED	Modelo Económico de Decisión de Carreteras (Road Economic Decision Model)
RICAM	Red Internacional de Carreteras Mesoamericanas
SIEPAC	Sistema de Interconexión Eléctrica para los Países de América Central
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (México)
TDPA	Tráfico Promedio Diario Anual
TIR	Tasa Interna de Retorno
TNC	The Nature Conservancy
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UPC	Unidos para la Conservación, Asociación Civil (México).
VAN	Valor Actual Neto.
WCS	Wildlife Conservation Society

{ Índice

Agradecimientos	2
Lista de abreviaturas y siglas	4
Índice	6
Índice de tablas y figuras	8
Resumen ejecutivo	11
Executive summary	15
Introducción	19
Área de estudio	21
El Corredor Biológico Mesoamericano y los proyectos de infraestructura	25
Objetivos y etapas del estudio	26
Proyectos analizados	27
Proyectos carreteros en México	27
Proyectos carreteros en Guatemala	31
Proyectos carreteros en Belice	31
Métodos	33
Análisis de agentes de la deforestación y proyección del impacto de los proyectos carreteros	34
Análisis de fragmentación	35
Análisis económico	37
Beneficios indirectos	39
Valoración de potenciales impactos ambientales	39
Distribución de costos y beneficios	41
Descripción del proyecto Caobas-Tikal	41
Descripción del proyecto San Andrés-Mirador	45
Resultados	49
Análisis de agentes de la deforestación y proyección del impacto de los proyectos carreteros	50
Limitaciones del modelo	51
Análisis de fragmentación	54
Análisis económico	57
Proyecto Caobas-Tikal y sus subtramos	57
Proyecto carretero San Andrés-Mirador y sus subtramos	61
Costos ambientales agregados de todos los tramos proyectados en la Selva Maya	63
Discusión y conclusiones	67
Recomendaciones	71
Bibliografía	73
Anexos	81
Anexo 1. Supuestos del modelo de deforestación	82
Anexo 2. Desglose de costos del tramo Caobas-Tikal	86
Anexo 3. Desglose de beneficios del tramo Caobas-Tikal	88
Anexo 4. Costos totales, beneficios totales y flujos netos del tramo Caobas-Tikal	90

Índice de tablas y figuras

Tabla 1 - Descripción de los planes de construcción o ampliación de tramos carreteros	28
Tabla 2 - Contenido de carbono según uso de suelo en la región de la Selva Maya	40
Tabla 3 - Distancias de Subteniente López a Flores tramo actual y con proyecto Caobas-Tikal	44
Tabla 4 - TPDA y tasa de crecimiento del TPDA de los tramos en Guatemala	44
Tabla 5 - Turismo en Uaxactún y Río Azul generado a partir del acceso desde Tikal	45
Tabla 6 - TPDA y tasas de crecimiento de tráfico durante el periodo de análisis	46
Tabla 7 - Resultados de la deforestación proyectada por la construcción o ampliación de caminos	52
Tabla 8 - Cambio en los fragmentos del área central y con mayor conectividad si todos los tramos son construidos.	56
Tabla 9 - Distribución de costos y beneficios del proyecto Caobas-Tikal sin externalidades	58
Tabla 10 - Deforestación estimada para el proyecto Caobas-Tikal	59
Tabla 11 - Valor de las emisiones de dióxido de carbono según uso de tierra y precio utilizado	59
Tabla 12 - Valor actual neto del proyecto Caobas-Tikal considerando externalidades ambientales	61
Tabla 13 - Distribución de costos y beneficios del Proyecto San Andrés-Mirador y de sus tramos sin externalidades	62
Tabla 14 - Valor de las emisiones de dióxido de carbono según uso de tierra y precio utilizado	62
Tabla 15 - Valor actual neto del proyecto San Andrés-Mirador considerando externalidades ambientales	63
Tabla 16 - Cantidad y precio del dióxido de carbono emitido si las áreas deforestadas se convirtieran en cultivos perenne o bosque bajo	65
Tabla 17 - Cantidad y precio del dióxido de carbono emitido si las áreas deforestadas se convirtieran en pastizales	66
Tabla A1 - Coeficientes obtenidos en el modelo de deforestación con sus respectivos análisis de los intervalos de confianza	84
Tabla A2 - Desglose de costos en US\$ del tramo Caobas-Tikal	86
Tabla A3 - Desglose de beneficios en US\$ del tramo Caobas-Tikal	88
Tabla A4 - Costos y beneficios totales y flujos netos en US\$ del tramo Caobas-Tikal	90
Figura 1 - Área de estudio	22
Figura 2 - Corredor Biológico Mesoamericano	24
Figura 3 - Estado actual de las carreteras dentro del área de estudio	29
Figura 4 - Proyectos carreteros que se plantean para la región	30
Figura 5 - Mapa de distribución de riqueza de especies; obtenido a partir de los mapas de hábitat potencial del proyecto de la Selva Maya Zoque y Olmeca (García y Secaira 2006)	37
Figura 6 - Mapa proyecto carretero "Caobas-Arroyo Negro-Flores", ruta actual (rojo) y alternativa (amarillo) de Subteniente López - Flores	43
Figura 7 - Mapa proyecto carretero "San Andrés-Carmelita-Mirador"	47
Figura 8 - Secuencia de deforestación total proyectada para el 2015, 2020 y el 2030 a partir de los paisajes probabilísticos obtenidos para cada periodo. Escenario optimista: no incluye el modelado de efectos por incendios, ni generación de nuevos tramos.	53
Figura 9 - Proyección de la deforestación acumulativa por la ampliación de la carretera Escárcega Xpujil y el camino para la construcción y mantenimiento del tendido eléctrico	54
Figura 10 - Fragmentación del área de estudio bajo los escenarios A (si únicamente los proyectos en México se llevan a cabo) y B (si todos los proyectos carreteros se llevan a cabo) para el 2015.	57
Figura 11 - Proyección de deforestación del tramo Caobas-Tikal y subtramos en un horizonte de 30 años. Escenario A: deforestación si no hay inversiones en construcción y ampliación. Escenario B: Si se construyen/amplían los tramos sugeridos.	60
Figura 12 - Proyección de deforestación del tramo San Andrés-Mirador y subtramos en un horizonte de 30 años. Escenario A: deforestación si no hay inversiones en construcción y ampliación. Escenario B: Si se construyen/amplían los tramos sugeridos.	64



Resumen ejecutivo



arios proyectos de mejoramiento y construcción de carreteras han sido planteados en la región fronteriza entre México, Guatemala y Belice, la cual forma parte de la Selva Maya. Esta región es el bosque continuo más extenso del “Hotspot Mesoamericano”, una de las áreas con mayor biodiversidad a nivel mundial. La zona fue cuna de la civilización Maya y tiene gran importancia cultural y riqueza arqueológica. La nueva infraestructura vial se propone para impulsar el crecimiento económico y reducir los altos índices de pobreza que caracterizan esta región. Pero es justamente la baja densidad de carreteras a la que se debe, en parte, el buen estado de conservación de la Selva Maya. De esta forma, las nuevas obras traen consigo posibles conflictos entre metas económicas y ambientales. En este estudio analizamos los impactos económicos y ambientales de un conjunto de proyectos carreteros en la zona para facilitar mejores decisiones de inversión en infraestructura vial, tomando en cuenta sus diversos efectos.

El análisis tuvo cuatro fases: 1) análisis de promotores de la deforestación histórica; 2) impacto de los proyectos carreteros nuevos en la deforestación futura; 3) análisis del efecto de los proyectos en el hábitat potencial del jaguar, una medida más directa del impacto ecológico; y 4) análisis económico de los proyectos carreteros con alta probabilidad de ser construidos. El área de estudio cubre aproximadamente 100,000 km² de la Selva Maya.

A partir de análisis de los promotores de la deforestación histórica modelamos los efectos de la siguiente lista de tramos sobre la deforestación futura:

- Caobas-Tikal
- San Andrés-Mirador
- Mirador-Calakmul
- Uaxactún-Mirador
- Yaxhá-Nakum-Naranjo
- Melchor de Mencos-Arroyo Negro
- Lamanai -frontera con Guatemala
- El Ceibo-El Naranjo
- Escárcega-Xpujil
- Camino dentro de la Reserva Balam-kú y Calakmul para Torres alta tensión (a 1 km de la carretera Escárcega-Xpujil)

Nuestras proyecciones indican que si todos los proyectos mencionados son implementados en la región, se deforestarían alrededor de 311,170 hectáreas de selva en los próximos 30 años. Esto causaría la liberación de por lo menos 225 millones de toneladas de dióxido de carbono, que implicarían un costo global ambiental de por lo menos US\$ 136 millones (valor presente). Para el 2015 las carreteras dividirían los

6 parches centrales de hábitat potencial del jaguar en 16 parches, con una pérdida de hábitat de alrededor del 11.24% (151,428 ha) para la especie. El aumento en la fragmentación y accesibilidad a la Selva Maya incrementará la vulnerabilidad del ecosistema ante perturbaciones como incendios y huracanes. Aumentarán presiones antropogénicas como la toma de tierras dentro de áreas protegidas, la tala irregular de madera y el contrabando ilegal de especies de flora y fauna. Por otro lado, estos proyectos generarán una barrera para la movilidad de especies dentro y fuera de las áreas protegidas, lo que debilitará significativamente los corredores biológicos, planteados por el Corredor Biológico Mesoamericano.

El análisis económico se llevó a cabo para dos proyectos carreteros: Caobas- Arroyo Negro-Tikal y San Andrés-Carmelita-Mirador. El proyecto Caobas-Arroyo Negro-Tikal generará pérdidas de aproximadamente US\$ 40 millones para Guatemala y de US\$ 14.5 millones para México. El proyecto San Andrés-Mirador resultó negativo también, con pérdidas de US\$ 21 millones para Guatemala. Estas cifras no consideran los costos ambientales de los proyectos. La deforestación ocasionada por estos dos proyectos se proyecta en alrededor de 53,570 ha y 36,128 ha respectivamente. Esto equivale a un costo global en términos de emisiones de CO₂ de US\$ 24 millones para el proyecto “Caobas-Arroyo Negro-Tikal” y de US\$ 15 millones para el proyecto San Andrés-Carmelita-Mirador. Por falta de información, no cuantificamos el valor económico de ningún otro beneficio ambiental que se vería reducido por la deforestación.

Estos resultados indican que no existe un conflicto entre metas económicas y ambientales en los casos de las dos carreteras analizadas bajo ambos criterios. Ninguna de las metas se alcanza mediante tales inversiones, ya que generan pérdidas económicas y también de recursos ambientales. Los fondos para inversión públicas son limitadas y deben destinarse a proyectos con mejor desempeño, ponderando cuidadosamente sus impactos económicos, ambientales y la distribución de los mismos entre diversos sectores de la población.

En casos donde las obras viales ya se encuentran en fase de construcción, se deben tomar medidas para minimizar y compensar la deforestación provocada, así como para mantener la conectividad de las especies. Este objetivo puede ser realizado con inversiones en el mejor manejo y vigilancia de áreas protegidas. En el caso específico de la carretera Escárcega-Xpujil, cuya ampliación está prácticamente terminada, resulta urgente que se establezcan medidas de mitigación que permitan la movilidad de especie en las áreas protegidas de Calakmul y Balam-kú. Así mismo, se recomienda ubicar las torres de alta tensión y tendido eléctrico propuestos al margen de la carretera actual Escárcega-Xpujil, en lugar de crear un nuevo camino dentro de dichas reservas. Esto evitaría una nueva vía de acceso a las reservas así como un aumento en la deforestación y la fragmentación de las mismas. También permitirá tomar medidas de mitigación de

los impactos del tendido eléctrico y de la carretera Escárcega-Xpujil conjuntamente, lo cual ahorraría costos.

Paralelamente a este estudio, un equipo colaborador realizó un análisis (Ramos *et al.* 2007) a escala local de los impactos que las carreteras ocasionarían a la Reserva de la Biosfera Maya (RBM) en el Petén de Guatemala. En ambos estudios se utilizó el mismo análisis económico de transporte de los proyectos San Andrés-Carmelita-Mirador y Caobas-Arroyo Negro-Tikal, 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 éstas son difíciles de obtener de manera sistemática y comparable para los tres países involucrados. El análisis local proyecta de manera detallada los cambios que se darían en la RBM como consecuencia de la construcción de carreteras, mientras que el análisis regional explica las implicaciones de las carreteras para los tres países (México, Belice y Guatemala), considerando el impacto dentro y fuera de las áreas protegidas de la región.

Este estudio pone en cuestionamiento la aplicación en la Selva Maya del modelo de desarrollo caracterizado por grandes obras de infraestructura como el propuesto por el Plan Puebla Panamá y el Proyecto Mundo Maya. En algunos casos estos modelos llevan a los países en desarrollo a realizar grandes inversiones con pocos resultados, alto endeudamiento y, como se muestra en este caso particular, con pérdidas tanto económicas como del patrimonio natural. Para agravar la situación, frecuentemente estas obras son subutilizadas y generarán permanentes gastos de mantenimiento y una obligación continua para los contribuyentes.



Executive summary



Various road projects have been proposed in the border region of Mexico, Guatemala and Belize, which is part of the Maya Forest, the largest continuous forest in the Americas north of the Amazon. It is also part of the Mesoamerican biodiversity “hotspot,” one of the planet’s biologically richest zones. The Maya Forest is also known for its cultural and archeological riches, having been the cradle of Mayan civilization. The proposals for new road infrastructure are ostensibly aimed at spurring economic growth and reducing the high levels of poverty found in this area. However, the current low density of roads is one of the leading factors that have preserved the Maya Forest’s natural ecosystems. Decision-makers are confronted with an apparent conflict between conservation and development goals. In this study, we analyze the economic and environmental impacts of Maya Forest road projects to enable sound decisions on transportation investments, taking into account their various effects.

The study has four elements: 1) Analysis of factors leading to past deforestation; 2) projection of road projects’ contribution to future deforestation; 3) analysis of road’s role in fragmenting jaguar habitat, as a direct indicator of ecological impact; and 4) economic analysis of selected road projects with apparently high likelihood of implementation. The study area covers approximately 100,000 km² of the Maya Forest.

Using the analysis of historical deforestation in the region, we modeled the environmental impacts of the following road segments:

- Caobas-Tikal
- San Andrés-Mirador
- Mirador-Calakmul
- Uaxactún-Mirador
- Yaxhá-Nakum-Naranjo
- Melchor de Mencos-Arrollo Negro
- Lamanai -frontera con Guatemala
- El Ceibo-El Naranjo
- Escárcega-Xpujil
- Right-of-way within the Balam-kú y Calakmul reserves for an electricity transmission line (1 km from the Escárcega-Xpujil road).

Our projections indicate that if all the road upgrade and construction projects in this list are carried out, around 311,170 ha of forest would be lost over the next 30 years. This deforestation would release around 225 million tons of carbon dioxide. The global cost of those emissions in present value terms would be on the order of US\$ 136 million. By the year 2015, the roads would split six blocks of jaguar habitat into 16 smaller areas, with a total habitat loss of 11.24 percent (151,428 ha) for the species. Fragmentation and easier access to the Maya Forest would increase its vulnerability

to fire and hurricanes, and to human pressures such as land appropriation within protected areas, illegal logging and trafficking in wildlife. Further, the road projects would present barriers to the movement of species within and among protected areas, which would seriously undermine the objectives of the biological corridors promoted by the Mesoamerican Biological Corridor effort.

The economic analysis was conducted for two projects: Caobas-Arroyo Negro-Tikal; and San Andrés-Carmelita-Mirador. The Caobas-Arroyo Negro-Tikal road would generate losses of approximately US\$ 40 million for Guatemala and US\$ 14.5 million for Mexico. The San Andrés-Carmelita-Mirador project also showed a negative result, with US\$ 21 million in losses for Guatemala. These figures do not take into account environmental costs. Deforestation is estimated at around 53,570 ha for the first road and 36,128 ha for the second. The resulting losses of forest carbon add up to a global cost of US\$ 24 million for the Caobas-Arroyo Negro-Tikal road and another US\$ 15 million for San Andrés-Carmelita-Mirador. Due to a lack of information, we did not attempt to quantify any other economic losses associated with road-induced environmental impacts.

These results suggest that, in fact, there is no conflict between conservation and development goals in the cases of the roads we subjected to economic and environmental analysis. Neither goal would be achieved with these investments since they would cause a net loss of economic resources and provoke considerable impacts on the Maya Forest’s ecosystems. The limited public funds available should be directed to projects with better prospects of satisfying criteria for economic efficiency, environmental sustainability and social equity.

In those cases where road projects are already under construction in the Maya Forest, measures are needed to minimize and offset deforestation and to maintain connectivity between natural habitats. This goal can be reached in part through investments in better protection of parks and reserves. In the specific case of the nearly-finished widening of the Escárcega-Xpujil road, there is an urgent need for actions to permit wildlife movement in the Calakmul and Balam-kú reserves, and to locate the proposed high-tension electric line adjacent to the road, rather than one km away within the reserves, as has been proposed. This would avoid additional deforestation and fragmentation and would allow for joint mitigation of the road and electric line’s impacts, presumably lowering costs.

A collaborating team of researchers has done a local-scale analysis (Ramos *et al.* 2007) of road impacts on the Maya Biosphere Reserve (MBR), located in the Guatemalan department of Petén. Both studies use the same analysis of transport economics for the San Andrés-Carmelita-Mirador and Caobas-Arroyo Negro-Tikal roads, so the results

are the same. The values calculated for the roads' environmental costs differ because different deforestation models were used. The local model permits the incorporation of more variables, since data inconsistencies across the three countries is not an obstacle. It provides a detailed look at impact within the MBR, while the regional model explores the implications across the three-country area, considering impacts both within and outside of protected areas.

Our study casts doubt on the appropriateness for the Maya Forest of an economic development model based on large public works, as has been proposed by the Plan Puebla Panama and the Mundo Maya projects. Such an approach can sometimes cause countries to make large investments, incurring unsustainable levels of debt and, as has been shown in this case in particular, suffering losses of public funds and natural resources. To make matters worse, roads such as these are commonly underutilized and require maintenance expenditures that must be covered by taxpayers on a permanent basis.



Introducción

A

proximadamente el 18% de las emisiones que contribuyen al efecto invernadero son resultado de la deforestación (Stern 2006). Los bosques tropicales se encuentran entre los ecosistemas con la mayor tasa de deforestación en el planeta y su conversión a otros usos representa uno de los principales causantes del calentamiento global. Desde 1980 el 21% de los bosques tropicales del mundo se han perdido (Bawa *et al.* 2004). Esta dramática pérdida contrasta con la importancia de estos sistemas tanto a nivel social, como biológico. Los bosques tropicales son elementos fundamentales para la regulación de la variabilidad climática, en términos biológicos, éstos albergan alrededor de dos tercios de las especies terrestres en el planeta y contienen 65% de las 10,000 especies que se encuentran en peligro de extinción. Sin embargo, en los bosques tropicales habitan millones de personas que viven con menos de un dólar al día, las cuales dependen directamente de los bienes y servicios ambientales que éstos proveen para su sobrevivencia (Myers 1996, 92).

La construcción de carreteras y caminos se ha propuesto como una alternativa de desarrollo económico para mejorar las condiciones de vida en zonas rurales. Sin embargo, los beneficios económicos no siempre son mayores a los costos iniciales de inversión y mantenimiento, por lo que el beneficio social puede ser bajo o incluso negativo (Reid J. & Hanily G. 2003; Fleck *et al.* 2006). Se ha demostrado que estos beneficios sólo se traducen en un mayor bienestar para los pobladores cuando se realizan conjuntamente con inversiones adicionales tales como escuelas, infraestructura sanitaria, suministro de agua, transporte público, y crédito, entre otros (Lebo & Scheling 2000; Jalan & Ravallion 2002).

Por otro lado, diversos estudios muestran que las carreteras son uno de los principales promotores de la deforestación y expansión de la frontera agropecuaria en los bosques tropicales, con pérdidas considerables de bienes y servicios ambientales (Chomitz & Gray 1996; Pfaff 1999; Cropper *et al.* 2001; Nepstad *et al.* 2001; Geist & Lambin 2002; Helmut J. Geist & Lambin 2002; Pfaff & Sanchez 2004; Pfaff *et al.* 2007). Esta asociación se debe a que son la principal vía de acceso para nuevos pobladores en busca de tierras para fines agropecuarios. Para 1992 se estimaba, que 330 millones de los pobladores establecidos en los bosques tropicales eran agricultores que fueron desplazados de sus tierras originarias por crecimiento poblacional, degradación ambiental, violencia o programas gubernamentales de colonización de los trópicos (Myers 1992). De estos pobladores, se estima, que un alto porcentaje es posteriormente desplazado por terratenientes que se establecen para desarrollar ganadería o agricultura extensiva (Myers 1992, 1996). Esto a su vez promueve que los primeros colonizadores migren nuevamente en busca de acceso a nuevas tierras, las cuales por lo general son bosques aledaños. Actualmente seguimos observando este patrón de colonización en los bosques tropicales del mundo.

La causa de la deforestación en los bosques tropicales no son los campesinos desplazados en busca de tierra, el problema reside en el manejo de las políticas de desarrollo de

estos países. En muchos casos los bosques tropicales han fungido como una válvula de escape a los problemas agrarios, debido a que proveen tierras que son consideradas ociosas. Por el contrario, los bosques tropicales tienen gran importancia económica y ambiental ya que contienen gran diversidad biológica y proveen bienes y servicios ambientales tanto a los pobladores locales, como a nivel regional y global¹.

Debido a que las carreteras son uno de los principales promotores de la deforestación en los trópicos, resulta clave determinar cuáles serán los efectos de su construcción y ampliación tanto en términos económicos como ambientales. En este documento analizamos la deforestación, fragmentación del hábitat del jaguar así como el impacto económico que ocasionarían ciertos proyectos carreteros en la Selva Maya.

Área de estudio

El área de estudio cubre la Selva Maya, el bloque tropical/subtropical continuo más grande en la región mesoamericana. La Selva Maya se caracteriza por bosques semidecíduos con un promedio de precipitación anual de 1,350 milímetros (Pennington 1968; Holdridge 1971). El área comprende una gran porción de los estados mexicanos de Campeche y Quintana Roo, una gran extensión del Petén Guatemalteco, y la mayoría del territorio de Belice, con excepción del distrito de Toledo. El área total cubre cerca de 100,000 km², siendo ésta delimitada por cuatro imágenes de satélite tipo LANDSAT (Figura 1).

El crecimiento poblacional durante las últimas tres décadas ha variado en los tres países. De 1960 a 1999, el Petén Guatemalteco aumentó su población 30 veces, pasando de 25,000 a 730,000 habitantes (Forman *et al.* 2002). Belice presenta los niveles más bajos de población; sin embargo, ésta aumentó de 119,934 a 208,500 personas entre 1970 y el 2000 (CSOB 2005). Las tendencias de crecimiento poblacional para México varían entre los estados. En el estado de Quintana Roo la población aumentó de 255,985 en 1980 a 874,963 habitantes en el 2000, mientras que el estado de Campeche pasó de 420,553 a 690,689 en el mismo período (INEGI 2001). Los programas de políticas públicas e inversión privada, así como los de conservación, son altamente distintos entre los tres países, lo que se refleja en las distintas dinámicas de fragmentación y pérdida de sus selvas. Colchero *et al.* 2005 y Amor *et al.* 2006 realizaron un análisis de detección de cambios a partir de imágenes satelitales LANDSAT para el área de estudio. Sus resultados muestran que para 1980 Belice era el país con la mayor proporción de área deforestada (4.20%), seguido por México con un porcentaje del 2.80 % y Guatemala con 0.4%. De 1980-1990, Belice

¹ Los servicios ambientales se pueden dividir en cinco clases: 1) el consumo sostenible de recursos para alimentos, madera, fibras y medicinas; 2) el ecoturismo; 3) servicios ecológicos locales: regulación del suministro de agua, recarga de los mantos acuíferos, prevención y reducción de daños por tormentas e inundaciones, control de la erosión y sedimentación. 4) servicios ecológicos globales como la regulación climática y almacenamiento de carbono. 5) Valores de existencia, y de legado a las generaciones futuras (Balmford *et al.* 2002).

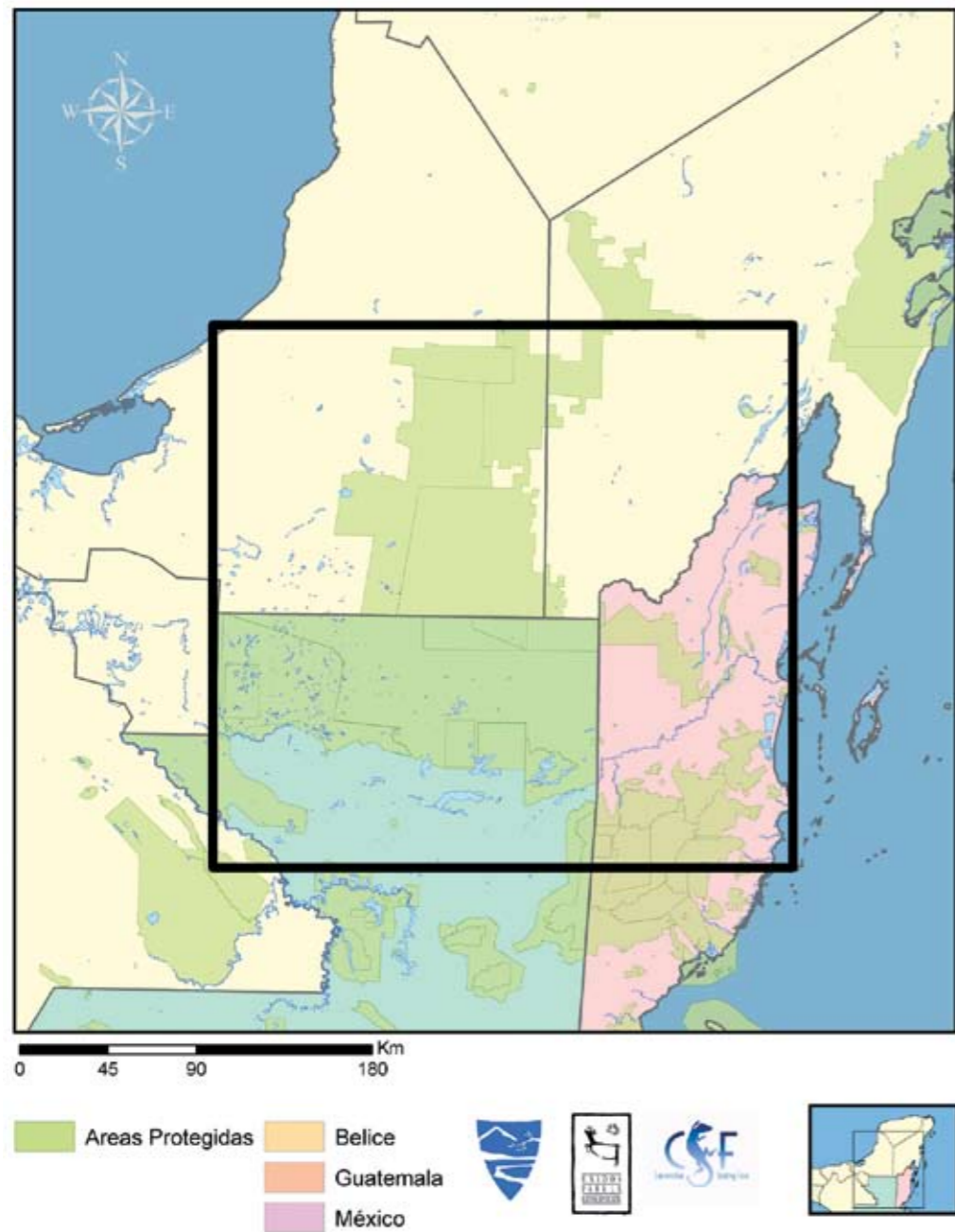


FIGURA 1. ÁREA DE ESTUDIO

perdió un 2.1% de bosque, mientras que en México se deforestó un 4.1% y en Guatemala la pérdida fue de 1.4%. En el último periodo (1990 a 2000), la deforestación en Guatemala aumentó considerablemente a un 7.3%, alcanzó un 7% en México y en Belize se redujo

al 1.6%. Los resultados de ambos análisis concluyen que las carreteras son una de las variables más robustas para predecir la deforestación y muestran las distintas dinámicas de pérdida y fragmentación de selva en los tres países.

La Selva Maya es el bosque continuo más grande del “Hotspot”² de biodiversidad mesoamericana, el cual se extiende del centro de México hasta Panamá. Este Hotspot alberga aproximadamente 7% de las especies del planeta y alrededor del 5.7% de los vertebrados. Sin embargo, aproximadamente el 75% de sus bosques se han perdido en las últimas décadas, y este proceso de deforestación continúa hasta la fecha (Myers *et al.* 2000). Debido a la importancia biológica y la alta tasa de deforestación, en 1997 se inició el proyecto del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM). Esta iniciativa es de diversas organizaciones públicas, privadas e internacionales. En la Figura 2 se muestran en verde claro los corredores propuestos por el Corredor Biológico Mesoamericano, en rojo las áreas protegidas propuestas también por el CBM y en verde oscuro las áreas protegidas que ya han sido legalmente establecidas.

El CBM surge del proyecto “Paseo Pantera”, cuyo objetivo inicial era permitir el movimiento y dispersión de grandes carnívoros entre las áreas protegidas de la región a partir de la creación de corredores biológicos, el establecimiento de nuevos parques y áreas de amortiguamiento (Carr *et al.* 1994). Debido a la creciente fragmentación del hábitat, deforestación a nivel mundial y como una alternativa a los efectos del cambio climático, los corredores biológicos han surgido como una estrategia de conservación que permita a las especies dispersarse y/o migrar entre sistemas de áreas protegidas (Tewksbury *et al.* 2002; Damschen *et al.* 2006). El objetivo de esta estrategia es el de mantener la diversidad genética, las dinámicas de comportamiento y demográficas de las especies, aun para sitios pequeños que no soportan grandes números de individuos (Wilson 1975; Tewksbury *et al.* 2002).

Por su extensión de más de 100,000 km² la Selva Maya, representa una importante fuente de diversidad biológica para la región, por lo que juega un papel clave para el mantenimiento de distintas poblaciones en otras áreas del CBM³. Por consiguiente, la fragmentación y reducción de la Selva Maya tendrá un impacto a lo largo del Corredor Biológico Mesoamericano, afectando las dinámicas de movimiento y recolonización naturales.

² Hotspot: son áreas geográficas que se caracterizan por presentar altos niveles de especies endémicas (especies con rangos pequeños de distribución) a nivel mundial y por presentar un alto riesgo de extinción, debido a que estas áreas han perdido más del 70% de su vegetación original. (Myers *et al.* 2000)

³ Debido a su tamaño la Selva Maya puede ser considerada como una fuente de individuos para poblaciones en otras regiones del corredor. Lo que tiene importantes implicaciones ecológicas para el mantenimiento de las dinámicas poblacionales de las especies de la región.

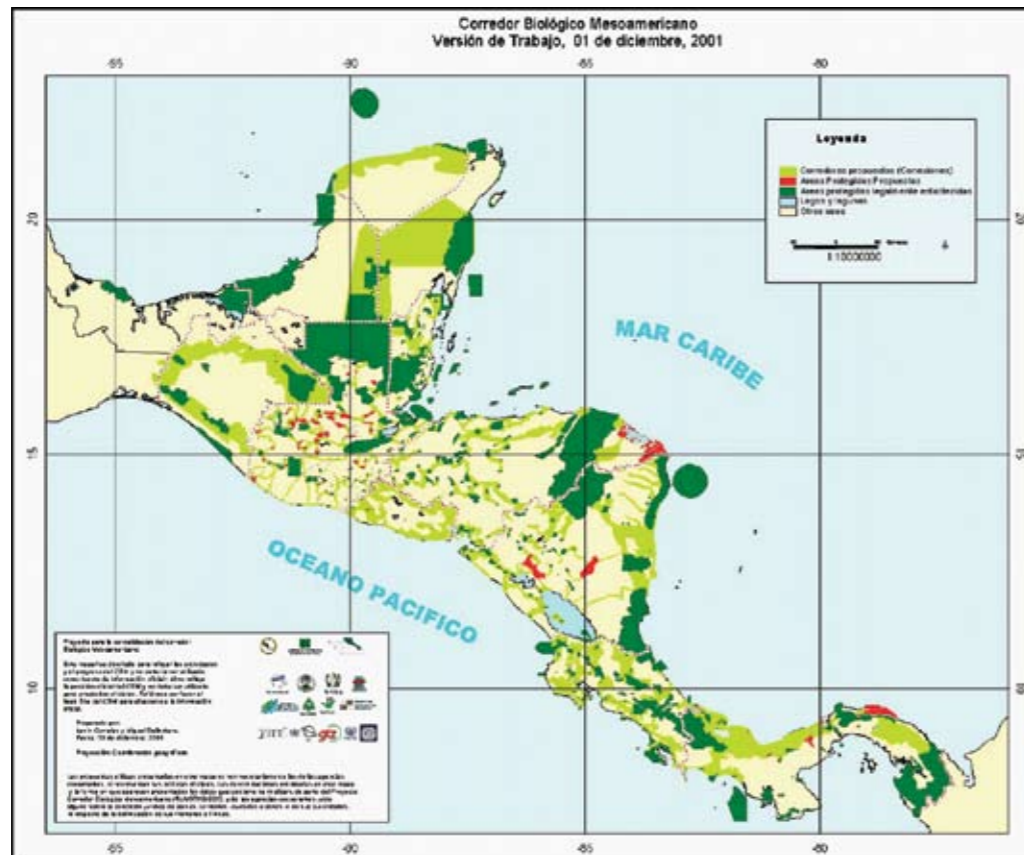


FIGURA 2. CORREDOR BIOLÓGICO MESOAMERICANO.

Fuente: Corredor Biológico Mesoamericano, CCA, 2001, <http://www.biomeso.net/Mapa.asp>, consultado Enero 2007

El CBM fue diseñado no únicamente en base a criterios biológicos, sino también sociales y económicos. Por lo que busca promover proyectos de desarrollo sustentable, cuyo objetivo es el de incluir a los pobladores locales en la conservación de los recursos naturales de tal forma que ésta genere beneficios económicos, al mismo tiempo de mantener los bienes y servicios ambientales que estos sitios proveen.

Sin embargo, el reto del CBM no únicamente se limita a la complejidad de un área con altos índices de pobreza, migración y una tasa muy elevada de deforestación y degradación ambiental. El reto se incrementa debido a que hay grandes proyectos de infraestructura en la región, algunos de los cuales forman parte del Plan Puebla Panamá y/o Proyecto Mundo Maya. Sin la evaluación y debida planeación, estos proyectos pueden afectar el éxito de proyectos sustentables y de conservación. Para la toma de decisiones equilibradas, resulta esencial conocer los costos y beneficios económicos de estos proyectos para la sociedad así como sus impactos ambientales a nivel regional.

El Corredor Biológico Mesoamericano y los proyectos de infraestructura

Paralelamente al CBM se han propuesto el Plan Puebla Panamá (PPP), el proyecto Mundo Maya y varios proyectos hidroeléctricos en Mesoamérica. El PPP incluye la interconexión carretera y eléctrica de Centroamérica y México y el proyecto Mundo Maya plantea el desarrollo de un corredor turístico a lo largo de los sitios arqueológicos del sur de México hasta Honduras. Ambos proyectos reconocen el CBM, sin embargo no incluyen en sus estudios de impacto ambiental, los efectos de dichos proyectos en la pérdida de hábitat y conectividad de las especies, dos objetivos claves del CBM.

De acuerdo a la base de datos de la Red Internacional de Carreteras Mesoamericanas (RICAM - el componente carretero del PPP) de la Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA 2004) se planean mejorar, ampliar o construir en la región mesoamericana alrededor de 10,209 km de carreteras, de los cuales más de 1000 km serían tramos totalmente nuevos. La inversión actual prevista es de US\$ 5,905 millones. Por otro lado, el proyecto de transmisión eléctrica de mayor extensión en la región es el Sistema de Interconexión Eléctrica para los Países de América Central (SIEPAC). De acuerdo a la Empresa Propietaria de la RED (EPR 2005), la SIEPAC es una línea de transmisión a 230 KV de 1,830 km de largo que va desde Valadero (Panamá) hasta Guatemala con costo aproximando de US\$ 332 millones que se espera entre en operación en el año 2008. Por otra parte, de acuerdo al Inventario de Proyectos de Infraestructura de Mesoamérica de Conservación Estratégica (Burgués 2005) existen alrededor de 381 propuestas de proyectos hidroeléctricos en la región.

Debido a que las carreteras, interconexiones y la construcción de hidroeléctricas promueven la pérdida y fragmentación de los bosques, es difícil de conciliar las metas del CBM con el PPP, el proyecto Mundo Maya, los proyectos hidroeléctricos y otros proyectos de gran envergadura. Esto se debe a que el diseño y los estudios de impacto ambiental de dichos proyectos de infraestructura no incluyen los efectos que tendrán en la pérdida de hábitat y conectividad de las especies de vida silvestre. Sin este tipo de análisis es difícil argumentar que el PPP y el CBM son proyectos complementarios. Debido a esto se requieren estudios regionales que incorporen el efecto de dichos proyectos en la pérdida de hábitat y en la conectividad de las especies en el corredor. En el caso de la Selva Maya, dado que se encuentra compartida entre Belice, México y Guatemala, es de esperar que la expansión de la red carretera tenga un efecto a nivel regional, independientemente del país donde se lleven a cabo los proyectos carreteros. Esto puede afectar a mediano y largo plazo los objetivos de conservación y desarrollo sustentable de los países no involucrados.

Aun cuando la ampliación y generación de vías de acceso en la Selva Maya tenga el potencial de generar beneficios de tipo económico y social a nivel nacional o/y regional, también puede provocar fuertes impactos ambientales y sociales tales como una mayor incidencia de incendios forestales, el aumento en el tráfico ilegal de especies y productos maderables y no maderables (Kaiser 2002), y la deforestación para actividades agropecuarias. Así mismo, puede disminuir la gobernabilidad de la región al facilitar vías de transporte para el tráfico de drogas, la usurpación de tierras por ganaderos dentro las áreas protegidas (Albacete *et al.* 2006) y el incremento de la delincuencia producto de la desintegración social.

Por lo anterior consideramos esencial evaluar el efecto de los proyectos carreteros a una escala regional que permita visualizar y entender los posibles escenarios que se puedan dar en Selva Maya en los tres distintos países. De forma paralela, las organizaciones Wildlife Conservation Society (WCS), Trópico Verde, y Conservación Estratégica (CSF) desarrollaron un estudio de deforestación y su impacto en la Reserva de la Biosfera Maya (RBM) a nivel local (Ramos *et al.* 2007)⁴. Este estudio Guatemalteco es clave ya que la RBM es el área natural protegida más grande de la Selva Maya y la que se encuentra bajo mayor presión humana.

Objetivos y etapas del estudio

El objetivo de este proyecto es analizar el impacto económico y en la deforestación de los proyectos carreteros en la Selva Maya. Así como evaluar de manera general su impacto en la fragmentación del hábitat utilizando al jaguar como especie paraguas. Para lograr estos objetivos el estudio se dividió en cuatro etapas:

1. Inventario y descripción de los tramos carreteros plateados en el área de estudio.
2. Modelado de la deforestación, el cual consiste en dos fases: a) modelar los principales agentes de la deforestación en la Selva Maya; y b) proyección de escenarios de deforestación en caso de que los distintos tramos carreteros sean construidos o mejorados en un horizonte de 15, 25 y 30 años a partir del año 2000.
3. Cuantificación y caracterización del impacto de las carreteras y caminos sobre la fragmentación del hábitat en un horizonte de 15 años.
4. Análisis económico de los tramos “Caobas-Arroyo Negro-Tikal” y “San Andrés-Carmelita-Mirador”. Así como el análisis de los costos ambientales por emisiones de carbono almacenado en bosques estimados como resultado de la deforestación proyectada para todos los tramos en un horizonte de 30 años.

⁴ Los dos estudios comparten un solo análisis de los costos y beneficios de transporte de las dos carreteras estudiadas económicamente.

Proyectos analizados

Los proyectos carreteros analizados se encuentran en el centro de la Selva Maya. Podemos clasificar estos proyectos en tres categorías: 1) proyectos cuya construcción se ha iniciado; 2) proyectos que han sido aprobados para construcción futura; y 3) proyectos que se encuentran únicamente en la fase de planeación. A continuación, en la Tabla 1 se describen los distintos tramos. La localización de estos tramos y el cambio en la red carretera, producto de la construcción de estos proyectos, se puede observar en las Figura 3 y 4.

TABLA 1. DESCRIPCIÓN DE LOS PLANES DE CONSTRUCCIÓN O AMPLIACIÓN DE TRAMOS CARRETEROS

Clave Mapa	Nombre	Estado Actual del proyecto	Probabilidad de desarrollo	Tipo de análisis
A	Caobas-Arroyo Negro	En obras de ampliación y mejoramiento	En construcción	1,2
B	Arroyo Negro-Uaxactún	En negociación Gob. México y Guatemala	Alta	1,2
B	Uaxactún-Tikal	Programada para mejoramiento (pavimentación)	Alta	1,2
B	Tikal-El Remate	Carretera existente de dos carriles	Alta	1,2
C	San Andrés-Carmelita	Programada ampliación y mejoramiento (pavimentación)	Alta	1,2
C	Carmelita-Mirador	Planes de construcción de carretera o tren, aun no aprobado (GHF 2006).	Media	1,2
1	Mirador-Calakmul	Posible construcción	Baja	2
2	Uaxactún-Mirador	Posible construcción	Baja	2
3	Yaxhá-Nakum-Naranja	Posible construcción	Media	2
4	Melchor de Mencos-Arroyo Negro	Posible construcción	Baja	2
5	Lamanai-frontera con Guatemala	Posible construcción	Baja	2
6	El Ceibo-El Naranja	En obras de construcción	En construcción	2
7	Escárcega-Xpujil	En obras de ampliación y mejoramiento	En construcción	2
7.1	Brecha Escárcega-Xpujil dentro de reserva Balam-kú para Torres alta tensión (Figura 9)	En negociación con la CFE. Proyecto aprobado por la SEMARNAT.	Alta	2

Los números en la última columna de la Tabla 1 indican el tipo de análisis realizado para ese tramo. 1 = análisis económico y 2 = análisis de deforestación y fragmentación. Para los tramos de 1-7 únicamente se realizaron las proyecciones de deforestación. En la Figura 4 se muestran las rutas por “clave” (las letras y números descritas en la primera columna de la Tabla 1).

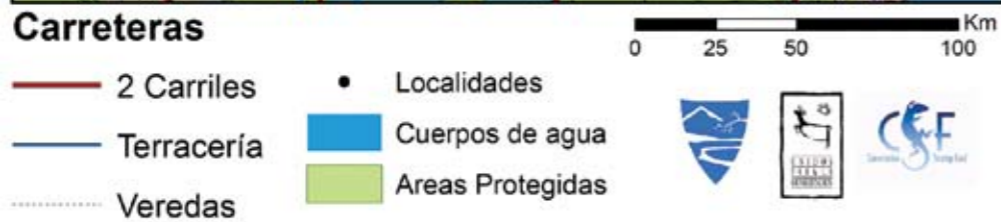


FIGURA 3. ESTADO ACTUAL DE LAS CARRETERAS DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO

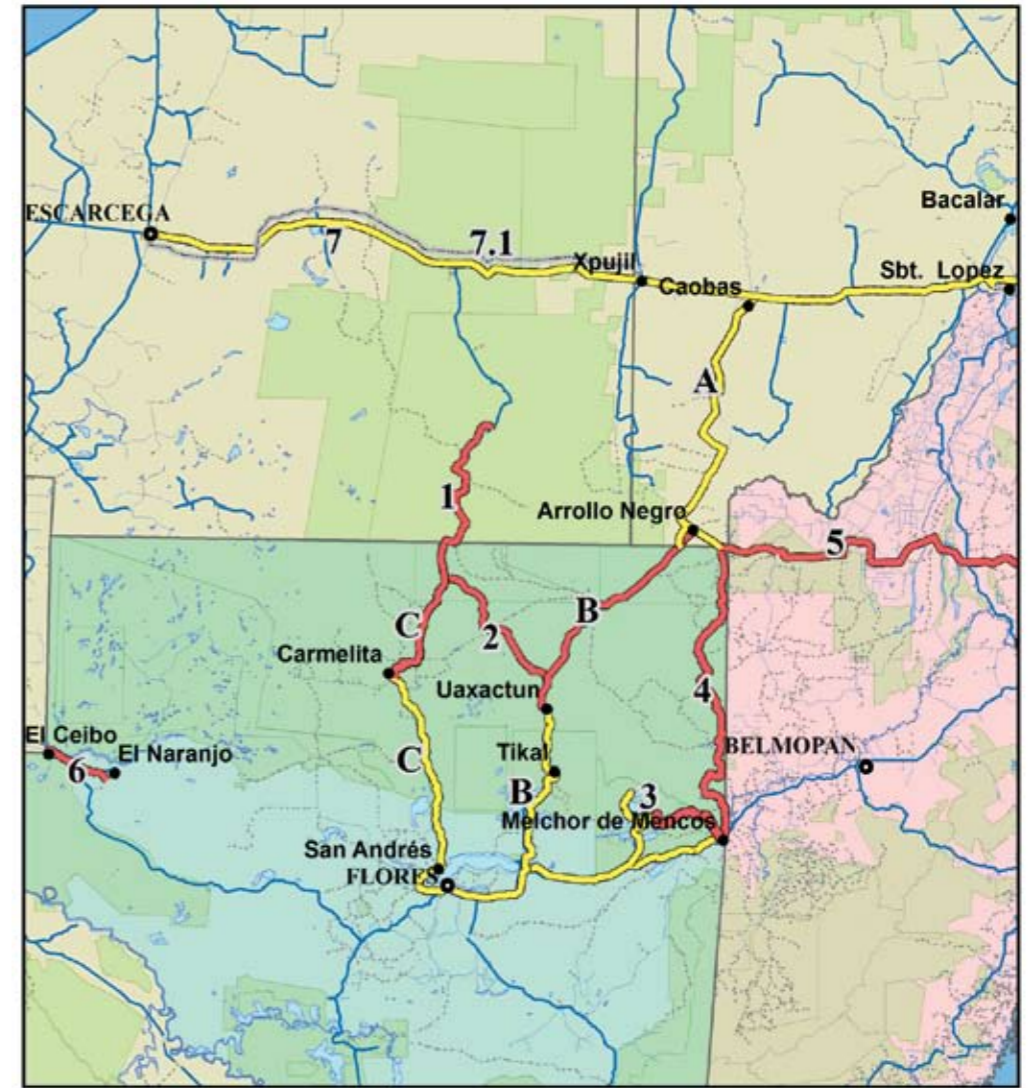


FIGURA 4. PROYECTOS CARRETEROS QUE SE PLANTEAN PARA LA REGIÓN

Proyectos carreteros en México

Los proyectos dentro de México principalmente plantean la ampliación de carreteras existentes. Éstas ya se encuentran en obras y se dividen en tres proyectos principales:

1. Carretera “Escárcega-Xpujil”, con una longitud de 152.82 km, la cual será ampliada de 9 a 12 m con acotamiento. Esta carretera divide la Reserva de la Biosfera de Calakmul y la reserva estatal Balam-kú en dos fragmentos.
2. La ampliación de la carretera “Caobas-Arroyo Negro” de 6 a 9 m con una longitud de 86 km (SCT 2004).
3. La carretera “Mahahual-Bacalar” con 6.3 km de ampliación de dos a cuatro carriles con camellón central. Esta última no fue incluida en este estudio.

También se ha propuesto la habilitación de un camino que correrá paralelamente al tramo Escárcega-Xpujil para la instalación de un tendido eléctrico y de torres de alta tensión. De acuerdo al documento L.T. Escárcega Potencia-Xpujil (CFE 2006) y comunicación personal con la CFE, este tramo estaría ubicado a un kilómetro de distancia de la carretera y dentro de la reserva estatal de Balam-kú y la Reserva de la Biosfera de Calakmul. Este camino tendría un ancho de 18.5 m y la habilitación de un área para el hincado y armado de estructuras, así como de un área de tendido y tensado de cables de guarda y conductor. Es probable que este tramo sea construido en alguna de las tres modalidades: a tocón, a matarrasa permanente o matarrasa temporal. Esta brecha sería mantenida en un futuro con una vegetación promedio 1.5 metros de altura.

En este documento analizamos el efecto en la deforestación de la ampliación de los tramos “Escárcega-Xpujil”, “Caobas-Arroyo Negro” y del tramo para la colocación y mantenimiento de torres eléctricas paralela al tramo “Escárcega-Xpujil”. El análisis económico lo realizamos únicamente para el tramo “Caobas-Arroyo Negro”.

Proyectos carreteros en Guatemala

Los proyectos carreteros en Guatemala plantean la ampliación y mejoramiento de tramos existentes, así como la construcción de nuevos caminos. Actualmente, con el apoyo financiero del gobierno mexicano, se está construyendo la carretera fronteriza entre Tabasco y el Petén, “El Ceibo-El Naranjo”. Con apoyo del Banco Centroamericano de Integración Económica, se está ampliando y restaurando la carretera de Melchor de Mencos a Flores. Por otro lado, México espera que Guatemala apruebe la construcción de una carretera de Arroyo Negro, en México, a Flores, Guatemala (en este estudio Arroyo Negro-Uaxactún-Tikal), la cual forma parte del “Proyecto Carretero Caobas, México-Flores, Guatemala” (SCT 2004). También se plantea la pavimentación de la carretera San Andrés-Carmelita, la construcción de un tren o carretera de Carmelita

al sitio arqueológico el Mirador (GHF 2006) y la pavimentación del circuito “Yaxhá-Nahum-Naranjo”. En este estudio nos enfocamos únicamente al análisis económico de los tramos “Arroyo Negro-Uaxactún-Tikal”, y “San Andrés-Carmelita-Mirador”. El análisis de impacto en la deforestación y fragmentación se realizó para todos los tramos.

Proyectos carreteros en Belice

El único proyecto carretero que analizamos fue el tramo “Lamanai-Frontera con Guatemala”, cuya construcción aún no se ha aprobado. Para este proyecto solamente realizamos el análisis de deforestación y fragmentación.



Métodos

Análisis de agentes de la deforestación y proyección del impacto de los proyectos carreteros

Para entender el efecto de la expansión de la red carretera sobre la Selva Maya se proyectó la deforestación para todos los tramos del 2006 al 2015, del 2015 al 2020 y del 2020 al 2030.

Realizamos un análisis de regresión logística para modelar el efecto de las variables ambientales y antropogénicas sobre la deforestación para periodos previos (1980, 1990 y 2000) utilizando los resultados del análisis de deforestación durante estos periodos en la región (Colchero *et al.* 2005; Amor *et al.* 2006). Seleccionamos el modelo más robusto a partir del análisis utilizando el criterio de selección de modelos estadísticos AIC por sus siglas en inglés: Akaike Information Criteria⁵, (Akaike 1974). Posteriormente, realizamos un análisis de Bootstrap paramétrico para calcular intervalos de confianza para los parámetros que conformaron el modelo con el menor AIC (Efron & Tibshirani 1993). Esto nos permitió verificar la eficacia del modelo para explicar la relación entre las variables y la deforestación.

Basado en los resultados de este modelo, proyectamos la deforestación para el 2015, 2020 y 2030 considerando: a) la ampliación o construcción de los nuevos tramos carreteros, asumiendo que para el 2015 todos los tramos estarían terminados; b) el crecimiento en la densidad poblacional para cada periodo⁶. Para cada periodo se obtuvieron tres paisajes probabilísticos de deforestación:

- **Escenario A:** muestra la probabilidad de deforestación proyectada sin el desarrollo de ninguno de los proyectos carreteros.
- **Escenario B:** probabilidad de deforestación proyectada si los proyectos carreteros son implementados.
- **Escenario C:** probabilidad de deforestación proyectada si los proyectos carreteros son implementados y es construido el camino para las torres eléctricas dentro de la reserva estatal de Balam-kú y la Reserva de la Biosfera de Calakmul, a un kilómetro en paralelo al tramo Escárcega-Xpujil.

A partir del paisaje probabilístico para cada periodo (2015, 2020 y 2030) se obtuvo una estimación del número total de hectáreas que se deforestarían para los escenarios A, B y C (método ver Apéndice I). Para obtener el número de hectáreas totales de selva que se perderían por construcción de cada tramo, se restaron las hectáreas que se perderían en el escenario A de las hectáreas que se perderían en el escenario B (ver Apéndice I). De la misma manera se restaron las hectáreas que se perderían del escenario B del C.

⁵ AIC: es una medida de la precisión con que un modelo estadístico representa los datos reales.

⁶ En base a las tasas de crecimiento poblacional en la región reportadas en los últimos censos de población y vivienda para cada uno de los países

Cabe mencionar que en este análisis estimamos la deforestación para carreteras que serán construidas y mejoradas. En ambos casos la densidad de carreteras alrededor del tramo analizado influye en la proyección de deforestación. El efecto de mejorar carreteras es distinto debido a que éste aumenta o disminuye según el número de hectáreas deforestadas (relacionada al tramo en análisis) antes de la mejora. El modelaje del impacto de las carreteras en la deforestación incluyó caminos de terracería y carreteras pavimentadas. De acuerdo con Pfaff *et al.* (2007) tanto los caminos de terracería como los pavimentados presentan un impacto significativo en la deforestación en los bosques tropicales de Brasil. Esto concuerda con nuestro modelo, el cual incluye carreteras tanto pavimentadas como de terracería. Basándonos en nuestros resultados y análisis de imágenes de satélite podemos observar que, por lo general, construir un nuevo camino ya sea pavimentado o de terracería presenta un mayor impacto que mejorar caminos existentes. Futuros análisis que cuantifiquen la diferencia entre la deforestación relacionada a tramos de terracería y la deforestación relacionada a tramos pavimentados, serán importantes para la toma de decisiones con respecto a inversiones públicas o privadas en áreas claves para la conservación.

Por otro lado es debatible utilizar este modelo para estimar el impacto de la colocación de torres de alta tensión, sin embargo dicha obra requiere de la habilitación de un camino para su construcción y mantenimiento. Debido a esto, se espera un impacto en la deforestación por la apertura de este camino al proveer una nueva vía de acceso. Sin embargo, nuestras proyecciones en la deforestación para este caso son optimistas. En este caso utilizamos un límite en la probabilidad de deforestación mucho más restringido, el cual considera únicamente dos tercios de la deforestación proyectada para los demás tramos, determinada a partir del análisis estadístico ROC (Anexo1).

Análisis de fragmentación

Para estimar de manera general los impactos de las carreteras sobre la fragmentación de la Selva Maya utilizamos los resultados del modelo de deforestación y los requerimientos de hábitat del jaguar como especie paraguas. Esto nos permitió hacer una estimación general de los impactos sobre las áreas con mayor riqueza de especies endémicas y/o amenazadas en la región.

Las carreteras afectan de forma directa la vida silvestre ya que incrementan la mortalidad de especies con alta movilidad y promueven la fragmentación del hábitat. A mediano plazo, estos efectos pueden desembocar en la pérdida de hábitat, el aumento en el efecto de borde y un incremento en la accesibilidad a los bosques para actividades de extracción (Forman *et al.* 2002). Esto se traduce en una mayor presión por cacería furtiva, tala ilegal y el comercio de especies. Según la movilidad y los requerimientos ambientales de la especie, la calidad y conectividad del hábitat podrán verse afectadas de manera distinta. Lo que parece ser un hábitat fragmentado para una especie con baja

movilidad podría presentar un impacto nulo para una especie con mayor capacidad de dispersión (Pearson *et al.* 1996).

Proyectar la deforestación por carreteras no es suficiente para entender el impacto que estos proyectos tendrán en el ecosistema. Utilizamos los resultados del modelo de proyección de deforestación y los modelos de hábitat potencial para el jaguar (Colchero *et al.* 2005; Amor *et al.* 2006), para estimar los efectos de los proyectos carreteros en la pérdida y fragmentación del hábitat de la especie. Esto nos da una medida más directa del impacto de las carreteras en la Selva Maya que únicamente la deforestación.

Utilizamos a esta especie debido a que cumple con casi todos los criterios de una especie paraguas para planes de conservación: (1) los jaguares se encuentran en la cúspide de la cadena trófica al ser uno de los principales depredadores en las selvas tropicales de América, lo cual los hace por demás sensibles a disturbios ambientales; (2) el jaguar tiene una gran influencia en la regulación del sistema y las dinámicas poblacionales de un gran número de especies; (3) por sus requerimientos de hábitat, requieren de grandes extensiones de hábitat para mantener poblaciones viables (Miller & Rabinowitz 2002). Cabe mencionar que nuestro análisis de fragmentación es optimista debido a que el jaguar presenta una alta movilidad en comparación con la gran mayoría de las especies que habitan la región.

Se utilizó como base los resultados del modelo de hábitat del jaguar (Amor *et al.* 2006). De acuerdo a este modelo los jaguares evitan las carreteras de dos carriles en un rango de 2.5 - 4.5 km. Considerando que en la Selva Maya hay distintos tipos de carreteras, utilizamos un rango más conservador de 3 km a cada lado para carreteras de dos carriles, 1 km para carreteras de terracería y 500 m para veredas. Estos resultados, junto con los de deforestación para el 2015, nos permitieron explorar dos escenarios de fragmentación:

1. Si únicamente las carreteras que se encuentran en obras son desarrolladas (“El Ceibo-El Naranja”, “Escárcega-Xpujil” y “Caobas-Arroyo Negro”)
2. Si todas las carreteras en el inventario son desarrolladas

Estos dos escenarios de fragmentación basados en el hábitat potencial del jaguar fueron aplicados a los modelos de hábitat para varias especies de la región obtenidos por el proyecto Ecorregional de la Selva Maya Zoque y Olmeca (García & Secaira 2006). Para obtener una cobertura espacial que mostrara las zonas con mayor riqueza de especies endémicas y/o amenazadas, utilizamos los mapas de hábitat potencial de 34 especies de mamíferos, 35 reptiles, 26 aves, 5 anfibios y 6 mariposas (un total de 96 especies, Figura 5).

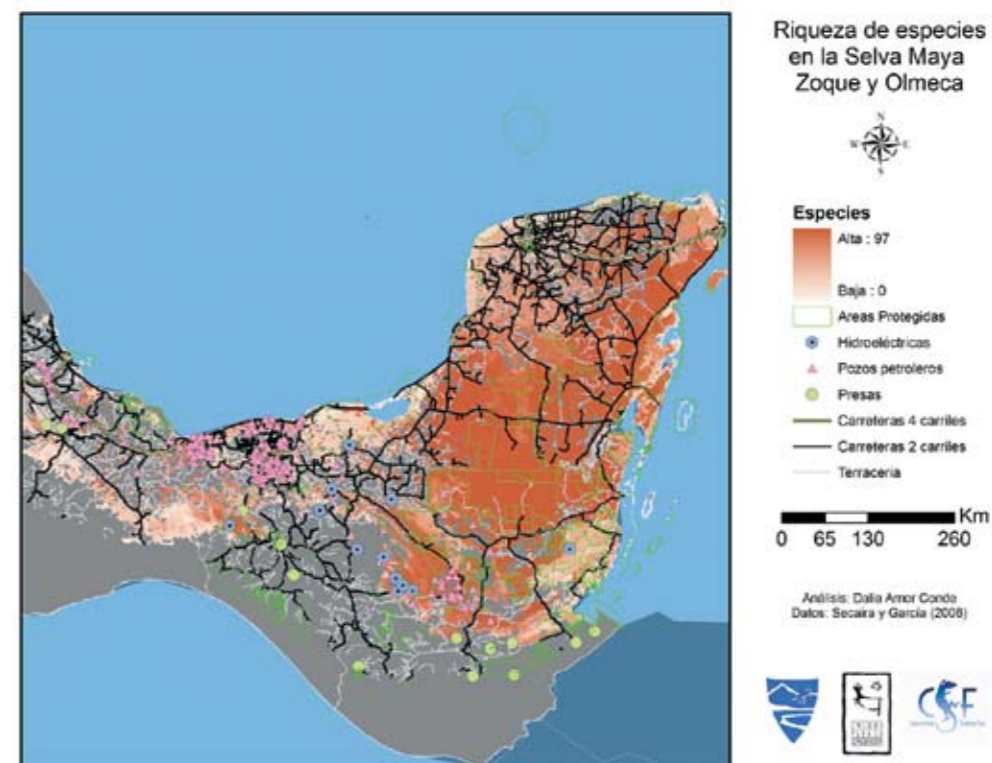


FIGURA 5. MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE RIQUEZA DE ESPECIES; OBTENIDO A PARTIR DE LOS MAPAS DE HÁBITAT POTENCIAL DEL PROYECTO DE LA SELVA MAYA ZOQUE Y OLMECA (GARCÍA Y SECAIRA 2006).

Análisis económico

Se realizó el análisis de costo-beneficio para los proyectos cuya construcción es altamente probable para determinar su factibilidad económica, según el enfoque del excedente del consumidor

Los beneficios económicos de las carreteras propuestas se calcularon en base a los ahorros en 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. Además, en este análisis se estiman beneficios indirectos y externalidades ambientales generados por los proyectos carreteros. Los proyectos analizados son los siguientes:

Proyecto Tikal-Caobas, compuesto por los siguientes subtramos:

- Tikal-Uaxactún
- Uaxactún-Arroyo Negro
- Arroyo Negro-Caobas

Proyecto San Andrés-Mirador compuesto por los siguientes subtramos:

- San Andrés-Carmelita
- Carmelita-Mirador

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 Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (SCT) y el Gobierno del Estado de Quintana Roo y de Dirección Nacional de Caminos de Guatemala (Caminos) 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 1.059.⁷

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 (HDM)⁸, desarrollado por el Banco Mundial. Estas herramientas permiten estimar el ahorro en el CTU para determinado tráfico vehicular según distintos estándares y esquemas de desarrollo y mantenimiento carretero. Tales herramientas permiten calcular los indicadores de factibilidad económica, el valor actual neto (VAN)⁹ y la tasa interna de retorno (TIR)¹⁰.

En nuestro análisis se considera una tasa real 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).

⁷ Calculado según los índices establecidos en el "Economic Report of the President" (GPO 2006).

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

⁹ 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 Harberger 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 la sociedades. Se utiliza una tasa de descuento del 12%

¹⁰ 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.

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 enfoque 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 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.

Estimamos los gastos de turistas según PA Consulting Group (2004), que define que el gasto promedio es de US\$ 51.9 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 aproximadamente US\$ 58.00 por día¹¹.

Valoración de potenciales impactos ambientales

Se identificó el área que podría ser la más afectada por la mayoría de impactos ambientales indirectos de las carreteras durante los primeros 30 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 el impacto indirecto más probable y sin control lo constituye la deforestación. De esta actividad resultan 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, producto de la deforestación. Los escenarios analizados son conservadores porque no consideran la generación de carreteras secundarias, ni las emisiones provenientes de un incremento en incendios forestales.

Las emisiones de carbono se calculan como la pérdida neta (liberación) derivada de la conversión de bosque alto-medio en áreas de cultivos perennes-bosque bajo o en pastizales (ver Tabla 2). Lo anterior se estimó según el contenido de carbono de los bosques de la Selva Maya, tomado de Arreaga (2002), y de las tierras convertidas a pastos o cultivos perennes-bosque bajo en áreas tropicales, tomado de Ruiz (2002). Se

¹¹ Actualización hecha con el "Índice del Precio al Consumidor nivel República" y "Tipo de Cambio." Banco de Guatemala (2006)

asume 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 cero.

TABLA 2. CONTENIDO DE CARBONO SEGÚN USO DE SUELO EN LA REGIÓN DE LA SELVA MAYA

Uso de Suelo	Contenido de Carbono tC/ha ¹²
Bosque alto-medio	318.4
Cultivo perennes-bosque bajo	122.6
Pasto	98.8

Para calcular el valor monetario del dióxido de carbono se utilizaron los precios al que se comercializa en los mercados de “Chicago Climate Exchange” y el “European Union Emissions Trading Scheme”. Los cuales presentan un rango de entre US\$ 4.03/tCO₂ y US\$ 18.27/tCO₂, según The Katoomba Group’s Ecosystem Market Place (Carbon Mid-Prices consultado en noviembre del 2006). En teoría estos precios reflejan el costo marginal de reducir una tonelada de emisiones de dióxido de carbono porque los contaminadores eligen la más barata entre las opciones de controlar sus emisiones o comprar permisos. Dado que estos precios son del 2006, y el análisis se hizo en base a precios del 2004, se convirtieron en dólares del 2004 aplicando un factor 1.059. Los precios utilizados fueron 3.81/tCO₂ y US\$ 17.25/tCO₂. 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.

Este valor representa principalmente una pérdida global, porque los mercados para carbono de la deforestación evitada no se han consolidado (Fearnside y Barbosa 2003; Schlamadinger *et al.* 2005). Las oportunidades para que Guatemala sea compensada todavía son limitadas. No obstante, representa una posible opción económica futura para el país, que se concretizará una vez que existen mercados formales o voluntarios para la deforestación evitada.

Distribución de costos y beneficios

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

1. 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.
2. Los ahorros en CTU para los usuarios al utilizar únicamente carreteras mexicanas fueron asignados a México, y los de las carreteras guatemaltecas, a Guatemala.

¹² Una tonelada de carbono, al transferirse a la atmósfera, se convierte en 3.7 toneladas de dióxido de carbono.” (Asuntos Forestales 2000).

3. 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.
4. Para la distribución de costos y beneficios entre los sectores dentro de 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.

Descripción del proyecto Caobas-Tikal

Se evaluaron los costos y beneficios económicos generados por la modernización del tramo “Caobas-Arroyo Negro”, la construcción del tramo “Arroyo Negro-Uaxactún” y la pavimentación del tramo “Uaxactún-Tikal”. El proyecto Caobas-Tikal consolidaría una ruta alternativa a los vehículos que se desplazan entre Guatemala y México a través de Belice. Este análisis se realizó desde los puntos de vista de la sociedad guatemalteca y de la mexicana.

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 que actualmente y en el futuro usarían la ruta a través de Belice. Se adoptó la ruta alternativa identificada por el estudio de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y el Gobierno del estado de Quintana Roo (2004). Se asumió que el tramo carretero en Guatemala pasaría por Uaxactún, Tikal, y luego el tramo pavimentado siguiente hasta Flores. Se consideró esta sección en Guatemala, ya que es la más directa y generaría los mayores ahorros a los usuarios (Figura 6).

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. Las obras de Arroyo Negro a Uaxactún contemplan la construcción de 83.1 km 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 25¹³. Las obras de Uaxactún a Tikal contemplan la pavimentación con concreto asfáltico de 23 km 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 14¹⁴. Con ambos proyectos se estima de manera optimista que las carreteras tendrán un IRI promedio de 2.5 para el período de análisis¹⁵.

¹³ Actualmente existe una brecha turística entre Uaxactún y Río Azul, muy cercano a Arroyo Negro.

¹⁴ Ese IRI es típico de carreteras no pavimentadas con estado regular (Archondo-Callao 2004).

¹⁵ Un IRI de 2.5 es considerado muy bueno para carreteras pavimentadas (Archondo-Callao 2004), aun más cuando es considerado

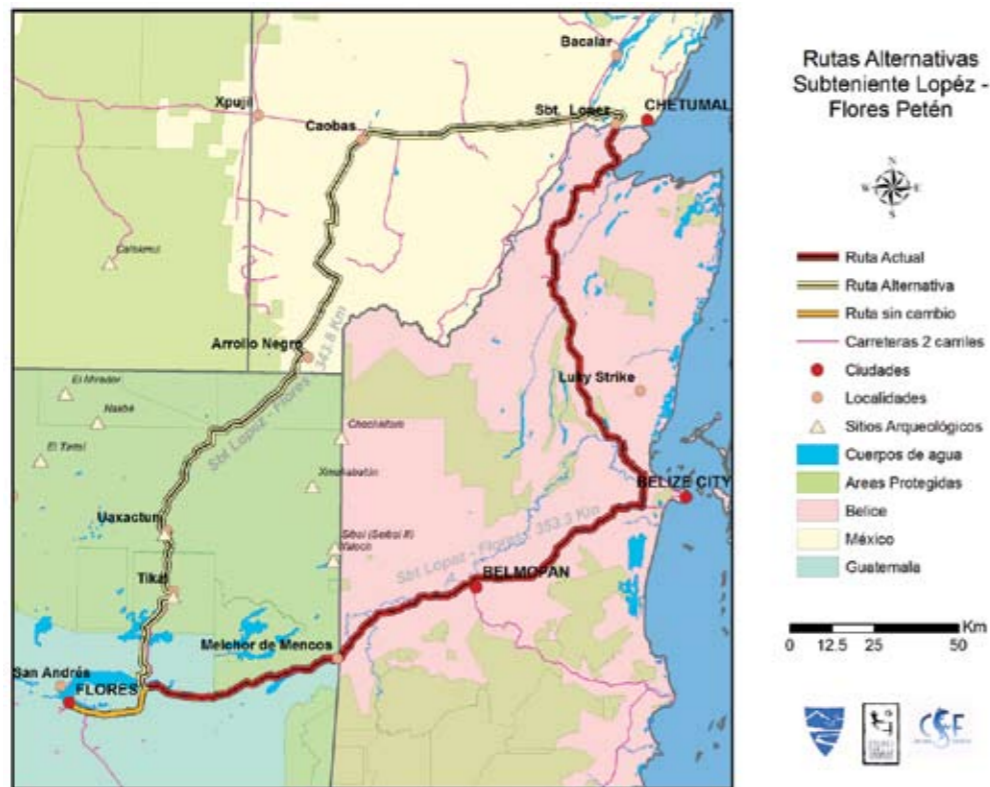


FIGURA 6. MAPA PROYECTO CARRETERO “CAOBAS-ARROYO NEGRO-FLORES”, RUTA ACTUAL (ROJO) Y ALTERNATIVA (AMARILLO) DE SUBTENIENTE LÓPEZ - FLORES

Para los costos de construcción y mantenimiento del tramo “Caobas-Arroyo Negro” se usaron los que fueron establecidos en el estudio de SCT (2004), donde el valor actual de los costos de construcción suman 390.5 millones de pesos, que equivalen a US\$ 33.9 millones, y los ahorros en mantenimiento tienen un valor actual de 34 millones de pesos, equivalentes a US\$ 3 millones (Anexo 2). Se agregaron 5 km de construcción a este tramo de carretera para completar el enlace con la frontera guatemalteca con un costo adicional de US\$ 1.9 millones, proporcional al costo establecido para este tramo (Anexo 2). Para el tramo “Arroyo Negro-Uaxactún” se asumió un costo de construcción de US\$ 514,200 por kilómetro y un costo de mantenimiento de US\$ 6,329 por kilómetro al año, mientras que para el tramo “Uaxactún-Tikal” se asumió un costo de pavimentación de US\$ 396,000 por kilómetro y un ahorro en mantenimiento de US\$ 3,565 por kilómetro por año¹⁶. Para estos tres tramos se asumió un tiempo de construcción de 3 años como el establecido por SCT (2004). Para el plan de desembolso

como IRI promedio, pues un IRI tan favorable raramente se mantiene durante el ciclo de vida de una carretera.

16 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.

del tramo “Caobas-Arroyo Negro” se utilizó el establecido en SCT (2004) y para los otros dos tramos se asumen desembolsos iguales por año.

En el caso del tramo “Arroyo Negro-Caobas” inicialmente se asumieron todos los ahorros¹⁷ mencionados en SCT (2004), evaluados en base al paquete HDM VOC (por sus siglas en inglés: vehicle operating cost, costo de operación vehicular) y un estimado propio para el análisis de ahorros en tiempo de viaje, en base al Manual de Capacidad Vial de la SCT. Al descubrir que en dicho análisis se había usado de forma inapropiada una distancia de 500 km para la ruta actual entre Subteniente López y Petén¹⁸ y que la diferencia en distancia y calidad¹⁹ de la ruta actual y la ruta alternativa es insignificante, se excluyeron los ahorros en CTU de aquellos usuarios que viajan entre Guatemala y México. Se recalculó la distancia de la ruta actual y la ruta alternativa asumiendo como origen el Ramal hacia Subteniente López, al igual que en el estudio de SCT (2004), y como destino Flores, ya que es la capital y el punto central para moverse a varios destinos turísticos en la región. Estas distancias se estimaron a través de la base de datos SIG de CEMEC-CONAP (2006)²⁰. Como puede verse en el Tabla 3 la distancia de la ruta actual entre Ramal Subteniente López y Flores es de 353.3 km y la ruta propuesta, a través de la RBM, es de 343.8 km.

TABLA 3. DISTANCIAS DE SUBTENIENTE LÓPEZ A FLORES TRAMO ACTUAL Y CON PROYECTO CAOBAS-TIKAL

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

Adicionalmente a los ahorros estimados por SCT (2004), se incorporaron al análisis los ahorros en el CTU para los tramos “Arroyo Negro-Uaxactún” y “Uaxactún-Tikal” que se estimaron con el Modelo Económico de Decisión de Carreteras (RED por sus siglas en inglés: Road Economic Decision Model), basado en el modelo más reciente HDM-4²¹. Para estas estimaciones se utilizaron los parámetros utilizados por el Departamento de Preinversión, Dirección General de Caminos (2004) y los datos TPDA (Tráfico Diario Promedio Anual-TPDA) de la Tabla 4.

17 Ahorro en los costos de operación de los vehículos, ahorro en el tiempo de viaje, y cambios en los costos por mantenimiento y conservación vial. Entre los indirectos únicamente se cuantificaron el aumento en el valor de los terrenos y mayores ingresos por turismo y divisas

18 Se menciona un lugar promedio en Petén, algo impreciso y atípico en análisis de proyectos viales.

19 En el estudio SCT (2004) se consideró que las características del tramo en Guatemala serán parecidas al estándar que las de la carretera que pasa por Belice.

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

21 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 información. [http://www.worldbank.org/afr/ssatp/Models/RED_3.2/red32_en.htm]

TABLA 4. TPDA Y TASA DE CRECIMIENTO DEL TPDA DE LOS TRAMOS EN GUATEMALA

Tramo	TPDA	Tasa de crecimiento anual del TPDA por periodo		
		2004 – 2008	2009 – 2013	2014 – 2034
Uaxactún-Arroyo Negro	6 ²²	5%	10%	5%
Tikal-Uaxactún	27 ²³	5%	10%	5%

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. 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.

Aparte de los beneficios indirectos cuantificados en SCT (2004), 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 Tikal²⁴.

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 carreteras donde la tasa de crecimiento de las visitas es del 10% entre el año 2007 y el 2011 y del 1% del 2016 en adelante. La cantidad de turistas que ingresa a Río Azul se estimó en base 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 5).

22 Este TPDA fue calculado a partir de 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

23 Este TPDA fue calculado a partir de las boletas de la garita en la entrada al Parque Nacional Tikal, administrada por el Instituto de Antropología e Historia (IDAEH). El TPDA que se registró entre Tikal y Uaxactún en el 2006 fue 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.

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

TABLA 5. TURISMO EN UAXACTÚN Y RÍO AZUL GENERADO A PARTIR DEL ACCESO DESDE TIKAL

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

Descripción del proyecto 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 7). 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).

Para el tramo “Carmelita-Mirador” se asumió un costo de construcción de US\$ 514.200 por kilómetro y un costo de mantenimiento de US\$ 6,329 por kilómetro al año, mientras que para el tramo San Andrés-Carmelita se asumió un costo de pavimentación de US\$ 396,000 por kilómetro y un ahorro en mantenimiento de US\$ 3,565 por kilómetro por año²⁵. Para estos dos tramos se asumió un tiempo de construcción de 3 años como el establecido por SCT (2004) y se asumen desembolsos iguales por año.

Los ahorros en el CTU para los tramos “Carmelita-Mirador” y “San Andrés-Carmelita” que se estimaron con el Modelo RED. Para estas estimaciones se utilizaron los parámetros utilizados por el Departamento de Preinversión, Dirección General de Caminos (2004) y los datos TPDA de la Tabla 6.

TABLA 6. TPDA Y TASAS DE CRECIMIENTO DE TRÁFICO DURANTE EL PERIODO DE ANÁLISIS

Tramo	TPDA	Tasa 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%

Para estimar el tráfico normal para 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 la tasa de crecimiento anual del TPDA entre 2009 y 2018 sería del 27%, igual a la tasa de crecimiento anual de las visitas

25 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 Guatemala.

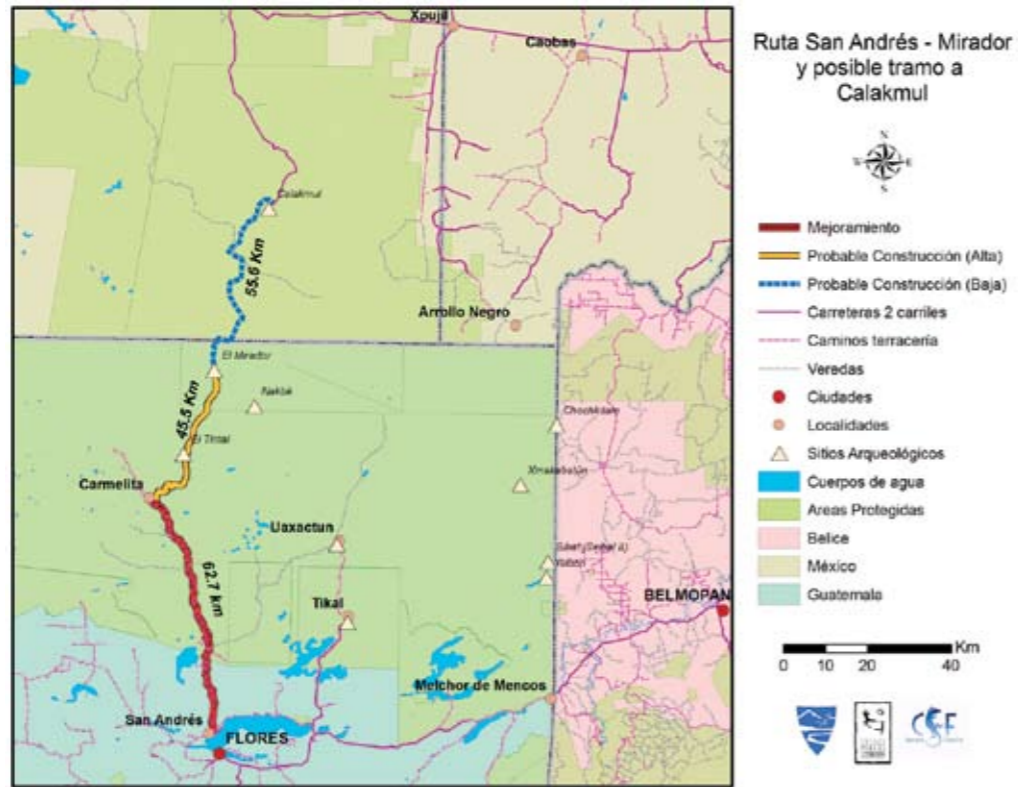


FIGURA 7. MAPA PROYECTO CARRETERO “SAN ANDRÉS-CARMELITA-MIRADOR”

turísticas a Mirador estimadas por Global Heritage Fund (2006)²⁶. 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).

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. 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%, 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 27% (GHF, 2006) entre el año 2007 y el 2016, y del 2016 en adelante es del 1%.

²⁶ 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 de aproximadamente 27%.

Resultados

Análisis de agentes de la deforestación y proyección del impacto de los proyectos carreteros

Las carreteras resultaron ser uno de los principales promotores de la deforestación en la selva maya.

Los análisis mostraron que el modelo de promotores de la deforestación más robusto (con el menor índice de AIC) incluyó las siguientes variables con sus respectivos valores para los intervalos de confianza: i) la densidad de carreteras ($p < 0.001$); ii) la distancia a las carreteras ($p < 0.001$); iii) la elevación ($p > 0.05$); iv) la distancia a sitios previamente deforestados ($p < 0.001$); v) la densidad poblacional en un radio de 6.5 km; ($p > 0.05$); vi) localización (dentro o fuera de un área protegida, $p < 0.001$); vii) distancia al oleoducto que se origina en Laguna del Tigre, Petén ($p < 0.009$); y viii) el país (Guatemala, México o Belice, $p < 0.001$). Entre estas, las variables con mayor poder de predicción mostrado por sus valores de p menores al 0.05 resultaron ser: 1) la densidad de carreteras, la cual considera no únicamente el número de carreteras por km², sino también el tipo de carretera, asignando una mayor densidad a carreteras de dos carriles y terracería de las veredas; 2) distancia a las carreteras, 3) el país 4) distancia al oleoducto que se encuentra en Petén Laguna del Tigre y 5) las áreas protegidas (ver Anexo 1). La densidad poblacional y la elevación resultaron no ser significativas; sin embargo, de acuerdo a los resultados de AIC estas variables le dan mayor poder de predicción al modelo a pesar de no ser significativas.

Con base en este modelo, Guatemala y México tuvieron una mayor probabilidad de deforestación comparados con Belice (ver Apéndice 1). Esto resulta consistente con el hecho de que en Belice la tasa de deforestación se ha reducido significativamente desde 1990 (Colchero *et al.* 2005). El modelo muestra el efecto indirecto de las políticas de desarrollo sobre la deforestación para los tres países. Como mencionamos en el párrafo anterior, la densidad de carreteras tiene un efecto acumulativo sobre la deforestación, siendo esta altamente significativa. Por su parte, las áreas protegidas afectaron la deforestación negativamente, por lo que la probabilidad de deforestación en las áreas protegidas es menor que fuera de las mismas. A nivel de país, Belice y México tuvieron una menor probabilidad de deforestación dentro de áreas protegidas que Guatemala.

Los resultados muestran que si todos los tramos son construidos incluyendo el tramo para la colocación de torres de alta tensión, se perderán alrededor de 311,170 hectáreas para el 2030 (Tabla 7 y Figura 8). Es importante mencionar que estos resultados son únicamente los del aumento en la deforestación por la construcción o ampliación del nuevo tramo (ver sección de métodos). En la Tabla 7 se desglosan los resultados de la deforestación proyectada por tramo por periodo. La Figura 9 muestra la deforestación acumulativa ocasionada por la construcción del tramo para las torres eléctricas si se

colocan a un kilómetro de la carretera Escárcega-Xpujil dentro de la reserva estatal Balam-kú y la Reserva de la Biosfera Calakmul.

TABLA 7. RESULTADOS DE LA DEFORESTACIÓN PROYECTADA POR LA CONSTRUCCIÓN O AMPLIACIÓN DE CAMINOS

Clave Mapa	Nombre	Hectáreas Deforestadas por Tramo			
		2015	2020	2030	Total
A	Caobas-Arroyo Negro	2,191.5	1,622.0	2,438.5	6,252.0
B	Arroyo Negro-Uaxactún	8,590.5	7,163.0	9,115.5	24,869.0
B	Uaxactún-Tikal	6,513.0	5,101.0	9,870.0	21,484.0
B	Tikal-El Remate	452.0	175.0	338.0	965.0
C	San Andrés-Carmelita	8,374.0	3,469.0	13,499.0	25,342.0
C	Carmelita-Mirador	4,897.0	1,072.0	4,817.0	10,786.0
1	Mirador-Calakmul	2,754.0	12.0	2,931.0	5,697.0
2	Uaxactún-Mirador	2,572.0	2,611.0	3,827.5	9,010.5
3	Yaxhá-Nakum-Naranja	14,110.5	12,683.0	14,635.5	41,429.0
4	Melchor de Mencos-Arroyo Negro	11,322.5	9,895.0	11,847.5	33,065.0
5	Lamanai	11,979.0	3,729.0	18,531.0	34,239.0
6	El Ceibo-El Naranja	3,579.0	724.0	4,629.0	8,932.0
7	Escárcega-Xpujil	16,972.0	10,159.0	20,357.0	47,488.0
7.1	Camino paralelo a Escárcega-Xpujil para Torres alta tensión, Figura.9.	13,393.0	12,490.0	15,728.0	41,611.0
Total		107,700.0	70,905.0	132,564.5	311,169.5

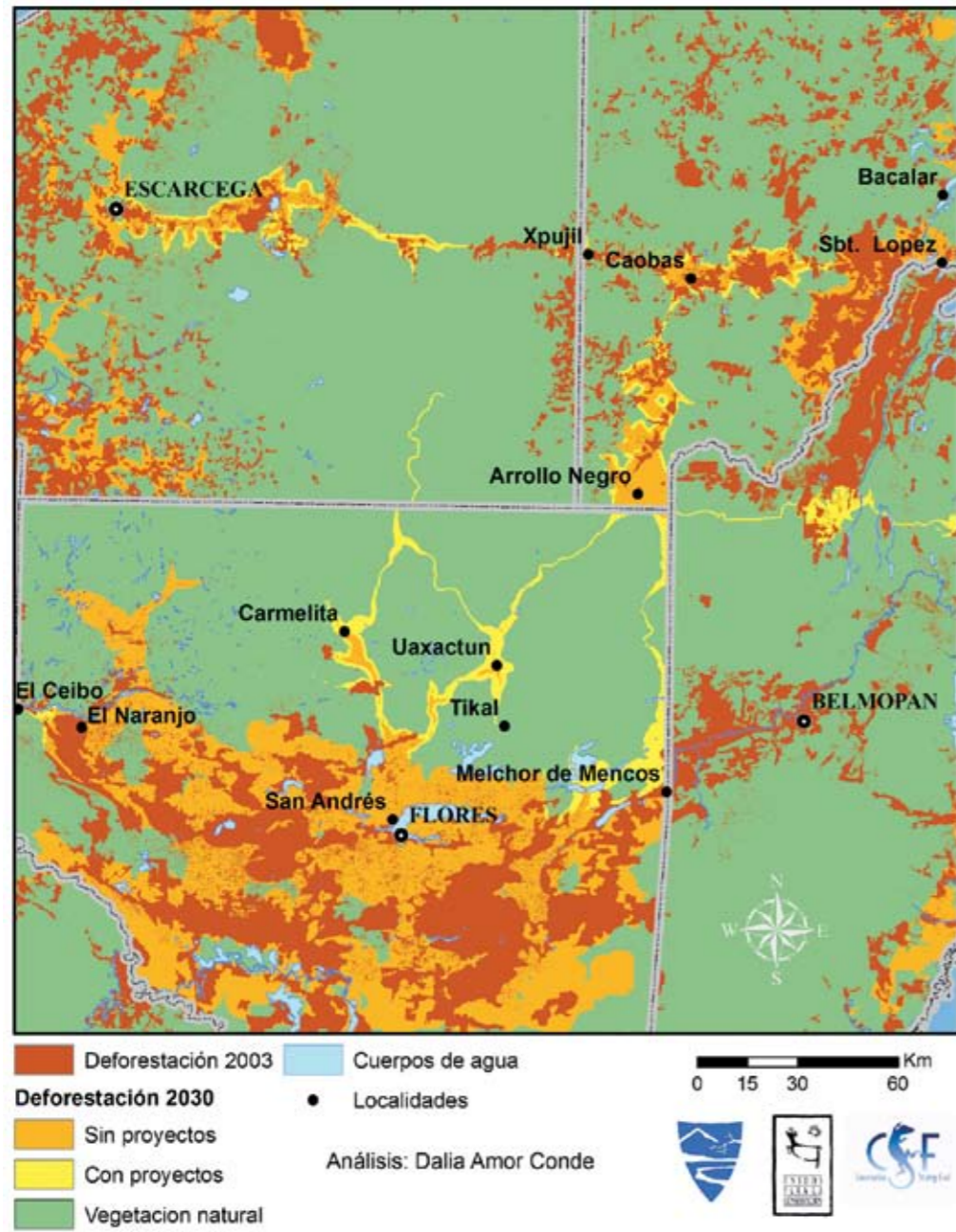


FIGURA 8. SECUENCIA DE DEFORESTACIÓN TOTAL PROYECTADA PARA EL 2015, 2020 Y EL 2030 A PARTIR DE LOS PAISAJES PROBABILÍSTICOS OBTENIDOS PARA CADA PERIODO. ESCENARIO OPTIMISTA: NO INCLUYE EL MODELADO DE EFECTOS POR INCENDIOS, NI GENERACIÓN DE NUEVOS TRAMOS.

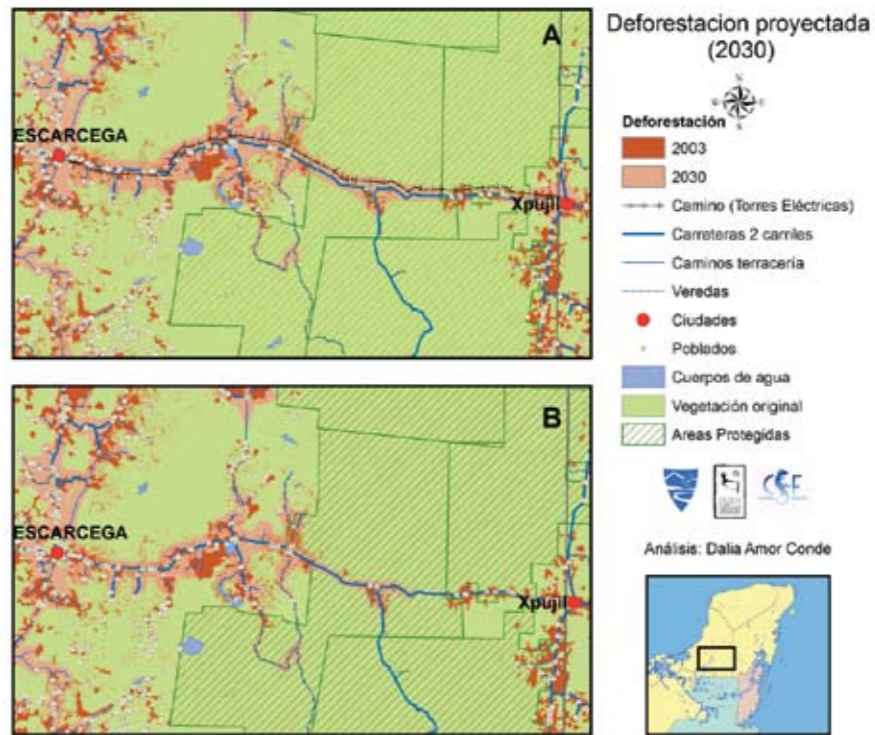


FIGURA 9. PROYECCIÓN DE LA DEFORESTACIÓN ACUMULATIVA POR LA AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA ESCÁRCEGA XPUJIL Y EL CAMINO PARA LA CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TENDIDO ELÉCTRICO

Limitaciones del modelo

El poder predictivo de este modelo a un horizonte de 30 años es limitado, esto se debe a que las dinámicas poblacionales y cambios en las políticas públicas afectarán significativamente el valor de los parámetros estimados inicialmente. Sin embargo, este modelo es optimista (presenta valores conservadores de deforestación) debido a tres factores: 1) no considera los incendios forestales provocados por el mejoramiento y construcción de carreteras, los cuales incrementan significativamente la probabilidad de deforestación (Nepstad *et al.* 2001); 2) no incluye la creación de nuevos caminos y carreteras a partir de los proyectos carreteros iniciales, lo cual generaría una mayor deforestación; y 3) usa un crecimiento poblacional para los 30 años basado en la tasa de crecimiento poblacional en años previos, lo cual puede ser un subestimado ya que la construcción de nuevas carreteras puede promover un aumento en el crecimiento poblacional en sitios donde actualmente es muy bajo.

En este proyecto diferenciamos entre el tipo de carreteras, utilizando un criterio conservador. Sin embargo, futuros análisis que determinen la diferencia en el impacto de caminos de terracería y pavimentados serán claves para el planteamiento de políticas públicas que consideren los impactos ambientales. Cabe mencionar, que existen estudios en otras regiones que estiman que el impacto es mayor cuando se abre un nuevo camino aunque éste sea únicamente de terracería, que cuando se mejora un camino (Pfaff *et al.* 2007).

Análisis de fragmentación

Se estimó que la pérdida de hábitat del jaguar debido a los proyectos viales será de aproximadamente 11.24% bajo un escenario optimista. La construcción de carreteras dentro de la RBM fragmentará el parche más grande de selva existente en América después del Amazonas.

La diferencia en el área deforestada entre los Escenarios A y B para el año 2015 es de aproximadamente 473,564 hectáreas. De éstas, alrededor de 151,428 ha son por pérdida total de hábitat por deforestación y 322,136 ha de hábitat impactado o susceptibles a un mayor impacto.

Escenario A: Si únicamente las carreteras que se encuentran en obras son desarrolladas: El Ceibo-El Naranjo, “Escárcega-Xpujil” y “Caobas-Arroyo Negro

Como se observa en la Figura 10, para el Escenario A, la Selva Maya se verá drásticamente fragmentada debido a la ampliación de la carretera “Escárcega-Xpujil” en México. Esta obra afectará la conectividad para varias especies debido a: 1) el aumento en el tránsito diario promedio anual (TPDA), el cual se estima entre 1,887

y 2,170 vehículos; 2) de una carretera tipo C cambiará una carretera tipo A-2, lo que permitirá el aumento en la velocidad hasta 110km/h; y 3) la ampliación de la carretera de 7 a 12 metros. Es altamente probable que la mortalidad de especies aumente por atropello, y que la conectividad disminuya debido al tráfico. Esto es alarmante debido a que esta carretera divide la Reserva de la Biosfera de Calakmul y a la reserva estatal Balam-kú en dos, por lo que el objetivo del CBM de mantener la conectividad de los parches de selva conservados del norte de la península con los del sur se verán severamente afectados.

La carretera “Caobas-Arroyo Negro” reducirá considerablemente parches de selva que se encuentran fuera de la reserva, los cuales son importantes para mantener la funcionalidad ecológica de las reservas de Calakmul, Sian Ka’an y del norte de Belice, siendo estos parches corredores biológicos naturales. La disminución de la conectividad se debe a los mismos factores descritos anteriormente para la carretera Escárcega-Xpujil, aunque en este caso el impacto de la carretera Caobas-Arroyo Negro será menor ya que la ampliación de la carretera será únicamente de 6 a 9 m de ancho.

La construcción de la carretera el Ceibo el Naranjo, en Guatemala, terminará de fragmentar la reserva de la Sierra del Lacandón con la reserva de la Laguna del Tigre, ubicada dentro de la RBM. Esto aislará los parches de selva del oeste de la Selva Maya (Reserva de la Biosfera de Montes Azules en México y el Área Protegida de Sierra del Lacandón en Guatemala) del parche más grande de selva, aislando algunas de las áreas con mayor riqueza de especies como se puede observar el caso del parche 2 en la Figura 10. De acuerdo con la teoría de metapoblaciones el aislamiento de estas reservas del parche más grande de bosque en la Selva Maya, puede tener fuertes implicaciones en las dinámicas poblacionales de especies en peligro o amenazadas de extinción. Así mismo limitará el movimiento de especies del parche 2 a regiones con elevaciones más altas como Sierra del Lacandón y Montes Azules, lo cual se estima será clave para amortiguar los efectos del cambio climático.

Escenario B: Si todas las carreteras en el inventario son desarrolladas.

La construcción de carreteras dentro de la RBM tendrá un fuerte impacto sobre el parche continuo de selva más grande después del Amazonas en América. El impacto no sólo se limita a la pérdida de bosque sino al efecto de borde. Cuantos más fragmentos se creen en la región, más frágil será el ecosistema, por lo que tendrá una menor capacidad de recuperarse ante impactos como incendios forestales o huracanes. La Tabla 8 muestra los cambios en los fragmentos que se darían si todas las carreteras son construidas. El número de parches corresponde a los representados en la Figura 10. En negativo se indica el % de pérdida de hábitat.

TABLA 8. CAMBIO EN LOS FRAGMENTOS DEL ÁREA CENTRAL Y CON MAYOR CONECTIVIDAD SI TODOS LOS TRAMOS SON CONSTRUIDOS.

Numero de Parche	Área orig. (km ²)	Perim. Orig.	Cambio área (%)	Cambio perim. (%)	Num. parches
1	8,365.91	4,539.33	-0.06	-1.06	1
2	23,054.97	6,713.97	-15.31	1.05	8
3	1,864.86	658.52	-19.04	-24.29	3
4	281.9	141.47	-29.19	-10.59	2
5	1,435.37	481.82	-1.72	-0.64	1
6	1,657.55	873.11	-8.27	-15.85	1
TOTAL	36,660.55	13,408.23	-11.28	-2.19	16

La carretera Arroyo Negro-Uaxactún dividiría en dos la RBM, aislando completamente la zona este de la reserva junto con las áreas protegidas de Belice. Esto afectará de forma significativa a las áreas naturales protegidas de Belice, reduciéndolas a un parche pequeño. La carretera Carmelita-Mirador tiene un menor impacto que la anterior, pero sigue siendo significativo. Sin embargo, si se continúa hasta Calakmul esta provocará la fragmentación de la RBM y de Calakmul, dividiendo el sistema de reservas en dos parches aislados (ver Figura 10).

Es importante mencionar que la infraestructura eléctrica a 1 km de la carretera para las torres eléctricas y la propia carretera impedirán la conectividad ecológica para un mayor número de especies. Especies que cruzaban únicamente un camino ahora tendrán dos barreras para moverse dentro de Calakmul y Balam-kú. La creación de una nueva vía de acceso hará mucho más difícil el planteamiento y ejecución de programas de mitigación para el establecimiento de corredores dentro de dichas reservas.

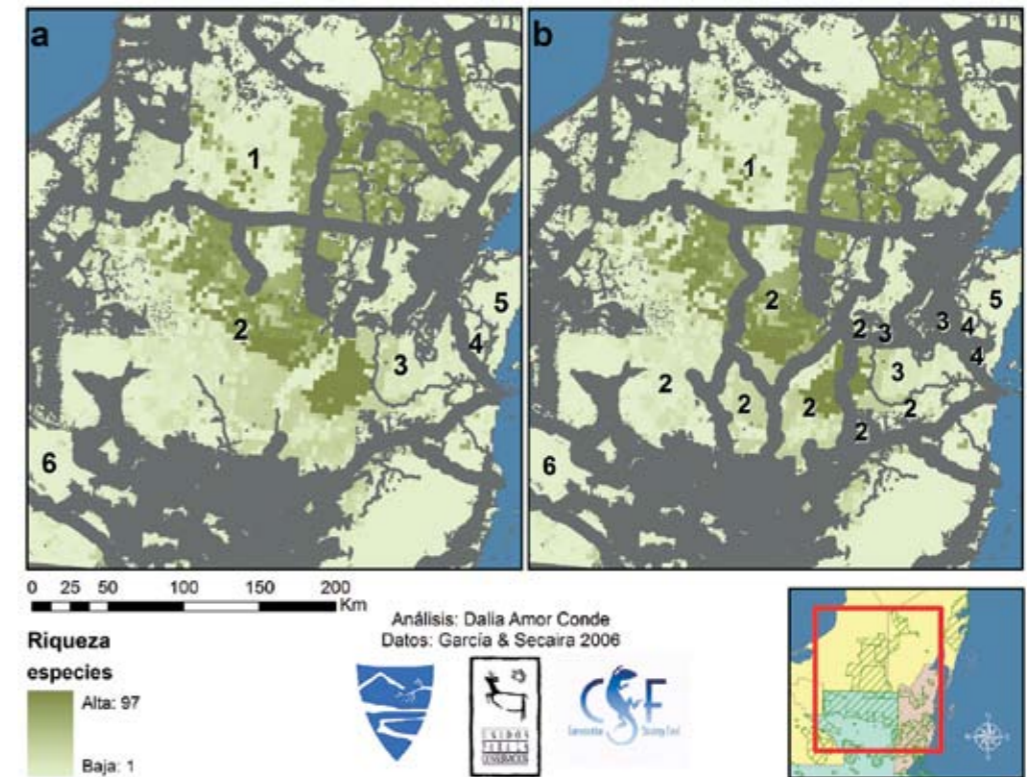


FIGURA 10. FRAGMENTACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO BAJO LOS ESCENARIOS A (SI ÚNICAMENTE LOS PROYECTOS EN MÉXICO SE LLEVAN A CABO) Y B (SI TODOS LOS PROYECTOS CARRETEROS SE LLEVAN A CABO) PARA EL 2015. DE VERDE OSCURO A CLARO SE MUESTRA EL GRADIENTE CON ÁREAS DE MAYOR A MENOR RIQUEZA DE ESPECIES ENDÉMICAS Y/O AMENAZADAS EN LA REGIÓN.

Análisis económico

Las carreteras Caobas-Tikal y San Andrés-Mirador no son económicamente factibles, aún antes de incluir sus costos ambientales.

Proyecto Caobas-Tikal y sus subtramos

Factibilidad económica 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 significativamente baja del -12%. El cuadro es semejante desde la perspectiva de México, cuyas pérdidas serían de US\$ 14.5 millones, con una tasa de retorno de 8%, por debajo del 12% que utilizamos como tasa de descuento. En la Tabla 9 se muestra la distribución de costos y beneficios del proyecto Caobas-Tikal. Como es de esperar en ausencia de peajes, los costos los asume de manera concentrada el gobierno y los beneficios son para los usuarios de las carreteras.

TABLA 9. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS DEL PROYECTO CAOBAS-TIKAL SIN EXTERNALIDADES

	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 2,3 y 4 presentan las planillas de cálculo que sirvieron de base para elaborar la Tabla 9.

Si únicamente se considera la pavimentación del tramo “Caobas-Arroyo Negro”, éste ocasionaría pérdidas netas para México de US\$ 2.7 millones²⁷. Por otra parte, si únicamente se considera la construcción de carreteras en Guatemala:

- La pavimentación del tramo “Tikal-Uaxactún” generaría pérdidas para Guatemala de US\$ 5.5 millones.

²⁷ 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 2)

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

Costos ambientales: Caobas-Tikal

Estimamos una deforestación de 53,570 ha de bosque en el período de 30 años producto del proyectos Caobas-Tikal. De este total, 6,252 ocurrirían en México y 47,318 ocurrirían dentro de la RBM en Guatemala (ver Tabla 10). La deforestación se concentraría en las cercanías de la carretera (Ver Figura 11).

TABLA 10. DEFORESTACIÓN ESTIMADA PARA EL PROYECTO CAOBAS-TIKAL

Tramo	Deforestación (ha)
Caobas-Arroyo Negro (México)	6,252
Arroyo Negro-Tikal (Guatemala)	47,318 (incluye Tikal-El Remate)
TOTAL (Caobas-Tikal)	53,570

Esta deforestación resultaría en emisiones netas de entre 39 y 44 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 \$24 millones y US\$ 120 millones, dependiendo del precio de dióxido de carbono que se utilice y el tipo de conversión de uso de tierra que se asuma (ver Tabla 11).

TABLA 11. VALOR DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO CARBONO SEGÚN USO DE TIERRA Y PRECIO UTILIZADO

Uso de tierras convertidas	Valor del Carbono (millones de US\$)	
	US\$ 3.81/ t CO2 e	US\$ 17.25/ t CO2 e
Cultivos perennes-bosque bajo	-23.5	-106.7
Pastizales	-26.4	-119.7

Si solamente:

- se pavimentara el tramo Caobas-Arroyo Negro se emitirían entre 4.5 millones y 5 millones de toneladas de dióxido carbono, con un valor actual que varía entre US\$ 2.8 millones y US\$ 14.3 millones.
- se pavimentara el tramo Uaxactún-Tikal se emitirían entre 16 millones y 18 millones de toneladas de dióxido carbono con un valor actual que varía entre US\$ 9.4 millones y US\$ 47.7 millones.

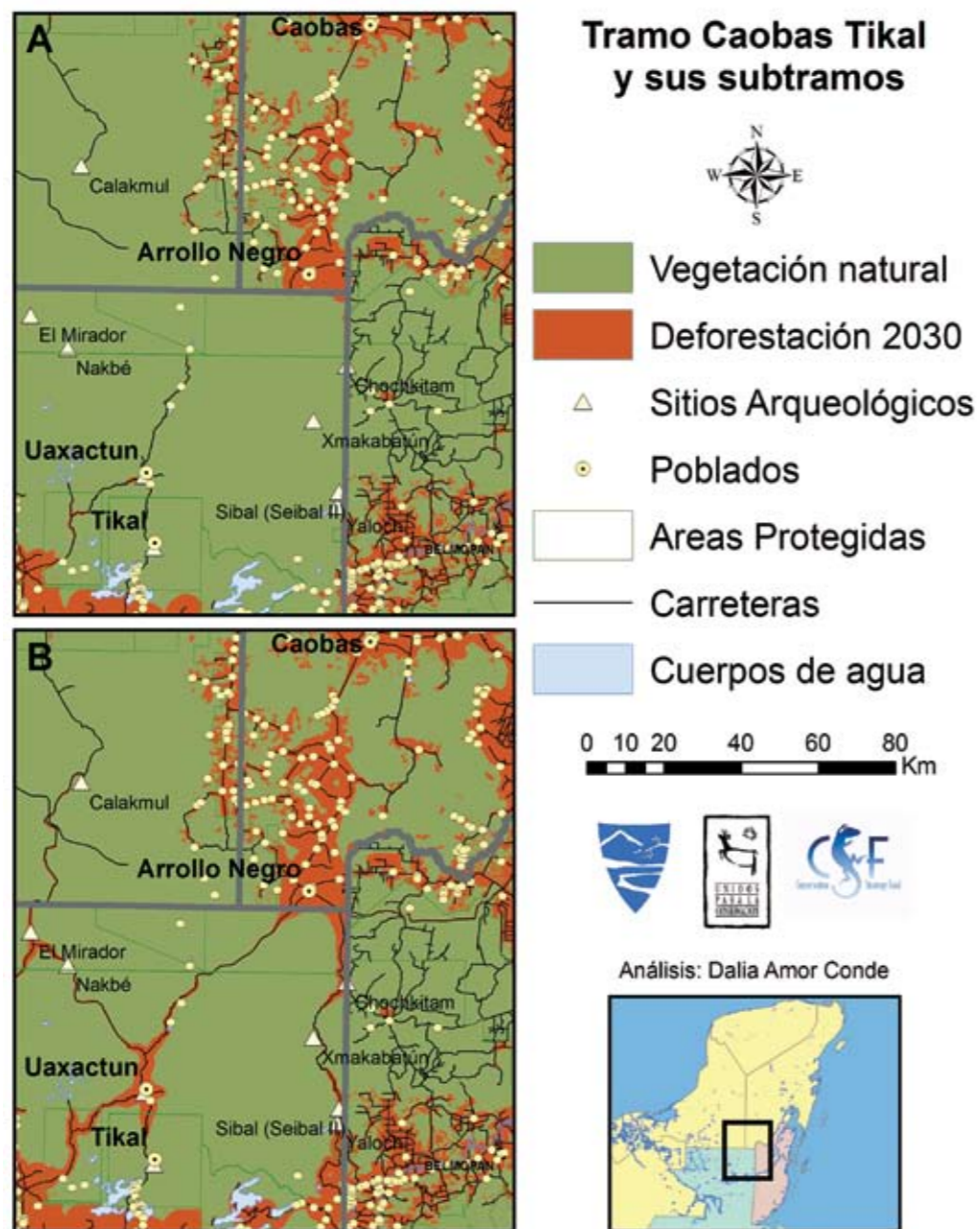


FIGURA 11. PROYECCIÓN DE DEFORESTACIÓN DEL TRAMO CAOBAS-TIKAL Y SUBTRAMOS EN UN HORIZONTE DE 30 AÑOS. ESCENARIO A: DEFORESTACIÓN SI NO HAY INVERSIONES EN CONSTRUCCIÓN Y AMPLIACIÓN. ESCENARIO B: SI SE CONSTRUYEN/AMPLÍAN LOS TRAMOS SUGERIDOS.

- se construyera el tramo Arroyo Negro-Uaxactún se emitirían entre 18 millones y 20 millones de toneladas de dióxido carbono, con un valor actual que varía entre US\$ 11.3 millones y US\$ 57.7 millones.
- se pavimentara el tramo Uaxactún-Tikal y se construyera el tramo Arroyo Negro-Uaxactún se emitirían entre 34 millones y 38 millones de toneladas de dióxido carbono, con un valor actual que varía entre US\$ 20.7 millones y US\$ 105.4 millones.

Análisis Económico con externalidades ambientales: Caobas-Tikal

Cuando se incluye el valor del dióxido de carbono emitido por la deforestación inducida, el proyecto carretero “Caobas-Tikal” generaría pérdidas netas aún mayores, de entre US\$ 60.5 millones y US\$ 145.1 millones para Guatemala; y para México generaría pérdidas netas de entre US\$ 17.3 millones y US\$ 28.8 millones. Las variaciones se dan según el precio de dióxido de carbono y el cambio de uso de la tierra que se asuma. La Tabla 12 muestra el valor del proyecto según el cambio en uso de tierra y el precio del dióxido de carbono que se asuma.

TABLA 12. VALOR ACTUAL NETO DEL PROYECTO CAOBAS-TIKAL CONSIDERANDO EXTERNALIDADES AMBIENTALES

Valor del Carbono Precio US\$ t/CO ₂ e	Uso de Tierras Deforestadas	VAN México US\$ millones	VAN Guatemala US\$ millones
3.81	Cultivos Perennes	-17.3	-60.5
3.81	Pastizal	-17.7	-63.0
17.25	Cultivos Perennes	-27.3	-133.7
17.25	Pastizal	-28.8	-145.1

Si se analizan los tramos separadamente y se incluyen las externalidades ambientales:

- El mejoramiento del tramo “Caobas-Arroyo Negro” generaría pérdidas a México entre US\$ 5.5 millones y US\$ 17 millones.
- La pavimentación del tramo “Tikal-Uaxactún” generaría pérdidas para Guatemala de entre US\$ 14.9 millones y US\$ 53.2 millones.
- La construcción del tramo “Uaxactún-Arroyo Negro” generaría pérdidas para Guatemala entre US\$ 45.2 millones y US\$ 91.6 millones.
- La pavimentación y construcción del tramo “Tikal-Arroyo Negro” generaría pérdidas para Guatemala entre US\$ 60.1 millones y US\$ 144.8 millones.

Proyecto carretero San Andrés-Mirador y sus subtramos

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

La construcción del proyecto “San Andrés-Mirador” no es factible económicamente y ocasionaría pérdidas a la sociedad guatemalteca 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 TIR del -4%. Si se construyera solamente el tramo “Carmelita-Mirador”, las pérdidas serían de US\$ 6.4 millones, con una TIR del 7%. En ambos casos, desde el punto de vista de la sociedad guatemalteca los tramos no son factibles. En la Tabla 13 se presentan el análisis distributivo de la ruta y de cada uno de los tramos por separado.

TABLA 13. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS DEL PROYECTO SAN ANDRÉS-MIRADOR Y DE SUS TRAMOS SIN EXTERNALIDADES

	Proyecto: San Andrés-Mirador US\$	Tramo: San Andrés-Carmelita US\$	Tramo: 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 “San Andrés-Carmelita” se estimó en 25,342 hectáreas y del tramo “Carmelita-Mirador” en 10,786 hectáreas. Toda esta deforestación se daría en bosques dentro de la Reserva de Biosfera Maya en Guatemala en el período de 30 años (Figura 12). Una deforestación de este tipo resultaría en emisiones de entre 26.2 millones y 29.4 millones de toneladas de dióxido de carbono derivadas de la conversión de la vegetación nativa en tierras con cultivos permanentes o pastizales. El valor actual de estas pérdidas varía entre US \$ 15.2 millones y US\$ 77.3 millones dependiendo del precio de carbono que se utilice (Tabla 14).

TABLA 14. VALOR DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO SEGÚN USO DE TIERRA Y PRECIO UTILIZADO

Uso de tierras convertidas	Valor del dióxido de carbono US\$ millones	
	US\$ 3.81/ t CO2 e	US\$ 17.25/ t CO2 e
Cultivos perennes-bosque bajo	15.2	69
Pastizales	17.1	77.3

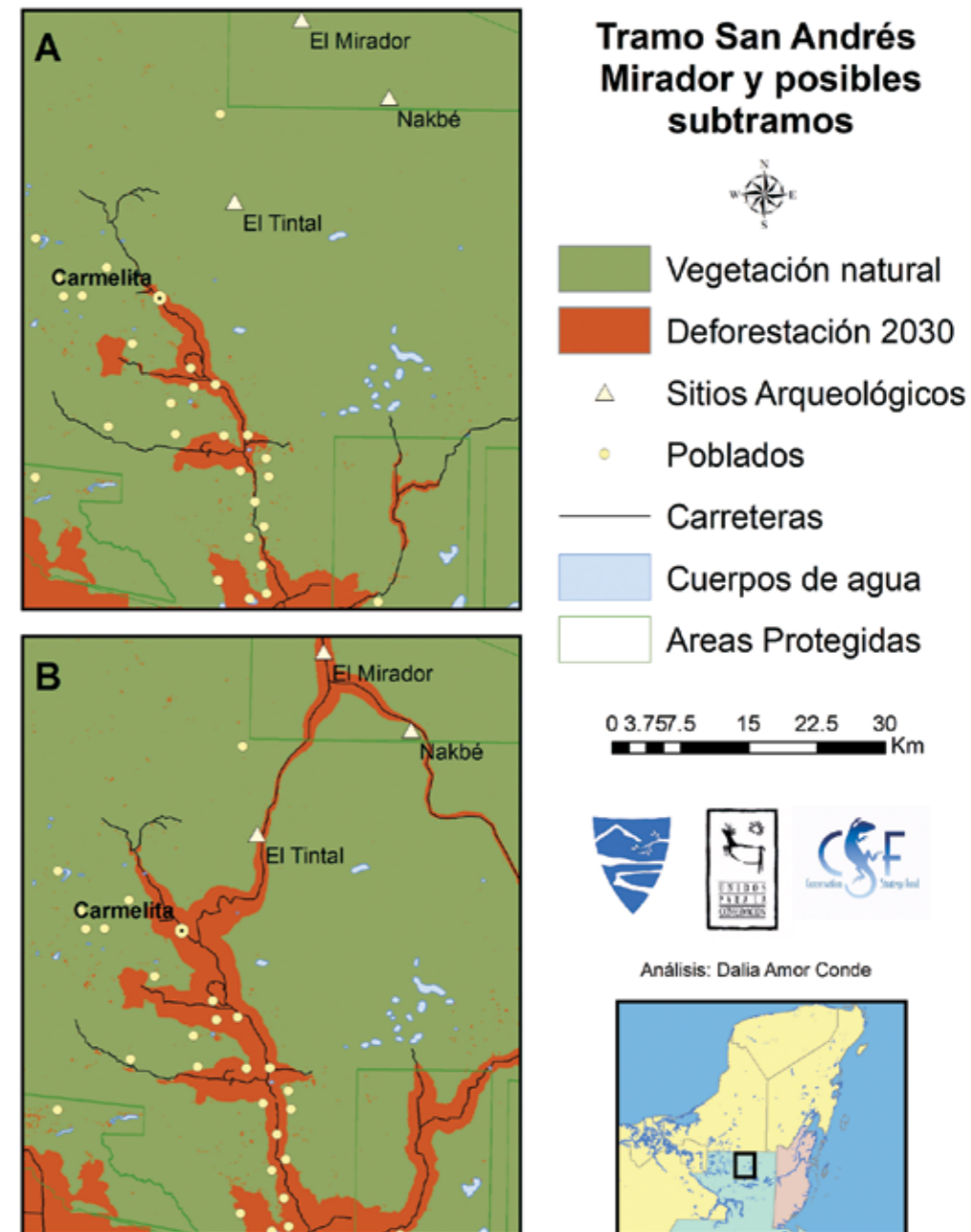


FIGURA 12. PROYECCIÓN DE DEFORESTACIÓN DEL TRAMO SAN ANDRÉS-MIRADOR Y SUBTRAMOS EN UN HORIZONTE DE 30 AÑOS. ESCENARIO A: DEFORESTACIÓN SI NO HAY INVERSIONES EN CONSTRUCCIÓN Y AMPLIACIÓN. ESCENARIO B: SI SE CONSTRUYEN/AMPLÍAN LOS TRAMOS SUGERIDOS.

Análisis Económico con externalidades ambientales: San Andrés-Mirador
 Cuando se incluye el valor del dióxido de carbono emitido, producto de la deforestación inducida, el proyecto carretero “San Andrés-Mirador” generaría pérdidas netas a Guatemala de entre US\$ 36.5 millones y US\$ 98.6 millones. (Tabla 15).

TABLA 15. VALOR ACTUAL NETO DEL PROYECTO SAN ANDRÉS-MIRADOR CONSIDERANDO EXTERNALIDADES AMBIENTALES

Valor del Carbono Precio US\$ t/CO2e	Uso Tierras Deforestadas	VAN Guatemala US\$ millones
3.81	Cultivos Perennes	-36.5
3.81	Pastizal	-38.3
17.25	Cultivos Perennes	-90.2
17.25	Pastizal	-98.6

Por otra parte, si se analizan los tramos independientemente la pavimentación del tramo San Andrés-Carmelita generaría pérdidas para Guatemala de US\$ 25 millones a US\$ 66.4 millones, y la construcción del tramo Carmelita-Mirador generaría pérdidas para Guatemala entre US\$ 11.5 millones y US\$ 32.2 millones.

Costos ambientales agregados de todos los tramos proyectados en la Selva Maya

Se estimaron los costos ambientales, relacionados a la construcción de todos los tramos proyectados en la Selva Maya. Solamente se presenta la estimación de cantidad y valor del dióxido de carbono que se emitirá producto de la deforestación proyectada, en la sección anterior, para cada uno de los tramos. (Ver Tabla 16 y 17).

De acuerdo a la sección anterior, se proyecta que si todos los tramos fueran construidos se incrementaría la deforestación en la Selva Maya en 311 mil hectáreas en 30 años. Si se asume que todas las áreas deforestadas se convertirían en bosque bajo o cultivos perennes (Tabla 16), la deforestación ocasionaría la emisión de 225 millones de toneladas de dióxido de carbono. Estas emisiones generarían pérdidas con un valor actual estimado entre US\$ 136 millones y US\$ 619 millones según el precio de dióxido de carbono que se utilice.

TABLA 16. CANTIDAD Y PRECIO DEL DIÓXIDO DE CARBONO EMITIDO SI LAS ÁREAS DEFORESTADAS SE CONVIRTIERAN EN CULTIVOS PERENNE O BOSQUE BAJO

Todos los tramos	Deforestación Ha	CO2 Toneladas	VAN emisiones CO2 US\$	
			Precio US\$ 3.81/tCO2e	Precio US\$ 17.25/tCO2e
Caobas-Tikal	53,570	38,809,322	23,539,787	106,717,597
Arroyo Negro-Mirador	36,128	26,173,291	15,212,115	68,964,106
Mirador-Calakmul	5,697	4,127,249	2,612,468	11,843,618
Uaxactún-Mirador	9,011	6,527,747	3,766,836	17,076,948
Yaxha-Nakum-Naranjo	41,429	30,013,653	19,006,100	86,164,130
M. Mencos-Arroyo Negro	33,065	23,954,270	15,138,989	68,632,588
Lamanai	34,239	24,804,786	13,854,108	62,807,583
El Ceibo-El Naranjo	8,932	6,470,877	3,832,377	17,374,078
Escárcega-Xpujil	47,488	34,403,156	20,967,347	95,055,440
Camino Escárcega-Xpujil para torres alta tensión	41,611	30,145,505	18,508,842	83,909,810
TOTAL	311,170	225,429,856	136,438,969	618,545,898

Si se asume que todas las áreas deforestadas se convertirían en pastizales (Tabla 17), la deforestación ocasionaría la emisión de 253 millones de toneladas de dióxido de carbono. Estas emisiones generarían pérdidas con un Valor Actual Neto estimado entre US\$ 153 millones y US\$ 694 millones.

TABLA 17. CANTIDAD Y PRECIO DEL DIÓXIDO DE CARBONO EMITIDO SI LAS ÁREAS DEFORESTADAS SE CONVIRTIERAN EN PASTIZALES

Todos los tramos	Deforestación Hectáreas	CO2 Toneladas.	VAN emisiones CO2 US\$	
			Precio US\$ 3.81/ tCO2e	Precio US\$ 17.25/tCO2e
Caobas-Tikal	53,570	43,526,696	26,401,110	119,689,399
Arroyo Negro-Mirador	36,128	29,354,723	17,061,188	77,346,873
Mirador-Calakmul	5,697	4,628,926	2,930,020	13,283,241
Uaxactún-Mirador	9,011	7,321,211	4,224,705	19,152,695
Yaxhá-Nakum-Naranjo	41,429	33,661,891	21,316,341	96,637,605
M. Mencos-Arroyo Negro	33,065	26,865,974	16,979,173	76,975,058
Lamanai	34,239	27,819,872	15,538,111	70,442,009
El Ceibo-El Naranjo	8,932	7,257,429	4,298,213	19,485,942
Escárcega-Xpujil	47,488	38,584,950	23,515,982	106,609,676
Camino Escárcega-Xpujil para torres alta tensión	41,611	33,809,770	20,758,639	94,109,266
TOTAL	311,170	252,831,442	153,023,481	693,731,763

{ Discusión y conclusiones

D

urante las últimas décadas, la deforestación continúa aumentando en la Selva Maya, con excepción de la parte ubicada en Belice, a pesar de los planes de conservación y desarrollo sustentable en la región. Aunado a esto, el efecto de las carreteras sobre la deforestación hace evidente el riesgo que los proyectos carreteros planteados significan para la conservación de la biodiversidad así como de los bienes y servicios ambientales de la Selva Maya. Los nuevos caminos pondrán en riesgo la factibilidad de las metas del Corredor Biológico Mesoamericano, tanto para el desarrollo económico como para la conservación y mantenimiento de la conectividad biológica.

Bajo un modelo optimista, estimamos que si todos los proyectos carreteros mencionados se implementan se perderán aproximadamente 311,170 hectáreas de bosque en un período de 30 años. Esto causaría la liberación de por lo menos 225 millones de toneladas de dióxido de carbono, lo que implicaría un costo global de más de US\$ 136 millones (valor presente). Utilizando los requerimientos de uso de hábitat del jaguar estimamos que para el 2015 las carreteras dividirían los seis parches centrales de hábitat en 16 parches, con una pérdida de área de alrededor del 11.24% (151,428 ha) de hábitat viable para esta especie.

Las carreteras Caobas-Tikal y San Andrés-Mirador no son económicamente factibles, aun antes de incluir 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 un horizonte de 30 años, el proyecto Caobas-Arrollo Negro-Tikal generará pérdidas de aproximadamente US\$ 40 millones para Guatemala y de US\$ 14.5 millones para México. El proyecto San Andrés-Mirador resultó negativo también, con pérdidas para Guatemala de US\$ 21 millones. En ambos casos, la demanda de las carreteras es insuficiente para justificar su construcción, debido a la baja densidad de población dentro de la Reserva de la Biosfera Maya. Además, en el caso Caobas-Tikal la demanda para el transporte 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. Además, la ruta actual está siendo mejorada en el lado Guatemalteco, con una inversión de alrededor de US\$ 95 millones (BCIE 2005).

En cuanto al análisis de las externalidades, se estimó una deforestación de 53,570 ha de bosque en el período de 30 años para el proyectos Caobas-Tikal. De este total, 6,252 ocurrirían en México y 47,318 ocurrirían dentro de la RBM en Guatemala. Esta deforestación resultaría en emisiones netas de por lo menos 39 millones de toneladas de dióxido de carbono. El valor actual de estas pérdidas adicionales es mayor a US \$24 millones. Por su parte, la deforestación proyectada para el proyecto San Andrés-Mirador se estimó en 36,128 hectáreas. Toda esta deforestación se daría en bosques dentro de la Reserva de Biosfera Maya en Guatemala en el período de 30 años. Una deforestación de este tipo resultaría en emisiones de por lo menos 26.2 millones de

toneladas de dióxido de carbono. El valor actual de estas pérdidas es mayor a US \$ 15.2 millones. Sin embargo, las pérdidas económicas por transferencia de dióxido de carbono sólo implicarán para México y Guatemala una pérdida monetaria real cuando los mercados de deforestación evitada se consoliden.

Se debe destacar que según proyecciones de la SCT (2004), se espera un tránsito diario en el tramo entre Caobas-Tikal de 800 vehículos en el 2015 y más de 7000 para el año 2034. Si estas estimaciones se cumplen la carretera tendrá impactos negativos en los valores culturales y ambientales del Parque Nacional Tikal, además de alterar dramáticamente a la comunidad de Uaxactún y al Parque Nacional Río Azul. Los riesgos de la ruta Caobas-Tikal no son únicamente de tipo ambiental, si no también de seguridad pública. Esto se debe a que el 30% de la cocaína con un destino a los Estados Unidos se transporta a través de las fronteras de Guatemala y Belice con México (Naciones Unidas 2006). La construcción de la carretera “Caobas-Tikal” abriría una nueva ruta para el tráfico de estupefacientes con una línea prácticamente directa a mercados como Cancún.

Los proyectos carreteros analizados aumentarán la accesibilidad a la Selva Maya, facilitando la explotación ilícita de recursos naturales así como las invasiones a las áreas naturales protegidas y la colonización por ganaderos, como es el caso de la RBM. Si contemplamos que la RBM, con 2.1 millones de hectáreas, únicamente cuenta con 257 guarda recursos y la reserva de Calakmul, con 723,185 hectáreas, cuenta con 47 vigilantes, la expansión de la red de carreteras traería consigo la necesidad de invertir de forma masiva en actividades de vigilancia para la protección de las áreas. Esto incrementaría los costos de dichos proyectos.

Un caso ejemplar de esta situación es el proyecto original de la construcción y mantenimiento de un tendido eléctrico entre Escárcega y Xpujil con la habilitación de un camino de 18.5 m de ancho a un kilómetro y en paralelo a la carretera que une estas poblaciones. Se estima que este camino promoverá la deforestación de aproximadamente 41,611 ha. Este proyecto, junto con la ampliación de la carretera Escárcega-Xpujil, limitará la conectividad de hábitat para un mayor número de especies y destruirá los pequeños corredores naturales que aún existen para algunas especies dentro de las reservas de Calakmul y Balam-kú. La creación de una nueva vía de acceso hará mucho más difícil y costosos los programas de mitigación ambiental. De la misma forma este camino abrirá una nueva ruta de acceso a las reservas, aumentando su vulnerabilidad para actividades ilícitas como la extracción de recursos naturales, en especial por su cercanía a ciudades y poblados.

Este estudio pone en cuestionamiento la aplicación en la Selva Maya del modelo de desarrollo caracterizado por grandes obras de infraestructura como el propuesto

por el PPP y el Proyecto Mundo Maya. En algunos casos estos modelos llevan a los países en desarrollo a realizar grandes inversiones con pocos resultados, alto endeudamiento y, como se muestra en este caso particular, con pérdidas tanto económicas como del patrimonio natural. Para agravar la situación, frecuentemente estas obras son subutilizadas y generan constantes gastos de mantenimiento que afectan el presupuesto de los gobiernos y representan una obligación permanente para los contribuyentes. En ciertos casos los beneficiarios se limitan a unas pocas personas con propiedades adyacentes a la carretera y aquellos contratistas elegidos para la construcción y mantenimiento de las obras.



Recomendaciones

- Destinar recursos financieros públicos a inversiones con ganancias económicas bien distribuidas y riesgos ambientales aceptables. En el contexto de metas de transporte, se recomienda invertir en carreteras con mejor desempeño según estos criterios y de considerar otras modalidades de transporte para la actividad turística entre los tres países, tales como una expansión en servicio aéreo de corta distancia, así como estudiar el impacto económico y ambiental de trenes como una alternativa a las carreteras.
- Para los tramos que se encuentran en obras o terminados, es indispensable tomar urgentemente medidas que permitan el establecimiento de corredores para mantener la conectividad ecológica entre las áreas naturales protegidas. Esto sin duda aumentará los costos. Sin embargo, es importante que los inversionistas y gobiernos involucrados asuman la responsabilidad social y ambiental del impacto de estas obras. Proyectos tales como puentes de conectividad sobre o por debajo de carreteras han mostrado ser efectivos (Say 2004). Esto se recomendaría en zonas tales como la importante cueva de los murciélagos en el kilómetro 130 de la carretera Escárcega-Xpujil. Otras medidas pueden incluir servidumbres ambientales en áreas privadas e incrementar las áreas de conservación públicas.
- Para el proyecto del tendido eléctrico “Potencia Escárcega-Xpujil”, se recomienda utilizar el mismo derecho de vía de la carretera Escárcega-Xpujil. De esta manera, la nueva infraestructura de transmisión se ubicaría en un área ya impactada. Esta solución permitirá llevar a cabo medidas de mitigación para reestablecer la conectividad de las especies en sitios claves a un menor costo. También se recomienda que en un corto tramo, en el área de influencia de la cueva conocida como “El Volcán de los Murciélagos”, el tendido eléctrico sea colocado subterráneamente. Con esto se evitará el efecto de “obstáculo”, por el cableado y torres, al recorrido de los murciélagos durante el proceso de salida de la cueva.
- Incluir en los análisis económicos de proyectos de infraestructura la pérdida y fragmentación de áreas naturales, considerando los efectos a nivel regional. A pesar de que las áreas naturales transfronterizas presentan un gran reto en cuanto a manejo, estas representan al mismo tiempo una oportunidad para la cooperación internacional.



Bibliografía

Akaike H. 1974. A new look at the statistical model identification. IEEE. Transactions on Automatic Control p.716-723

Albacete C., Espinosa P. & Catalán R. 2006. Inventario de 16 usurpaciones en la Reserva de la Biosfera Maya, informe para CONAP. In. Trópico Verde/ParksWatch Guatemala

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. 10p. [<http://web.worldbank.org/servlets/ECR?contentMDK=20325737&contTypePK=217180&folderPK=214578&sitePK=336292&callCR=true>], accesado en octubre del 2006].

Amor, D.C., Colchero, F.C., Manterola, C., Rivera, A. (2006) Evaluación y diseño del corredor Sian Ka'an-Calakmul con base en el modelaje espacial del estado de conservación del hábitat de jaguar (*Panthera onca*) y su relación con la historia de uso de suelo. BJ006. CONABIO, México D.F. p. 48

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.

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].

Balmford A., Bruner A., Cooper P., Costanza R., Farber S., Green R.E., Jenkins M., Jefferiss P., Jessamy V., Madden J., Munro K., Myers N., Naeem S., Paavola J., Rayment M., Rosendo S., Roughgarden J., Trumper K. & Turner R.K. (2002) Economic Reasons for Conserving Wild Nature. *Science*, 297, p.950-953

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].

BCIE 2005, Banco Centroamericano de Integración Económica, Guatemala, Inversiones, [<http://www.bcie.org/spanish/publicaciones/memorias/2005/guatemala.pdf>, consultado Noviembre 2006]

Bawa, Kress, N. N., S. L., P. R., A. J., A. L., p. A. & T. L. (2004) Tropical Ecosystems into the 21th Century. *Science*, 306, p. 227-230

Burgués I. 2005 Inventario de Proyectos de Infraestructura en Mesoamérica. Conservación Estratégica, San José, Costa Rica. p. 41

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. 2006. 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)

Carr M.H., Lambert D. & Zwick P.D. 1994. Mapeo de la Potencialidad de un Corredor Biológico Continuo en América Central/Mapping of Continuous Biological Corridor Potential in Central America.Final Report, Paseo Pantera. University of Florida, Florida. Sp.

Chomitz M.K. & Gray D.A .1996. Roads, Lands, Markets and Deforestation, A Spatial Model of Land Use in Belize. *World Bank Economic Review* 10, p. 487

Colchero F.C., Amor D.C., Manterola C. & Rivera A. 2005. Establecimiento de estrategias de conservación para las Selvas Mayas de Guatemala y Belice con base en el análisis espacial de la distribución y estado de conservación del hábitat de Jaguar (*Panthera onca*). In, p. 22. Semillas Para la Conservación, Conservación Internacional, México D.F

Cropper M., Puri J. & Griffiths C. 2001 Predicting the Location of Deforestation: The Role of Roads and Protected Areas. *Land Economics*, 77, p.172-186

CSOB. 2005. Central Statistics Office of Belize, Statistics Population.

Damschen E.I., Haddad N.M., Orrock J.L., Tewksbury J.J., Levey D.J. 2006 Corridors Increase Plant Species Richness at Large Scales. *Science*, 313, p.1284 - 1286.

EPR .2005. Empresa Propietaria de la Red. Información facilitada por el departamento de Administración y Finanzas. Sp.

EPR .2005. Empresa Propietaria de la Red. Información facilitada por el departamento Coordinación Ambiental. Sp.

EPR. 2005. Empresa Propietaria de la Red <http://www.eprsiepac.com>

Efron B. & Tibshirani R.J. 1993. An introduction to the bootstrap. Chapman and Hall, New York, New York. USA. Sp.

Fearnside P.M. 2004. Global Warming and Tropical Land-Use Change: Greenhouse Gas Emissions from Biomass Burning, Decomposition and Soils in Forest Conversion, Shifting Cultivation and Secondary Vegetation. *Climatic Change*, p.115-158

Fearnside, P.M., R.I Barbosa. 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. Leonardo, Marcos Amend, Lilian Painter, John Reid. 2006. Beneficios económicos regionales generados por la conservación: El caso Madidi. *Conservación Estratégica*, Bolivia. Sp.

Fleck L.C., Painter L., Reid J., Amend M. 2006. Una Carretera a través de Madidi: Un análisis económico-ambiental. *Serie Técnica. Conservación Estratégica*. Bolivia. Sp.

Forman R.T.T., Daniel S., Bissonette J., Clevenger A.P., Cutshall C.D., Dale V.H., Faring L., France R., Goldman C., R., Heaune K., Jones J., Swanson F., J., Turrentine T. & Winter T.C. 2002. *Road Ecology, Science and Solutions*. Island Press, Washington. Sp.

García G., Secaira F. (2006) Una visión para el futuro: Cartografía de las Selvas Maya Zoque y Olmeca: Plan Ecorregional de las selvas Maya, Zoque y Olmeca. PPY- TNC. TNC Infoterra Editores, San José, CR

Geist H.J. & Lambin E.F. 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*, 52, p. 143-150

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. 2006. Economic Report of the President. 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].

Helmut J. Geist & Lambin E.F. 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation *BioScience*, 52, p. 143-150.

Holdridge L.R., W.C. Genke, W.H. Hatheway, T. Liang, and J.A. Tosi Jr. 1971. Forest environments in tropical life zones: a pilot study. In: (ed. Press P), Oxford, England. Sp.

INEGI .2001. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. Tabulados Básicos Censos. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Aguascalientes, México

Jalan J., Ravallion M. 2002. Geographic poverty traps? A micro econometric model of consumption growth in rural China. *Journal of Applied Economics*, 17, p. 329-346

Jenkins, W., Harberger, A. 2000. *Manual de Análisis Costo-Beneficio de las decisiones de inversión*. Harvard Institute for International Development. 109 p.

Lebo J., Scheling D .2000. Design and Appraisal of Rural Transport Infrastructure: Ensuring basic access for Rural Communities. World Bank Technical Paper, Banco Mundial, Washington DC.

Miller B., Rabinowitz A. 2002 *¿Por qué conservar al jaguar?* Fondo de Cultura Económica, México.

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.

Mason J., N.E. Graham. 2002. Areas beneath the relative operating characteristics (ROC) and relative operating levels (ROL) curves: Statistical significance and interpretation. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 128, p. 2145–2166.

Myers N. (1992) *The Primary Source*. 2nd edn. Norton, NY.Sp.

Myers N. 1996. *Ultimate Security; The Enviromental Basis of Political Stability*. Island Press, Washington D.C. Sp.

Myers N., Mittermeier R.A., G. d.F. & J. K. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, p. 853-854

Nepstad D., Carvallo G., Barros A.C., Alencar A., Capobianco J.P., Bishop J., Moutinho P., Lefebvre P., Lopez Silva U. & Prins E. .2001. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest and Ecology Management*, 154, p. 395-407

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 MayaBID-STP.

Pearson S.M., Turner M.G., G. G.R. & V. O.N.N. (1996) An organism base perspective of habitat fragmentation. Oxford University Press, New York, New York. USA. Sp .

Pennington T.D., J. Sarukhan. 1968. Arboles tropicales de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, Distrito Federal, México.

Pfaff A.1999. What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon? Journal of Environmental Economics and Management, 37, p. 26-43

Pfaff A. & Sanchez G.A. 2004. Deforestation pressure and biological reserve planning: a conceptual approach and an illustrative application for Costa Rica. Resource and Energy Economics 26, p. 237-254.

Pfaff Alexander, Juan Robalino, Robert Walker, Steven Aldrich, Marcellus Caldas, Eustaquio Reis, Stephen Perz, Claudio Bohrer, Eugenio Arima, William Laurance, Kathryn Kirby. 2007. Road Investments, Spatial Spillovers, and Deforestation in the Brazilian Amazon, Journal of Regional Science, 47 (1), p.109-123.

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

Ramos V.H., Burgués I., Fleck L.C., Castellanos B., Albacete C.,Paiz G., Espinosa P., Reid J. 2007. Análisis Económico y Ambiental de Carreteras Propuestas dentro de la Reserva de la Biosfera Maya. Serie Técnica. Conservación Estratégica. Sp.

R D.C.T. 2006. R: A Language and Environment for Statistical Computing. In. R Foundation for Statistical Computing. Sp.

Reid J. & Hanily G. 2003. Economic Analysis of three road investments through Western Panama's Barú Volcano National Park and Surroundings Areas. Conservation Strategy Found & The Nature Conservancy, Panama. 37 p.

Say A. 2004. Ecological Effects of Roads: Ian F Spellerberg; Land Reconstruction and Management Series, Volume 2; Science Publisher Inc, Enfield and Plymouth. 2002. ISBN 1-57808-198-X. Biological Conservation, 116, p.149-150

Stern, N. 2006. Stern Review on the Economics of Climate Change, commissioned by the UK government. 712 p. [http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm consultado en noviembre del 2006].

Tewksbury J.J., Levey D.J., Haddad N.M., Sargent S., Orrock J.L., Weldon A., Danielson B.J., Brinkerhoff J., Damschen E.I. & Townsend P. 2002. Corridors affect plants, animals, and their interactions in fragmented landscapes. PNAS, p. 12923 - 12926

Wilson E.O., and E. O. Willis. 1975. Applied Biogeography. Harvard University Press, Cambridge Massachusetts. Sp.



Anexos

Anexo 1. Supuestos del modelo de deforestación

Para proyectar el efecto de las carreteras en la pérdida de cobertura vegetal utilizamos los resultados a partir del análisis de imágenes de satélite LANDSAT (Colchero *et al.* 2005; Amor *et al.* 2006). Con estos resultados modelamos la relación de las carreteras y la deforestación para la región de 1980-1990 y de 1990 al 2000.

A la escala temporal (20 años, de 1980 al 2000) y espacial (100,000 km²) es posible observar los principales patrones de cambio así como inferir los promotores de deforestación que han presentado un efecto a largo plazo en la pérdida de selva en el área de estudio. Utilizamos variables que generalmente se usan para identificar el efecto de las actividades humanas en los bosques tropicales por estudios previos (Alves 2002, Soares-Filho *et al.* 2001). Estas variables fueron densidad poblacional, densidad de carreteras, distancia a las carreteras, nivel de protección (dentro o fuera de áreas naturales protegidas), división política (México, Belice y Guatemala), pendiente, elevación, temperatura, distancia a oleoductos, tipo de selva, distancia a zonas agropecuarias. Es importante considerar que al trabajar con dichas variables se puede sobre simplificar la estimación de las dinámicas que las actividades humanas ejercen sobre el paisaje. Sin embargo estas variables son la base para entender las relaciones entre las poblaciones humanas y el paisaje (Laurence *et al.* 2002, Soares-Filho *et al.* 2004, Alves 2002, Soares-Filho *et al.* 2001, y Pfaff 1999). Aunado a esto, estas variables son lo suficientemente sensibles para entender eventos más complejos que promueven la deforestación, tales como subsidios estatales y federales a la ganadería y agricultura, migración por cambios en los mercados, así como otros incentivos. Para reducir los problemas de auto-correlación espacial generamos un muestreo de 16000 puntos al azar los cuales se encontraron a una distancia mínima de 1500 m, por encima de la zona de correlación espacial, la cual fue determinada a partir de un correlograma.

La variable dependiente fue la deforestación (y) obtenida a partir del análisis de detección de cambios de 1978 a 1990 y de 1990 al 2000. Obtuvimos la información del total de la población en todos los poblados legalmente establecidos para el 2000 (coberturas proporcionadas por el Proyecto de las Selvas Mayas Zoque y Olmecas). Para estimar las actividades agropecuarias, utilizamos el mapa de vegetación y uso de suelo que generamos, del cual únicamente se seleccionaron aquellas áreas que se encontraban con uso agrícola durante 1978. Digitalizamos las carreteras presentes en cada periodo a partir de las imágenes de satélite y estimamos la densidad de las carreteras a partir de la función Kernel del análisis espacial de ArcMap. La densidad de carreteras contempla la accesibilidad o tipo de carretera (terracería vs. carretera de dos carriles) así como el número de carreteras por km². Esto nos permitió modelar la probabilidad de deforestación a partir del mejoramiento y ampliación de carreteras así

como de la construcción de nuevas carreteras. Para establecer la densidad poblacional de una forma espacialmente explícita utilizamos, la función Kernel del “Análisis espacial” de ArcMap para el cual se proyectó la tasa de crecimiento poblacional para cada uno de los periodos. Las tasas poblacionales se proyectaron a partir del crecimiento anual por región reportado por cada uno de los gobiernos de los países involucrados.

Para encontrar el modelo que explica la mayor proporción de la variabilidad en los datos, hicimos un análisis de máxima verosimilitud para todas las combinaciones de variables dependientes con el paquete estadístico R. Eso nos permitió entender cuál de estas variables o qué combinación de éstas explica mejor la pérdida de selva. Mediante este modelo es posible evaluar las variables independientes que afectan en mayor proporción la probabilidad de deforestación en la región (variable dependiente) ligada a las primeras a través de una distribución logística. Comparamos los distintos modelos mediante el uso del criterio de información de Akaike (AICs). Lo que nos permitió escoger el modelo que explica mejor el proceso de deforestación con los datos utilizados. La ventaja de este criterio es que compara todos los posibles modelos utilizando distintas combinaciones de variables penalizando el modelo debido al número de parámetros. Esto permite tener una evaluación más robusta para identificar el modelo que se amolda mejor a los datos.

Estimamos la relación entre la deforestación (probabilidad de deforestación) y las variables independientes a partir de un modelo binomial de tipo Bernoulli. A continuación se explica el modelo:

$$L(\theta; y) = \text{Bernoulli}(y_i | \theta_i)$$
$$\text{logit} \theta_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i,1} + \beta_2 x_{i,2} + \dots + \beta_k x_{i,k} + \varepsilon_i$$

Donde θ es la probabilidad de deforestación, β es el vector de parámetros del modelo y X es la matriz de variables independientes: densidad de carreteras; distancia a las carreteras, densidad poblacional; nivel de protección (dentro o fuera de un área protegida), división política (Guatemala, México, Belice), elevación, distancia a oleoducto, elevación y distancia a uso de suelo agropecuario.

El modelo más robusto obtenido a partir del análisis de AIC incluyó únicamente las siguientes variables: elevación, densidad poblacional, densidad de carreteras, distancia a las carreteras, división política, nivel de protección y distancia a zonas previamente deforestadas. En la Tabla A1 se muestran los coeficientes obtenidos para cada variable. Es importante señalar que en el mejor modelo no todas las variables son significativas ($P < 0.005$), sin embargo son variables importantes al mejorar el modelo mostrado por los valores de AIC.

Posteriormente realizamos un análisis de Bootstrap paramétrico para calcular intervalos de confianza para los parámetros del mejor modelo (Efron & Tibshirani 1993). Esto nos permitió verificar la eficacia del modelo para explicar la relación entre las variables y la deforestación.

limitado a utilizar datos que existen únicamente para los tres países. Esto restringió la posibilidad de realizar un análisis con alto detalle, sin embargo ha permitido hacer un estudio sistemático y comparativo para la región.

TABLA A1. COEFICIENTES OBTENIDOS EN EL MODELO DE DEFORESTACIÓN CON SUS RESPECTIVOS ANÁLISIS DE LOS INTERVALOS DE CONFIANZA

Variable	Promedio	95% Inferior	95% Superior	P-val
Ordenada al origen	-3.78491	-4.50563	-3.08147	< 0.001
Distancia a las carreteras	-0.0002	-0.00026	-0.00014	< 0.001
Densidad de carreteras	2.66093	1.430372	3.861259	< 0.001
Distancia a deforestación previa (zonas agropecuarias)	-0.0000658	-0.00012	-0.0000233	< 0.001
Densidad Poblacional	-0.0037	-0.01171	0.000784	0.0755
Elevación	-0.00095	-0.00231	0.000375	0.08
Distancia a oleoducto	-0.00000270	-0.00000494	-0.000000447	0.009
Áreas protegidas	-1.19025	-1.59915	-0.82083	< 0.001
Guatemala	2.404666	1.860331	2.965961	< 0.001
México	1.386759	0.891028	1.902108	< 0.001

Utilizamos este modelo para crear un paisaje probabilístico de deforestación para cada periodo (2010, 2020 y 2030). Para obtener una estimación de la pérdida total de cobertura vegetal a partir de los paisajes probabilísticos obtenidos, realizamos el análisis ROC (por sus siglas en inglés Receiver Operating Characteristic) en el paquete estadístico R (R 2006).

En este análisis obtuvimos valores de totales de deforestación distintos a los obtenidos en el análisis de deforestación en la RMB, realizado por Ramos *et al.* (2007), para los mismos tramos. Esto se debe a distintos factores, 1) la escala de análisis es muy distinta, mientras que este estudio analiza el efecto de los proyectos carreteros para los tres países dentro y fuera de áreas protegidas, el proyecto para la RBM únicamente se enfoca al efecto de las carreteras en Guatemala dentro de la RBM. 2) Debido lo anterior el número de variables utilizadas fue distinto, así como el tipo de variables, y 3) en el análisis regional evaluamos tanto la construcción como la ampliación de nuevas carreteras. Sin embargo los resultados de ambos análisis difieren muy poco. La importancia de contar con ambos estudios reside en que permite la comprensión de los proyectos de infraestructura en dos escalas, regional y local. Esto permitirá el diseño de proyectos de conservación y mitigación de los proyectos de infraestructura tanto para acuerdos multilaterales que afecten a los tres países, así como para proyectos que únicamente se den dentro de la RBM. Debido a que este estudio cubre la Selva Maya el cual se encuentra compartido entre Belice, Guatemala y México, el análisis se ha

Anexo 2. Desglose de costos del tramo Caobas-Tikal

TABLA A2. 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 reparaciones 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	
2026	0	0	0	0	-1,262,342	23,037	0	0	-375,398	
2027	0	0	0	0	-602,006	-522,928	0	0	-375,398	
2028	0	0	0	0	139,305	10,469,166	0	0	-375,398	

	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 reparaciones inundaciones (SCT 2004)*	Inversión Tikal-Uaxactún (análisis y RED)	Inversión Uaxactún-Río Azul (análisis y RED)	Cambio en costos de Mantenimiento (análisis y RED)
2029	0	0	0	0	964,924	23,037	0	0	-375,398
2030	0	0	0	0	2,470,380	23,037	0	0	-375,398
2031	0	0	0	0	3,141,634	23,037	0	0	-375,398
2032	0	0	0	0	3,867,463	470,728	0	0	-375,398
2033	0	0	0	0	4,717,322	23,037	0	0	-375,398
2034	0	0	0	0	5,559,218	23,037	0	0	-375,398
VAN	-258,913	-32,251,958	-1,875,114	-1,369,622	-10,288,789	2,952,975	-6,872,526	-32,242,334	-2,389,459
Total			US\$ -43,091,422		US\$ -84,595,743			US\$ -41,504,320	

Anexo 3. Desglose de beneficios del tramo Caobas-Tikal

TABLA A3. 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
2005	0	0	0	0	51,016	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	41,299	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
2008	2,606,908	39,220	136,690	14,512	0	28,699	56,749	132,933	0	19,707
2009	2,763,551	41,561	145,358	15,607	0	36,969	56,749	139,580	6,647	31,192
2010	2,930,225	44,045	154,607	16,800	0	45,729	56,749	146,559	14,290	43,913
2011	3,106,005	46,667	164,481	18,101	0	55,010	56,749	153,887	23,047	57,994
2012	3,293,126	49,450	175,025	19,521	0	64,840	56,749	161,581	33,046	58,523
2013	3,497,230	52,452	186,290	21,073	0	75,254	56,749	169,660	44,430	59,057
2014	3,707,917	55,576	198,331	22,771	0	86,286	56,749	178,143	46,652	59,596
2015	3,929,138	58,869	211,288	24,631	0	97,972	56,749	187,050	48,984	60,139
2016	4,164,192	62,352	225,074	26,670	0	110,351	56,749	196,403	51,433	60,688
2017	4,415,135	66,059	239,021	28,369	0	123,465	56,749	206,223	54,005	61,242
2018	4,677,288	69,931	254,410	30,584	0	137,357	56,749	216,534	56,705	61,800
2019	4,953,883	74,029	270,989	32,984	0	152,074	56,749	227,361	59,541	62,364
2020	5,241,816	78,313	289,207	35,371	0	167,663	56,749	238,729	62,518	62,933
2021	5,548,984	82,852	307,776	38,012	0	184,177	56,749	250,665	65,643	63,507
2022	5,862,223	87,508	327,721	40,682	0	201,671	56,749	263,199	68,926	64,087
2023	6,196,246	92,458	348,302	43,559	0	220,203	56,749	276,359	72,372	64,671
2024	6,551,806	97,684	370,796	46,740	0	239,834	56,749	285,386	80,781	65,261

	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
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\$ 30,321,535			US\$ 1,736,732	

Anexo 4. Costos totales, beneficios totales y flujos netos del tramo Caobas-Tikal

TABLA A4. 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	